

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

«Ορυκτολογική εξέταση και δοκιμές εμπλουτισμού του
σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Κομνηνών
Βερμίου»

Σταθογιάννη Φωτεινή

Εξεταστική Επιτροπή

Γεώργιος Αλεβίζος, Λέκτορας (Επιβλέπων)
Θεόδωρος Μαρκόπουλος, Καθηγητής
Ηλίας Σταμπολιάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Χανιά
Οκτώβριος, 2007

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ερευνά τις ορυκτολογικές φάσεις (ειδικότερα εκείνες που περιέχουν νικέλιο) καθώς και την κατανομή τους ύστερα από την εφαρμογή δοκιμών εμπλουτισμού, στο σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα της περιοχής Κομνηνών Βερμίου και στο βωξιτικό μέταλλευμα από την περιοχή Παρχάρι.

Το μέταλλευμα αναπτύσσεται με μορφή στρωμάτων επάνω σε υπερβασικά πετρώματα και καλύπτεται από ανθρακικά κροκαλοπαγή. Χαρακτηρίζεται μέσω εναλλασσόμενων οριζόντων από πυριτιολιθικά στρώματα, συμπαγές και πισολιθικό σιδηρομέταλλευμα καθώς και FeNi-μέταλλευμα με πυριτικές ενδιαστρώσεις. Όσον αφορά στα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του, αυτά είναι αιματίτης, χαλαζίας, χρωμίτης, χλωρίτης και σε μικρότερο ποσοστό γκαιτίτης, νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος τάλκης, ασβεστίτης και σπανιότερα ιλλίτης. Στο βωξιτικό μέταλλευμα από την περιοχή Παρχάρι εντοπίστηκαν επίσης διάσπορο και γκιψίτης.

Επιπρόσθετα, παρατηρήθηκαν και σφαιροειδή σωμάτια που είναι κυρίως πελοειδή και αμπραζιόλιθοι, σπανιότερα ωσειδή καθώς και θραύσματα πισοειδών. Το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα χαρακτηρίζεται γενικά από έναν αλλοτριόμορφο ανισοκοκκώδη ιστό και μια ωολιθική-πισολιθική υφή.

Στη συνέχεια, οι μέθοδοι εμπλουτισμού που επιλέχθηκαν είναι ο βαρυτομετρικός και ο μαγνητικός διαχωρισμός και τα αποτελέσματα πιστοποιήθηκαν μέσω χημικών-ορυκτολογικών αναλύσεων και μικροσκοπικής παρατήρησης. Μέσω του βαρυτομετρικού διαχωρισμού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές στα κοκκομετρικά μεγέθη (-8+4 mm) και (-4+1 mm) και όσον αφορά στα συμπεράσματα, παρατηρήσαμε ότι το δεύτερο κλάσμα έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από το πρώτο. Αυτό συνέβη διότι στο κλάσμα (-4+1 mm) η αποδέσμευση είναι ικανοποιητικότερη σε σχέση με το (-8+4 mm), με αποτέλεσμα τα ορυκτά να διαχωρίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό.

Με τη βοήθεια του μαγνητικού διαχωρισμού διαχωρίστηκαν τα κοκκομετρικά κλάσματα (-8+4 mm), (-4+1 mm) και (-1+0,250 mm). Παρατηρήθηκε ότι στο κλάσμα (-8+4 mm) ο διαχωρισμός ήταν μεν σχετικά ικανοποιητικός, όμως η αποδέσμευση δεν ήταν καλή. Αντιθέτως, στα μικρότερα κοκκομετρικά μεγέθη (-4+1 mm) και (-1+0,250 mm) ο μαγνητικός διαχωρισμός δίνει μια ξεκάθαρη εικόνα όσον αφορά στην κατανομή των ορυκτολογικών φάσεων στα προϊόντα και αυτό εξηγείται από το

γεγονός ότι η αποδέσμευση -λόγω της μείωσης του μεγέθους των κόκκων- αυξάνεται σε σημαντικό βαθμό.

Αξίζει να τονίσουμε ότι ο μαγνητικός διαχωρισμός αποτέλεσε μια ικανοποιητική μέθοδο εμπλουτισμού του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος. Το νικέλιο συγκεντρώνεται στα μαγνητικά προϊόντα και ο διαχωρισμός δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα (κυρίως στις μικρότερες κοκκομετρίες).

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Λέκτορα κ. Γ. Αλεβίζου. Η διπλωματική αυτή εργασία αναφέρεται στην ορυκτολογική έρευνα και τον εμπλουτισμό ενός μεταλλεύματος, στο οποίο απαντώνται ορυκτά που περιέχουν νικέλιο. Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος έγινε με γνώμονα τα ακόλουθα στοιχεία: το νικέλιο αποτελεί ένα ιδιαιτέρως σημαντικό εμπορικό μέταλλο (λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων του ιδίου και των κραμάτων του), παίζοντας βασικό ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη και η αύξηση της τιμής του τα τελευταία χρόνια είναι ραγδαία. Επιπλέον, η ελληνική βιομηχανία νικελίου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της ελληνικής βιομηχανίας και συγχρόνως προσφέρει σε σημαντικό βαθμό στην εθνική οικονομία.

Κατ'αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Λέκτορα κ. Γεώργιο Αλεβίζο για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, για την ουσιαστική συμβολή του στην ολοκλήρωσή της, καθώς επίσης και για τις γνώσεις που αποκόμισα από εκείνον κατά το διάστημα της συνεργασίας μας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την εξεταστική επιτροπή η οποία απαρτίζεται (εκτός από τον κ. Γ. Αλεβίζο) από τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη και τον Καθηγητή κ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο για τη συνεισφορά τους στην ολοκλήρωση και διαμόρφωση της τελικής μορφής της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, οφείλω να ευχαριστήσω τον Δρ. κ. Δ. Μωραΐτη για της χημικές αναλύσεις με τη μέθοδο της φασματομετρίας ακτίνων-X (XRF), τον κ. Α. Στρατάκη για τις ορυκτολογικές αναλύσεις με τη χρήση της περιθλασιμετρίας ακτινών-X (XRD), τον κ. Α. Σκουνάκη για την παρασκευή των λεπτών τομών και τον κ. Γ. Αποστολάκη για την παρασκευή των στιλπνών τομών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μικροσκοπική εξέταση.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιστημονική συνεργάτιδα του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού κα. Όλγα Παντελάκη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών του εμπλουτισμού και επίσης τις εύστοχες παρατηρήσεις της κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Αφιερώνεται
στους γονείς μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΝΙΚΕΛΙΟ.....	9
1.1 Ιδιότητες του νικελίου.....	9
1.2 Εφαρμογές-Χρήσεις νικελίου.....	9
1.3 Ελληνική βιομηχανία νικελίου.....	11
1.4 Παγκόσμια βιομηχανία νικελίου.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ.....	16
2.1 Προέλευση νικελίου.....	16
2.2 Γένεση των λατεριτικών κοιτασμάτων.....	16
2.3 Νικελιούχοι λατερίτες.....	17
2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη γένεση των νικελιούχων λατεριτών.....	18
2.5 Ελληνικά λατεριτικά κοιτάσματα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΜΝΗΝΩΝ ΒΕΡΜΙΟΥ	24
3.1 Γεωλογία της περιοχής	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	29
4.1 Μέθοδοι εξαγωγής νικελίου από λατερίτες.....	29
4.2 Παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ελλάδα.....	30
4.3 Η πυρομεταλλουργική μέθοδος της ΛΑΡΚΟ.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	34
5.1 Ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων.....	34
5.1.1 Περιθλασιμετρία ακτινών-X (XRD).....	34
5.1.2 Το πολωτικό μικροσκόπιο.....	36
5.1.3 Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.....	37
5.2 Χημική ανάλυση των δειγμάτων.....	39
5.2.1 Φασματομετρία ακτίνων-X.....	39
5.3 Δοκιμές εμπλουτισμού του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος.....	40
5.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.....	40
5.3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο στις μεθόδους του μαγνητικού διαχωρισμού.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	43
6.1 Δειγματοληψία.....	43
6.2 Ορολογία.....	43
6.3 Ορυκτολογική περιγραφή δειγμάτων.....	44
6.4 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων.....	51
6.5 Συσχετισμός ορυκτολογικών και χημικών αναλύσεων των αρχικών δειγμάτων.....	53
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	55
7.1 Διαδικασία δοκιμών εμπλουτισμού με τη χρήση βαρέων υγρών.....	55
7.2 Αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού με την χρήση των βαρέων υγρών.....	57
7.3 Κατανομή της περιεκτικότητας στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού των NiO, MgO, CaO, Cr ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂	61
7.4 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.....	68
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	72
8.1 Διαδικασία δοκιμών εμπλουτισμού μέσω μαγνητικού διαχωρισμού.....	72
8.2 Αποτελέσματα από την διαδικασία του μαγνητικού διαχωρισμού.....	74
8.3 Κατανομή της περιεκτικότητας στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού των NiO, MgO, CaO, Cr ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂	81
8.4 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του μαγνητικού διαχωρισμού.....	90
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	100
9.1 Συμπεράσματα ορυκτολογικής εξέτασης.....	100
9.2 Συμπεράσματα δοκιμών εμπλουτισμού.....	101
9.3 Προτάσεις.....	103
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	104
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	109

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η ορυκτολογική εξέταση και διεξαγωγή πειραματικών δοκιμών εμπλουτισμού για την μελέτη του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Κομνηνών Βερμίου και του βωξιτικού μεταλλεύματος της περιοχής Παρχάρι.

Στόχος της εργασίας αυτής είναι κατά πρώτον η μελέτη των ορυκτολογικών φάσεων που συνιστούν το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα και κατά δεύτερον πως οι συγκεκριμένες φάσεις κατανέμονται στα κλάσματα των προϊόντων των μεθόδων του εμπλουτισμού. Επιπρόσθετα, έγινε διερεύνηση των ορυκτολογικών συστατικών που εμπεριέχουν το νικέλιο και με ποιον τρόπο ταξινομούνται αυτές ύστερα από την εφαρμογή των διαδικασιών διαχωρισμού.

Όσον αφορά στην ορυκτολογική εξέταση, τα εργαλεία της έρευνας ήταν οι ορυκτολογικές αναλύσεις μέσω της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και η παρατήρηση των ορυκτών με την βοήθεια της μικροσκοπίας καθώς και οι χημικές αναλύσεις με την χρήση της μεθόδου της φασματομετρίας ακτίνων-X (XRF).

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά και ο μαγνητικός διαχωρισμός. Των διαχωρισμών προηγήθηκε θραύση των αρχικών δειγμάτων και κοσκίνιση, ώστε να γίνει επιλογή των αντίστοιχων κοκκομετρικών κλασμάτων που θα υποβάλλονταν σε εμπλουτισμό. Στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό τα ορυκτά διαχωρίζονται σύμφωνα με τα ειδικά τους βάρη, ενώ στο μαγνητικό διαχωρισμό διαχωρίζονται ανάλογα με τις μαγνητικές τους ιδιότητες.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με το νικέλιο και τα κοιτάσματα στα οποία απαντάται, οι εφαρμογές/χρήσεις του, η σημασία του στη σύγχρονη βιομηχανία καθώς ακόμη και οι μέθοδοι εξαγωγής αυτού από τα μεταλλεύματά του. Επίσης, δίδονται στοιχεία σχετικά με το σιδηρονικελιούχο κοίτασμα των Κομνηνών Βερμίου (γεωλογία περιοχής, χημισμός, ορυκτολογική ανάλυση και περιγραφή των φάσεων των συστατικών των αρχικών δειγμάτων). Ωστόσο, στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η πορεία των εφαρμοζόμενων μεθόδων εμπλουτισμού, από την πειραματική διαδικασία μέχρι και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Της επεξεργασίας έπεται, τέλος, η χημική, ορυκτολογική και μικροσκοπική εξέταση των ορυκτών που βρίσκονται στα προϊόντα που προέκυψαν από τον βαρυτομετρικό και μαγνητικό διαχωρισμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΝΙΚΕΛΙΟ

1.1 Ιδιότητες του νικελίου

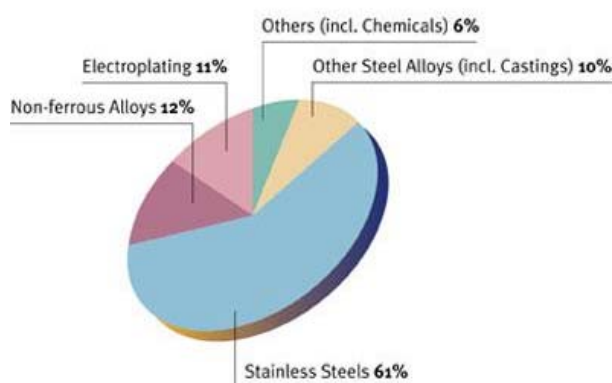
Το χημικό στοιχείο **Νικέλιο** (χημικό σύμβολο **Ni**) είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και ατομικό βάρος 58,69, πυκνότητα 8,9gr/cm³ (στους 20 C°), θερμοκρασία τήξης 1453 C° και θερμοκρασία βρασμού 2732 C°. Ανήκει στη κατηγορία των στοιχείων μετάπτωσης του περιοδικού πίνακα (<http://www.chemicalelements.com>).

Το νικέλιο είναι το πέμπτο πιο κοινό χημικό στοιχείο στη γη. Στη φύση απαντάται υπό μορφή σουλφιδίων, οξειδίων και πυριτικών ορυκτών. Οι φυσικές του ιδιότητες το εντάσσουν (μαζί με τα κράματά του) στα πολύτιμα προϊόντα και έτσι αποτελεί ένα ιδιαίτερος σημαντικό εμπορικό στοιχείο, παίζοντας βασικό ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη (<http://www.larco.gr>).

1.2 Εφαρμογές- χρήσεις νικελίου

Η κυριότερη χρήση του νικελίου είναι για την παρασκευή κραμάτων. Τα κράματα του νικελίου χαρακτηρίζονται από αντοχή, ολκιμότητα και αντίσταση στην διάβρωση και την θερμότητα. Περίπου το 65% του νικελίου που καταναλώνεται στον δυτικό κόσμο χρησιμοποιείται για την παρασκευή ανοξείδωτου χάλυβα, του οποίου η σύσταση μπορεί να διαφέρει, αλλά είναι συνήθως σίδηρος με περίπου 18% χρώμιο και 8% νικέλιο. Το 12% του συνολικού καταναλισκόμενου νικελίου χρησιμοποιείται στα υπέρ-κράματα. Το υπόλοιπο 23% της κατανάλωσης νικελίου αφορά τις παρακάτω εφαρμογές: στα κράματα χάλυβα, στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ως καταλύτης, στην χημική βιομηχανία, στη νομισματοκοπία, στα προϊόντα χυτηρίου κ.α. (<http://www.lenntech.com>).

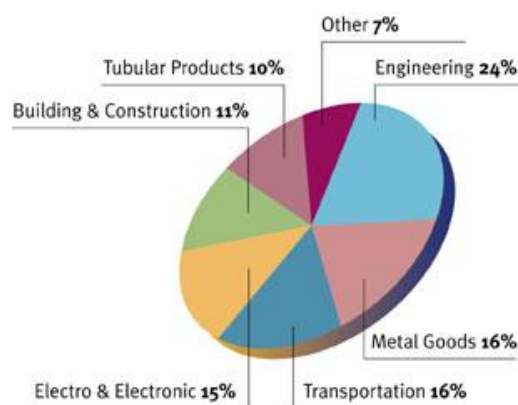
Όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 1.1 η χρήση του νικελίου κυριαρχείται από την παραγωγή σιδηρονικελίου για ανοξείδωτο χάλυβα (61%). Ωστόσο, χρησιμοποιείται επίσης στην παραγωγή μη σιδηρούχων κραμάτων (12%), κραμάτων χάλυβα (10%), ελασμάτων (11%) και για άλλες χρήσεις (6%).



Σχήμα 1.1: Οι κυριότερες χρήσεις νικελίου (<http://nidi.org/>)

Το σιδηρονικέλιο είναι ένα κράμα που περιέχει κατά προσέγγιση 35% νικέλιο και 65% σίδηρο και χρησιμοποιείται πρωτίστως στην βιομηχανική κατασκευή ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων. Αυτοί οι χάλυβες είναι μη μαγνητικοί και περιέχουν από 8,5% έως 25% νικέλιο, το οποίο ενισχύει την αντίστασή τους σε διάβρωση. Είναι οι ευρύτερα διαδεδομένοι τύποι ανοξείδωτου χάλυβα, αποτελώντας το 70%-75% της παγκόσμιας παραγωγής (<http://www.larco.gr>).

Επιπρόσθετα, το σιδηρονικέλιο χρησιμοποιείται σε πολυάριθμες εφαρμογές σε διάφορους τομείς: μηχανολογία, μέσα μεταφοράς, ηλεκτρολογία και ηλεκτρονική, δομική και κατασκευές, μεταλλικά αγαθά, κ.α (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Τομείς που χρησιμοποιούνται τα κράματα νικελίου και οι ανοξείδωτοι χάλυβες (<http://nidi.org/>)

Οι ωστενιτικοί χάλυβες λόγω των υψηλών τους προδιαγραφών επιλέγονται ως υλικά στους τομείς υγιεινής όπως στην παρασκευή τροφίμων, την ποτοποιία και την ιατρική. Επίσης, είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι στην κατασκευή οικιακών σκευών. Αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε στοιχεία και ιδιαίτερα νικέλιο, χλώριο, μολυβδαίνιο και άζωτο στα κράματα των ωστενιτικών χαλύβων, προκύπτει μια σειρά χαλύβων με υψηλότερες ιδιότητες. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περισσότερο επιθετικά περιβάλλοντα, όπως θαλάσσιες εφαρμογές, στις βιομηχανίες πετρελαίου, φυσικού αερίου και στις ενεργειακές και χημικές βιομηχανίες. Τα κράματα χαλκού-νικελίου χρησιμοποιούνται ευρέως σε θαλάσσια περιβάλλοντα (π.χ μονάδες αφαλάτωσης) χάρη στην μεγάλη τους διαβρωτική αντίσταση. Οι ήπιες μαγνητικές ιδιότητες του νικελίου και των κραμάτων του αξιοποιούνται στις ηλεκτρονικές συσκευές και για την ηλεκτρομαγνητική προστασία των ηλεκτρονικών υπολογιστών και επικοινωνιακού εξοπλισμού. Τα υπέρ-ελαστικά κράματα του νικελίου εφαρμόζονται στις ιατρικές συσκευές και στις κεραίες των κινητών τηλεφώνων (<http://www.nidi.org>).

1.3 Ελληνική βιομηχανία νικελίου

Τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα αποτελούν σημαντική πηγή του ορυκτού πλούτου της Ελλάδας. Αξιοποιούνται από την εταιρία ΛΑΡΚΟ, η οποία είναι η μοναδική επιχείρηση παραγωγής νικελίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση από εγχώριες ορυκτές πρώτες ύλες. Σημειώνεται ότι το επίπεδο της παραγωγής της ΛΑΡΚΟ αναλογεί στο 2-3% της συνολικής παραγωγής των δυτικών χωρών, καθιστώντας την μία από τις μεγαλύτερες της Ευρώπης. Το σύνολο της παραγωγής εξάγεται στις ευρωπαϊκές βιομηχανίες ανοξείδωτου χάλυβα.

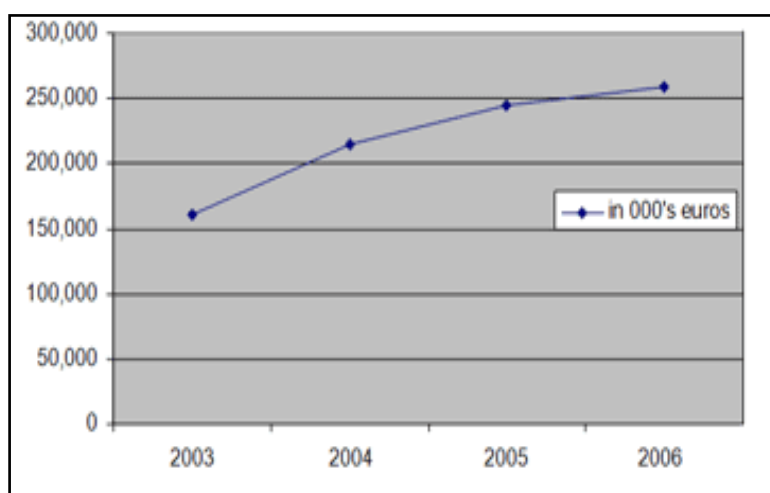
Η περιεκτικότητα των ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων σε νικέλιο είναι σχετικά χαμηλή, κυμαινόμενη συνήθως γύρω στο 1% (Πίνακας 1.1), ενώ σπάνια ξεπερνά το 1,2%. Τα ελληνικά κοιτάσματα είναι τα φτωχότερα στον κόσμο συγκρινόμενα με εκείνα της Νέας Καληδονίας και της Ρωσίας (2-3%) και του Αγ. Δομίνικου και του Oregon των ΗΠΑ (1,6-1,7%) (Καλλές, 1993).

Πίνακας 1.1 : Παραγωγή νικελίου 2002-2005 (<http://www.larco.gr>)

Έτος	2002	2003	2004	2005
Παραγωγή Ni (t)	19229	18000	18166	19235
Περιεκτικότητα σε Ni (%)	1,03%	1,00%	1,02%	1,04%

Το μέταλλευμα εξορύσσεται από τα κοιτάσματα στην περιοχή της Λοκρίδας (Αγ. Ιωάννης, Νησί, Μαγούλα, Βορ. Τομέας κ.α), της Κεντρικής Ευβοίας (Ισώμα Τριάδας, Άκρες) και της Καστοριάς (Ιεροπηγή-Άγ.Αθανάσιος) και στη συνέχεια οδηγείται στο πυρομεταλλουργικό εργοστάσιο της εταιρείας στη Λάρυμνα για την παραγωγή του σιδηρονικελιούχου κράματος.

Τα κέρδη της εταιρείας από το 2003 έως το 2006 έχουν μια αυξητική τάση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3: Κέρδη της ΛΑΡΚΟ κατά την περίοδο 2003-2006 (<http://www.larco.gr>)

Το μέγεθος και η επιτυχία των επιχειρήσεων της ΛΑΡΚΟ φαίνεται από την δυναμική ανοδική ανάπτυξη της κατά την περίοδο των τελευταίων τεσσάρων ετών. Ειδικότερα, το 2005 υπήρξε το καλύτερο έτος στην ιστορία της επιχείρησης με ρεκόρ εσόδων και παραγωγής, συνοδευμένα από χαμηλό κόστος παραγωγής. Παρήχθησαν συνολικά 19.235 τόνοι νικελίου, η εταιρία επένδυσε πάνω από 19 εκατομμύρια ευρώ και βελτίωσε την αποδοτικότητά και τα οικονομικά ποσοστά της (<http://www.larco.gr>).

1.4 Παγκόσμια βιομηχανία νικελίου

Οι κυριότερες χώρες παραγωγοί νικελίου παγκοσμίως είναι: η Νέα Καληδονία, ο Καναδάς, η Αυστραλία, η Ρωσία, η Βραζιλία, η Κίνα, η Κολομβία, η Κούβα, η Ελλάδα, και η Νότια Αφρική. Ωστόσο, σημαντικές μονάδες εμπλουτισμού νικελίου λειτουργούν στην Νορβηγία, Φιλανδία, Γαλλία, Ιαπωνία και στο Ηνωμένο Βασίλειο (<http://www.nickelinstitute.org/>).

Για την περίοδο 1997-2006, η παραγωγή πρωτογενούς νικελίου παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2: Παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς νικελίου περιόδου 1997-2006
(<http://www.insg.org>)

Primary Nickel Production (’000 tonnes)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 (revised)	2006 (preliminary)
Africa	52,5	53,9	53,4	50,2	52,9	55,0	54,0	54,8	55,5	56,0
America	257,5	264,1	238,5	253,0	274,1	290,5	281,4	313,1	309,9	324,5
Asia	178,3	175,1	187,7	221,8	213,5	220,3	238,9	249,5	271,1	303,5
Europe	411,3	424,5	419,2	403,1	445,5	433,7	451,4	468,5	485,3	503,1
Oceania	117,9	124,1	124,7	154,5	174,0	180,7	166,5	166,3	177,5	169,4
World Total	1017,6	1041,7	1023,5	1082,5	1160,0	1180,2	1192,2	1252,1	1299,3	1356,6

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι κατά τη δεδομένη περίοδο 1997-2006 η μεγαλύτερη παραγωγός πρωτογενούς νικελίου ήταν η Ευρώπη με ξεκάθαρη υπεροχή έναντι των άλλων ηπείρων. Δεύτερη στην παραγωγή ήταν η Αμερική, τρίτη η Ασία και ακολούθησαν η Ωκεανία και η Αφρική.

Το 2001 η Ευρωπαϊκή Ένωση παρήγαγε σχεδόν 8 εκατομμύρια τόνους ανοξείδωτου χάλυβα που περιέχει νικέλιο, δηλαδή περίπου το 40% της συνολικής παγκόσμιας παραγωγής και περισσότερο από κάθε άλλη περιοχή στον κόσμο. Επίσης, είναι μακράν ο μεγαλύτερος εξαγωγέας ανοξείδωτου χάλυβα – το 2001 οι εξαγωγές ήταν 1,8 εκατομμύρια τόνοι – πάνω από το 20% της παραγωγής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το μερίδιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην παγκόσμια παραγωγή έχει

αυξηθεί σταθερά τα τελευταία χρόνια και η παραγωγή της έρχεται δεύτερη μετά από εκείνη των ΗΠΑ.

Στον Πίνακα 1.3 φαίνεται η κατανάλωση προϊόντων νικελίου από το 1997 μέχρι το 2006 με κυρίαρχες την Ευρώπη και την Ασία.

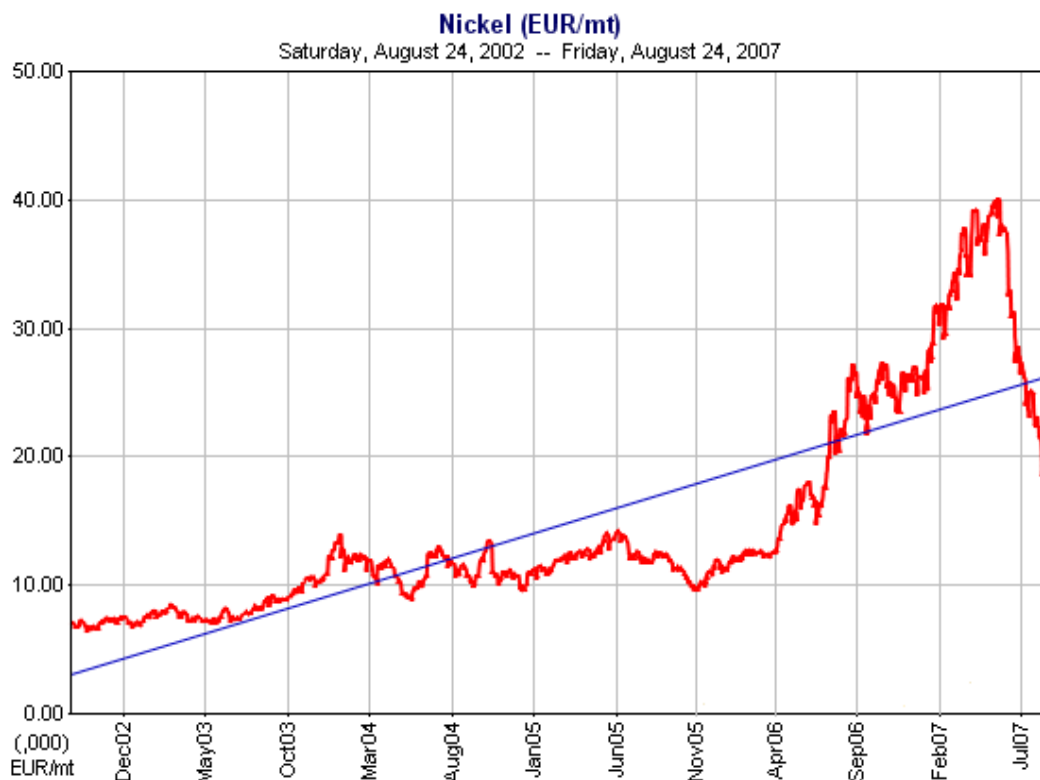
Πίνακας 1.3.: Παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς νικελίου περιόδου 1997-2006
(<http://www.insg.org>)

Primary Nickel Usage ('000 tonnes)	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005 (revised)	2006 (preliminary)
Africa	31,0	31,2	33,2	32,2	31,2	35,9	45,5	45,5	32,0	42,0
America	185,3	183,2	193,4	193,3	170,7	159,7	159,0	164,6	173,7	183,9
Asia	409,2	377,0	430,4	465,0	441,5	501,2	550,4	579,6	592,1	682,5
Europe	389,0	415,7	422,5	430,1	458,4	476,0	461,0	454,3	447,2	489,2
Oceania	1,9	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,7	2,0	2,8	2,9
World Total	1016,4	1009,2	1081,6	1122,6	1103,8	1174,8	1218,6	1245,9	1247,8	1400,6

Στον Πίνακα 1.3 φαίνεται ξεκάθαρα ότι την πρώτη θέση στην κατανάλωση πρωτογενούς νικελίου για την περίοδο 1997-2006 μοιράζονται εναλλάξ η Ευρώπη με την Ασία και δεύτερη είναι η Αμερική. Με μικρότερη κατανάλωση ακολουθούν η Αφρική και η Ωκεανία.

Η ζήτηση για νικέλιο στην Ευρώπη και στην Αμερική έχει μειωθεί κατά την περίοδο 1997-2002, ενώ αυξήθηκε στην Ασία και στις χώρες του πρώην Ανατολικού Μπλοκ. Η ζήτηση αναμένεται να συνεχίσει την ανοδική της πορεία με ρυθμό 2-3% το χρόνο. Ο ανοξείδωτος χάλυβας συμμετέχει περίπου στα 2/3 της κατανάλωσης νικελίου σε σχέση με το 1/3 που ήταν τις περασμένες τρεις δεκαετίες. Η αγορά του ανοξείδωτου χάλυβα αναπτύσσεται με ρυθμό περίπου 5-6% ανά έτος (<http://www.insg.org>).

Η τιμή του νικελίου επηρεάζει αλλά και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την παγκόσμια αγορά των μη σιδηρούχων μετάλλων. Η διακύμανση της τιμής του νικελίου την περίοδο 24/08/2002 έως 24/08/2007 παρουσιάζεται ακολούθως (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4: Διακύμανση της τιμής του νικελίου (€ /metric tonne) (08/2002 -08/2007)
(<http://www.infomine.com>)

Η παγκόσμια αγορά νικελίου παρουσίασε ραγδαία οικονομική ανάπτυξη κατά το 2003. Στις 31 Οκτωβρίου 2002 η τιμή του σύμφωνα με το LME (London Metal Exchange) ήταν περίπου 7000 US\$ ανά τόνο. Η τιμή αυτή αυξήθηκε σταθερά τους επόμενους δώδεκα μήνες και έφτασε τα 11000 US\$ ανά τόνο. Θεωρείται ότι η άνθιση της αγοράς του νικελίου θα συνεχιστεί τα επόμενα χρόνια και η ζήτηση πρωτογενούς νικελίου θα ακολουθήσει ανοδική πορεία, λόγω της γοργά αυξανόμενης ζήτησης για ανοξείδωτο χάλυβα στην Κίνα (<http://www.em.csiro.au>).

Στο Σχήμα 1.4 παρατηρείται ξεκάθαρα η ανοδική πορεία της τιμής του νικελίου για την περίοδο 2002-2007. Η αύξηση της τιμής του νικελίου τα τελευταία χρόνια επηρέασε θετικά την κερδοφορία της εταιρίας ΛΑΡΚΟ. Ενισχύθηκε η παραγωγικότητα και αντίστοιχα αυξήθηκαν οι πωλήσεις. Η εταιρία μέσω του επενδυτικού της έργου ανανέωσε και εκσυγχρόνισε τον εξοπλισμό και τις εγκαταστάσεις της με αποτέλεσμα την βελτίωση της δυναμικότητάς της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

2.1 Προέλευση νικελίου

Υπάρχουν δυο τύποι κοιτασμάτων από τα οποία προέρχεται το νικέλιο:

- Από τους λατερίτες, οι οποίοι συνεισφέρουν κατά 60% στην παγκόσμια παραγωγή νικελίου. Οι σημαντικότερες χώρες παραγωγής νικελίου από λατεριτικά κοιτάσματα είναι: Ρωσία, Αλβανία, Ελλάδα, Αυστραλία, Νέα Καληδονία, Κούβα.
- Από θειούχα κοιτάσματα, τα οποία προσφέρουν το υπόλοιπο 40% στην παγκόσμια παραγωγή. Η σύσταση των θειούχων κοιτασμάτων αποτελείται από πυροτίνη (Fe_{1-x}S), πεντλαντίτη $(\text{FeNi})_9\text{S}_8$, χαλκοπυρίτη (CuFeS_2) και μαγνητίτη (Fe_3O_4), με τον πεντλαντίτη να είναι το κύριο ορυκτό του νικελίου. Οι κυριότερες χώρες παραγωγής νικελίου από θειούχα κοιτάσματα είναι: Καναδάς, Αυστραλία, Ρωσία, Ν. Αφρική, Κίνα, Η.Π.Α. (<http://www.pir.sa.gov.au>, <http://www.portgeo.com>).

2.2 Γένεση των λατεριτικών κοιτασμάτων

Οι λατερίτες είναι πετρώματα που σχηματίζονται από χημική αποσάθρωση υπερβασικών, βασικών ή/και όξινων πετρωμάτων σε τροπικά ή υποτροπικά περιβάλλοντα (Χρηστίδης, 2002).

Κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

- i. Νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα
- ii. Σιδηρολατεριτικά κοιτάσματα
- iii. Βωξίτες

Η διεργασία της λατεριτώσης έχει ως εξής: το μετεωρικό νερό είναι ελαφρώς όξινο εξαιτίας του διαλυμένου σε αυτό CO_2 . Το εδαφικό νερό έχει επίσης όξινο pH (4 με 5) αφού περιέχει διάφορα χουμικά οξέα. Όλα τα πετρογενετικά ορυκτά είναι διαλυτά υπό κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες, δηλ. αυτές που δημιουργούνται από όξινα και οξειδωτικά εδαφικά ύδατα. Κατ'αυτόν τον τρόπο τα ορυκτά αποσυντίθενται μέσω της μετακίνησης ορισμένων στοιχείων σε βαθύτερους ορίζοντες και της παραμονής των άλλων στις θέσεις αποσάθρωσης. Έτσι, στα τροπικά κλίματα όπου η συγκέντρωση των χουμικών οξέων είναι επαρκής, η έκπλυση χημικών στοιχείων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική. Ως αδιάλυτα στην επιφάνεια παραμένουν μόνο ο Fe και το Al, σχηματίζοντας οξείδια.

Τα εδάφη πλούσια σε Fe και Al ονομάζονται λατερίτες. Τα λατεριτικά εδάφη των τροπικών-υποτροπικών ζωνών αποτελούνται κατά κύριο λόγο από οξείδια, ενώ τα λατεριτικά εδάφη των εύκρατων κλιμάτων είναι πλούσια σε πυριτικές ενώσεις [21].

2.3 Νικελιούχοι λατερίτες

Σε αυτή την κατηγορία οι λατερίτες προέρχονται από χημική αποσάθρωση υπερβασικών πετρωμάτων (δουνίτες, περιδοτίτες και των μεταμορφωμένων αναλόγων τους, τους σερπεντινίτες). Το Ni υπάρχει σε μικρά ποσά στο πλέγμα ορυκτών όπως ο ολιβίνης (0,3% Ni) και οι πυρόξενοι (0,03-0,06% Ni) αντικαθιστώντας το Mg. Ένας περιδοτίτης περιέχει περίπου 0,2% Ni και ένας πυροξενίτης 0,15% Ni.

Οι σερπεντινίτες περιέχουν λίγο μεγαλύτερα ποσοστά νικελίου. Η αποσάθρωση οδηγεί σε απομάκρυνση του Mg, του Si και του Ca και συντελεί στη δημιουργία λατερίτη εμπλουτισμένου σε Ni. Το νικέλιο βρίσκεται κυρίως σε δευτερογενή πυριτικά ορυκτά, όπως ο πιμελίτης (νικελιούχος τάλκης), ο νεπουίτης (νικελιούχος σερπεντίνης) ή ο νιμίτης (νικελιούχος χλωρίτης) [20].

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν τη γένεση των νικελιούχων λατεριτών

Η λατεριτίωση είναι μια διαδικασία ιδιαίτερα αποτελεσματική αφού μπορεί να οδηγήσει σε εμπλουτισμό σε νικέλιο από 10 έως 30 φορές της αρχικής. Οι παράγοντες που ευνοούν τον σχηματισμό των νικελιούχων λατεριτών είναι οι ακόλουθοι [21]:

- i. Σταθερό τροπικό κλίμα που ευνοεί την χημική αποσάθρωση σε βάθος
- ii. Μεγάλες εμφανίσεις υπερβασικών πετρωμάτων
- iii. Κλίση 20^0 στα πρηνή
- iv. Επίπεδο ανάγλυφο των εμφανίσεων, ώστε να υπάρχει σταθερή και αργή κίνηση νερού κάτω από την επιφάνεια
- v. Χρόνος

2.5 Ελληνικά λατεριτικά κοιτάσματα

Βάσει του τρόπου γένεσής τους τα ελληνικά σιδηρονικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες (Μαράτος, 1960,1972):

- Αυτόχθονα, τα οποία σχηματίστηκαν μέσω χημικής αποσάθρωσης προϋπαρχόντων πετρωμάτων. Τα υλικά που έχουν αποσαθρωθεί και διαλυθεί απομακρύνονται, ενώ το υπόλειμμα συνεχώς εμπλουτίζεται σε μη διαλυτά και ανθεκτικά υλικά. Έτσι, πραγματοποιείται συνεχής εμπλουτισμός χωρίς την μετακίνηση του μεταλλεύματος από το μητρικό πέτρωμα (in situ).
- Ετερόχθονα, στα οποία το μέταλλευμα οδηγείται και αποτίθεται δευτερογενώς πάνω σε ιζηματογενή πετρώματα (ασθεστολίθους) υπό την επίδραση διάφορων εξωγενών παραγόντων.

Σύμφωνα με τον Augustithis (1962) εισάγεται και μια τρίτη κατηγορία μεταλλευμάτων, τα ψευδοαυτόχθονα. Τα μεταλλεύματα αυτά μεταφέρονται από τα μητρικά πετρώματα και αποτίθενται πάλι πάνω σε οφιόλιθους.

Στη συνέχεια, υπάρχουν δυο τύποι ελληνικών κοιτασμάτων λατεριτικής γένεσης: οι βωξίτες και τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα.

A) Οι βωξίτες: Είναι λατερίτες πλούσιοι σε Al_2O_3 και φτωχοί σε SiO_2 και Fe_2O_3 , οι οποίοι αποτελούνται από μείγμα υδροξειδίων του αργιλίου και παρουσιάζουν αξιοσημείωτη διακύμανση στο περιεχόμενό τους σε αργίλιο. Τα υδροξείδια αυτά είναι ο βαιμίτης ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), το διάσπορο ($\alpha\text{-AlOOH}$) και ο υδραργυλλίτης ή γκιψίτης ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Οι προσμίξεις που απαντούν στους βωξίτες είναι ο καολινίτης, άλλοϋσίτης, νοντρονίτης, διάφορα υδροξείδια του σιδήρου (γκαιίτης, λειμωνίτης), αιματίτης, οξείδια του τιτανίου κ.α.[22].

Η σύσταση ενός τυπικού βωξίτη είναι:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------|
| – 35-65% Al_2O_3 | – 1-3% TiO_2 |
| – 2-10% SiO_2 | – 10-30% H_2O |
| – 2-20% Fe_2O_3 | |

Οι βωξίτες αποτελούν την κύρια πηγή αλουμινίου. Το μέταλλο αυτό είναι ελαφρύ και δεν σκουριάζει εύκολα, γι'αυτό βρίσκει πολλές εφαρμογές. Σχηματίζει κράματα με άλλα ελαφρά μέταλλα τα οποία χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική. Όσον αφορά τις μη μεταλλουργικές εφαρμογές του αλουμινίου, οι κυριότερες είναι στη χημική βιομηχανία (πρώτη ύλη για ενώσεις του αργιλίου) και η παρασκευή όξινων πυρίμαχων υλικών και η παρασκευή λειαντικών υλικών. Η Αυστραλία είναι η πρώτη βωξιτοπαραγωγός χώρα στον κόσμο. Τα κοιτάσματα είναι λατεριτικοί βωξίτες που προέρχονται από χημική αποσάθρωση καολινιτικών άμμων και κρυσταλλικών πετρωμάτων [22].

Στην Ελλάδα, υπάρχουν καρστικοί βωξίτες στις ζώνες Παρνασσού – Γκιώνας και Ανατολικής Ελλάδας μέσα σε ασβεστόλιθους. Βωξιτικές εμφανίσεις χωρίς, όμως,

οικονομική σημασία υπάρχουν στη ζώνη Γαβρόβου–Τριπόλεως. Αναλυτικότερα, στη ζώνη Παρνασσού–Γκιώνας διακρίνονται τρεις κύριοι βωξιτικοί ορίζοντες και ένας ενδιάμεσος. Ο πρώτος έχει ηλικία Μέσο-Ιουρασικό-Κιμμερίδιο, ο δεύτερος Τιθώνιο-Κατώτερο Κρητιδικό και ο τρίτος Κενομάνιο-Τουρώνιο έως Σενώνιο.

Ο πιο σημαντικός από άποψη αποθεμάτων ορίζοντας είναι ο τρίτος. Ο ενδιάμεσος τοποθετείται μεταξύ δευτέρου και τρίτου και παρατηρείται μόνο κατά θέσεις. Τα κοιτάσματα της ζώνης βρίσκονται στο ορεινό σύμπλεγμα Παρνασσού–Γκιώνας–Ελικώνα–Οίτης. Στην Ανατολική Ελλάδα υπάρχουν δυο ορίζοντες βωξιτών, ο πρώτος ταυτίζεται με τον αντίστοιχο πρώτο της ζώνης Παρνασσού–Γκιώνας, ενώ ο δεύτερος αναπτύσσεται μεταξύ Ανωκρητιδικής επίκλυσης και Κενομάνιου Τουρώνιου. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει τα κοιτάσματα σε Καλλίδρομο, Λοκρίδα, Δομοκό, Ν.Α Θεσσαλία και Μάνδρα–Ελευσίνα.

Τέλος, η σύσταση των Ελληνικών βωξιτών είναι η εξής: Al_2O_3 55-57%, SiO_2 4-5%, Fe_2O_3 21-25%, TiO_2 2,5-3%, CaO 0,5-2%, H_2O 8-13%. Η Ελλάδα είναι μέσα στις 10 πρώτες βωξιτοπαραγωγές χώρες, πρώτη στην ΕΟΚ με παραγωγή της τάξης των 3 εκατομμυρίων τόνων ανά έτος περίπου [22].

B) Τα σιδηρονικελιούχα: Γενικά, σχηματίζονται από χημική αποσάθρωση πετρωμάτων που περιέχουν σίδηρο. Ο σίδηρος μπορεί να προέρχεται από [21]:

- Φλεβικά κοιτάσματα σιδηρίτη ή σουλφιδίων του σιδήρου
- Ασβεστόλιθους που έχουν μερικώς αντικατασταθεί από ορυκτά του σιδήρου ή περιέχουν στη μάζα τους διάσπαρτα σιδηρούχα συστατικά
- Βασικά ή υπερβασικά πετρώματα
- Σιδηρούχα πυριτικά ιζήματα

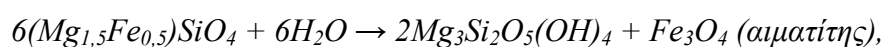
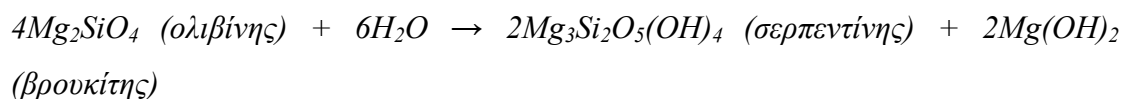
Η πιο ενδιαφέρουσα κατηγορία είναι αυτή των βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων. Κατά την αποσάθρωση των τελευταίων σε εύκρατα κλίματα, δεν απομακρύνεται το πυρίτιο με αποτέλεσμα να εμφανίζεται σε αυξημένη περιεκτικότητα. Αντίθετα, στα τροπικά κλίματα απομακρύνονται όλα τα στοιχεία εκτός από αργίλιο και σίδηρο με αποτέλεσμα να σχηματίζονται ένυδρα υδροξείδια

των παραπάνω στοιχείων. Από αυτή τη διαδικασία σχηματίζονται μεγάλα κοιτάσματα σιδήρου με υψηλή περιεκτικότητα σε αργίλιο, φώσφορο και πυρίτιο. Η διαδικασία της λατεριτώσης αυτής της μορφής μπορεί να σχηματίσει και βωξίτες αν η αρχική περιεκτικότητα σε Al είναι αυξημένη.

Η γένεσή των Ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων συνδέεται με την λατεριτική αποσάθρωση πετρωμάτων οφιολιθικών συμπλεγμάτων και την απόθεση των προϊόντων της αποσάθρωσης είτε *in situ* (αυτόχθονα), είτε ως χημικά ιζήματα σε καρστικά έγκοιλα Τριαδικών-Ιουρασικών ασβεστόλιθων ή πάνω από σερπεντινωμένα υπερβασικά πετρώματα (ετερόχθονα), καλυπτόμενα στη συνέχεια από Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους. Σε ορισμένες περιοχές (περιθώρια Μεσοελληνικής αύλακας), τα λατεριτικά προϊόντα καλύπτονται από Ολιγοκαινικά ή Μεσοκαινικά μολассικά ιζήματα. (Μπίτζιος, 2001). Τα κοιτάσματα των νικελιούχων μεταλλευμάτων προκύπτουν από τους πλούσιους σε ολιβίνη περιδοτίτες. Το νικέλιο παράγεται από την εκχύλιση του ολιβίνη, του σερπεντίνη και νικελιούχου μαγνητίτη. Ο τελευταίος προέρχεται υδροθερμικά από τον ολιβίνη πριν το στάδιο της αποσάθρωσης (Κομνίτσας, 2005). Οι ολιβίνες των δουνιτών περιέχουν λίγο νικέλιο (Ni^{2+}) μέχρι 0,3% (Θεοδωρίκας, 1997).

Από τη λατεριτική αποσάθρωση προκύπτουν δυο ζώνες μεταλλευμάτων: η ανώτερη ζώνη, πλούσια σε οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου (λειμονιτική) και η κατώτερη εμπλουτισμένη σε οξειδία μαγνησίου και πυριτίου και πτωχή σε σίδηρο (σαπρολιθική). Το νικέλιο βρίσκεται κυρίως στη σαπρολιθική ζώνη, ενώ ένα ποσοστό του συνυπάρχει και στη λειμονιτική ζώνη ως νικελιούχος λειμονίτης $(Fe,Ni)O(OH) \cdot n H_2O$.

Η αποσάθρωση του ολιβίνη λαμβάνει χώρα με τις παρακάτω αντιδράσεις (Κομνίτσας, 2005):



Η λειμονιτική ζώνη περιέχει ένυδρα ή μη οξείδια του σιδήρου (γκαιτίτης, αιματίτης, λεπιδοκροκίτης) και ένυδρα οξείδια του αλουμινίου (γκιψίτης). Ακόμη, στην ζώνη αυτή συναντώνται καολινίτες, μοντμοριλλονίτες, χρωμίτες και ένυδρα οξείδια του μαγγανίου, ενώ το νικέλιο βρίσκεται στο πλέγμα του γκαιτίτη. Η σαπρολιθική ζώνη περιέχει κυρίως σιδηρονικελιούχα πυριτικά ορυκτά όπως σερπεντίνες, μοντμοριλλονίτες, σεπιολίθους, τάλκη και χλωρίτες.

Οι δυο τύποι λατεριτικών νικελιούχων μεταλλευμάτων που απαντώνται στην Ελλάδα σε φακοειδή μορφή βρίσκονται στις περιοχές Λοκρίδας και Εύβοιας και είναι:

- Τα σιδηρονικελιούχα ιζηματογενή (γνωστά ως αιματιτικού-λειμονιτικού τύπου λατερίτες)
- Τα πυριτικά νικελιούχα (γνωστά ως γαρνιεριτικού τύπου λατερίτες)

Από τους παραπάνω τύπους κυριαρχεί ο πρώτος με κύριες εμφανίσεις στη Σκύρο, Κεντρική Εύβοια, Πάρνηθα και Βοιωτία. Οι γαρνιεριτικού τύπου λατερίτες βρίσκονται κυρίως στην Καστοριά και στην Έδεσσα με επέκταση της ίδιας μεταλλοφορίας και βόρεια των Ελληνικών συνόρων [10].

Στον ελληνικό χώρο έχουν περιγραφεί πάνω από 110 μικρές αλλά και μεγάλες εμφανίσεις σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι η ταυτόχρονη παρουσία νικελίου, σιδήρου, χρωμίου και κοβαλτίου. Η συγκέντρωση των παραπάνω στοιχείων συνδέεται κατά άμεσο τρόπο με τη διαδικασία γένεσης των μεταλλευμάτων και οφείλεται στη λατεριτική αποσάθρωση πετρωμάτων οφιολιθικών συμπλεγμάτων. Η περιεκτικότητα των ελληνικών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων σε νικέλιο είναι σχετικά χαμηλή και κυμαίνεται γύρω στο 1%, ενώ σπάνια ξεπερνά το 1,2%. Η περιεκτικότητα των μεταλλευμάτων σε σίδηρο κυμαίνεται μεταξύ 20-79% και τα λοιπά συστατικά τους είναι κυρίως οξείδια του αργιλίου, πυριτίου καθώς και 2-3% οξείδια του μαγνησίου και του χρωμίου.

Στον ελληνικό χώρο αυτόχθονα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα βρίσκονται στις περιοχές της Τσούκας και του Λουτσίου στη Λοκρίδα, καθώς και στην κεντρική Εύβοια και τη Σκύρο, ενώ μικρότερα κοιτάσματα στην Έδεσσα, Πάρνηθα, Μυτιλήνη και Κοζάνη. Ετερόχθονα κοιτάσματα είναι εκείνα της Λάρυμνας, του Μαρμέικου κ.α στη Λοκρίδα. Στο Σχήμα 2.1 παρατηρούνται οι εμφανίσεις των σιδηρονικελιούχων

κοιτασμάτων στην Ελλάδα. Τα σπουδαιότερα κοιτάσματα που βρίσκονται υπό καθεστώς εκμετάλλευσης στον ελλαδικό χώρο είναι του Αγ. Ιωάννη, του Μαρμείκου, της Τσούκας και της Εύβοιας στην Κεντρική Ελλάδα, της Καστοριάς στη Βόρεια Ελλάδα (Αλεβίζος, 2001) και το κοιτάσμα Bitincka στην Αλβανία (Αποστολίκας κ.α., 2000).



Σχήμα 2.1: Εμφανίσεις σιδηρονικελιούχων σχηματισμών στον ελλαδικό χώρο (Μιχαηλίδης, 1982)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥΧΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΟΜΝΗΝΩΝ ΒΕΡΜΙΟΥ

3.1 Γεωλογία της περιοχής

Η μελετώμενη περιοχή αποτελεί γεωγραφικό τμήμα του Ν.Δ Βερμίου και οι λιθολογικοί σχηματισμοί που απαντώνται προσδιορίζουν το ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής Ζώνης και τις παρυφές της Δυτικής Αλμωπίας (Braud, 1967, Braud et al., 1984).

Κατά την διάρκεια της εφαιστομενικά συμπιεστικής τεκτονικής φάσης του Κατώτερου Ιουρασικού οι οφιόλιθοι των ανατολικών περιοχών του Βερμίου, καθώς επίσης και της Δυτικής Κοζάνης-Βούρινου-Κράπας-Ασπρόκαμπου, επωθήθηκαν πάνω στους μετα-ηφαιστειοζηματογενείς σχηματισμούς και τα μάρμαρα της Πελαγονικής Ζώνης (Mercier, 1968, Spray et al., 1984) και τα κινηματικά στοιχεία μαρτυρούν μια κίνηση κατευθυνόμενη από νοτιοδυτικά (SW) προς βορειοανατολικά (NE) (Naylor & Harle, 1976, Grivas et al., 1993). Σύμφωνα με τους Smith et al.(1979), Smith & Spray (1984) Jones & Robertson (1991) και Smith (1993), η προέλευσή τους τοποθετείται στην παλαιογραφική περιοχή της «αύλακας της Πίνδου», που εκτείνεται δυτικά του Πελαγονικού ηπειρωτικού περιθωρίου.

Τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα του Βερμίου, εμφανίζονται κυρίως στη δυτική του πλαγιά και η στρωματογραφική τους θέση είναι όμοια με αυτή των μεταλλευμάτων της Εύβοιας, της Ιεροπηγής και της Αλβανίας. Τα κοιτάσματα απαντώνται πάντοτε πάνω σε περιδοτίτες και είναι επικλυσιγενώς επικαλυμμένα από ανθρακικά πετρώματα του Μέσου Κρητιδικού ή καλύπτονται από μολασσικά κροκαλοπαγή του Μειόκαινου (Mountrakis, 1982).

Η νοτιοδυτική πλευρά του Βερμίου αποτελείται από μια σειρά σχηματισμών (που είναι χαρακτηριστικοί της Πελαγονικής Ζώνης) και απαρτίζονται, ξεκινώντας από τη βάση προς την οροφή, διαδοχικά από:

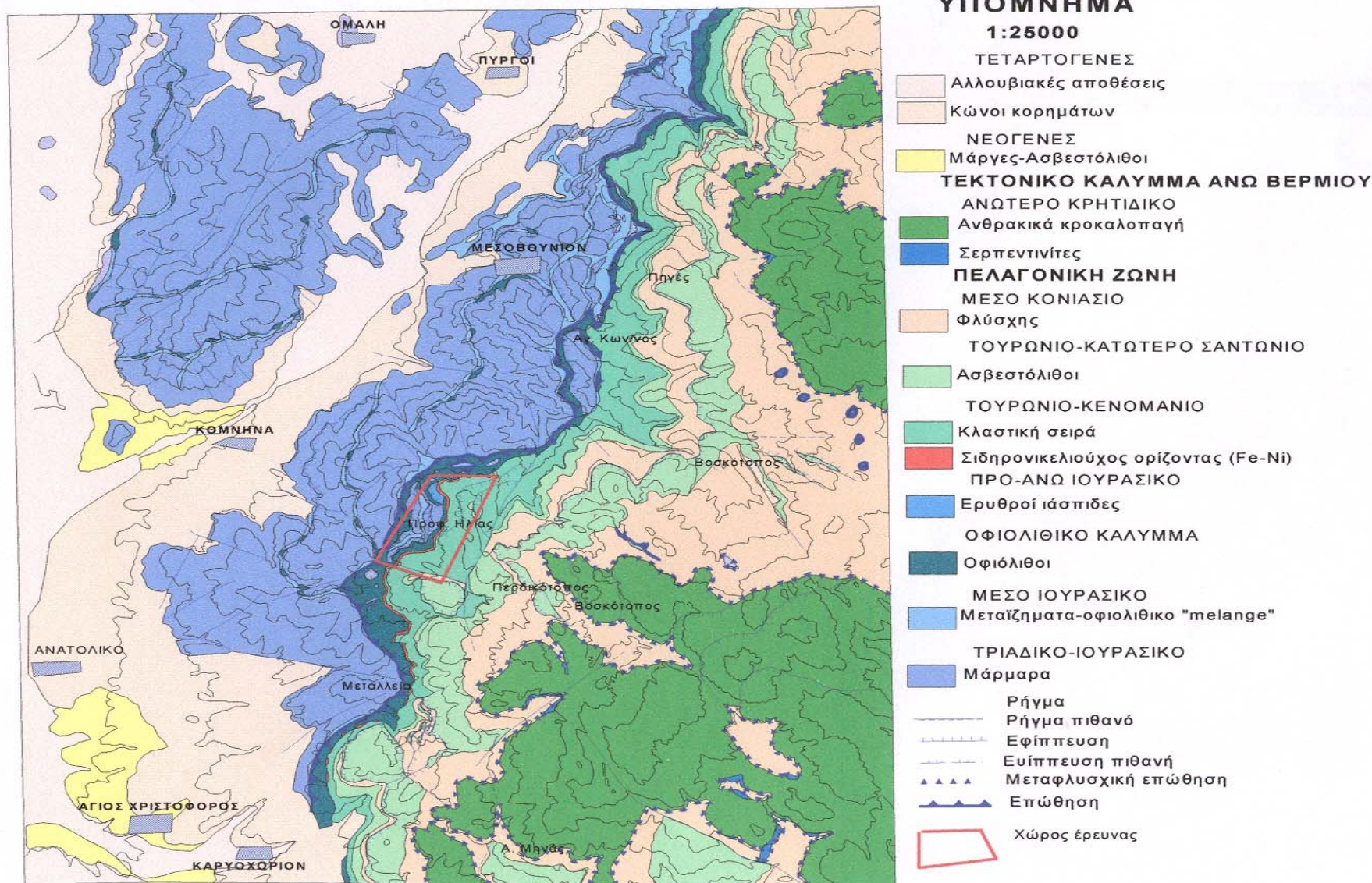
- ο Μάρμαρα Τριαδικής-Ιουρασικής ηλικίας υπερκείμενα από μεταιζήματα (σχιστόλιθοι).
- ο Οφιολιθικό κάλυμμα αποτελούμενο από διαμελισμένες ενότητες σερπεντινωμένων χαρτσβουργιτών και δουνιτών που φιλοξενεί τον λατεριτικό μεταλλοφόρο ορίζοντα.
- ο Κροκαλοπαγή και κλαστικά ροής ανθρακικών κυρίως σχηματισμών.
- ο Ασβεστόλιθοι με ρουδιστές
- ο Φλύσχος

Ειδικότερα, η σειρά των μαρμάρων αποτελείται από αλλεπάλληλα στρώματα πάχους 10-50 cm λεπτοκρυσταλλικών μαρμάρων. Τα ανώτερα τμήματα αυτών γίνονται λεπτοταινιώδη με ψευδοστρώσεις και κονδύλους λευκών πυριτιολίθων, ενώ στα κατώτερα τμήματα συναντώνται κυρίως δολομιτικά μάρμαρα στα οποία υπάρχουν φύκη Τριαδικής ηλικίας. Το οφιολιθικό κάλυμμα επεκτείνεται σε μια επιμήκη ζώνη μήκους 40 km και πλάτους μερικών δεκάδων έως εκατοντάδων μέτρων και συνίσταται από διαμελισμένους και παραμορφωμένους (λόγω θραυσιγενούς καταπόνησης και μυλονιτίωσης) σερπεντινωμένους τεκτονίτες που αποτελούνται από χαρτζβουργίτη και δουνίτη με υψηλές συγκεντρώσεις χρωμίτη. Οι ανθρακικοί κροκαλοπαγείς σχηματισμοί αναπτύσσονται ασύμφωνα επί του σιδηρονικελιούχου ορίζοντα ή και επί των υπερβασικών διαμέσου ενός αργιλοπυριτικού σχηματισμού. Οι σχηματισμοί είναι συμπαγείς, ποικίλου πάχους και αποτελούνται από καλά αποστρογγυλωμένες ανθρακικές κροκάλες που προέρχονται κυρίως από τα Τριαδικά-Ιουρασικά μάρμαρα και φέροντας πεπλατυσμένα τεμάχια σχιστόλιθων-πρασινοςχιστόλιθων εντός ανθρακικής και πηλιτικής συνδετικής ύλης. Πάνω από τους κλαστικούς ασβεστόλιθους συναντώνται κοραλλιογενείς ασβεστόλιθοι με ρουδιστές του Σενωνίου, ακολουθούμενοι από τεφρόλευκους ασβεστόλιθους πλούσιους σε οργανογενή θραύσματα (ρουδιστών, ελασματοβραγχίων κτλ) και στα ανώτερα τμήματά τους εξελίσσονται σε μικριτικούς ασβεστόλιθους πλούσιους σε Globoturcana Μαιστριχτίου ηλικίας. Τέλος, ο φλύσχος αναπτύσσεται επί των κοραλλιογενών ασβεστόλιθων και μεταβαίνει προς τα επάνω από έντονα μαργαικό και ιλυολιθικό σχηματισμό σε ψαμμιτικές και κροκαλοπαγείς εναλλαγές πλούσιες σε χαλαζιακές κροκάλες και υλικά που προέρχονται από τη διάβρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του υποβάθρου της Πελαγονικής Ζώνης (Ηλιόπουλος et al., 2000).

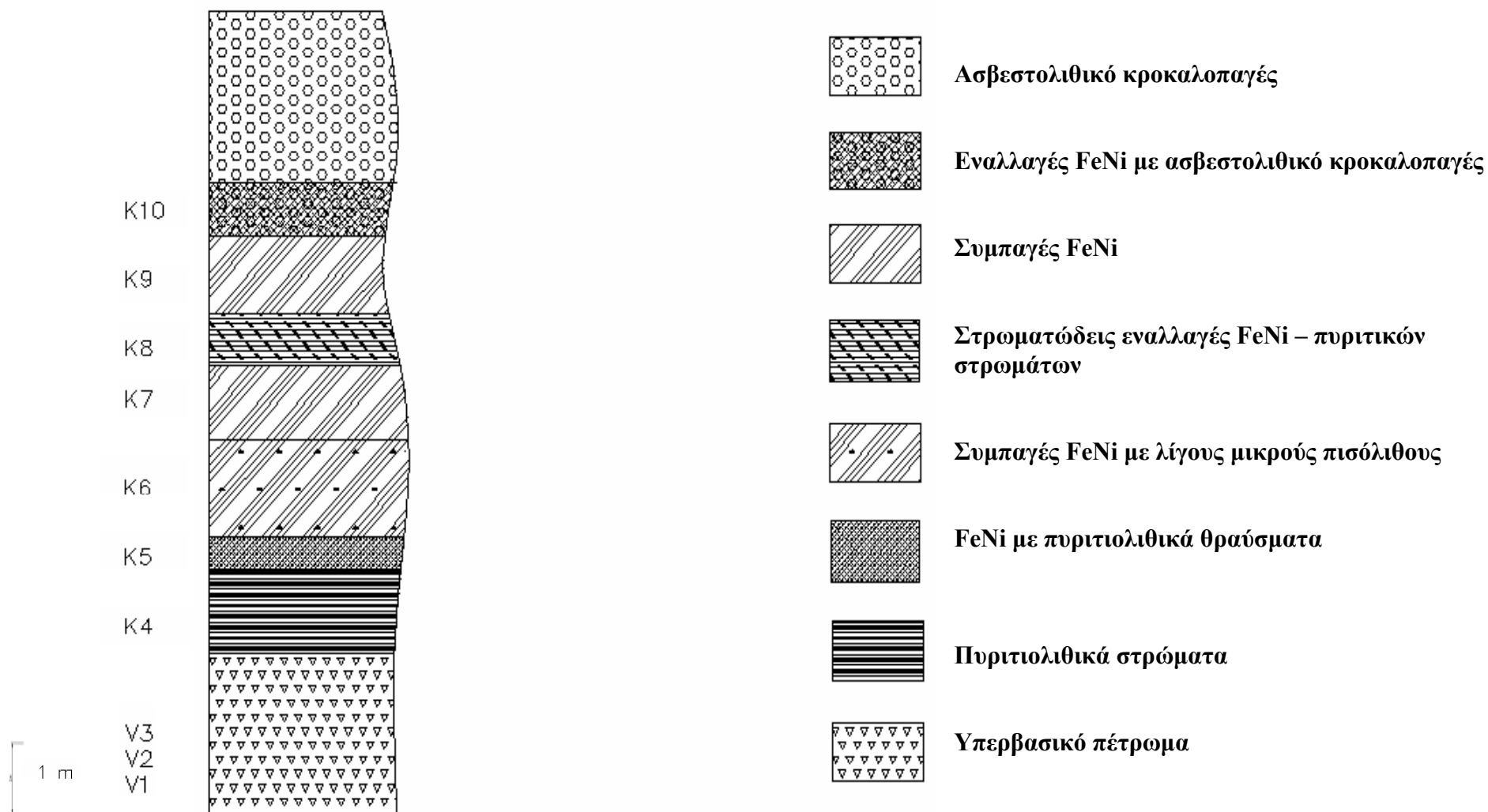
Τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα της περιοχής του Δυτικού Βερμίου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (Ηλιόπουλος κ.α., 2000):

- Αυτόχθονα (Προφήτης Ηλίας): ο εξαλλοιωμένος φλοιός (ζώνη του σαπρολίτη) καλύπτεται από μια ζώνη έντονα πυριτιωμένη στη βάση της και διασχίζεται από φλεβίδια ασβεστίτη. Το ανώτερο τμήμα της παρουσιάζει έντονη πυριτίωση και αιματιτίωση. Στη ζώνη αυτή εμφανίζεται η σιδηρονικελιούχος μεταλλοφορία και έχει πάχος 5-7 m. Στη βάση της η μεταλλοφορία είναι πηλιτικού τύπου και διαβαθμίζεται σταδιακά σε πisolιθική. Το μέταλλευμα συνίσταται από αιματίτη, γκαιτίτη, χαλαζία, χλωρίτη, ασβεστίτη και χρωμίτη. Στα κατώτερα τμήματα της μεταλλοφορίας υπάρχει τάλκης, ενώ στα ανώτερα ιλλίτης.
- Ετερόχθονα (Μεταλλεία): το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα αναπτύσσεται πάνω σε υπερβασικά πετρώματα και μάλιστα ο σερπεντινίτης (όπου και παρατηρείται η μεταλλοφορία) προέρχεται από σερπεντινίωση ενός πυροξενικού περιδοτίτη χωρίς την παρουσία ζώνης μετάβασης. Η μεταλλοφορία αφορά ιζηματογενές σιδηρούχο μέταλλευμα που στη βάση του έχει πυριτική σύσταση και η κορυφή του πολύμικτο κλαστικό μέταλλευμα (το συνδετικό υλικό του οποίου είναι μείγμα αργιλικών ορυκτών και οξειδίων του σιδήρου). Τέλος, το πάχος του σχηματισμού είναι 10-15 m, με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο και σίδηρο.
- Βωξιτικοί λατερίτες (Παρχάρι): ανιχνεύονται περίπου 1 km βόρεια του Προφήτη Ηλία και αναπτύσσονται πάνω σε έντονα εξαλλοιωμένους περιδοτίτες. Η μεταλλοφορία συνίσταται κυρίως από αιματίτη, γκαιτίτη, ιλλίτη, βοημίτη, χλωρίτη (πλούσιο σε σίδηρο), ασβεστίτη, χαλαζία, χρωμίτη και έχουν βρεθεί, ωστόσο, μικρές ποσότητες θειούχων ορυκτών.

Στο Σχήμα 3.1 που ακολουθεί απεικονίζεται ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής των Κομνηνών Βερμίου και έχει κλίμακα 1:25.000, ενώ στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η λιθοστρωματογραφική στήλη του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος. Σημειώνεται ότι το μέσο πάχος του κοιτάσματος είναι 6m.



Σχήμα 3.1 : Γεωλογικός χάρτης περιοχής Κομνηνών Βερμίου



Σχήμα 3.2: Λιθοστρωματογραφική στήλη του σιδηρονικελιούχου κοιτάσματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΑΓΩΓΗΣ ΣΙΔΗΡΟΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

4.1 Μέθοδοι εξαγωγής νικελίου από λατερίτες

Περίπου το 80% των παγκοσμίων αποθεμάτων νικελίου βρίσκεται σε οξειδωμένα μεταλλεύματά του, όμως το 80% της παραγωγής του μετάλλου προέρχεται από τα θειούχα μεταλλεύματα (Κομνίτσας, 1988).

Το γεγονός οφείλεται στο ότι τα οξειδωμένα μεταλλεύματα είναι πτωχά σε νικέλιο και δεν εμπλουτίζονται εύκολα, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις η πυρομεταλλουργική επεξεργασία απαιτεί υψηλό κόστος και σημαντική κατανάλωση ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, η επεξεργασία θειούχων μεταλλευμάτων χρησιμοποιεί σχετικά φθηνές μεθόδους εμπλουτισμού και απαιτεί χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και παρέχει τη δυνατότητα ανάκτησης παραπροϊόντων. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται σήμερα για την εξαγωγή νικελίου από λατεριτικά κοιτάσματα διακρίνονται σε πυρομεταλλουργικές και υδρομεταλλουργικές. Το 75% του παραγόμενου νικελίου από οξειδωμένα μεταλλεύματα παράγεται με πυρομεταλλουργικές μεθόδους.

Ωστόσο, τα σημαντικότερα κριτήρια για την επιλογή της μεθόδου επεξεργασίας είναι η χημική σύσταση του μεταλλεύματος: ο λόγος Ni:Mg για την επιλογή υδρομεταλλουργικής μεθόδου και οι λόγοι Mg:SiO₂ και Mg:Fe για την επιλογή πυρομεταλλουργικής μεθόδου. Το τελικό προϊόν της πυρομεταλλουργικής επεξεργασίας είναι σιδηρονικέλιο, το οποίο παράγεται μέσω αναγωγικής τήξης σε ηλεκτρική κάμινο. Η συνολική ανάκτηση του νικελίου σπάνια υπερβαίνει το 90%, ενώ η κατανάλωση ενέργειας είναι συνήθως αρκετά υψηλή. Έτσι, αρκετές από αυτές τις μεθόδους τείνουν να γίνουν αντισυμβατικές, ιδιαίτερα όταν επεξεργάζονται μεταλλεύματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο [10].

4.2 Παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ελλάδα

Η αξιοποίηση των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων του ελλαδικού χώρου γίνεται από την Γ.Μ.Μ. Α.Ε. ΛΑΡΚΟ, η οποία ιδρύθηκε και λειτουργεί από το 1966, σε δυο βασικά κέντρα εκμετάλλευσης.

Το πρώτο βρίσκεται στον Άγιο Ιωάννη της Βοιωτίας και εκεί πραγματοποιείται συνδυασμός υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης. Το άλλο βρίσκεται στην Κεντρική Εύβοια και πραγματοποιείται υπαίθρια εκμετάλλευση. Από τα δυο αυτά κέντρα το εξορυχθέν μέταλλευμα μεταφέρεται για πυρομεταλλουργική επεξεργασία στις εγκαταστάσεις της Λάρυμνας. Οι δραστηριότητες της εταιρείας είναι διαμορφωμένες σε κατά τόπους τομείς ανάλογα με το είδος της εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται αυτοδυναμία μεταξύ των τομέων της επιχείρησης.

Οι δραστηριότητες της εταιρείας διακρίνονται ως ακολούθως:

- ο Μεταλλεία Αγ. Ιωάννη στη Βοιωτία. Εξόρυξη μεταλλεύματος υπόγειες και επιφανειακές εκμεταλλεύσεις και με χρήση ιδιόκτητου εξοπλισμού. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας του μεταλλεύματος.
- ο Μεταλλεία Ευβοίας. Εξόρυξη λατερίτη μέσω επιφανειακής εκμετάλλευσης και με χρήση ιδιόκτητου εξοπλισμού. Εγκαταστάσεις εμπλουτισμού του μεταλλεύματος.
- ο Μεταλλεία Καστοριάς. Επιφανειακή εξόρυξη μεταλλεύματος με μισθωμένο εξοπλισμό.
- ο Μεταλλείο Αλβανίας. Βρίσκεται στην περιοχή Bitincka και απέχει περίπου 15 km από το μεταλλείο της Ιεροπηγής. Πρόκειται για ένα μεγάλο σε μέγεθος κοίτασμα, τα συνολικά αποθέματα του οποίου υπερβαίνουν τα 100.000.000 t με μέση περιεκτικότητα 1,20% Ni (Αποστολίκας κ.α., 2000)
- ο Λιγνιτωρυχείο Σερβίων στο Νομό Κοζάνης. Εξόρυξη λιγνίτη με επιφανειακή εκμετάλλευση και μισθωμένο εξοπλισμό.
- ο Μεταλλουργικό συγκρότημα Λάρυμνας στη Φθιώτιδα. Επεξεργασία σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων με πυρομεταλλουργική μέθοδο για παραγωγή σιδηρονικελίου (περιεκτικότητας περίπου 25% σε νικέλιο). Το σύνολο των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού είναι ιδιοκτησία της ΛΑΡΚΟ.

Το σιδηρονικέλιο, όπως έχει ήδη προαναφερθεί, είναι η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή ανοξειδωτού χάλυβα. Κατά την πυρομεταλλουργική διαδικασία το μέταλλευμα αφού προαναχθεί σε περιστροφικούς κάμινους, τροφοδοτείται σε ηλεκτρικούς κάμινους βυθισμένου τόξου από τις οποίες παράγεται, ύστερα από αναγωγική τήξη, σιδηρονικέλιο με 15% περίπου νικέλιο. Το τήγμα εμπλουτίζεται σε μεταλλάκτες OBM και το τελικό προϊόν είναι σιδηρονικέλιο περιεκτικότητας 25% σε νικέλιο υπό μορφή κόκκων.

Η ΛΑΡΚΟ παράγει προϊόν που αντιστοιχεί στο 2-3% της παραγωγής νικελίου στο δυτικό κόσμο ή στο 6-7% της κατανάλωσης πρωτογενούς νικελίου της Ευρωπαϊκής χαλυβουργίας ανοξειδωτού χάλυβα.

Η πυρομεταλλουργική μέθοδος επεξεργασίας του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος επιλέχθηκε για τους παρακάτω λόγους:

- Η κατασκευή από την αρχή της δεκαετίας του '50 στη Λάρυμνα, της πρώτης πυρομεταλλουργικής μονάδας (μέθοδος KRUPP-RENN) από την κυβέρνηση της Δ. Γερμανίας.
- Η προσδοκία παράλληλης αξιοποίησης του περιεχόμενου σιδήρου στο μέταλλευμα για την παραγωγή κοινού χάλυβα κατασκευών.
- Η μη επαρκής μέχρι τότε διεθνώς ανάπτυξη υδρομεταλλουργικών μεθόδων για την επεξεργασία αιματιτικού-λειμωνιτικού τύπου λατεριτικών μεταλλευμάτων.

Ωστόσο, η πυρομεταλλουργική επεξεργασία (των συγκριτικά πτωχών Ελληνικών μεταλλευμάτων) εξελίχθηκε με επιτυχία για τους εξής κυρίως λόγους [10]:

- Της συγκριτικά χαμηλότερης περιεκτικότητάς τους σε φυσική υγρασία (περίπου 4,5% έναντι 20-30% άλλων λατεριτών), απώλεια πύρωσης (περίπου 9% έναντι 12-20% άλλων λατεριτών), περιεκτικότητα MgO (περίπου 3,5% έναντι 5-35% άλλων λατεριτών). Αυτά τα χαρακτηριστικά τους δίνουν πλεονέκτημα λόγω χαμηλών ενεργειακών απαιτήσεων για ξήρανση, πυροδιάσπαση και τήξη μέχρι την παραγωγή σκωρίας.
- Της εφαρμογής φθηνής μεθόδου μαζικής εξόρυξης.
- Της ύπαρξης εγχώριων πηγών μαλακών στερεών καυσίμων (λιγνίτες).
- Του χαμηλότερου κόστους εργατικών και ηλεκτρικής ενέργειας.

4.3 Η πυρομεταλλουργική μέθοδος της ΛΑΡΚΟ

Η πυρομεταλλουργική μέθοδος της ΛΑΡΚΟ ανήκει στις μεθόδους που συνδυάζουν προαναγωγική φρύξη σε περιστροφική κάμινο με αναγωγική τήξη σε ηλεκτρική κάμινο και εξευγενισμό του παραγόμενου μετάλλου σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου. Ειδικότερα, τα στάδια επεξεργασίας της μεθόδου είναι (Κομνίτσας, 2005):

- i. Θραύση και ομοιογενοποίηση των λατεριτικών νικελιούχων μεταλλευμάτων και ελεγχόμενη ανάμειξή τους με στερεά καύσιμα για τη δημιουργία μείγματος καθορισμένης σύστασης.
- ii. Θέρμανση μέχρι τους 870 °C περίπου και μερική αναγωγή των μεταλλευμάτων του μεταλλουργικού μείγματος σε Π/Κ.
- iii. Αναγωγική θέρμανση και τήξη μέχρι τους 1450 °C του προϊόντος εξαγωγής των περιστροφικών καμίνων σε Η/Κ εμβαπτισμένου τόξου ανοικτού λουτρού για την παραγωγή τηγμένου κράματος Fe-Ni (12-16% Ni) και θαλάσσια απόρριψη της παραγόμενης σκωρίας στον Ευβοϊκό Κόλπο μετά από κοκκοποίησή της με θαλασσινό νερό.
- iv. Εξευγενισμός του τηγμένου κράματος Fe-Ni (12-16% Ni) των ηλεκτρικών καμίνων σε μεταλλάκτες OBM με εμφύσηση οξυγόνου και προσθήκη ασβέστη σε θερμοκρασίες μέχρι 1700 °C για την παραγωγή κοκκοποιημένου κράματος Fe-Ni (18-24% Ni) με χρήση θαλασσινού νερού.

Το βασικό προϊόν της παραγωγικής διαδικασίας είναι το κοκκοποιημένο FeNi 22%, ενώ παραπροϊόντα αποτελούν οι παραγόμενες σκωρίες από τις Η/Κ (ηλεκτροκαμίνους) και τους μεταλλάκτες OBM. Η καθαρότητα του κράματος του FeNi 22% (P=0,015%, S=0,04% και C=0,02%), η αυξημένη περιεκτικότητά του σε Fe (75-80%), η περιεκτικότητά του σε Co (περίπου 1,1%) που δεν κοστολογείται (αξίας ίσης με το 30-50% της αξίας του νικελίου) και η κοκκοποιημένη μορφή στην οποία διατίθεται καθιστούν το ελληνικό σιδηρονικέλιο από τις πιο ελκυστικές πρώτες ύλες στην μεταλλουργία παραγωγής ανοξειδωτων χαλύβων, που απορροφά το 45% της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου.

Κατά την παραγωγή 1t Ni με FeNi 22% παράγονται περίπου 100t κοκκοποιημένης σκωρίας, που για μέση παραγωγή 20.000t Ni/y αντιστοιχεί σε 2.000.000t/y. Από την ποσότητα αυτή περίπου 600.000t/y απορροφούνται από την ελληνική τσιμεντοβιομηχανία κατά κύριο λόγο ως μετρίως ποζολανικό υλικό και ύστερα ως σιδηρούχο υλικό προσθήκης, 100.000 t/y διατίθεται σε εγχώριες βιοτεχνίες για παραγωγή υλικού αμμοβολής ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία, ενώ η υπόλοιπη ποσότητα ποντίζεται στην περιοχή του Β. Ευβοϊκού κόλπου.

Η ποσότητα της σιδηρούχου σκωρίας που παράγεται (περιεκτικότητα 60% σε Fe) από τους μεταλλάκτες OBM ανέρχεται σε περίπου 86.000 t/y. Η σκωρία αυτή θραύεται στα -5mm σε ειδική εγκατάσταση για την περισυλλογή με ηλεκτρομαγνήτες του περιεχόμενου σε αυτή FeNi, που ανακυκλώνεται στους μεταλλάκτες OBM μαζί με τα άλλα scraps της παραγωγικής διαδικασίας, με σκοπό τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Η θραυσμένη σκωρία εξαιτίας του μεγάλου ειδικού βάρους της (περίπου 4,5g/cm³) διατίθεται εξ'ολοκλήρου στο εξωτερικό για υποθαλάσσιες κατασκευές. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι πωλήσεις της ΛΑΡΚΟ σε τόνους του νικελίου, καθώς και των παραπροϊόντων της πυρομεταλλουργικής μεθόδου κατά τα έτη 2001-2005.

Πίνακας 4.1: Πωλήσεις (σε τόνους) νικελίου, σκωρίας από τις ηλεκτροκαμίνους και σκωρίας από τους μεταλλάκτες για την περίοδο 2001-2005 (<http://www.larco.gr/>).

Sales in tonnes	2001	2002	2003	2004	2005
Nickel	17911	19229	18000	18112	18714
Slag E/F	321812	357960	389548	397941	378653
Converters slag	19248	39209	120028	156756	290447

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, για τη δεδομένη χρονική περίοδο, παρατηρείται μια αυξομείωση στις πωλήσεις του νικελίου, ενώ οι πωλήσεις σκωρίας από τις ηλεκτροκαμίνους ακολουθεί μια σταθερά ανοδική πορεία μέχρι το 2004 και μειώνεται ελαφρώς το 2005. Όσον αφορά την σκωρία από τους μεταλλάκτες παρουσιάζει μια εντυπωσιακή αύξηση των πωλήσεων (σε τόνους) τα τελευταία χρόνια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΘΟΔΩΝ

5.1 Ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων

Η ορυκτολογική ανάλυση των αρχικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση αυτοματοποιημένου περιθλασιμέτρου ακτίνων-X (XRD, X-Ray Diffraction Analysis), τύπου D-500 της εταιρίας SIEMENS (Σχήμα 5.1) και χρησιμοποιήθηκε λυχνία χαλκού με τις ακόλουθες συνθήκες μέτρησης: $U=35\text{kV}$, $I=35\text{mA}$, μονοχρωματιστή γραφίτη. Η μελέτη των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος και του βωξιτικού μεταλλεύματος πραγματοποιήθηκε μέσω στιλπνών τομών με τη βοήθεια του μεταλλογραφικού (ανακλώμενου φωτός) μικροσκοπίου και η αντίστοιχη μελέτη των ορυκτολογικών φάσεων του υποκείμενου υπερβασικού πετρώματος έγινε μέσω λεπτών τομών με τη βοήθεια του πολωτικού μικροσκοπίου (διερχόμενου φωτός).

Έγινε χρήση πολωτικού μικροσκοπίου JENA (Σχήμα 5.2), ενώ η μικροφωτογράφιση των τομών έγινε με ψηφιακή κάμερα τύπου NIKON. Ωστόσο, για την περιγραφή και τη φωτογράφιση των δειγμάτων του μεταλλεύματος έγινε επιπλέον χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) καθώς και στοιχειακή ανάλυση με το σύστημα φασματομέτρου διαχωριστικής ενέργειας (EDS) τύπου LING Qx2000 της εταιρίας OXFORD.

5.1.1 Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD)

Με την μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων-X μετρώνται απευθείας τόσο οι γωνίες, όσο και οι εντάσεις των ανακλάσεων των ακτίνων -X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκευάσμα κρυσταλλικής κόνεως. Οι μονάδες σύνθεσης του περιθλασιμέτρου ακτίνων X είναι: η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσεως, η λυχνία 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 γίνεται η διαχείριση ολόκληρου του συστήματος και η αξιολόγηση των δεδομένων που προκύπτουν από εξέταση του δείγματος.

Το προς μελέτη παρασκεύασμα τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων X και το επίπεδο του δείγματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.



Σχήμα 5.1: Περιθλασίμετρο ακτίνων-X (τύπου D-500 της εταιρίας SIEMENS)

Την ίδια στιγμή, ως προς τον ίδιο άξονα περιστρέφεται ο απαριθμητής με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ($2\theta/\text{min}$) και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα (θ/min), την μισή τιμή της γωνιακής ταχύτητας του απαριθμητή, με τέτοιο τρόπο ώστε με ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος με το σημείο εξόδου των ακτίνων X της λυχνίας. Τοιουτοτρόπως, 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, ώστε για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων να επαληθεύεται η εξίσωση του Bragg: $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$ (όπου n: τάξη ανάκλασης, λ: μήκος κύματος, θ: γωνία πρόσπτωσης και d: η πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου (Κωστάκης, 1988).

Προετοιμασία δειγμάτων:

Το δείγμα που πρόκειται να αναλυθεί βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός μεταλλικού ή πλαστικού πλακιδίου. Το βάθος της κοιλότητας αυτής είναι περίπου 1mm και έχει έκταση μερικών cm^2 ώστε να μπορεί σε αυτό να φιλοξενηθεί μάζα ίση με 1g, η οποία κατανέμεται στον δειγματοφορέα έτσι ώστε η επιφάνειά της να είναι επίπεδη (Κωστάκης, 1988).

5.1.2 Το πολωτικό μικροσκόπιο

Η αρχή λειτουργίας του πολωτικού μικροσκοπίου περιγράφεται συνοπτικά ακολούθως. Μια δέσμη φωτός που διέρχεται μέσω ενός συστήματος δυο συγκεντρωτικών φακών και ενός διαφράγματος προσπίπτει στο μελετώμενο παρασκεύασμα και στη συνέχεια μέσω του σώματος του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού καταλήγει στον παρατηρητή δίνοντας μια μεγενθυμένη πραγματική εικόνα του μελετώμενου αντικειμένου. Το παρασκεύασμα που ερευνάται με το πολωτικό μικροσκόπιο είναι κατά κανόνα μια λεπτή τομή που τοποθετείται πάνω στην στρογγυλή περιστρεφόμενη τράπεζα του μικροσκοπίου. Η τράπεζα αυτή φέρει μια υποδιαίρεση κύκλου σε μοίρες. Η πηγή φωτός βρίσκεται στο κάτω μέρος του μικροσκοπίου και από αυτήν ξεκινούν οι ακτίνες, ως μια μορφή δέσμης με κατεύθυνση παράλληλη μεταξύ των, μέσω ενός φακού και ύστερα ενός κατόπτρου κατευθύνονται στο παρασκεύασμα.



Σχήμα 5.2: Πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου και ανακλώμενου φωτός (POL-JENALAB)

Η δέσμη φωτός διέρχεται μέσα από ένα σύστημα που αποτελείται από συγκεντρωτικούς φακούς ένα διάφραγμα και ένα πολωτή, με αποτέλεσμα όταν το φως φτάσει στο παρασκεύασμα οι ακτίνες να είναι πολωμένες και να έχουν την διάταξη συγκλίνουσας κωνικής δέσμης. Αφού οι ακτίνες διαπεράσουν το παρασκεύασμα, περνούν από το σύστημα του αντικειμενικού φακού, από τη θέση παρεμβολής του αντισταθμιστή και στη συνέχεια από τη θέση παρεμβολής του πλακιδίου του αναλυτή. Τέλος, οι ακτίνες διέρχονται από ένα σύστημα φακών, αλλάζουν θέση μέσω ενός πρίσματος και περνώντας από τη θέση παρεμβολής του φακού Bertrand, κατευθύνονται στο σύστημα του αντικειμενικού φακού δίνοντας την τελική απεικόνιση του αντικειμένου (Κωστάκης, 2005).

Προετοιμασία δειγμάτων:

Τα ορυκτά, τα πετρώματα και τα διάφορα βιομηχανικά προϊόντα προκειμένου να εξεταστούν με το πολωτικό μικροσκόπιο παρασκευάζονται υπό μορφή λεπτών τομών. Τα στάδια παρασκευής μιας λεπτής τομής είναι τα εξής (Κωστάκης, 2005):

- i. Με κατάλληλο κοπτικό μηχανήμα κόπτεται ένα μικρό τεμάχιο του δείγματος σε μορφή πλακιδίου.
- ii. Το πλακίδιο λειαίνεται στη μία του πλευρά πάνω σε περιστρεφόμενο επίπεδο μεταλλικό δίσκο με τη βοήθεια λειαντικών μέσων (με μορφή σκόνης), όπως σμύριδα, ανθρακοκορούνδιο κ.α.
- iii. Η επιφάνεια που έχει λειανθεί στερεώνεται σε γυάλινο πλακίδιο με τη χρήση канаδικού βάλσαμου.
- iv. Η ελεύθερη επιφάνεια κόβεται και λειαίνεται, ώστε το πλακίδιο να φτάσει σε πάχος περίπου 20-40 μm .
- v. Γίνεται επικάλυψη της ελεύθερης επιφάνειας με μια πολύ λεπτή διάφανη καλυπτρίδα που επικολλάται με τη χρήση канаδικού βάλσαμου.

5.1.3 Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο διαφέρει από εκείνο του διερχόμενου φωτός σε τρία σημεία :

- 1) Ο ανακλαστήρας, που έχει τοποθετηθεί μεταξύ του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού, κατευθύνει το προσπίπτον φως κάθετα στη στιλβωμένη επιφάνεια του μελετώμενου παρασκευάσματος.
- 2) Χρησιμοποιούνται ειδικοί αντικειμενικοί φακοί για την παρατήρηση μη καλυμμένων παρασκευασμάτων.
- 3) Η περιστρεφόμενη τράπεζα μετακινείται ελεύθερα προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ώστε να είναι εφικτή η εστίαση σε διαφορετικά πάχη παρασκευασμάτων.

Τα συνήθη μεταλλογραφικά μικροσκόπια διαθέτουν δυο τύπους ανακλαστήρων: τη γυάλινη πλάκα και το πρίσμα ολικής ανάκλασης, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά (Αλεβίζος, 2005).

Προετοιμασία δειγμάτων:

Για την μελέτη ενός μεταλλεύματος είναι απαραίτητη η παρασκευή μιας καλά στιλβωμένης τομής, η επιφάνεια της οποίας θα πρέπει να στερείται χαραγών και ανωμαλιών. Το προς στίλβωση υλικό πρέπει αρχικά να εμποτιστεί σε ειδική τεχνητή ρητίνη, στη συνέχεια τοποθετείται σε ειδικές φόρμες διαμέτρου 2-4 cm στις οποίες προστίθεται ποσότητα του υγρού υλικού εγκλίσεως. Στη συνέχεια, ακολουθεί η λείανση της επιφάνειας του δείγματος. Ως λειαντικό μέσο χρησιμοποιείται καρβίδιο του πυριτίου ή του βολφραμίου διαφόρων κοκκομετριών. Η διαδικασία της λείανσης ολοκληρώνεται σε τρία στάδια με διαφορετικές κοκκομετρίες λειαντικών μέσων το καθένα. Το παρασκεύασμα λειανείται πάνω σε έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό δίσκο ή με το χέρι πάνω σε γυάλινη πλάκα με τις κοκκομετρίες των λειαντικών μέσων του πρώτου σταδίου. Σημειώνεται ότι η λείανση του παρασκευάσματος γίνεται πάντα παρουσία νερού.

Τέλος, ακολουθεί η διαδικασία της στίλβωσης. Κατά τη μέθοδο Vanderwilt-Rehwal, χρησιμοποιείται η συσκευή Rehwal και γίνεται επιλογή διάφορων μέσων στίλβωσης (π.χ αλοιφές- Rehwal, αδαμανταλοιφές, καρβίδιο του βορίου με εκχύλισμα πίσσας) διαφόρων κοκκομετριών. Ως λιπαντικό μέσο χρησιμοποιείται ένα μείγμα από παραφινέλαιο, πετρέλαιο και εκχύλισμα πίσσας. Η ποιότητα της στίλβωσης εξαρτάται τόσο από την διάρκεια αυτής, όσο και από τη χρήση αλοιφής MgO κατά το τελικό στάδιο της στίλβωσης. Η μέθοδος Rehwal είναι η μοναδική

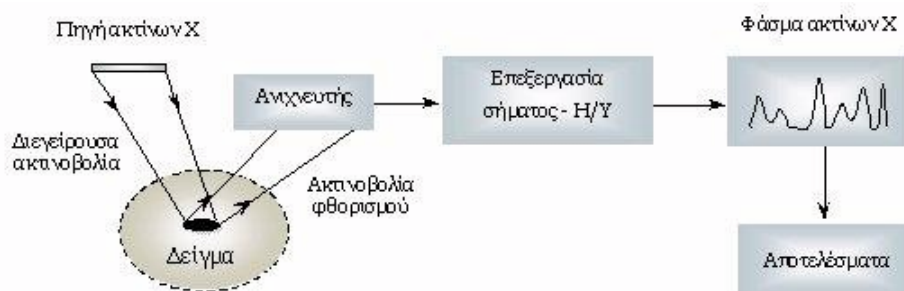
μέθοδος στίλβωσης με την οποία παρασκευάζονται στιλπνές τομές ελεύθερες από ανάγλυφο και χαραγές (Αλεβίζος, 2005).

5.2 Χημική ανάλυση των δειγμάτων

5.2.1 Φασματομετρία ακτίνων-X

Εάν ένα άτομο βομβαρδιστεί με ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή του δεσμού των ηλεκτρονίων του, τότε μετακινούνται ηλεκτρόνια από εσωτερικές σε εξωτερικές στοιβάδες. Έτσι, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων οι οποίες καλύπτονται από ηλεκτρόνια που πέφτουν στις θέσεις αυτές από τις εξωτερικές στοιβάδες. Η πλήρωση των κενών θέσεων συνοδεύεται με εκπομπή ακτίνων-X, ενέργειας ίσης με την διαφορά ενέργειας της αντίστοιχης εξωτερικής από την εσωτερική στοιβάδα. Η διεγερση του δείγματος για εκπομπή ακτίνων-X γίνεται με ειδικές λυχνίες ακτίνων-X, ενέργειας πολλαπλάσιας αυτής που θέλουμε να διεγείρουμε.

Η γεωμετρία του φασματόμετρου ακτίνων-X είναι όμοια με αυτή του περιθλασιμέτρου ακτίνων-X (Σχήμα 5.3). Ο προσδιορισμός του μήκους κύματος γίνεται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Bragg : $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$ όπου θ : η γωνία περίθλασης, $2d$: η ενδοκρυσταλλική απόσταση ενός μονοκρυσταλλου αναλυτή. Το δείγμα διεγείρεται και στη συνέχεια εκπέμπει ακτίνες-X των στοιχείων που το αποτελούν. Σαρώνοντας μια συγκεκριμένη περιοχή 2θ με το γωνιόμετρο του φασματόμετρου, παρατηρούνται ανακλάσεις εφ'όσον πληρείται η εξίσωση του Bragg. Στη συνέχεια, λύνοντας την εξίσωση αυτή ως προς λ ($2d$: σταθερό, θ : μετράται) προσδιορίζεται το αντίστοιχο χημικό στοιχείο (Περδικάκης & Πεντάρη, 2003).



Σχήμα 5.3: Τυπική διάταξη φασματοσκοπίας XRF (<http://omega.physics.uoi.gr>)

Προετοιμασία δειγμάτων:

Οι μέθοδοι προετοιμασίας των δειγμάτων ποικίλουν ανάλογα με το είδος της μελέτης. Η ομοιογένεια του δείγματος είναι σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα της ανάλυσης. Δείγματα σε μορφή λεπτών κόκκων διαμορφώνονται συνήθως σε λεπτά δισκία με τη βοήθεια υδραυλικού πιεστηρίου. Η ξήρανση των δισκίων είναι απαραίτητη εφόσον το ποσοστό υγρασίας ανέρχεται σε 20%, λόγω των αλλαγών που προκαλούνται στη μήτρα του δείγματος. Τα υγρά δείγματα τοποθετούνται σε διαφανή για τις ακτίνες-X δοχεία (πολυαιθυλενίου, Kapton, Mylar κλπ.). Τα στερεά δείγματα είναι προτιμότερο να έχουν λεία επιφάνεια. Για αναλύσεις μεγαλύτερης ακρίβειας, τα δείγματα υποβάλλονται σε καύση με πυροφωσφορικά ή τετραβορικά άλατα. (<http://omega.physics.uoi.gr>).

Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ανόργανου και Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη βοήθεια αυτοματοποιημένου φασματοσκοπίου ακτίνων -X φθορισμού τύπου Brucker S2 με συνθήκες μέτρησης : $U=15\text{kV}$, Al φίλτρο ($500\mu\text{m}$) για τα βαριά στοιχεία και $U=20\text{kV}$, για τα ελαφρά στοιχεία, $I=100\text{mA}$, και λυχνία Pd.

5.3 Δοκιμές εμπλουτισμού του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος

5.3.1 Θεωρητικό υπόβαθρο της μεθόδου του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Με τον όρο βαρυτομετρικός διαχωρισμός καλείται μια σειρά μεθόδων εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, οι οποίες στηρίζονται στην διαφορά των πυκνοτήτων των προς διαχωρισμό ορυκτών. Το αποτέλεσμα του διαχωρισμού αυτού εξαρτάται ωστόσο από το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχιδίων (Σταμπολιάδης, 2001).

Η μέθοδος των βαρέων υγρών ανήκει στις βαρυτομετρικές μεθόδους εμπλουτισμού. Η αρχή της μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι ένα σώμα αιωρείται σε ένα υγρό όταν το ειδικό του βάρος ταυτίζεται με αυτό του υγρού. Όταν το ειδικό βάρος του σώματος είναι μικρότερο από του υγρού τότε το σώμα επιπλέει στο υγρό, ενώ στην αντίθετη περίπτωση καταβυθίζεται σε αυτό. Η μέθοδος των βαρέων υγρών στηρίζεται στον διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη

χρήση μιας σειράς βαρέων υγρών. Τα ειδικά βάρη των χρησιμοποιούμενων υγρών αυξάνουν σταδιακά. Αυτό έχει ως συνέπεια το μέταλλευμα να διαχωρίζεται σε επιμέρους κλάσματα ειδικών βαρών.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα συνηθέστερα βαρέα υγρά.

Πίνακας 5.1: Τα συνηθέστερα βαρέα υγρά (Κωστάκης, 1988,1992)

Βαρύ υγρό	Πυκνότητα (g/cm³)
Τετραβρωμιούχος ασετυλίνη (CHBr ₃)	2,904
Διάλυμα Thoulet	3,196
Ιωδιούχο μεθυλένιο (CH ₂ I ₂)	3,32
Διάλυμα Clerici	4,5
Τετραχλωράνθρακας	1,59
Τετραβρωμοαιθάνιο	2,96
Βρωμοφόρμιο	2,82

Προϋπόθεση της μεθόδου είναι τα προς διαχωρισμό ορυκτά να έχουν μια διαφορά ειδικού βάρους τουλάχιστον 0,05 g/cm³. Ακόμη, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση όπου τα ορυκτά έχουν μεγάλη πυκνότητα, αφού το υγρό με το μεγαλύτερο ειδικό βάρος που χρησιμοποιείται είναι το διάλυμα Clerici με πυκνότητα 4,5 g/cm³ (Πίνακας 3.1). Τα βαρέα υγρά μπορούν μεν να επαναχρησιμοποιηθούν, αλλά η παραγωγή τους έχει υψηλό κόστος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η χρήση τους να είναι περιορισμένη (Μαρτίνη, 2004).

5.3.2 Θεωρητικό υπόβαθρο στις μεθόδους του μαγνητικού διαχωρισμού

Ο μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού η οποία στηρίζεται στη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών.

Μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο όλα τα υλικά αντιδρούν με συγκεκριμένο τρόπο, με εξαίρεση μερικά υλικά στα οποία η αντίδραση αυτή είναι τόσο μικρή, ώστε είναι δύσκολο να προσδιοριστεί πρακτικά. Τα υλικά διακρίνονται σε δυο μεγάλες

κατηγορίες, ανάλογα με τη μαγνητική συμπεριφορά στις (δηλ. έλκονται ή απωθούνται από ένα μαγνητικό πεδίο) (Σταμπολιάδης, 2001):

- i. Διαμαγνητικά : είναι τα υλικά που απωθούνται από στις γραμμές στις μαγνητικού πεδίου και οδηγούνται στα σημεία όπου η έντασή του εξασθενεί. Οι ασκούμενες δυνάμεις είναι γενικά πολύ μικρές και τα διαμαγνητικά υλικά πρακτικά δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό διαχωρισμό.
- ii. Παραμαγνητικά : είναι τα υλικά που έλκονται από στις γραμμές στις μαγνητικού πεδίου και κατευθύνονται στις τα σημεία που η ένταση του αυξάνει.

Μια κατηγορία παραμαγνητικών υλικών είναι τα σιδηρομαγνητικά υλικά, στα οποία η δύναμη έλξης στις από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα παραμαγνητικά υλικά. Είναι πολύ επιρρεπή στις μαγνητικές δυνάμεις και πολλά από αυτά παραμένουν μαγνητισμένα ύστερα από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου.

Ο σίδηρος και το νικέλιο ανήκουν στα σιδηρομαγνητικά υλικά. Επομένως, μαγνητική συμπεριφορά στο μέταλλο εμφανίζουν τα ορυκτά που περιέχουν σίδηρο, δηλ. ο αιματίτης Fe_2O_3 , ο γκαϊτίτης $\text{FeO}\cdot\text{OH}$, και ο χρωμίτης $(\text{Fe,Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$. Στα μη μαγνητικά ανήκουν ο χαλαζίας SiO_2 , ο σερπεντίνης $\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$ και ο ασβεστίτης CaCO_3 .

Κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού με την χρήση του μαγνητικού διαχωρισμού το ποσοστό του μαγνητικού συστατικού καθορίζει τη μαγνητική ιδιότητα κάθε ενδιάμεσου κλάσματος. Ακόμη, η ένταση του μαγνητικού πεδίου καθορίζει την καθαρότητα του συμπυκνώματος ή την ανάκτηση σε χρήσιμο μέταλλο. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για τον μαγνητικό διαχωρισμό καλούνται μαγνητικοί διαχωριστές και υπάρχουν διάφοροι τύποι αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

6.1 Δειγματοληψία

Σύμφωνα με την κατάταξη των μεταλλευμάτων του Δυτικού Βερμίου από τους Ηλιόπουλος κ.α.(2000), το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα της περιοχής Κομνηνών εμπίπτει στην κατηγορία των αυτοχθόνων μεταλλευμάτων, ενώ το βωξιτικό μέταλλευμα της περιοχής Παρχάρι στην κατηγορία των βωξιτικών λατεριτών.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε σε ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του κοιτάσματος κατά μήκος τομής κάθετης προς την οροφή του στην περιοχή του Προφήτη Ηλία.

Από το υποκείμενο υπερβασικό πέτρωμα ελήφθησαν τρία δείγματα (V1, V2, V3) , από το FeNi-μέταλλευμα επτά δείγματα (K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10) και τέλος από το βωξιτικό μέταλλευμα της περιοχής Παρχάρι συλλέχθηκαν ενδεικτικά τέσσερα δείγματα (P1, P2, P3, P4). Τα δείγματα ήταν συμπαγή τεμάχια μέσης διαμέτρου 10cm.

6.2 Ορολογία

Ορισμοί σύμφωνα με τον Young (1989):

Ωοειδές (Ooid): Σφαιρικά ή ελλειψοειδή σωμάτια με διάμετρο μικρότερη των 2 mm, τα οποία διαθέτουν πυρήνα περιβαλλόμενο από κανονικά διατεταγμένες συγκεντρικές επιφλοιώσεις.

Πισοειδές (Pisoid): Σφαιρικά ή ελλειψοειδή σωμάτια με διάμετρο μεγαλύτερη των 2 mm, τα οποία διαθέτουν πυρήνα περιβαλλόμενο από κανονικά διατεταγμένες συγκεντρικές επιφλοιώσεις.

Πελοειδές (Peloid): Σφαιρικά ή ελλειψοειδή σωμάτια από λεπτόκοκκο υλικό, τα οποία δεν διαθέτουν κανονική εσωτερική δομή.

Ωόλιθος (Oolith): Χαρακτηρισμός πετρώματος, το οποίο αποτελείται κυρίως από ωοειδή.

Αμπραζιόλιθος (Abrasiolith): Αποστρογγυλεμένο κλαστικό υλικό από επεξεργασμένα θραύσματα ωολίθων, το οποίο διαθέτει αντίστοιχα με τα ωοειδή και πισοειδή ένα εφαιπτομενικά διατεταγμένο περίβλημα (Αλεβίζος & Mücke, 2001).

6.3 Ορυκτολογική περιγραφή δειγμάτων

Ορυκτολογική περιγραφή υπερβασικού υπόβαθρου:

Στην τομή V1 διακρίνεται κυρίως σερπεντίνης $Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]$ (και ειδικότερα χρυσοτίλης και λίζαρδίτης), σύμφωνα με την ακτινοσκοπική εξέταση (Σχήμα R0123, Παρ.). Χρωμίτης $(Fe,Mg)Cr_2O_4$ απαντάται υπό μορφή μεμονωμένων κόκκων.

Στην τομή V2 το δείγμα αποτελείται κυρίως από τάλκη $Mg_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]$, οποίος απαντάται υπό μορφή φλεβών που παρουσιάζουν μια σχετική παράλληλη διάταξη και ασβεστίτη (Σχήμα R0124, Παρ.).

Στην τομή V3 παρατηρούνται κυρίως λεπτά φλεβίδια ασβεστίτη $CaCO_3$ τα οποία έχουν διαταχθεί σε μορφή πλέγματος. Ο νικελιούχος τάλκης σχηματίζει φλέβες από λεπιοειδή συσσωματώματα. Τέλος, ο νικελιούχος τάλκης καθώς και ο ασβεστίτης υπόκεινται σε σταδιακή αντικατάσταση από σιδηρούχα διαλύματα (Σχήμα R0125, Παρ.).

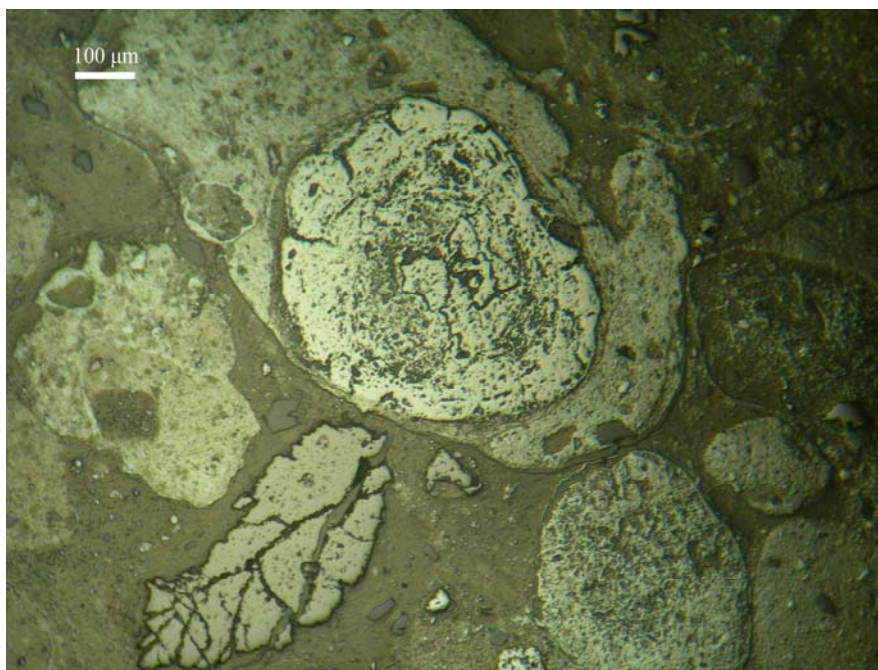
Ορυκτολογική περιγραφή σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος:

Στην τομή K4 παρατηρούμε κυρίως χαλαζία SiO_2 και σποραδικές εμφανίσεις μεταλλοφορίας αιματίτη Fe_2O_3 .

Στην τομή K5 το δείγμα περιέχει κυρίως χαλαζία και τοπικά απαντάται μεταλλοφορία αιματίτη. Η ακτινοσκοπική εξέταση (Σχήμα R0126, Παρ.) του K_5 ανέδειξε την παρουσία νικελιούχου τάλκη $[Ni,Mg]_3Si_4O_{10}[OH]_2$.

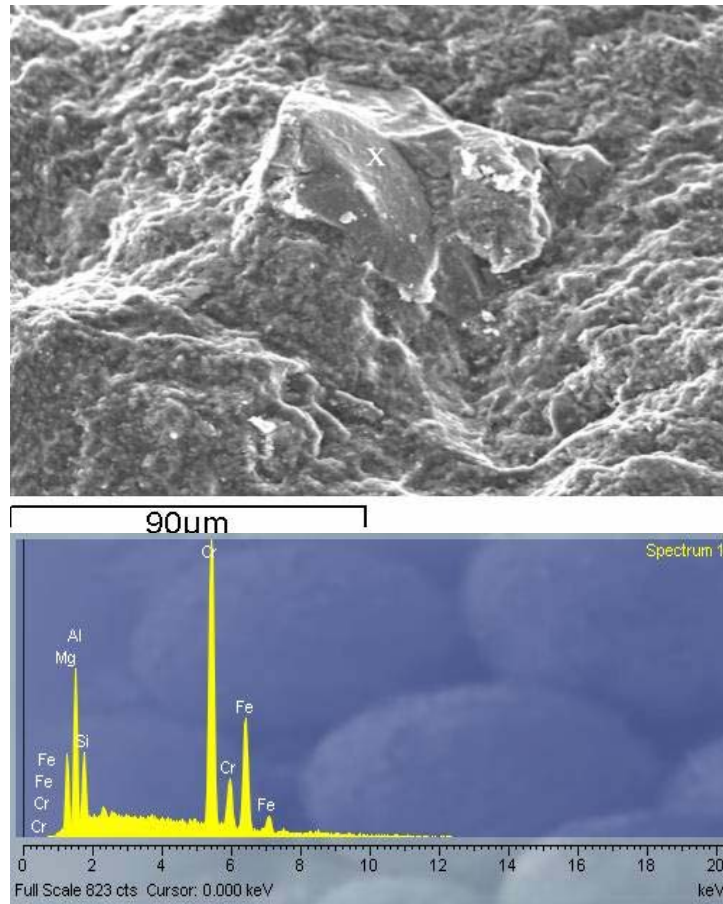
Στην τομή K6 το δείγμα αποτελείται κυρίως από αιματίτη, ο οποίος απαντάται με μορφή πελοειδών και σπανιότερα με μορφή ωοειδών και πισοειδών και σε μεγαλύτερο ποσοστό με μορφή αμπραζιολίθων. Το μεγαλύτερο μέρος των κρυστάλλων αιματίτη έχουν υποστεί διάβρωση, με αποτέλεσμα να έχει απομακρυνθεί το αιματιτικό υλικό.

Αμπραζιόλιθοι αποτελούμενοι από αιματίτη με εγκλείσματα κρυστάλλων χρωμίτη $(\text{Fe,Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$ και χαλαζία (και σπανιότερα πισοειδών ή πελοειδών) απαντώνται συχνά στο δείγμα, το μέγεθος των οποίων μερικές φορές υπερβαίνει τα 3mm (Σχήμα 6.1). Κρύσταλλοι χρωμίτη απαντώνται σε μεγάλο αριθμό (Σχήμα 6.2), διάσπαρτοι στο συνδετικό υλικό ή σπανιότερα με μορφή εγκλεισμάτων μέσα στους αμπραζιόλιθους (Σχήμα 6.3). Η επιφάνεια του χρωμίτη έχει υποστεί κατακερματισμό λόγω τεκτονικής καταπόνησης. Το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων αποτελείται κυρίως αργιλικό υλικό, το οποίο σύμφωνα με την ακτινοσκοπική διερεύνηση και τη μικροανάλυση συνίσταται σε νικελιούχο χλωρίτη $(\text{Ni,Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (Σχήμα 6.4 και Σχήμα R0127, Παρ.).

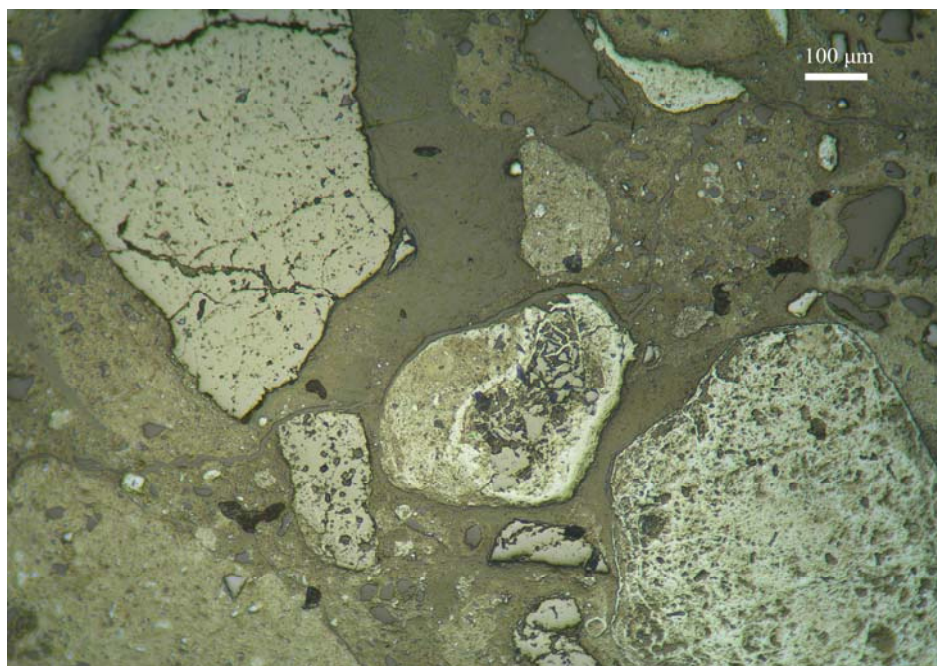


Σχήμα 6.1: Κλαστικό υλικό το οποίο εμπεριέχει ωοειδές από αιματίτη και μεγάλο αριθμό μικρότερων εγκλεισμάτων (χαλαζία, χρωμίτη). Στο συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων απαντώνται επίσης πελοειδή και κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη.

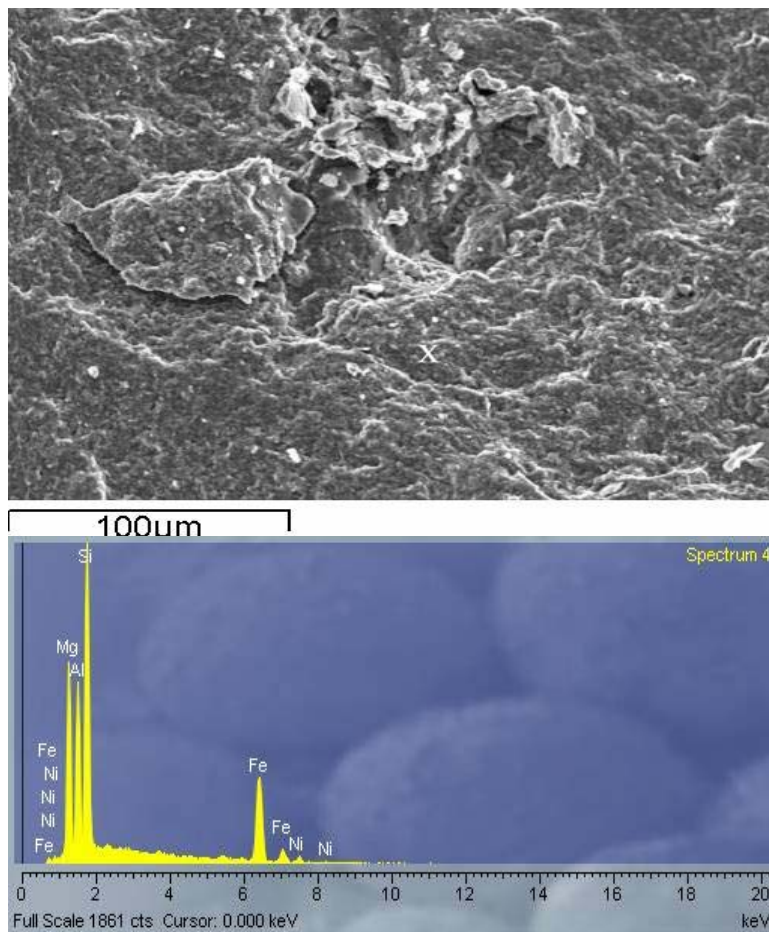
Δείγμα K6. Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 6.2: Μικροφωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και σημειακή στοιχειακή ανάλυση (EDS) χρωμίτη



Σχήμα 6.3: Κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη διάσπαρτοι στο συνδετικό υλικό αλλά και με μορφή εγκλεισμάτων σε αμπραζιόλιθο. Δείγμα K6. Ανακλώμενο φως, // Nicols



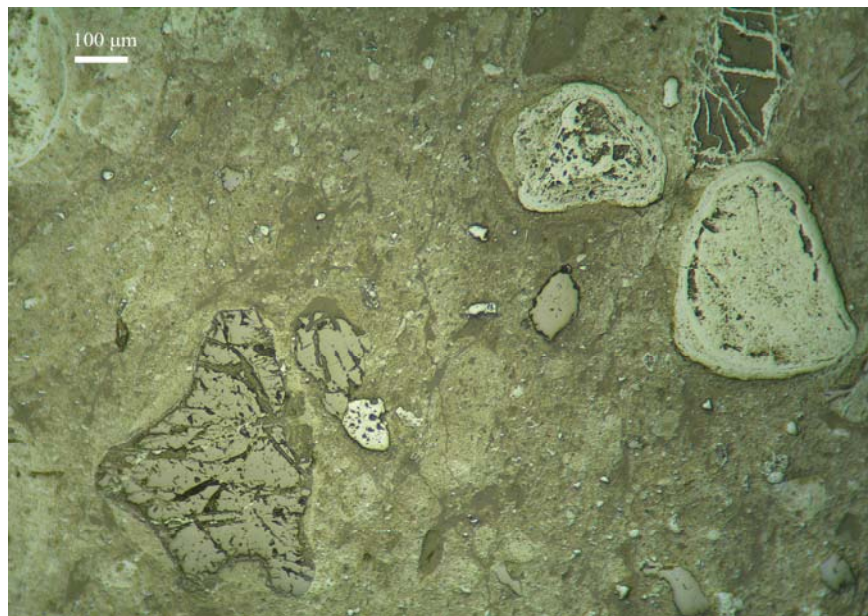
Σχήμα 6.4: Μικροφωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και σημειακή στοιχειακή ανάλυση (EDS) νικελιούχου χλωρίτη, ο οποίος υπόκειται σε σταδιακή αντικατάσταση από σιδηρούχα διαλύματα

Στην τομή K7 το υλικό αποτελείται κυρίως από χαλαζία. Ο αιματίτης απαντάται υπό μορφή δευτερογενούς μεταλλοφορίας αντικαθιστώντας το χλωριτικό συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων. Το δείγμα είναι σχετικά συμπαγές και η μεταλλοφορία εμφανίζεται με τη μορφή φλεβιδίων, τα οποία δείχνουν μια παράλληλη διάταξη.

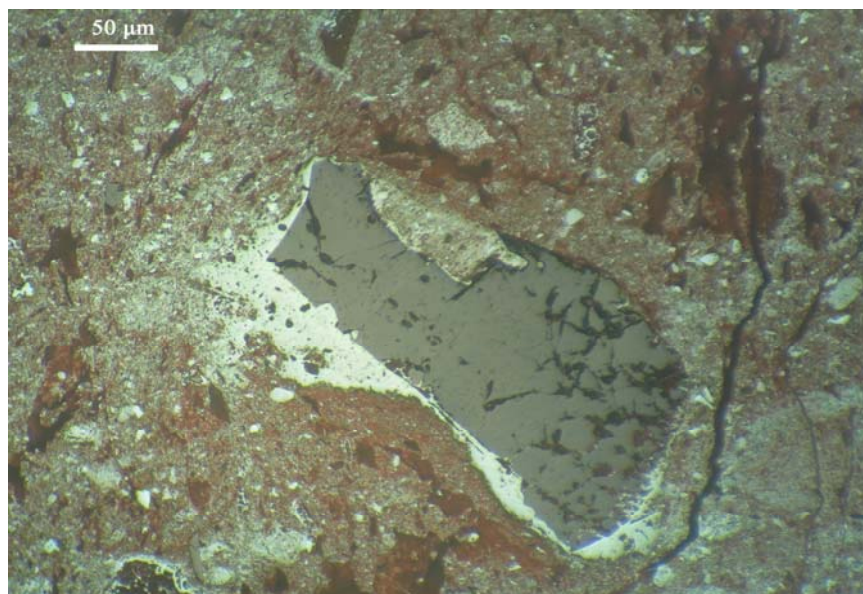
Στην τομή K8 το δείγμα αποτελείται κυρίως από χαλαζία, ο οποίος σχηματίζει εν μέρει συμπαγή συσσωματώματα. Το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία αποτελείται από χλωρίτη (κλινόχλωρο- $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), το οποίο πιστοποιήθηκε και ακτινοσκοπικώς (Σχήμα R0129, Παρ.). Ο αιματίτης σχηματίζει λεπτοκρυσταλλικά συσσωματώματα αντικαθιστώντας το συνδετικό υλικό. Η μεταλλοφορία αιματίτη είναι επιγενετικής προέλευσης.

Στη τομή K9 υπάρχει πλήθος πελοειδών αιματίτη διαφόρων μεγεθών (Σχήμα 6.5). Σε σπάνιες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν αμπραζιόλιθοι με εγκλείσματα πελοειδών και κρυστάλλους χρωμίτη και χαλαζία, το μέγεθος των οποίων υπερβαίνει

τα 4 mm. Το αιματιτικό υλικό των πελοειδών και αμπραζιολίθων έχει υποστεί έκπλυση από την επιφάνεια των κόκκων. Κρύσταλλοι χρωμίτη, η επιφάνεια των οποίων είναι κατακερματισμένη, απαντώνται διάσπαρτοι στο συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων (Σχήμα 6.6). Το συνδετικό υλικό αποτελείται από κλινόχλωρο μέσα στο οποίο παρατηρήθηκαν σε μεγάλο αριθμό φυλλάρια ιλίτη $\text{KAl}_2[(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ (Σχήμα 6.7 και Σχήμα R0130, Παρ.).

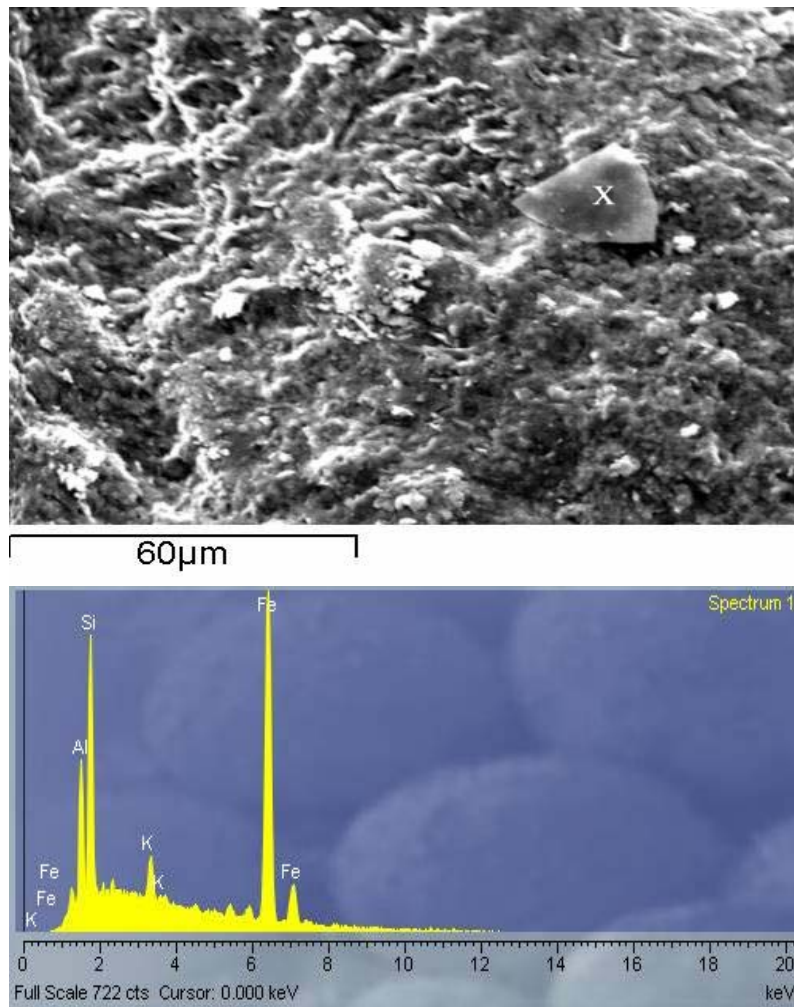


Σχήμα 6.5: Πελοειδή από αιματίτη και κρύσταλλοι χρωμίτη διάσπαρτοι στο συνδετικό υλικό.
Δείγμα K9. Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 6.6: Κατακερματισμένος κρύσταλλος χρωμίτη υπόκειται σε σταδιακή αντικατάσταση από αιματιτικό υλικό.

Δείγμα K9. Ανακλώμενο φως, Ελαιοκατάδυση, // Nicols



Σχήμα 6.7: Μικροφωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) και σημειακή στοιχειακή ανάλυση (EDS) ιλλίτη, ο οποίος υπόκειται σε σταδιακή αντικατάσταση από σιδηρούχα διαλύματα

Στην τομή K10 το κύριο ορυκτολογικό συστατικό είναι ο χαλαζίας. Απαντάται τόσο σε μεμονωμένους κόκκους όσο σε συμπαγή συσσωματώματα. Στο συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων ανιχνεύτηκε ακτινογραφικά νικελιούχος χλωρίτης $(\text{Ni,Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (Σχήμα R0131, Παρ.). Ο αιματίτης βρίσκεται κυρίως υπό μορφή κλαστικών κόκκων, διάσπαρτων στο συνδετικό υλικό, αλλά επίσης και με μορφή δευτερογενούς μεταλλοφορίας, η οποία αντικαθιστά σταδιακά τα αργιλικά ορυκτά.

Ορυκτολογική περιγραφή βωξιτικού μεταλλεύματος:

Στην τομή P1 το υλικό αποτελείται κυρίως από χαλαζία και κλαστικούς κόκκους χρωμίτη. Το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων συνίσταται σε χλωρίτη (κλινόχλωρο $\text{Mg}_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), αιματίτη και γκιψίτη $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_2$ σύμφωνα με την ακτινοσκοπική εξέταση (Σχήμα R0133, Παρ.). Ο αιματίτης απαντάται σε μεμονωμένες περιπτώσεις με μορφή πελοειδών και κυρίως με λεπτοκρυσταλλική μορφή αντικαθιστώντας σταδιακά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων.

Στην τομή P2 υπάρχει μεγάλος αριθμός κόκκων χαλαζία, μικρού σχετικά μεγέθους, καθώς και μικρός αριθμός κλαστικών κόκκων αιματίτη Fe_2O_3 . Κόκκοι χρωμίτη $(\text{Fe,Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$ παρατηρήθηκαν σε μικρό αριθμό, ενώ το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων αποτελείται από χλωρίτη (κλινόχλωρο) και γκιψίτη.

Στην τομή P3 του υλικού παρατηρήθηκαν μεμονωμένοι κλαστικοί κόκκοι αιματίτη Fe_2O_3 , κυρίως πελοειδή και σπανιότερα ωοειδή το μεταλλικό συστατικό των οποίων έχει υποστεί κατά το μεγαλύτερό του μέρος έκπλυση. Κόκκοι χρωμίτη απαντώνται σπανιότερα, ενώ το συνδετικό υλικό, το οποίο αποτελείται από χλωρίτη $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ και διάσπορο $\alpha\text{-AlOOH}$, σύμφωνα με την ακτινοσκοπική εξέταση (Σχήμα R0135, Παρ.), υπόκειται σε μερική αντικατάση από σιδηρούχα διαλύματα.

Στην τομή P4 του δείγματος απαντώνται κλαστικοί κόκκοι αιματίτη (κυρίως πελοειδή και σπανιότερα ωοειδή) των οποίων το μεταλλικό συστατικό έχει υποστεί έκπλυση κατά το μεγαλύτερο τμήμα του. Επίσης παρατηρούνται σπανίως κόκκοι χρωμίτη, ενώ το συνδετικό υλικό αποτελείται από χρωμίτη και διάσπορο και υπόκειται σε μερική αντικατάσταση από σιδηρούχα διαλύματα.

6.4 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Στα αρχικά δείγματα έγινε προσδιορισμός της απώλειας πύρωσης (LOI) ώστε να λάβουμε αποτελέσματα για την έκταση της ενυδάτωσης και της ανθρακοποίησης των δειγμάτων. Η απώλεια πύρωσης, δηλαδή δείχνει το ποσοστό του κρυσταλλικού νερού και του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχει το δείγμα. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τις τιμές των απωλειών πύρωσης γίνονται οι διορθώσεις στις τιμές των αναλύσεων που προκύπτουν από τη φασματοσκοπία XRF. Ο Πίνακας 6.1 είναι ο διορθωμένος πίνακας των αναλύσεων των αρχικών δειγμάτων.

Πίνακας 6.1 : Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων

	Υπερβασικό πέτρωμα			Σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα							Βωξιτικό μετάλλευμα			
wt%	V1	V2	V3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	P1	P2	P3	P4
SiO ₂	38,8	43,10	23,80	92,26	51,22	16,81	21,21	21,48	25,94	27,48	62,42	72,26	20,53	9,64
TiO ₂	-	-	-	-	0,04	0,73	0,80	0,85	0,81	0,98	1,15	1,27	1,76	1,75
Al ₂ O ₃	0,85	0,90	1,03	1,06	1,53	4,58	6,07	7,83	6,72	13,56	2,48	4,88	17,34	18,62
Cr ₂ O ₃	0,80	0,22	0,36	-	-	7,33	5,27	4,23	4,74	2,05	3,42	0,43	0,81	0,71
Fe ₂ O ₃	4,50	4,80	7,05	2,08	36,76	51,13	56,57	50,67	52,38	30,05	17,36	9,29	46,74	57,44
MnO	-	-	-	0,03	0,09	0,70	0,88	0,67	0,83	0,16	0,29	0,09	0,18	0,21
MgO	36,40	20,80	11,49	2,99	7,90	9,96	5,08	10,04	2,45	18,97	6,05	3,80	2,81	1,27
CaO	3,28	15,24	30,87	0,06	0,07	1,09	0,30	0,03	1,29	-	-	-	0,71	0,66
NiO	0,32	0,65	0,68	0,21	0,53	1,15	1,32	1,36	0,81	0,77	0,72	0,90	0,53	0,43
A.Π.	14,58	15,22	26,05	0,69	1,34	6,62	2,61	3,17	4,21	6,00	5,95	6,83	8,66	9,01
ΣΥΝΟΛΟ	99,53	100,93	101,33	99,38	99,48	100,10	100,11	100,33	100,18	100,02	99,84	99,75	100,07	99,74

ppm	V1	V2	V3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	P1	P2	P3	P4
Zn	119	111	130	-	-	166	201	192	166	166	161	155	186	194
Cu	27	32	38	27	-	-	-	-	-	-	28	-	0	-
Co	-	110	120	150	550	650	750	680	570	470	410	510	300	240
V	-	-	-	-	-	210	276	190	206	-	-	-	76	158

6.5 Συσχετισμός ορυκτολογικών και χημικών αναλύσεων των αρχικών δειγμάτων

Από τα δεδομένα των χημικών αναλύσεων του Πίνακα 4.1 και την ορυκτολογική/ακτινοσκοπική μελέτη των επιμέρους δειγμάτων προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις.

Το δείγμα V1 σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις έχει μεγάλη ποσότητα σε SiO_2 και MgO και αυτό δικαιολογείται από την ύπαρξη χρυσोटίλη και λιζαρδίτη. Η παρουσία του Fe_2O_3 οφείλεται σε σιδηρούχα ορυκτά και σε μεμονωμένους κόκκους χρωμίτη που παρατηρούνται. Τέλος υπάρχει και ένα ποσοστό CaO που αντιστοιχεί στον ασβεστίτη.

Το δείγμα V2 διαθέτει SiO_2 και MgO τα οποία συναντώνται στον τάλκη ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) που περιέχεται στο υλικό, ενώ το CaO οφείλεται στον ασβεστίτη.

Το δείγμα V3 περιέχει ασβεστίτη (επομένως έχει CaO), αιματίτη Fe_2O_3 και νικελιούχο τάλκη ($(\text{Ni},\text{Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

Στο δείγμα K4 κυρίαρχα συστατικά είναι ο χαλαζίας και ο αιματίτης.

Στο δείγμα K5 επίσης απαντώνται το SiO_2 και ο αιματίτης. Επίσης ανιχνεύτηκε νικελιούχος τάλκης στον οποίο υπάρχουν (εκτός από SiO_2 και NiO) το MgO .

Το δείγμα K6 περιέχει Fe_2O_3 προερχόμενο από τον αιματίτη, Cr_2O_3 στον χρωμίτη, SiO_2 μέρος του οποίου πηγαίνει στον νικελιούχο χλωρίτη ($(\text{Ni},\text{Mg},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ μαζί με NiO , MgO , Al_2O_3 .

Το δείγμα K7 περιέχει σε μεγάλο ποσοστό Fe_2O_3 , χαλαζία και νικελιούχο χλωρίτη με Al_2O_3 , MgO , NiO .

Το δείγμα K8 περιέχει σε μεγάλο ποσοστό Fe_2O_3 , το SiO_2 βρίσκεται στον χαλαζία αλλά και μαζί με MgO και Al_2O_3 απαντώνται στο κλινόχλωρο [$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$].

Στο δείγμα K9 απαντάται αιματίτης με Fe_2O_3 και το υλικό περιέχει ακόμη SiO_2 και Al_2O_3 που υπάρχουν στο κλινόχλωρο και τον ιλίτη $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, ενώ υπάρχει Cr_2O_3 το οποίο ανήκει σε χρωμίτη καθώς και MgO που ανήκει στο κλινόχλωρο.

Στο δείγμα K10 το SiO_2 υπάρχει στον χαλαζία και τον νικελιούχο χλωρίτη. Εμφανής είναι η παρουσία Fe_2O_3 (αιματίτης), ενώ τα NiO , MgO και Al_2O_3 περιέχονται στο νικελιούχο χλωρίτη.

Το δείγμα P1 περιέχει SiO_2 που βρίσκεται στον χαλαζία και το κλινόχλωρο, Fe_2O_3 στον αιματίτη, Al_2O_3 στον γκιψίτη $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ και το κλινόχλωρο και MgO στο κλινόχλωρο. Τέλος περιέχει και ένα ποσοστό σε Cr_2O_3 , δηλαδή στους κόκκους χρωμίτη.

Το δείγμα P1 περιέχει SiO_2 στον χαλαζία και το κλινόχλωρο, Fe_2O_3 στον αιματίτη, Al_2O_3 στον γκιψίτη και το κλινόχλωρο και MgO στο κλινόχλωρο.

Το δείγμα P3 υπάρχει υψηλό ποσοστό αιματίτη, το Al_2O_3 βρίσκεται στο διάσπορο (AlOOH) και τον χλωρίτη, το SiO_2 βρίσκεται στον χαλαζία και τον χλωρίτη και τέλος το MgO περιέχεται στον χλωρίτη.

Στο δείγμα P4 διακρίνεται ο αιματίτης Fe_2O_3 , το Al_2O_3 που βρίσκεται στο διάσπορο και τον χλωρίτη. Το SiO_2 μαζί με το MgO υπάρχουν στον χλωρίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

7.1 Διαδικασία δοκιμών εμπλουτισμού με τη χρήση βαρέων υγρών

Από την διαδικασία θραύσης (μέσω του σιαγωνωτού σπαστήρα) και κοσκίνησης του επιμέρους υλικού του καθενός από τα αρχικά δείγματα K (FeNi-μετάλλευμα) και P (βωξιτικό μετάλλευμα) προέκυψαν τα κοκκομετρικά κλάσματα (-8 +4 mm), (-4 +1mm), (-1 +0,250mm) και (-0,250mm). Ωστόσο, τα κλάσματα του κάθε δείγματος χωρίστηκαν σε δυο όμοια μέρη ώστε το ένα να χρησιμοποιηθεί για τον μαγνητικό και το άλλο για τον βαρυτομετρικό διαχωρισμό. Το κλάσμα (-0,250mm) δεν χρησιμοποιείται για διαχωρισμό.

Επίσης, το κλάσμα (-1 +0,250mm) λόγω του μικρού μεγέθους των κόκκων του καθιστά την διαδικασία διαχωρισμού μέσω των βαρέων υγρών προβληματική, οπότε αντενδείκνυται η χρήση του. Οι χημικές αναλύσεις των κοκκομετρικών κλασμάτων των δειγμάτων K και P παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.1 και 7.2 που ακολουθούν.

Πίνακας 7.1: Χημικές αναλύσεις κοκκομετρικών κλασμάτων του δείγματος K

Κοκκομετρικό κλάσμα	Βάρος (g)	Βάρος (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	872,9	50,35	4,72	0,44	0,30	32,45	0,74	5,39	53,41
-4+1mm	549,7	31,71	5,51	0,31	2,99	24,10	0,66	5,52	55,63
-1+0,250mm	201,6	11,63	5,33	0,42	2,49	28,23	0,65	8,42	47,41
-0,250mm	109,3	6,31	5,20	0,96	1,50	30,7	1,00	5,41	49,88
Σύνολο	1733,5	100,00	5,07	0,43	1,47	29,19	0,72	6,31	53,20

Πίνακας 7.2: Χημικές αναλύσεις κοκκομετρικών κλασμάτων του δείγματος P

Κοκκομετρικό κλάσμα	Βάρος (g)	Βάρος (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	NiO (%)	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)
-8+4mm	413	63,98	3,40	0,38	1,50	37,03	0,52	10,10	38,22
-4+1mm	180,4	27,95	3,97	0,37	1,28	32,68	0,46	13,28	37,36
-1+0,250mm	38,5	5,96	5,04	0,74	0,98	23,68	0,57	9,11	43,30
-0,250mm	13,6	2,11	6,10	1,28	1,44	37,27	0,57	12,47	29,68
Σύνολο	645,5	100,00	3,69	0,42	1,41	35,03	0,50	10,95	38,11

Κατά την παρούσα πειραματική διαδικασία έγινε διαχωρισμός των κοκκομετρικών κλασμάτων (-8 +4 mm), (-4 +1 mm) και από τα δυο αρχικά δείγματα P και K. Για την πραγματοποίηση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν τα βαρέα υγρά καθαρό τετραβρωμοαιθάνιο και καθαρός τετραχλωράνθρακας με πυκνότητες 2,96 g/cm³ και 1,59 g/cm³ αντίστοιχα.

Τα δυο αυτά υγρά αναμείχθηκαν με την κατάλληλη αναλογία ώστε το τελικό υγρό που θα προκύψει να έχει πυκνότητα ίση με 2,65 g/cm³. Η αναλογία για την δημιουργία του επιθυμητού βαρέως υγρού δίνεται σύμφωνα με την εξίσωση της ανάμειξης:

$$\rho_1 \cdot v_1 + \rho_2 \cdot v_x = \rho \cdot (v_1 + v_x)$$

όπου:

ρ_1 = η πυκνότητα του τετραβρωμοαιθανίου (g/cm³)

v_1 = ο όγκος του τετραβρωμοαιθανίου (ml)

ρ_2 = η πυκνότητα του τετραχλωράνθρακα (g/cm³)

v_x = ο απαιτούμενος όγκος του τετραχλωράνθρακα (ml)

ρ = η επιθυμητή πυκνότητα του βαρέως υγρού (g/cm³)

Στη συνέχεια, το δείγμα κάθε κοκκομετρίας τοποθετείται προοδευτικά στο δοχείο με το βαρύ υγρό όπου και προκύπτουν δυο νέα κλάσματα: οι κόκκοι του μεταλλεύματος οι οποίοι διαθέτοντας ειδικό βάρος μεγαλύτερο από εκείνο του υγρού (δηλ. μεγαλύτερο από 2,65 g/cm³) καταβυθίζονται και οι κόκκοι των στείρων

ορυκτών οι οποίοι έχουν ειδικό βάρος μικρότερο του υγρού και κατά συνέπεια επιπλέουν σε αυτό.

Στο επόμενο βήμα συλλέγονται τα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού και αφού γίνει έκπλυση αυτών με τον κατάλληλο διαλύτη (ακετόνη), ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος βαρέως υγρού από την επιφάνειά τους, τοποθετούνται στον φούρνο για ξήρανση. Ακολούθως όλα τα κλάσματα ζυγίζονται και καταγράφονται τα βάρη τους.

7.2 Αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού με την χρήση των βαρέων υγρών

Στους Πίνακες 7.3 και 7.4 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την πειραματική διαδικασία του βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Το κλάσμα (-8+4 mm) του δείγματος K είχε βάρος 268,5 g δηλαδή 15,49 % επί του αρχικού, ενώ το ίδιο κλάσμα του P ζύγιζε 182,8 g δηλαδή 28,32 % επί του αρχικού. Αντίστοιχα, το κλάσμα (-4+1 mm) του K ζύγιζε 197,4 g δηλ. 11,39 % επί του αρχικού και του P ζύγιζε 85,2 g δηλ. 13,20 % επί του αρχικού.

Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το δείγμα Κ

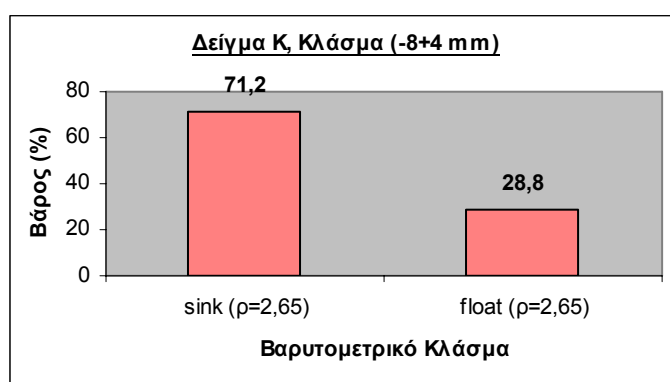
Κοκκομετρικό κλάσμα	Προϊόν	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί του αρχικού	Ανάλυση							Κατανομή						
				MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	(TK1) sink	71,20	35,85	5,80	0,48	0,03	43,65	0,94	7,05	38,86	73,75	87,18	14,30	86,55	85,90	82,57	56,83
	(TK2) float	28,80	14,50	5,10	0,17	0,40	16,76	0,37	3,69	73,00	26,25	12,82	85,70	13,45	14,10	17,43	43,17
	Σύνολο	100	50,35	5,60	0,39	0,14	35,91	0,78	6,08	48,69	100	100	100	100	100	100	100
-4+1mm	(B11) sink	55,70	17,66	5,03	0,35	3,63	33,95	0,72	6,21	44,59	52,43	71,43	100	77,92	60,61	62,01	45,15
	(B12) float	44,30	14,25	5,74	0,18	0,00	12,10	0,58	4,78	68,19	47,57	28,57	0,00	22,08	39,39	37,99	54,85
	Σύνολο	100	31,71	5,34	0,27	3,63	24,27	0,66	5,58	55,05	100	100	100	100	100	100	100
-1+0,250mm	Σύνολο	100	11,63	5,33	0,42	2,49	28,23	0,65	8,42	47,41							
-0,250mm	Σύνολο	100	6,31	5,20	0,96	1,50	30,7	1,00	5,41	49,88							
Γενικό Σύνολο		100	100	5,46	0,40	1,60	31,00	0,74	7,19	50,64							

Πίνακας 7.4: Αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το δείγμα P

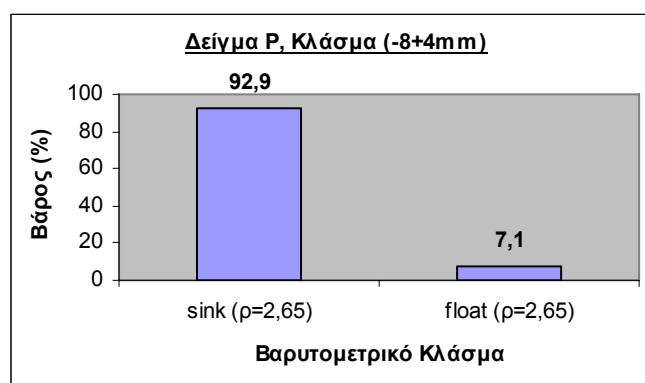
				Ανάλυση							Κατανομή						
Κοκκομετρικό κλάσμα	Προϊόν	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί του αρχικού	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	(TP1) sink	92,9	59,44	2,85	0,37	1,56	39,89	0,52	9,86	36,50	90,75	91,89	95,39	97,07	92,31	94,82	88,45
	(TP2) float	7,10	4,54	3,80	0,36	0,92	15,84	0,54	7,03	62,40	9,25	8,11	4,61	2,93	7,69	5,18	11,55
	Σύνολο	100	63,98	2,92	0,37	1,52	38,18	0,52	9,66	38,34	100	100	100	100	100	100	100
-4+1mm	(B21) sink	74,30	20,77	2,93	0,33	1,50	37,51	0,42	14,79	31,57	56,62	65,79	83,46	82,90	67,39	80,81	65,26
	(B22) float	25,70	7,18	6,52	0,50	0,84	22,36	0,59	10,15	48,59	43,38	34,21	16,54	17,10	32,61	19,19	34,74
	Σύνολο	100	27,95	3,86	0,38	1,33	33,62	0,46	13,6	35,95	100	100	100	100	100	100	100
-1+0,250mm	Σύνολο	100	5,96	5,04	0,74	0,98	23,68	0,57	9,11	43,30							
-0,250mm	Σύνολο	100	2,11	6,1	1,28	1,44	37,27	0,57	12,47	29,68							
Γενικό Σύνολο		100	100	3,38	0,42	1,43	36,03	0,50	10,78	37,79							

Από τον Πίνακα 7.3 παρατηρούμε ότι στο δείγμα Κ το νικέλιο κατανέμεται ικανοποιητικά στο sink προϊόν, ενώ στον Πίνακα 7.4 βλέπουμε ότι το δείγμα Ρ δεν εμπλουτίζεται καθόλου και εναλλακτικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το δείγμα η μέθοδος της εκχύλισης (Σταμπολιάδης κ.α. 2006). Τέλος παρατηρούμε ότι το ψιλό κλάσμα (-0,250mm) του δείγματος Κ έχει περιεκτικότητα σε νικέλιο 0,74%, που είναι σχετικά υψηλή σε σχέση με τα προϊόντα του διαχωρισμού.

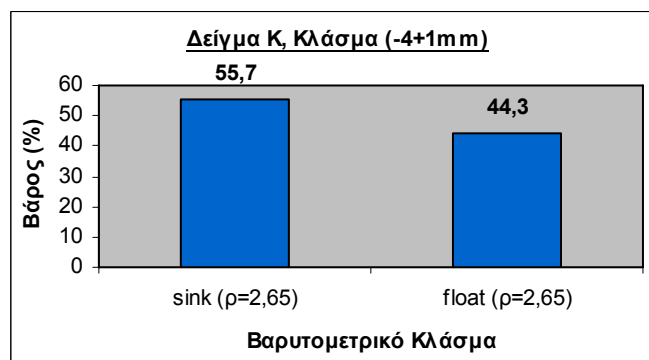
Από τους ίδιους πίνακες προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα από 7.1 έως 7.4 και δείχνουν τις κατανομές βάρους (%) των προϊόντων του διαχωρισμού για κάθε δείγμα.



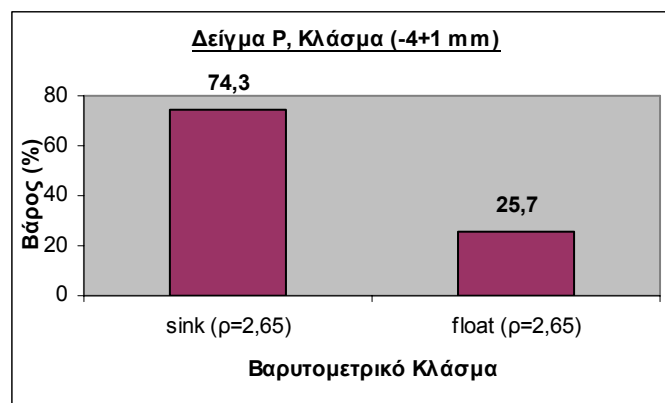
Σχήμα 7.1 : Κατανομή βάρους (%) των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του δείγματος Κ (-8+4mm)



Σχήμα 7.2: Κατανομή βάρους (%) των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του δείγματος Ρ (-8+4mm)



Σχήμα 7.3: Κατανομή βάρους (%) των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του δείγματος Κ (-4+1mm)

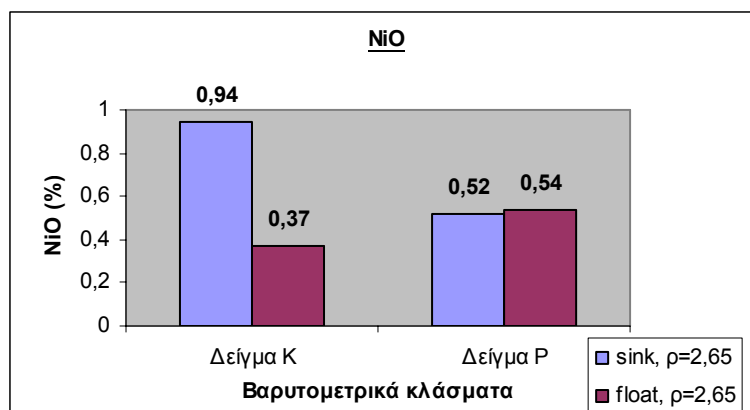


Σχήμα 7.4: Κατανομή βάρους (%) των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού του δείγματος Ρ (-4+1mm)

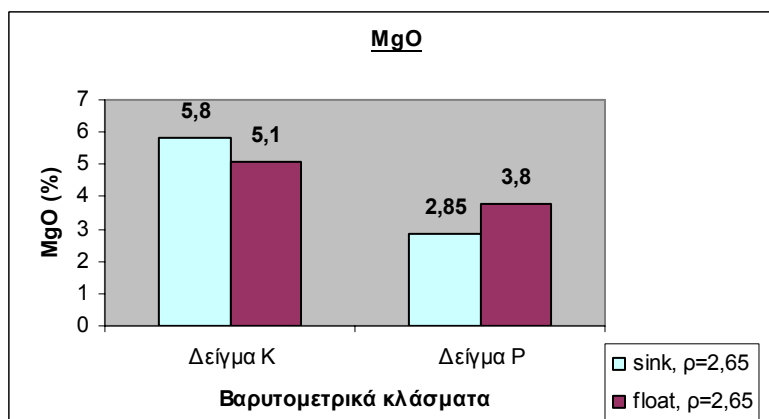
7.3 Κατανομή της περιεκτικότητας στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού των NiO, MgO, CaO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂

Κοκκομετρικό Κλάσμα -8+4 mm

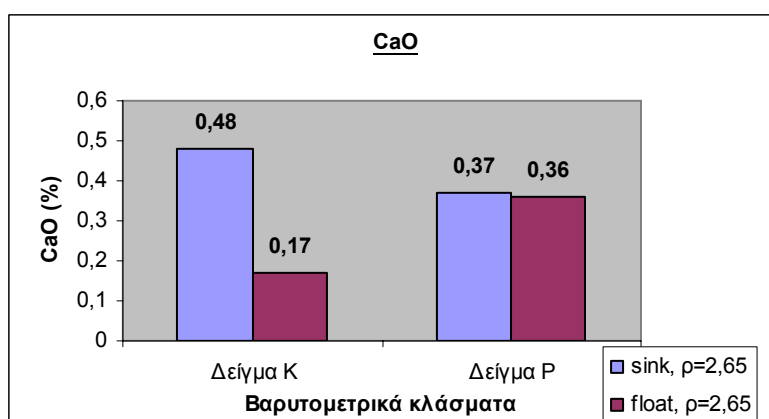
Από τους Πίνακες 7.3 και 7.4 προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα 7.5 έως 7.11 που απεικονίζουν τις κατανομές των NiO, Fe₂O₃, MgO, CaO, Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₂ στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.



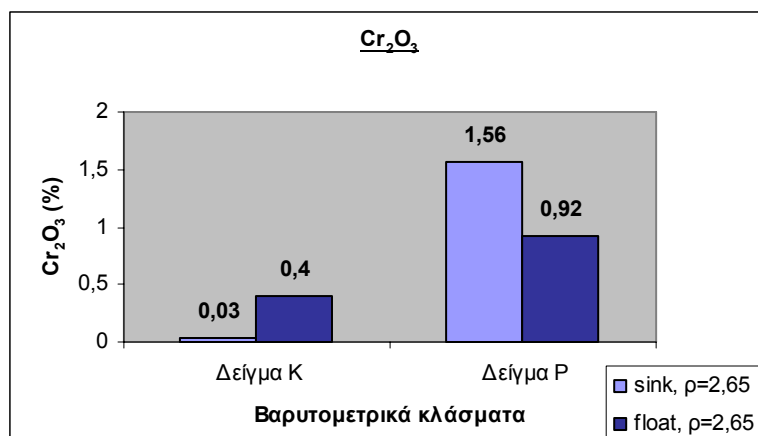
Σχήμα 7.5: Περιεκτικότητα NiO στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



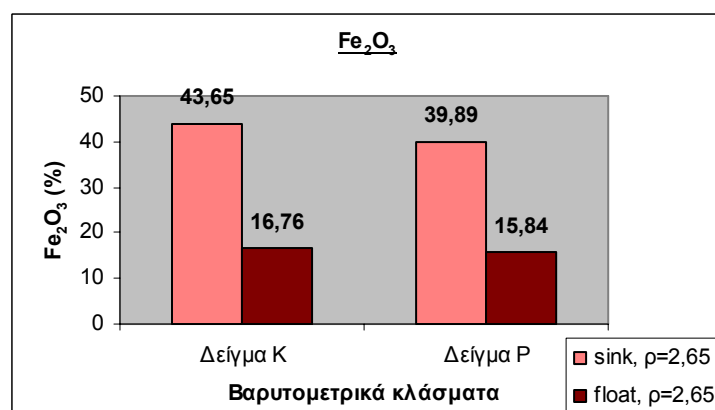
Σχήμα 7.6: Περιεκτικότητα MgO στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



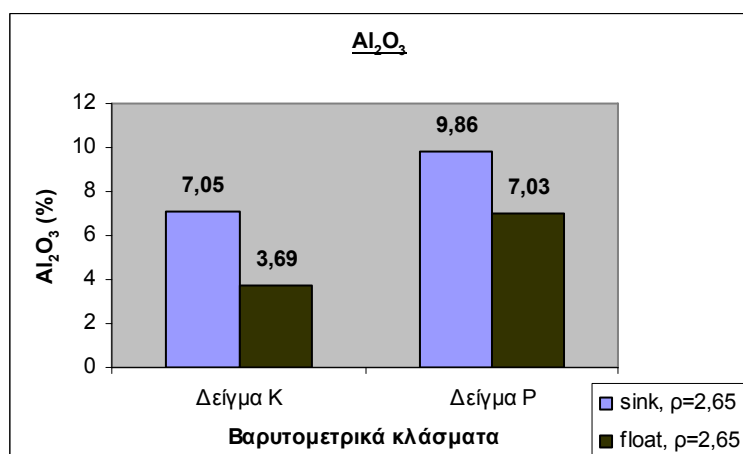
Σχήμα 7.7: Περιεκτικότητα CaO στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



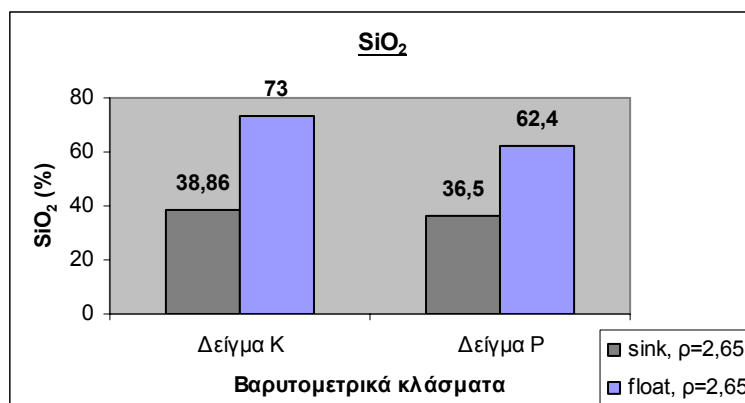
Σχήμα 7.8: Περιεκτικότητα Cr₂O₃ στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα K και P



Σχήμα 7.9: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα K και P



Σχήμα 7.10: Περιεκτικότητα Al₂O₃ στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα K και P



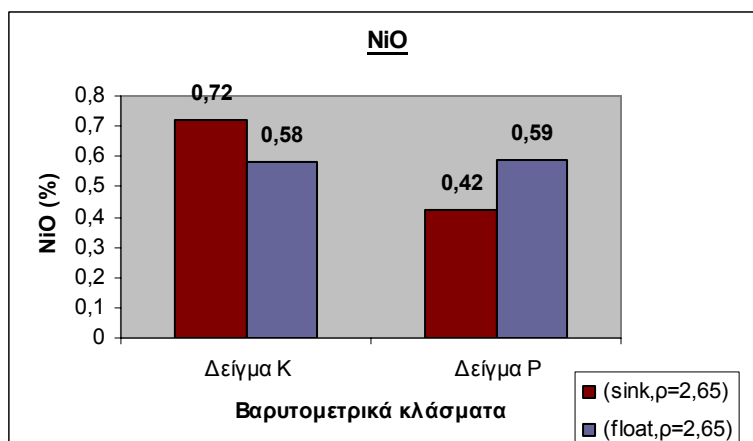
Σχήμα 7.11: Περιεκτικότητα SiO₂ στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ

Παρατήρηση :

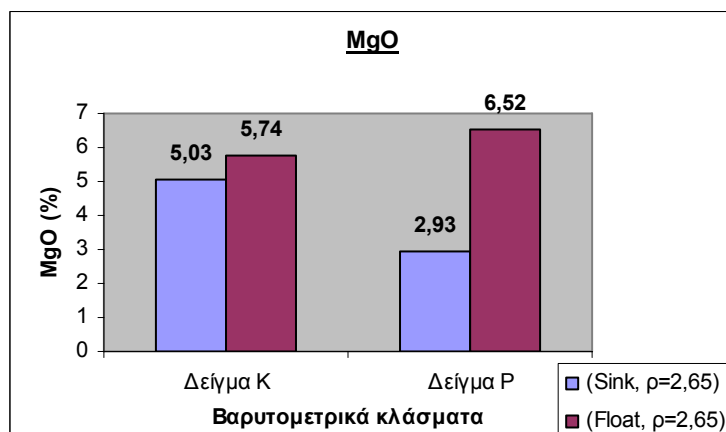
Από τις χημικές αναλύσεις (Πίνακες 7.3 και 7.4) του κοκκομετρικού κλάσματος -8+4 mm παρατηρούμε ότι τα Fe₂O₃, CaO, και Al₂O₃ εμπλουτίζονται κυρίως στα βαριά προϊόντα (sink), ενώ το SiO₂ στα ελαφρά (float). Το MgO και το NiO του δείγματος Κ έχει υψηλότερη συγκέντρωση στο sink προϊόν, ενώ του δείγματος Ρ στο float προϊόν. Με την συγκέντρωση του Cr₂O₃ συμβαίνει ακριβώς το αντίστροφο. Όσον αφορά την κατανομή των αντίστοιχων ορυκτολογικών φάσεων, ο αιματίτης Fe₂O₃, το διάσπορο AlOOH και ο χρωμίτης εμπλουτίζονται στα βαριά προϊόντα, ενώ ο χαλαζίας SiO₂ εμπλουτίζεται στα ελαφρά προϊόντα. Το κλινόχλωρο Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈ και ο νικελιούχος χλωρίτης (Ni,Mg,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈ εμφανίζουν υψηλότερη συγκέντρωση στο ελαφρύ προϊόν του δείγματος Ρ αλλά όσον αφορά στο Κ εμπλουτίζονται στο βαρύ προϊόν.

Κοκκομετρικό Κλάσμα -4 +1 mm

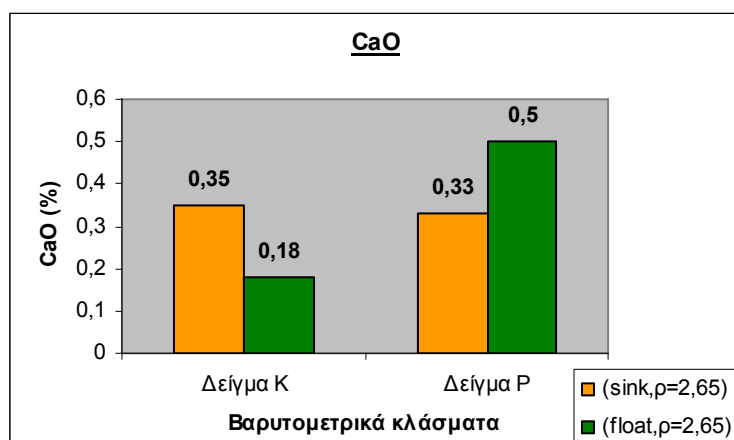
Από τον Πίνακες 7.3 και 7.4 προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα 7.12 έως 7.18 που απεικονίζουν τις κατανομές των NiO, Fe₂O₃, MgO, CaO, Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₂ στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.



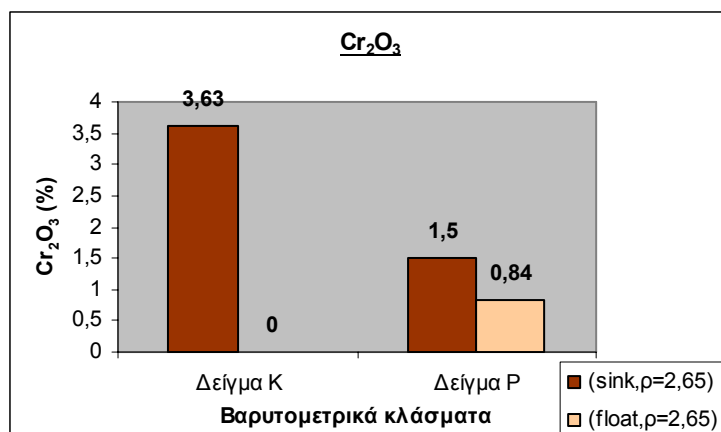
Σχήμα 7.12: Περιεκτικότητα NiO στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



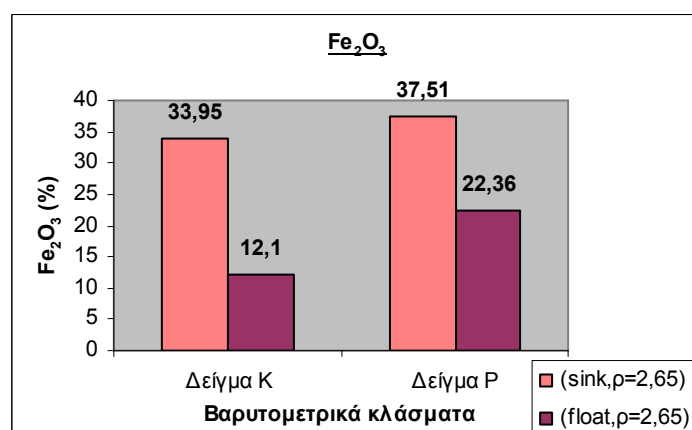
Σχήμα 7.13 : Περιεκτικότητα MgO στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



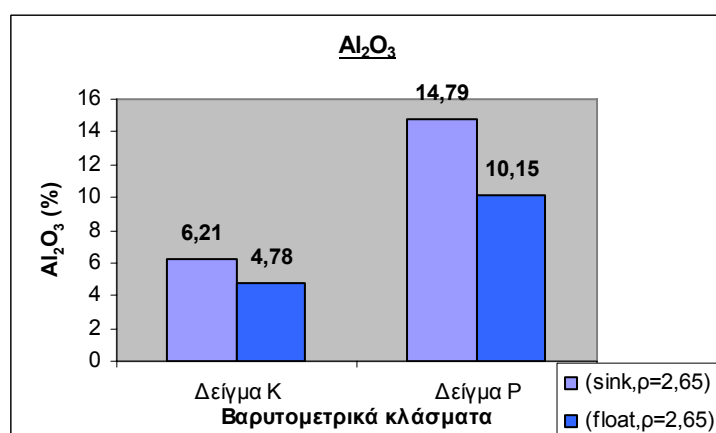
Σχήμα 7.14 : Περιεκτικότητα CaO στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



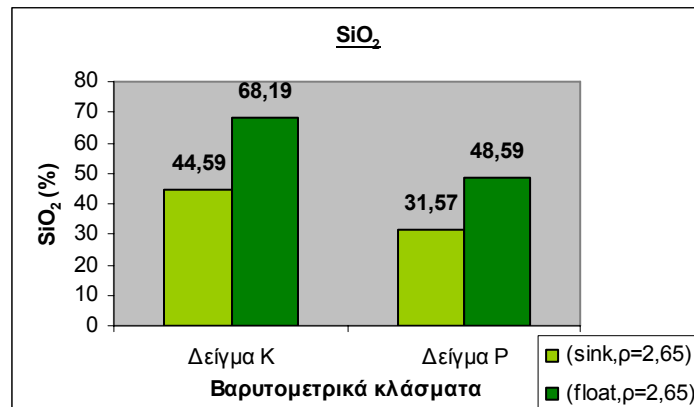
Σχήμα 7.15: Περιεκτικότητα Cr_2O_3 στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



Σχήμα 7.16: Περιεκτικότητα Fe_2O_3 στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



Σχήμα 7.17: Περιεκτικότητα Al_2O_3 στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα Κ και Ρ



Σχήμα 7.18: Περιεκτικότητα SiO₂ στα βαρυτομετρικά προϊόντα για τα δείγματα K και P

Παρατήρηση :

Από τις χημικές αναλύσεις (Πίνακες 7.3 και 7.4) του κοκκομετρικού κλάσματος -4+1 mm παρατηρούμε ότι τα Fe₂O₃, Cr₂O₃ και Al₂O₃ εμπλουτίζονται κυρίως στα βαριά κλάσματα (sink). Από την άλλη, τα MgO και SiO₂ εμπλουτίζονται κυρίως στα ελαφρά κλάσματα (float). Τέλος στο δείγμα K παρατηρούμε ότι το NiO και το CaO υπάρχουν σε μεγαλύτερη ποσότητα στα βαριά κλάσματα απ'ότι στα ελαφρά, ενώ στο δείγμα P συμβαίνει το αντίστροφο.

Επομένως, ο αιματίτης, ο χρωμίτης και το διάσπορο συγκεντρώνονται περισσότερο στα sink προϊόντα, σε αντίθεση με τον χαλαζία και το κλινόχλωρο που πηγαίνουν στα float προϊόντα της δοκιμής. Επιπρόσθετα, ο νικελιούχος χλωρίτης εμπλουτίζεται διαφορετικά για τα δυο δείγματα, αφού έχει υψηλότερη συγκέντρωση στα βαριά κλάσματα του K και αντίστοιχα υψηλότερη συγκέντρωση στα ελαφρά του P.

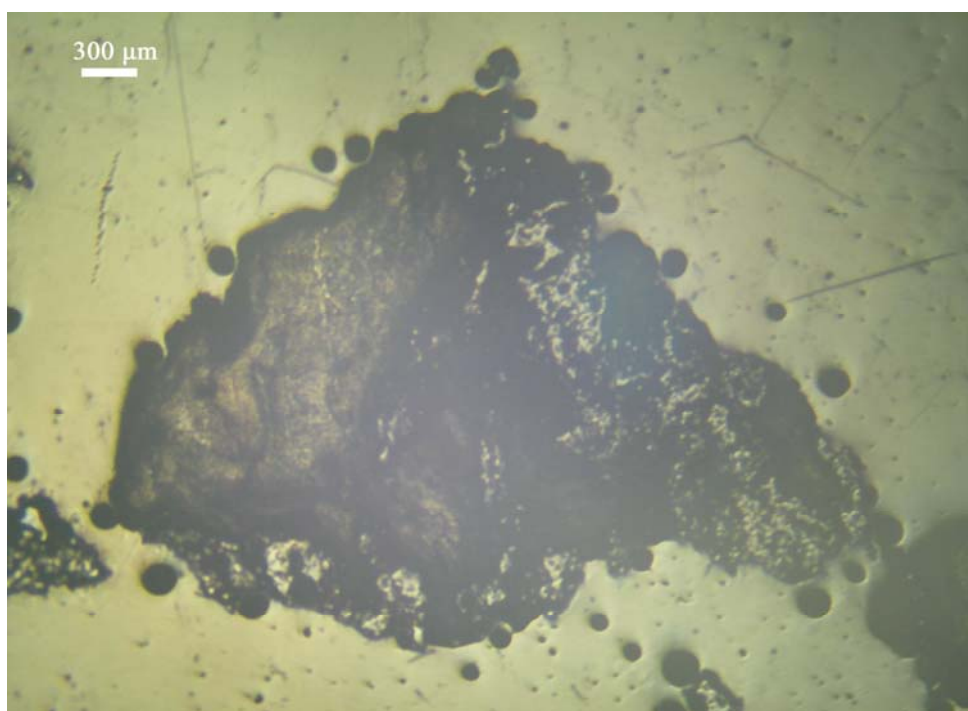
7.4 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Κοκκομετρικό Κλάσμα -8 +4 mm

Δείγμα Κ:

Στην τομή TK1 (sink) παρατηρείται συνδετικό υλικό με πληθώρα πελοειδών (Σχήμα 7.19) και θραυσμάτων κλαστικών κόκκων από αιματίτη. Σε μικρό βαθμό απαντώνται επίσης κόκκοι χαλαζία.

Στην τομή TK2 (float) παρατηρείται συνδετικό υλικό που αποτελείται κατά το μεγαλύτερο μέρος του από χαλαζία και περιέχει σε πολύ μικρό ποσοστό μη αποδεσμευμένους μικρού μεγέθους κλαστικούς κόκκους αιματίτη (Σχήμα TK2, Παρ.).



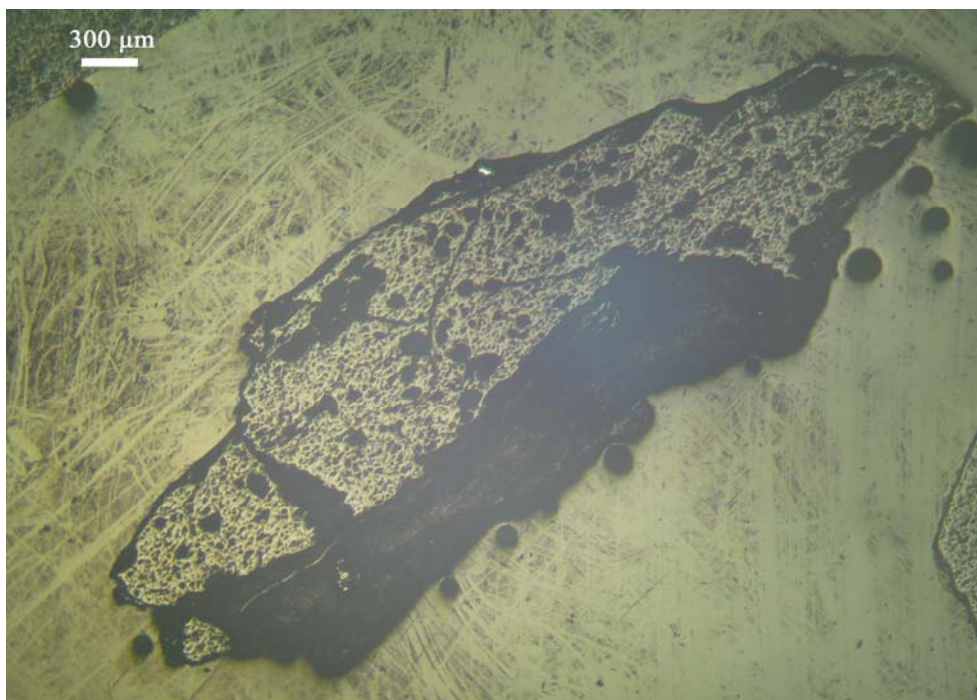
Σχήμα 7.19: Κόκκος συνδετικού υλικού, ο οποίος έχει υποστεί σε μεγάλο βαθμό έκπλυση του μεταλλικού υλικού του.

Δείγμα TK1. Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Δείγμα Ρ:

Στην τομή TP1 (sink) παρατηρείται συνδετικό υλικό με πληθώρα κόκκων χαλαζία και αιματίτη.

Στην τομή TP2 (float) παρατηρείται συνδετικό υλικό με πληθώρα κόκκων χαλαζία (Σχήμα 7.20) καθώς και ελάχιστους κόκκους αιματίτη.



Σχήμα 7.20: Ο χαλαζίας αποτελεί το κύριο συστατικό του ελαφρύτερου κλάσματος. Δείγμα TP2. Ανακλώμενο φως, // Nicols

Κοκκομετρικό Κλάσμα -4 +1 mm

Δείγμα Κ:

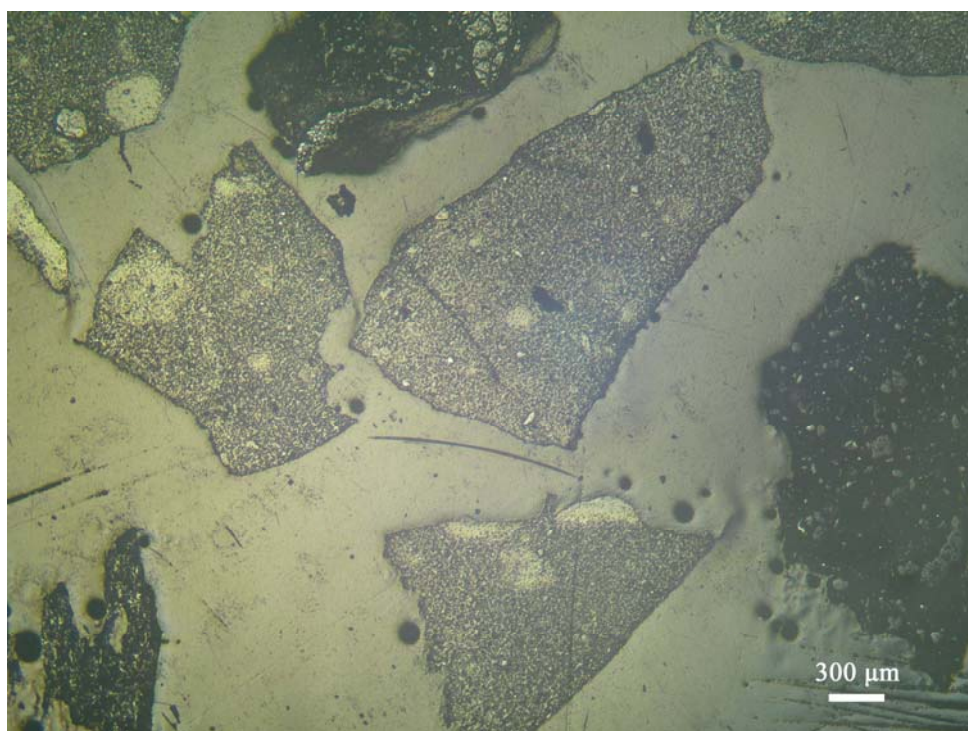
Στην τομή B11 (sink) παρατηρούνται κόκκοι που περιέχουν ωοειδή, πισοειδή καθώς και συνδετικό υλικό. Ακόμη, απαντάται σχετικά μεγάλος αριθμός κόκκων χαλαζία. Η ακτινοσκοπική εξέταση έδειξε την παρουσία αιματίτη, χαλαζία και σε μικρότερο ποσοστό νικελιούχο χλωρίτη (Σχήμα R0568, Παρ.).

Στην τομή B12 (float) το κυρίαρχο συστατικό είναι ο χαλαζίας και υπάρχουν και λίγοι κόκκοι με συνδετικό υλικό και πεισσιδία. Η ακτινοσκοπική διερεύνηση του προϊόντος πιστοποίησε την παρουσία χαλαζία και ενός μικρού ποσοστού αιματίτη (Σχήμα R0567, Παρ.).

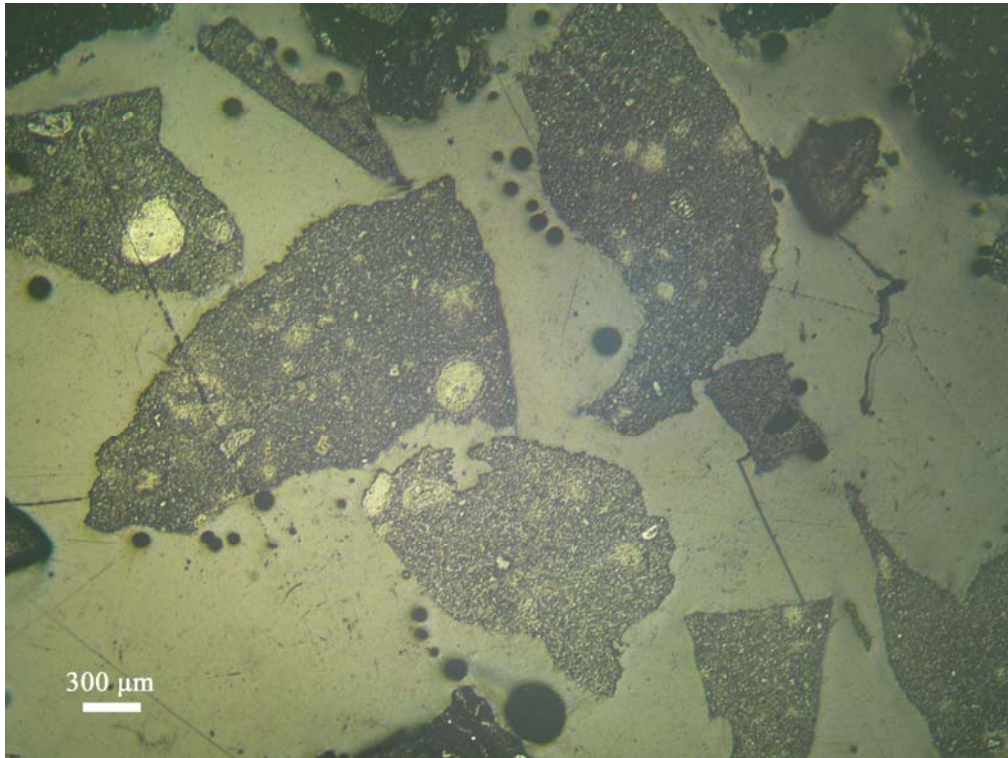
Δείγμα Ρ:

Στην τομή B21 (sink) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι συνδετικού υλικού οι οποίοι περιέχουν ωσειδή – πελοειδή, καθώς και μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία (Σχήμα 7.21). Το συνδετικό υλικό αποτελείται κυρίως από αιματίτη, διάσπορο και χλωρίτη σύμφωνα με την ακτινοσκοπική εξέταση (Σχήμα R0569, Παρ.).

Στην τομή B22 (float) απαντώνται κυρίως κόκκοι χαλαζία, αλλά και συνδετικού υλικού το οποίο περιέχει πελοειδή και κόκκους χαλαζία (Σχήμα 7.22).



Σχήμα 7.21: Κόκκοι συνδετικού υλικού με μερική έκπλυση του αιματιτικού υλικού τους.
Δείγμα B21. Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 7.22: Κόκκοι συνδετικού υλικού, οι οποίοι εμπεριέχουν πελοειδή από αιματίτη και έχουν υποστεί μερική έκπλυση του μεταλλικού υλικού τους.
Δείγμα B22. Ανακλώμενο φως, // Nicols

Παρατήρηση: Η δοκιμή με τη μέθοδο του βαρυτομετρικού διαχωρισμού όσον αφορά την αποδέσμευση δεν ήταν ικανοποιητική (για τις δεδομένες κοκκομετρίες).

Ο διαχωρισμός υπήρξε σχετικά ικανοποιητικός. Ωστόσο, τόσο η αποδέσμευση, όσο και ο διαχωρισμός θα είχαν επιτευχθεί σε μεγαλύτερο βαθμό αν η κοκκομετρίες των κλασμάτων της δοκιμής ήταν μικρότερες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

8.1 Διαδικασία δοκιμών εμπλουτισμού μέσω μαγνητικού διαχωρισμού

Κατά την πειραματική διαδικασία του μαγνητικού διαχωρισμού έγιναν δοκιμές εμπλουτισμού στα κλάσματα $(-8 +4\text{mm})$, $(-4 +1\text{mm})$ και $(-1 +0,250\text{mm})$ σε κάθε ένα από τα δυο αρχικά δείγματα Κ και Ρ. Το κλάσμα $(-0,250\text{mm})$ δεν ενδείκνυται για διαχωρισμό. Οι χημικές αναλύσεις των κοκκομετρικών κλασμάτων των δειγμάτων Κ και Ρ παρουσιάζονται στους Πίνακες 7.1 και 7.2 του προηγούμενου κεφαλαίου.

Η πειραματική πορεία κάθε κλάσματος είναι η ακόλουθη:

- Κλάσμα $(-1 +0,250\text{mm})$: για το παρόν κλάσμα χρησιμοποιήθηκε ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (High Intensity Induced Roll Magnetic Separator MIH 111-5 της Carpco), Σχήμα 8.1.



Σχήμα 8.1: Ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης MIH 111-5 της Carpco

Το αρχικό υλικό K χωρίστηκε σε δυο όμοια μέρη (K_1 και K_2) ώστε να γίνουν δυο διαδικασίες διαχωρισμού του ίδιου υλικού με μεταβαλλόμενες τις συνθήκες στο διαχωριστή και να γίνει περαιτέρω σύγκριση των αποτελεσμάτων για τον πιο αποτελεσματικό διαχωρισμού του χρήσιμου μεταλλεύματος.

- Το πρώτο τμήμα (K_1) διαχωρίστηκε με ένταση 3,2A και ταχύτητα περιστροφής 160 rpm και έδωσε τρία κλάσματα (μαγνητικό, ενδιάμεσο, μη μαγνητικό) από τα οποία το ενδιάμεσο τροφοδοτήθηκε ξανά στο διαχωριστή και έδωσε δυο επιμέρους ενδιάμεσα προϊόντα.

- Το δεύτερο τμήμα K_2 διαχωρίστηκε με ένταση 1,6A και ταχύτητα περιστροφής 160rpm και έδωσε τρία κλάσματα (μαγνητικό, ενδιάμεσο, μη μαγνητικό) από τα οποία το ενδιάμεσο περάστηκε ξανά από το διαχωριστή και έδωσε δυο επιμέρους ενδιάμεσα προϊόντα.

Όσον αφορά το υλικό P, διαχωρίστηκε αρχικά σε συνθήκες με ταχύτητα περιστροφής 160rpm και ένταση 1,6A και έδωσε τρία προϊόντα: μαγνητικό ενδιάμεσο και μη μαγνητικό.

Στη συνέχεια, το ενδιάμεσο υλικό επανατροφοδοτήθηκε στον διαχωριστή και με νέα ρύθμιση της έντασης (3,2A αυτή τη φορά), έδωσε δυο νέα προϊόντα :το ενδιάμεσο 1 και το ενδιάμεσο 2.

➤ Κλάσματα (-4+1mm) και (-8+4mm): για τα παρόντα κλάσματα χρησιμοποιήθηκε ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm Roll), Σχήμα 8.2.



Σχήμα 8.2: Ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (Perm Roll)

Στο κλάσμα (-4 +1mm) τα δυο αρχικά δείγματα K και P διαχωρίστηκαν το καθένα με μεταβαλλόμενη (μειούμενη) ένταση ξεκινώντας από ταχύτητα περιστροφής τύμπανου 160 rpm, συνεχίζοντας με 120 rpm και τέλος 80 rpm. Στις προαναφερόμενες ταχύτητες περιστροφής πραγματοποιήθηκαν τρία διαδοχικά περάσματα του κάθε υλικού K και P. Σε κάθε πέρασμα το μαγνητικό προϊόν συλλέγεται και ζυγίζεται, ενώ το μη μαγνητικό προϊόν αποτελεί την τροφοδοσία του επόμενου περάσματος. Κάθε φορά συλλέγεται το μαγνητικό υλικό και τελικά στις 80 rpm παίρνουμε το τελικό μη μαγνητικό προϊόν.

Στο κλάσμα (-8 +4mm) τα δυο αρχικά δείγματα K και P διαχωρίστηκαν (επίσης) το καθένα με μεταβαλλόμενη (μειούμενη) ένταση ξεκινώντας από ταχύτητα περιστροφής τύμπανου 160 rpm, συνεχίζοντας με 120 rpm και τέλος 80 rpm. Στις παραπάνω ταχύτητες περιστροφής πραγματοποιήθηκαν τρία διαδοχικά περάσματα του κάθε υλικού K και P και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία διαχωρισμού όπως και για το δείγμα (-4 +1mm).

8.2 Αποτελέσματα από την διαδικασία του μαγνητικού διαχωρισμού

Στους Πίνακες 8.1, 8.2, 8.3 και 8.4 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την πειραματική διαδικασία του μαγνητικού διαχωρισμού και την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν. Το κλάσμα (-8+4 mm) του δείγματος K είχε βάρος 604,4 g δηλαδή 34,87 % επί του αρχικού, ενώ το ίδιο κλάσμα του P ζύγιζε 230,2 g δηλαδή 35,66 % επί του αρχικού. Αντίστοιχα, το κλάσμα (-4+1 mm) του K ζύγιζε 352,3 g δηλ. 20,32 % επί του αρχικού και του P ζύγιζε 95,2 g δηλ. 14,75 % επί του αρχικού. Τέλος, το κλάσμα (-1+0,250 mm) του K είχε βάρος 201,6 g δηλ. 11,63 % επί του αρχικού και το δείγμα P είχε βάρος 38,5 g και αντιστοιχούσε σε ποσοστό 5,96 επί του αρχικού.

Πίνακας 8.1: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το δείγμα K

Κοκκομετρικό κλάσμα	Προϊόν	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί αρχικού	Ανάλυση							Κατανομή						
				MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	Μαγνητικό 1 (ΣΚ1)	2,8	1,41	5,28	0,49	0,83	42,79	0,83	8,27	34,35	3,91	2,13	4,88	4,14	2,90	4,88	1,65
	Μαγνητικό 2 (ΣΚ2)	17,1	8,61	4,20	0,47	1,21	43,39	0,83	5,90	51,81	18,75	17,02	51,22	25,60	20,29	21,44	15,24
	Μαγνητικό 3 (ΣΚ3)	30,2	15,21	5,20	0,47	0,59	40,56	0,84	7,50	35,68	40,89	29,79	43,90	42,26	36,23	48,20	18,54
	Μη Μαγνητικό (ΣΚ4)	49,9	25,12	2,80	0,48	0,00	16,28	0,56	2,40	75,21	36,46	51,06	0,00	28,00	40,58	25,48	64,56
	Σύνολο	100	50,35	3,83	0,48	0,41	28,99	0,70	4,70	58,13	100	100	100	100	100	100	100
-4+1mm	Μαγνητικό 1 (ΜΚ1)	45,36	14,38	5,95	0,38	3,49	31,12	0,74	6,38	44,85	47,45	50,00	67,23	59,23	51,52	53,13	36,19
	Μαγνητικό 2 (ΜΚ2)	25,04	7,94	6,10	0,36	2,61	28,15	0,74	5,91	50,26	26,89	26,47	27,66	29,57	28,79	27,21	22,40
	Μαγνητικό 3 (ΜΚ3)	11,38	3,61	6,03	0,24	1,03	19,75	0,72	5,31	62,26	12,13	8,82	5,11	9,44	12,12	11,03	12,62
	Μη Μαγνητικό (ΜΚ4)	18,22	5,78	4,22	0,27	0,00	2,33	0,30	2,58	88,83	13,53	14,71	0,00	1,76	7,58	8,64	28,79
	Σύνολο	100	31,71	5,68	0,34	2,35	23,84	0,66	5,45	56,20	100	100	100	100	100	100	100
-1+0,250mm	Μαγνητικό (ΚΔ1)	10,47	1,22	5,86	0,39	3,88	32,04	0,76	6,19	42,94	10,53	12,20	15,92	13,10	11,59	9,63	8,66
	Ενδιάμεσο 1 (ΚΔ2)	58,71	6,83	4,38	0,40	1,64	34,61	0,49	15,27	34,97	62,43	56,10	78,89	69,80	65,22	56,37	50,05
	Ενδιάμεσο 2 (ΚΔ3)	8,94	1,04	5,00	0,41	0,00	6,93	0,53	3,74	80,37	7,08	9,76	5,19	11,47	5,80	21,27	6,21
	Μη Μαγνητικό (ΚΔ4)	21,88	2,54	5,52	0,45	4,41	33,74	0,74	5,96	41,60	19,96	21,95	0,00	5,64	17,39	12,73	35,08
	Σύνολο	100	11,63	4,84	0,41	2,33	31,68	0,58	11,25	41,31	100	100	100	100	100	100	100
-1+0,250mm	Μαγνητικό (ΚΔ5)	8,91	1,04	5,26	0,44	4,63	33,82	0,74	5,70	41,62	8,08	9,52	15,53	12,15	9,72	9,14	6,93
	Ενδιάμεσο 1 (ΚΔ6)	19,48	2,27	5,54	0,45	4,40	33,43	0,75	6,07	41,39	18,56	21,43	32,58	26,27	20,83	21,15	15,07
	Ενδιάμεσο 2 (ΚΔ7)	41,97	4,88	6,17	0,38	3,26	28,87	0,76	6,21	47,04	44,5	38,10	51,89	48,91	44,44	46,77	36,90
	Μη Μαγνητικό (ΚΔ8)	29,64	3,45	5,66	0,44	0,00	10,59	0,62	4,33	74,19	28,87	30,95	0,00	12,67	25,00	22,94	41,10
	Σύνολο	100	11,63	5,82	0,42	2,64	24,78	0,71	5,58	53,50	100	100	100	100	100	100	100
-0,250mm	Σύνολο	100	6,31	5,20	0,96	1,50	30,7	1,00	5,41	49,88							
Γενικό Σύνολο		100	100	4,68	0,46	1,34	27,38	0,70	5,42	55,75							

Πίνακας 8.2: Πίνακας αθροιστικών προϊόντων για το δείγμα Κ

Κοκκομετρικό κλάσμα	Προϊόν	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί του αρχικού	Ανάλυση							Κατανομή						
				MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	Μαγνητικό 1 (ΣΚ1)	2,80	1,41	5,28	0,49	0,83	42,79	0,83	8,27	34,35	3,91	2,13	4,88	4,14	2,90	4,88	1,65
	Μαγνητικό 2 (ΣΚ2)	19,90	10,02	4,37	0,45	1,16	43,32	0,80	6,23	49,35	22,66	19,15	56,10	29,74	23,19	26,32	16,89
	Μαγνητικό 3 (ΣΚ3)	50,10	25,23	4,87	0,46	0,82	41,66	0,82	7,01	41,12	63,55	48,94	100,00	72,00	59,42	74,52	35,43
-4+1mm	Μαγνητικό 1 (ΜΚ1)	45,36	14,38	5,95	0,38	3,49	31,12	0,74	6,38	44,85	47,45	50,00	67,23	59,23	51,52	53,13	36,19
	Μαγνητικό 2 (ΜΚ2)	70,40	22,32	6,01	0,37	3,17	30,07	0,75	6,21	46,78	74,34	76,47	94,89	88,80	80,31	80,34	58,59
	Μαγνητικό 3 (ΜΚ3)	81,78	25,93	6,02	0,35	2,87	28,64	0,75	6,08	48,94	86,47	85,29	100,00	98,24	92,43	91,37	71,21
-1+0,250mm	Μαγνητικό (ΚΔ1)	10,47	1,22	5,86	0,39	3,88	32,04	0,76	6,19	42,94	10,53	12,20	15,92	13,10	11,59	9,63	8,66
	Ενδιάμεσο 1 (ΚΔ2)	69,18	8,05	5,81	0,40	3,96	32,29	0,77	6,14	42,74	72,96	68,30	94,81	82,90	76,81	66,00	58,71
	Ενδιάμεσο 2 (ΚΔ3)	78,12	9,09	5,65	0,41	3,70	32,55	0,73	7,19	41,86	80,04	78,06	100,00	94,37	82,61	87,27	64,92
	Μαγνητικό (ΚΔ5)	8,91	1,04	5,26	0,44	4,63	33,82	0,74	5,70	41,62	8,08	9,52	15,53	12,15	9,72	9,14	6,93
	Ενδιάμεσο 1 (ΚΔ6)	28,39	3,31	5,46	0,46	4,47	33,53	0,77	5,95	41,46	26,64	30,95	48,11	38,42	30,55	30,29	22,00
	Ενδιάμεσο 2 (ΚΔ7)	70,36	8,19	5,88	0,41	3,75	30,76	0,77	6,11	44,78	71,14	69,05	100,00	87,33	74,99	77,06	58,90

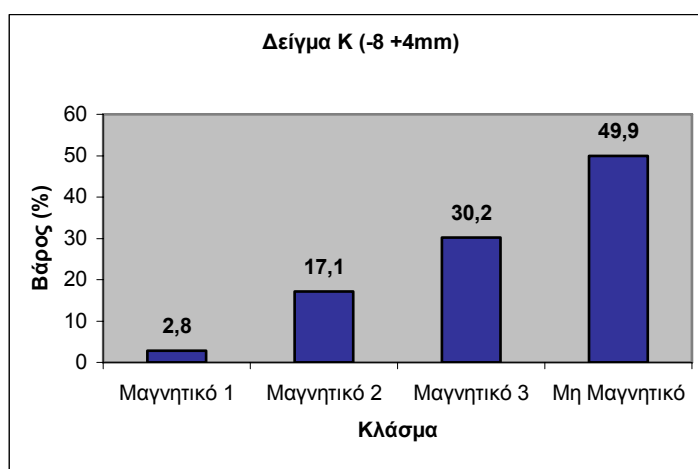
Πίνακας 8.3: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού για το δείγμα P

				Ανάλυση							Κατανομή						
Κοκκομετρι κό κλάσμα	Προϊόν	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί αρχικού	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	Μαγνητικό 1 (ΣΡ1)	12,2	7,81	3,80	0,31	2,01	37,84	0,49	14,09	31,59	11,89	10,53	16,89	12,88	11,76	16,76	10,23
	Μαγνητικό 2 (ΣΡ2)	36,3	23,22	4,60	0,36	1,83	37,51	0,50	11,39	33,51	43,15	34,21	44,59	37,96	35,29	40,25	32,31
	Μαγνητικό 3 (ΣΡ3)	35,7	22,84	3,50	0,43	1,38	35,12	0,52	9,97	39,27	32,30	39,47	33,11	34,95	37,25	34,70	37,25
	Μη Μαγνητικό (ΣΡ4)	15,8	10,11	3,10	0,40	0,53	32,21	0,52	6,57	48,15	12,66	15,79	5,41	14,21	15,69	8,28	20,22
	Σύνολο	100	63,98	3,87	0,38	1,48	35,87	0,51	10,47	38,09	100	100	100	100	100	100	100
-4+1mm	Μαγνητικό 1 (ΜΡ1)	73,42	20,52	4,10	0,36	1,24	33,08	0,46	13,08	36,87	73,96	74,29	75,21	76,58	59,65	74,07	69,79
	Μαγνητικό 2 (ΜΡ2)	22,37	6,25	4,16	0,34	1,23	32,39	0,45	13,60	37,88	22,85	22,86	22,31	22,82	38,6	23,46	21,84
	Μη Μαγνητικό (ΜΡ3)	4,20	1,17	3,00	0,35	0,80	4,50	0,30	7,50	77,00	3,19	2,86	2,48	0,60	1,75	2,47	8,38
	Σύνολο	100	27,95	4,07	0,35	1,22	31,73	0,45	12,96	38,77	100	100	100	100	100	100	100
-1+0,250mm	Μαγνητικό (ΡΔ1)	10,91	0,65	3,29	0,41	1,63	35,53	0,42	13,98	32,50	7,14	5,41	18,37	16,34	8,77	16,79	7,23
	Ενδιάμεσο 1 (ΡΔ2)	21,04	1,25	3,43	0,43	1,55	36,09	0,44	15,32	31,55	14,29	12,16	33,67	31,96	15,79	35,35	13,53
	Ενδιάμεσο 2 (ΡΔ3)	54,29	3,24	6,35	0,86	0,86	17,10	0,70	5,29	58,42	68,45	63,51	47,96	39,07	66,67	31,50	64,63
	Μη Μαγνητικό (ΡΔ4)	13,77	0,82	3,74	1,02	0,00	21,82	0,37	10,82	52,05	10,12	18,92	0,00	12,63	8,77	16,36	14,61
	Σύνολο	100	5,96	5,04	0,74	0,98	23,68	0,57	9,11	43,30	100	100	100	100	100	100	100
-0,250mm	Σύνολο	100	2,11	6,10	1,28	1,44	37,27	0,57	12,47	29,68							
Γενικό Σύνολο		100	100	4,00	0,41	1,38	34,02	0,50	11,12	38,42							

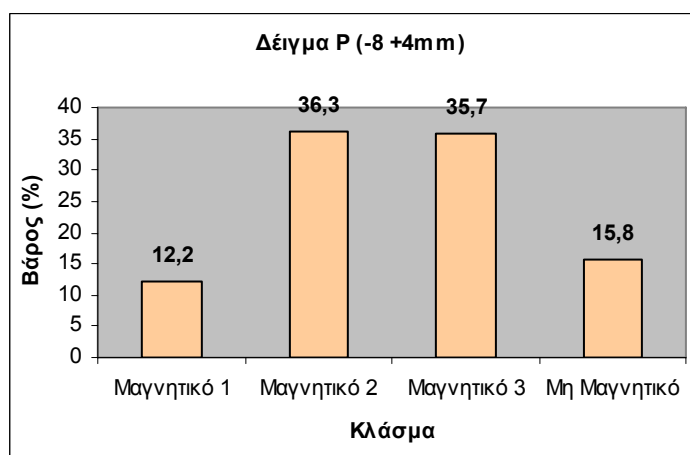
Πίνακας 8.4: Πίνακας αθροιστικών προϊόντων για το δείγμα Ρ

Κοκκομετρικό κλάσμα	Προϊόν	Βάρος (%)	Βάρος (%) επί του αρχικού	Ανάλυση							Κατανομή						
				MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	NiO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)
-8+4mm	Μαγνητικό 1 (ΣΡ1)	12,20	7,81	3,80	0,31	2,01	37,84	0,49	14,09	31,59	11,89	10,53	16,89	12,88	11,76	16,76	10,23
	Μαγνητικό 2 (ΣΡ2)	48,50	31,03	4,39	0,35	1,88	37,61	0,49	12,06	33,01	55,04	44,74	61,48	50,84	47,05	57,01	42,54
	Μαγνητικό 3 (ΣΡ3)	84,20	53,87	4,01	0,38	1,66	36,56	0,51	11,18	35,67	87,34	84,21	94,59	85,79	84,30	91,71	79,79
-4+1mm	Μαγνητικό 1 (ΜΡ1)	73,42	20,52	4,10	0,36	1,24	33,08	0,46	13,08	36,87	73,96	74,29	75,21	76,58	59,65	74,07	69,79
	Μαγνητικό 2 (ΜΡ2)	95,79	26,77	4,11	0,35	1,23	32,92	0,58	13,20	37,10	96,81	97,15	97,52	99,40	98,25	97,53	91,63
-1+0,250mm	Μαγνητικό (ΡΔ1)	10,91	0,65	3,29	0,41	1,63	35,53	0,42	13,98	32,50	7,14	5,41	18,37	16,34	8,77	16,79	7,23
	Ενδιάμεσο 1 (ΡΔ2)	31,95	1,90	3,38	0,41	1,60	35,90	0,44	14,87	31,89	21,43	17,57	52,04	48,30	24,56	52,14	20,76
	Ενδιάμεσο 2 (ΡΔ3)	86,24	5,14	5,25	0,70	1,14	24,06	0,60	8,84	48,60	89,88	81,08	100,00	87,37	91,23	83,64	85,39

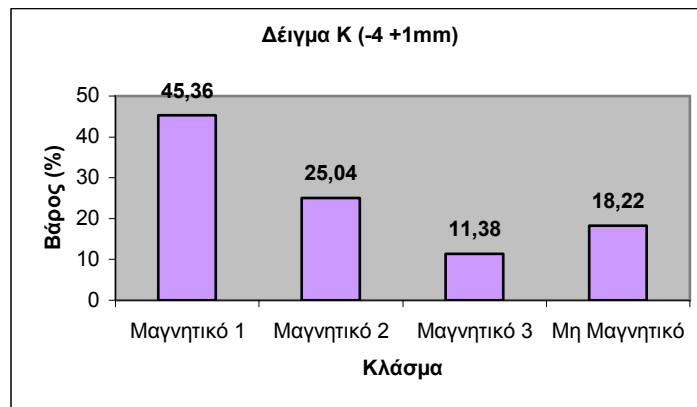
Από τον Πίνακα 8.1 παρατηρούμε ότι στο δείγμα Κ το νικέλιο κατανέμεται στα μαγνητικά προϊόντα, ενώ στον Πίνακα 8.3 βλέπουμε ότι το δείγμα Ρ δεν εμπλουτίζεται καθόλου και θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε αυτό η μέθοδος της εκχύλισης (Σταμπολιάδης κ.α. 2006). Τέλος παρατηρούμε ότι το ψιλό κλάσμα (-0,250mm) του δείγματος Κ έχει περιεκτικότητα σε νικέλιο 1%, δηλαδή περισσότερη από εκείνες που συναντήσαμε στα προϊόντα του διαχωρισμού. Από τους Πίνακες 8.1 και 8.3 προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα από 8.3 έως 8.9 και δείχνουν τις κατανομές βάρους (%) των προϊόντων του διαχωρισμού για κάθε δείγμα.



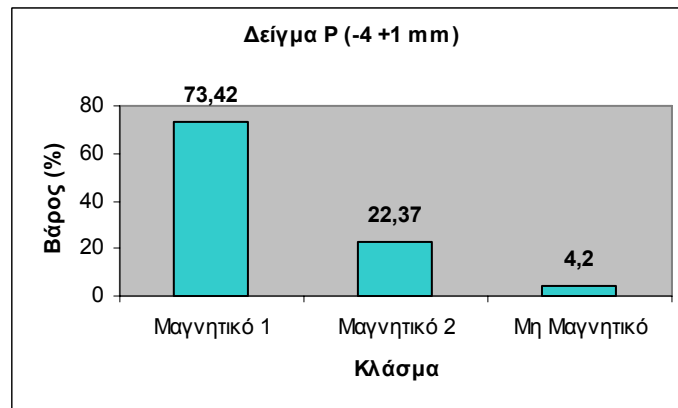
Σχήμα 8.3: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-8 +4mm)



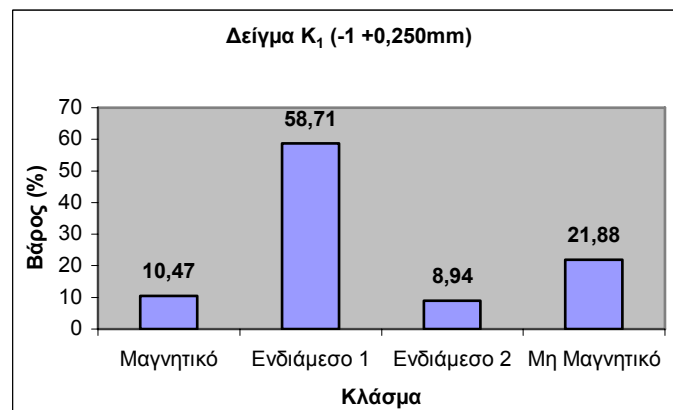
Σχήμα 8.4: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-8 +4mm)



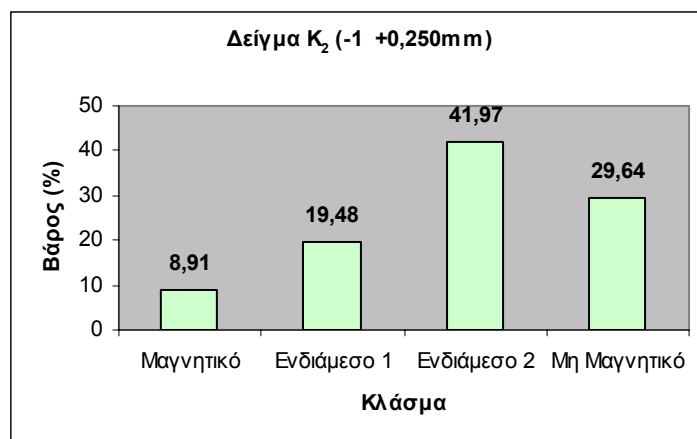
Σχήμα 8.5: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-4 +1mm)



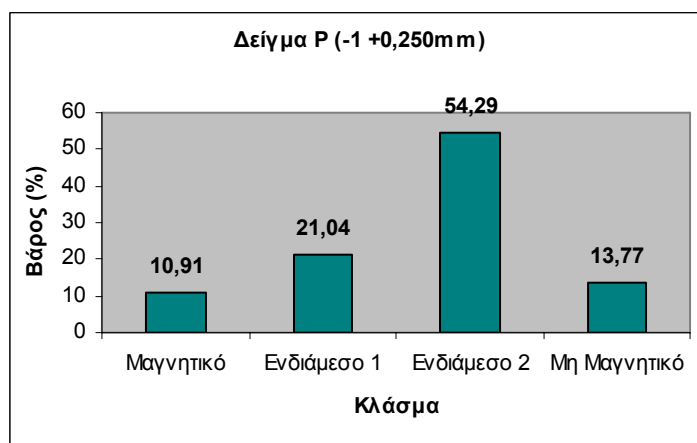
Σχήμα 8.6: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-4 +1mm)



Σχήμα 8.7: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-1 +0,250mm)



Σχήμα 8.8: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-1 +0,250mm)

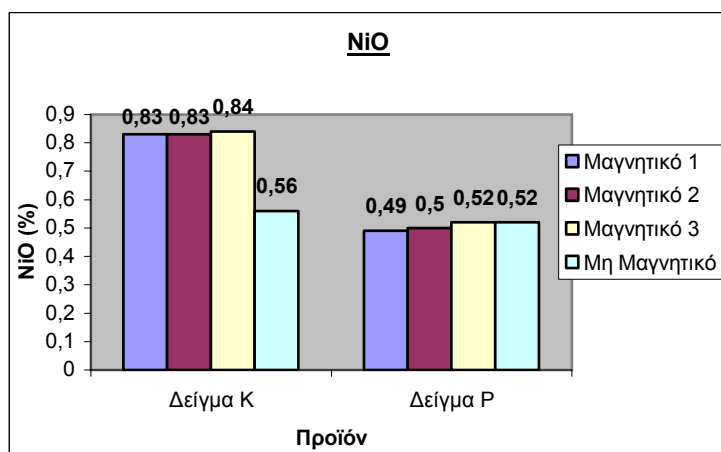


Σχήμα 8.9: Κατανομή βάρους (%) στο κοκκομετρικό κλάσμα (-1 +0,250mm)

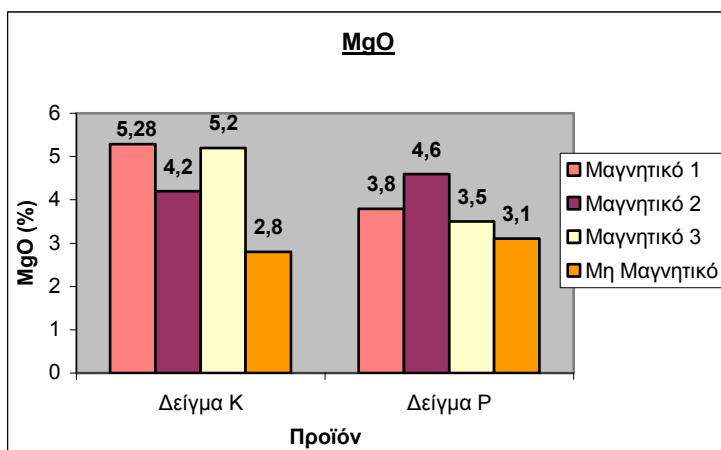
8.3 Κατανομή της περιεκτικότητας στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού των NiO, MgO, CaO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, Al₂O₃, SiO₂

Κοκκομετρικό κλάσμα (-8 +4 mm)

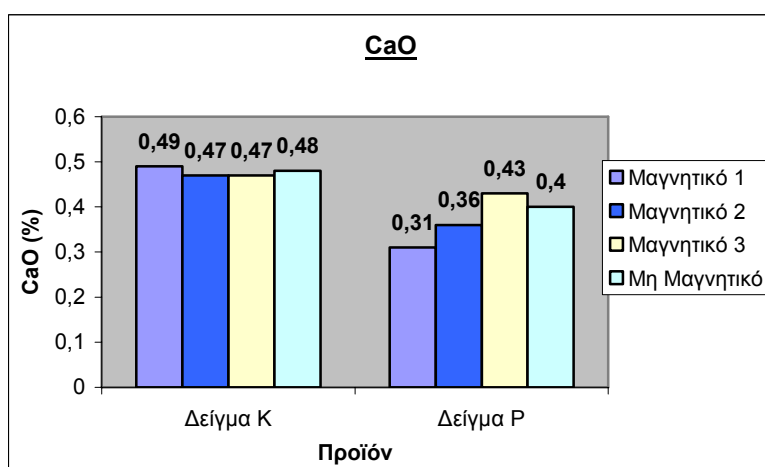
Από τους Πίνακες 8.1 και 8.3 των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα 8.10 έως 8.16.



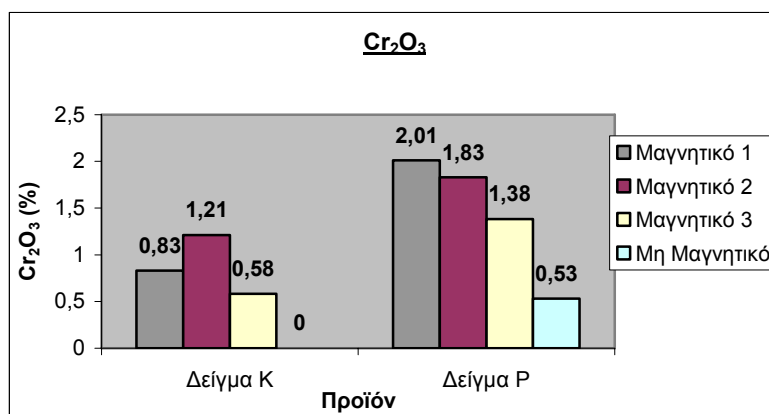
Σχήμα 8.10: Περιεκτικότητα NiO (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-8 +4mm)



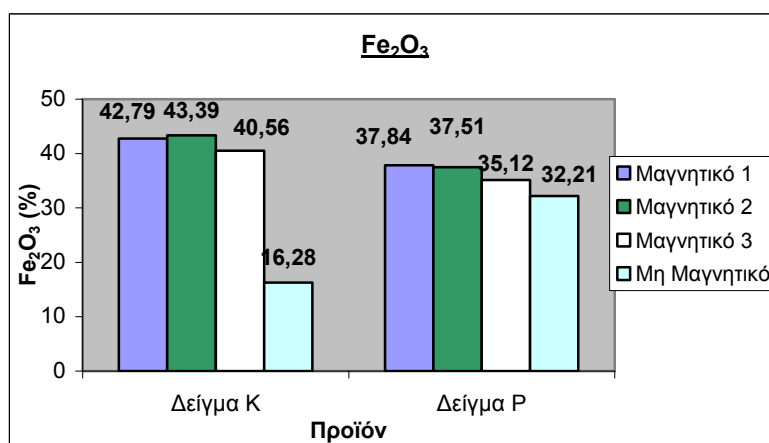
Σχήμα 8.11: Περιεκτικότητα MgO (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-8 +4mm)



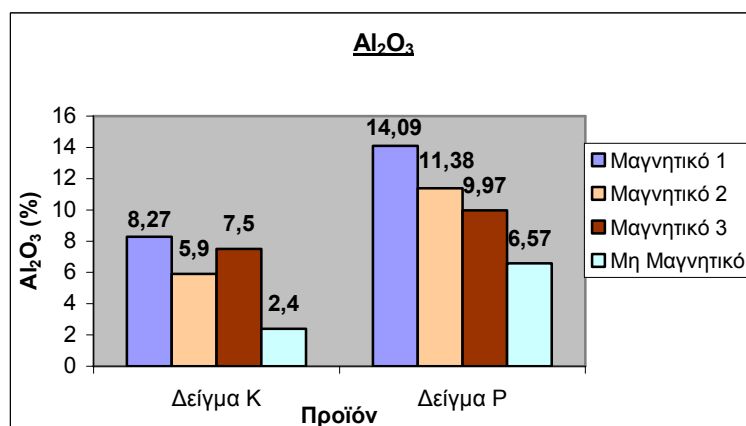
Σχήμα 8.12: Περιεκτικότητα CaO (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-8 +4mm)



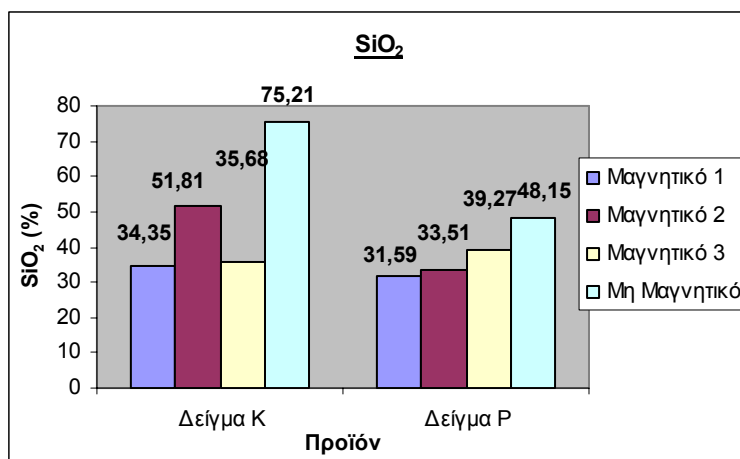
Σχήμα 8.13: Περιεκτικότητα Cr₂O₃ (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-8 +4mm)



Σχήμα 8.14: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-8 +4mm)



Σχήμα 8.15: Περιεκτικότητα Al₂O₃ (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-8 +4mm)



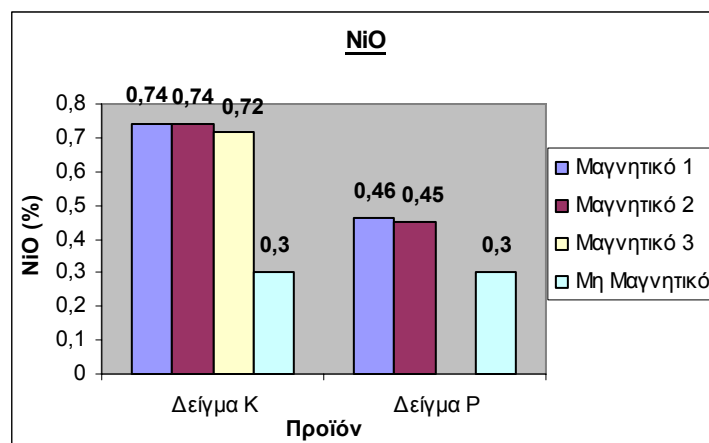
Σχήμα 8.16: Περιεκτικότητα SiO_2 (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-8 +4mm)

Παρατήρηση:

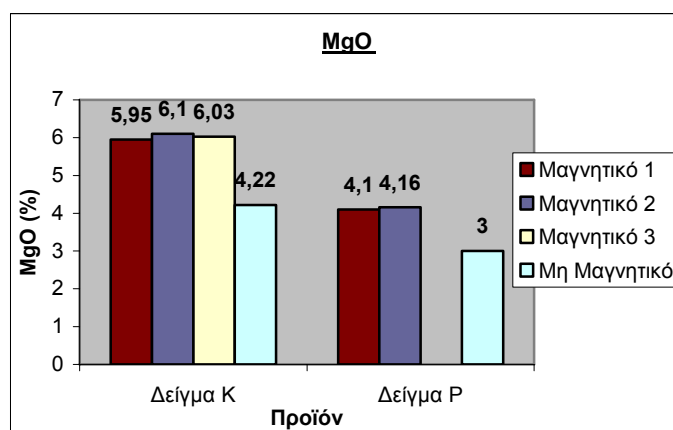
Από τις χημικές αναλύσεις (Πίνακες 8.1 και 8.3) του κοκκομετρικού κλάσματος (-8+4 mm) παρατηρούμε ότι το Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO εμπλουτίζονται κυρίως στα μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού, ενώ το SiO_2 βρίσκεται σε μεγαλύτερη συγκέντρωση στα μη μαγνητικά προϊόντα. Το CaO παρουσιάζει μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή συγκεντρώσεων στα μαγνητικά και μη μαγνητικά κλάσματα των δειγμάτων Κ και Ρ, ενώ το NiO επικρατεί στα μαγνητικά του Κ και κατανέμεται ομοιόμορφα στα προϊόντα του Ρ. Συνεπώς, ο αιματίτης Fe_2O_3 , το διάσπορο AlOOH και ο χρωμίτης $(\text{Fe,Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$ συγκεντρώνονται στα μαγνητικά κλάσματα, σε αντίθεση με το χαλαζία που συναντάται με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα μη μαγνητικά. Τέλος, ο νικελιούχος χλωρίτης $(\text{Ni,Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ εμπλουτίζεται στα μαγνητικά κλάσματα του Κ και εμφανίζεται εξίσου σε όλα τα κλάσματα του Ρ.

Κοκκομετρικό κλάσμα (-4 +1 mm)

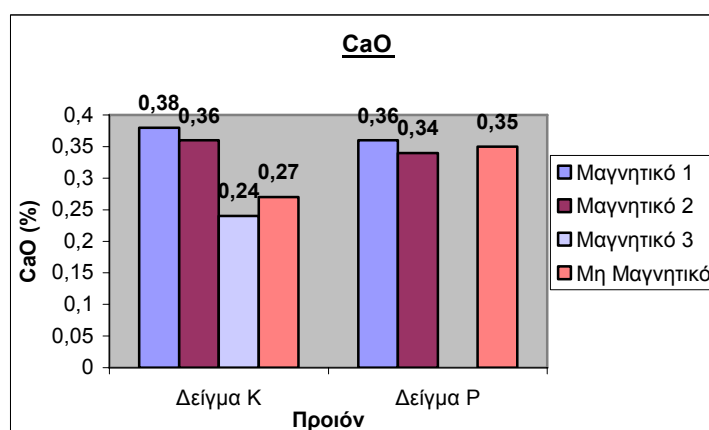
Ομοίως, από τους Πίνακες 8.1 και 8.3 των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα 8.17 έως 8.23.



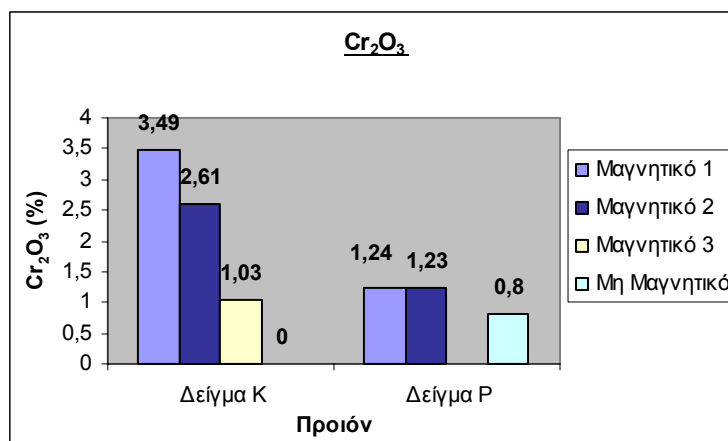
Σχήμα 8.17: Περιεκτικότητα NiO (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-4 +1mm)



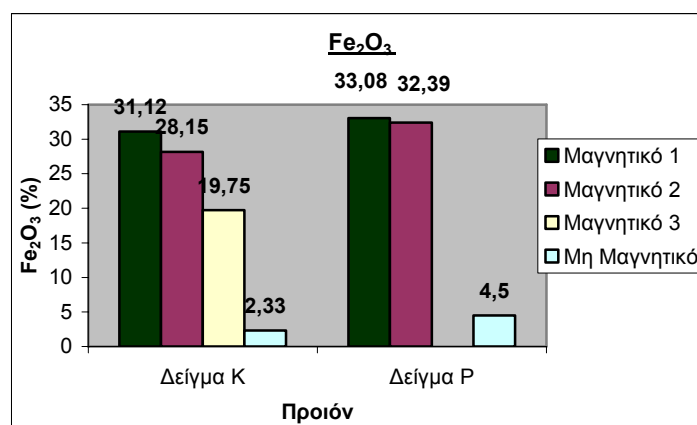
Σχήμα 8.18: Περιεκτικότητα MgO (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-4 +1mm)



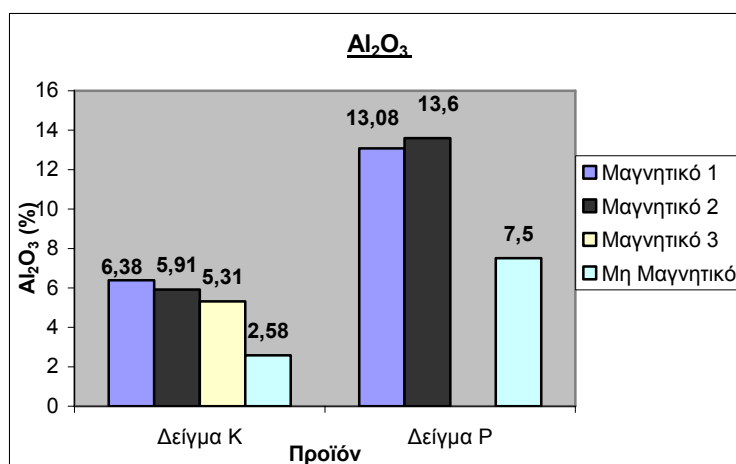
Σχήμα 8.19: Περιεκτικότητα CaO (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-4 +1mm)



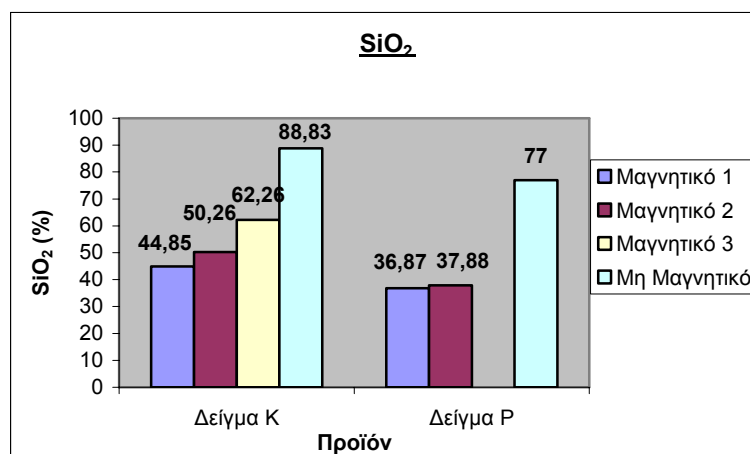
Σχήμα 8.20: Περιεκτικότητα Cr₂O₃ (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-4 +1mm)



Σχήμα 8.21: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-4 +1mm)



Σχήμα 8.22: Περιεκτικότητα Al₂O₃ (%) των δειγμάτων Κ και Ρ του κλάσματος (-4 +1mm)



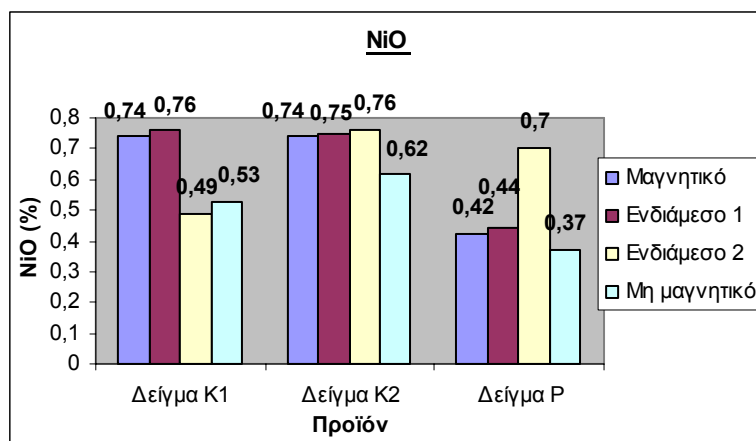
Σχήμα 8.23: Περιεκτικότητα SiO_2 (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-4 +1mm)

Παρατήρηση:

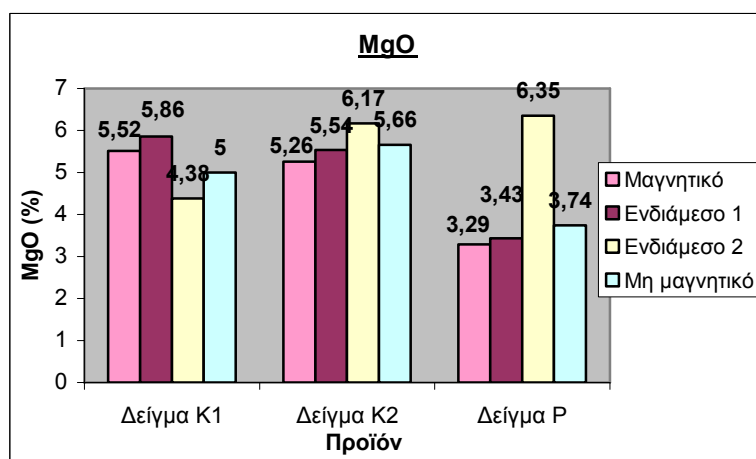
Από τις χημικές αναλύσεις (Πίνακες 8.1 και 8.3) του κοκκομετρικού κλάσματος (-4+1 mm) παρατηρούμε ότι τα NiO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 και MgO , επομένως ο νικελιούχος χλωρίτης, ο αιματίτης, το διάσπορο AlOOH και ο χρωμίτης εμπλουτίζονται κυρίως στα μαγνητικά προϊόντα των δυο δειγμάτων. Αντιθέτως, ο χαλαζίας SiO_2 εμπλουτίζεται στα μη μαγνητικά προϊόντα της δοκιμής. Το CaO μοιράζεται με κοντινές συγκεντρώσεις σε όλα τα κλάσματα του διαχωρισμού.

Κοκκομετρικό κλάσμα (-1 +0,50 mm)

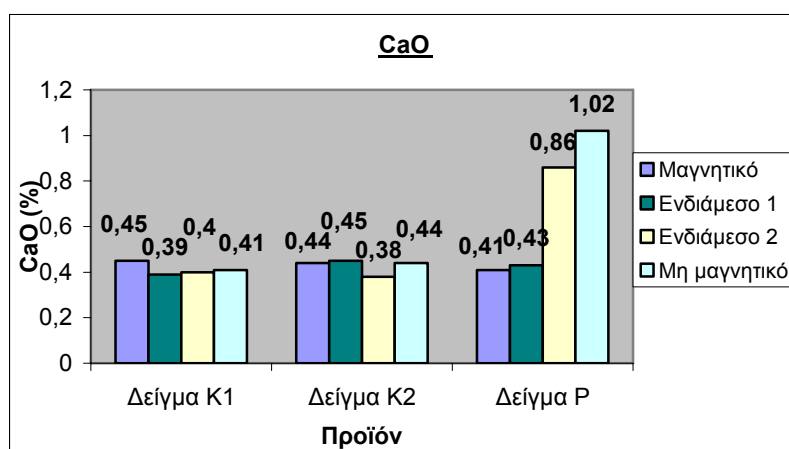
Ομοίως, από τους Πίνακες 8.1, 8.3 των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού προκύπτουν τα παρακάτω Σχήματα 8.24 έως 8.30.



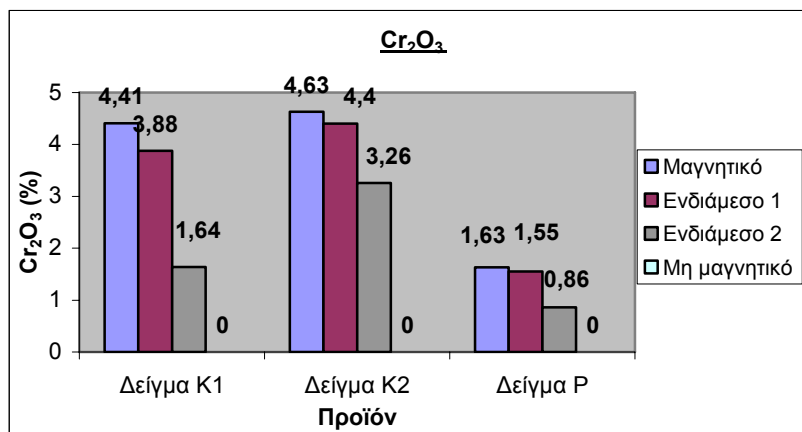
Σχήμα 8.24: Περιεκτικότητα NiO (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1 +0,250mm)



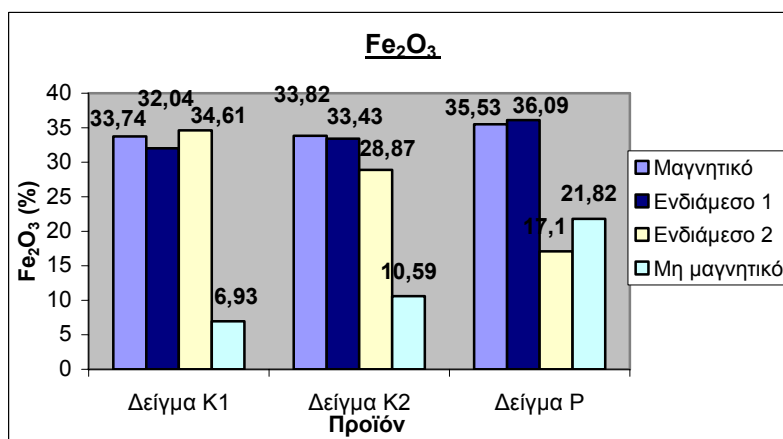
Σχήμα 8.25: Περιεκτικότητα MgO (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1+0,250mm)



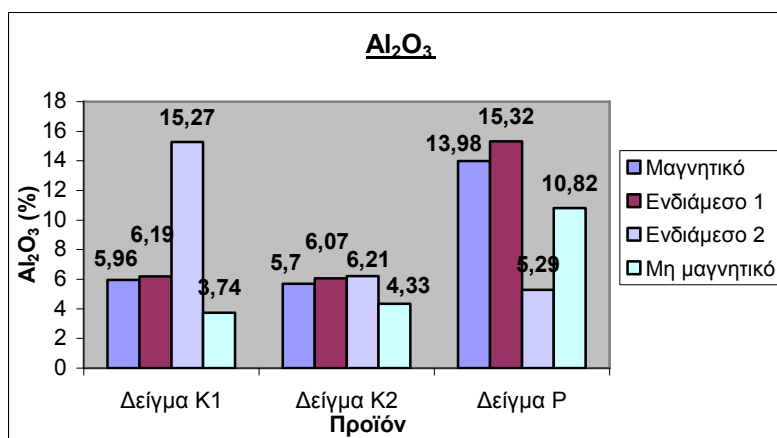
Σχήμα 8.26: Περιεκτικότητα CaO (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1 +0,250mm)



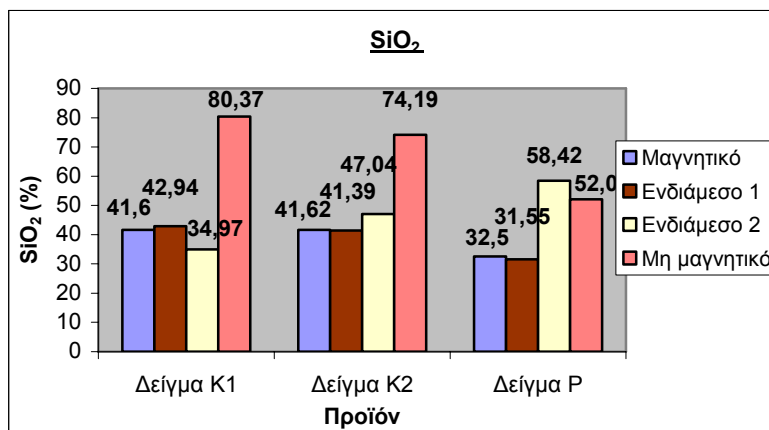
Σχήμα 8.27: Περιεκτικότητα Cr₂O₃ (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1+0,250mm)



Σχήμα 8.28: Περιεκτικότητα Fe₂O₃ (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1 +0,250mm)



Σχήμα 8.29: Περιεκτικότητα Al₂O₃ (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1 +0,250mm)



Σχήμα 8.30: Περιεκτικότητα SiO₂ (%) των δειγμάτων K και P του κλάσματος (-1 +0,250mm)

Παρατήρηση:

Από τις χημικές αναλύσεις (Πίνακες 8.1, 8.3) του κοκκομετρικού κλάσματος (-1+0,250 mm) παρατηρούμε ότι τα NiO, Al₂O₃, Fe₂O₃ και Cr₂O₃ δηλαδή ο αιματίτης, ο χρωμίτης, ο νικελιούχος χλωρίτης (Ni,Mg,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈ και το διάσπορο AlOOH, εμπλουτίζονται κυρίως στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού και ο χαλαζίας στα μη μαγνητικά. Το CaO και το MgO έχουν κυμαινόμενες συγκεντρώσεις στα προϊόντα κάθε δείγματος και εμφανίζονται τόσο στα μαγνητικά, όσο και στα μη μαγνητικά προϊόντα (στα μη μαγνητικά έχουμε την παρουσία κλινόχλωρου).

8.4 Μικροσκοπική εξέταση των προϊόντων της δοκιμής του μαγνητικού διαχωρισμού

Κοκκομετρικό Κλάσμα -8+4 mm

Δείγμα K:

Στην τομή ΣΚ1 (μαγνητικό 1 προϊόν) παρατηρούνται κομμάτια συνδετικού υλικού που εμπεριέχουν κλαστικούς κόκκους αιματίτη, πελοειδή, θραύσματα

πελοειδών και χαλαζία. Η ακτινοσκοπική εξέταση του προϊόντος πιστοποίησε την παρουσία αιματίτη, χαλαζία και σε μικρότερο ποσοστό την παρουσία νικελιούχου χλωρίτη και ιλλίτη, ορυκτά που απαντώνται στο συνδετικό υλικό (Σχήμα SK1, Παρ.).

Στην τομή SK2 (μαγνητικό 2 προϊόν) διακρίνονται μεγάλα κομμάτια συνδετικού υλικού που περιέχουν κλαστικούς κόκκους πελοειδών, αιματίτη και χαλαζία (Σχήμα 8.31). Επιπρόσθετα, ένα τμήμα του συνδετικού υλικού έχει υποστεί αντικατάσταση από σιδηρούχα διαλύματα.

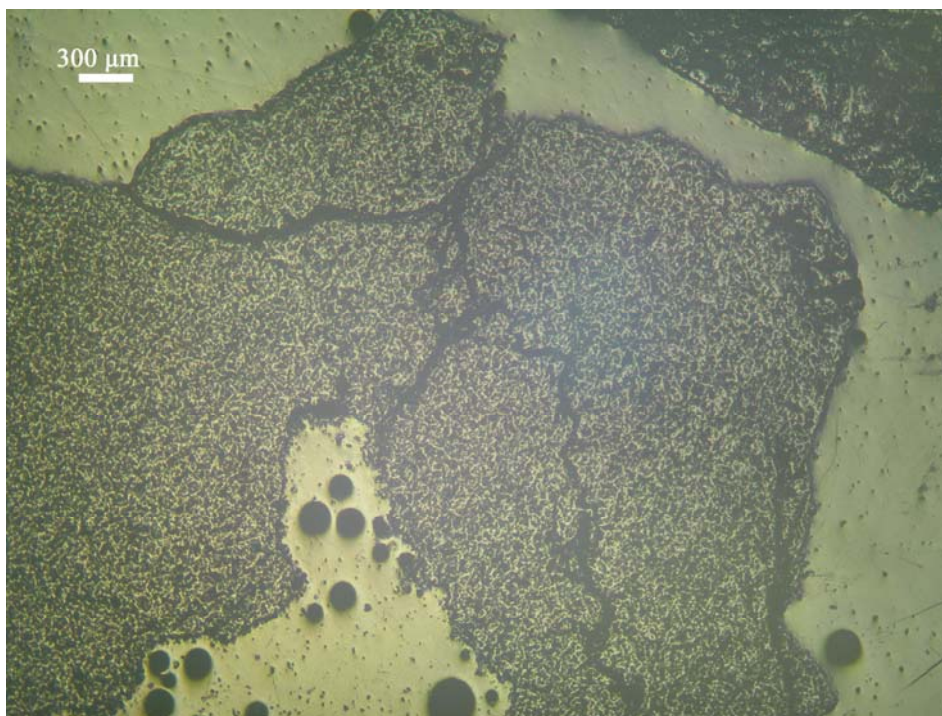
Στην τομή SK3 (μαγνητικό 3 προϊόν) υπάρχουν επίσης μεγάλου μεγέθους κομμάτια συνδετικού υλικού και σε αυτό περιέχονται κόκκοι χαλαζία, αιματίτη και πελοειδή.

Στην τομή SK4 (μη μαγνητικό προϊόν) το κυρίαρχο συστατικό είναι ο χαλαζίας (Σχήμα 8.32), μεγάλα κομμάτια συνδετικού υλικού, τα οποία περιέχουν εκτός από χαλαζία και κλαστικούς κόκκους αιματίτη. Σύμφωνα με την ακτινοσκοπική εξέταση του προϊόντος ο χαλαζίας αποτελεί την κυρίαρχη φάση, ενώ απαντάται μικρό ποσοστό αιματίτη και ίχνη νικελιούχου χλωρίτη και ιλλίτη (Σχήμα SK4, Παρ.).



Σχήμα 8.31: Κόκκοι συνδετικού υλικού το μεταλλικό υλικό των οποίων έχει υποστεί έκπλυση.

Δείγμα SK2. Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 8.32: Ο χαλαζίας αποτελεί το βασικό συστατικό του μη μαγνητικού προϊόντος.
Δείγμα ΣΚ4. Ανακλώμενο φως, // Nicols

Δείγμα Ρ:

Στην τομή ΣΡ1 (μαγνητικό 1 προϊόν) διακρίνονται μεγάλα τεμάχια συνδετικού υλικού που περιέχουν κυρίως κόκκους χαλαζία αλλά και κλαστικούς κόκκους αιματίτη (Σχήμα 8.33). Μέρος του συνδετικού υλικού υπόκειται σταδιακά σε αντικατάσταση από σιδηρούχα διαλύματα. Η ακτινοσκοπική εξέταση έδειξε την παρουσία αιματίτη, χαλαζία καθώς και σχετικά υψηλού ποσοστού νικελιούχου χλωρίτη και διάσπορου (Σχήμα SP1, Παρ.).

Στην τομή ΣΡ2 (μαγνητικό 2 προϊόν) το συνδετικό υλικό περιέχει κλαστικούς κόκκους αιματίτη, αλλά και κόκκους χαλαζία.

Στην τομή ΣΡ3 (μαγνητικό 3 προϊόν) το συνδετικό υλικό περιέχει πληθώρα θραυσμάτων κόκκων χαλαζία και πελοειδών ενώ μεγάλο μέρος του έχει υποστεί αντικατάσταση από αιματίτη.

Στην τομή ΣΡ4 (μη μαγνητικό προϊόν) παρατηρείται ότι το συνδετικό υλικό περιέχει ως επί το πλείστον κόκκους χαλαζία με ελάχιστους κλαστικούς κόκκους αιματιτικού υλικού. Η παρουσία κυρίως χαλαζία αλλά και σε μικρότερο ποσοστό

αιματίτη, νικελιούχου χλωρίτη και διάσπορου πιστοποιήθηκε μέσω ακτινοσκοπικής εξέτασης (Σχήμα SP4, Παρ.).



Σχήμα 8.33 : Κόκκοι συνδετικού υλικού με πελοειδή από αιματίτη.
Δείγμα ΣΡ1. Ανακλώμενο φως, // Nicols

Παρατήρηση: Στο μέγεθος του κλάσματος που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές (-8+ 4mm) η αποδέσμευση δεν είναι ικανοποιητική.

Κοκκομετρικό Κλάσμα -4+1 mm

Δείγμα Κ:

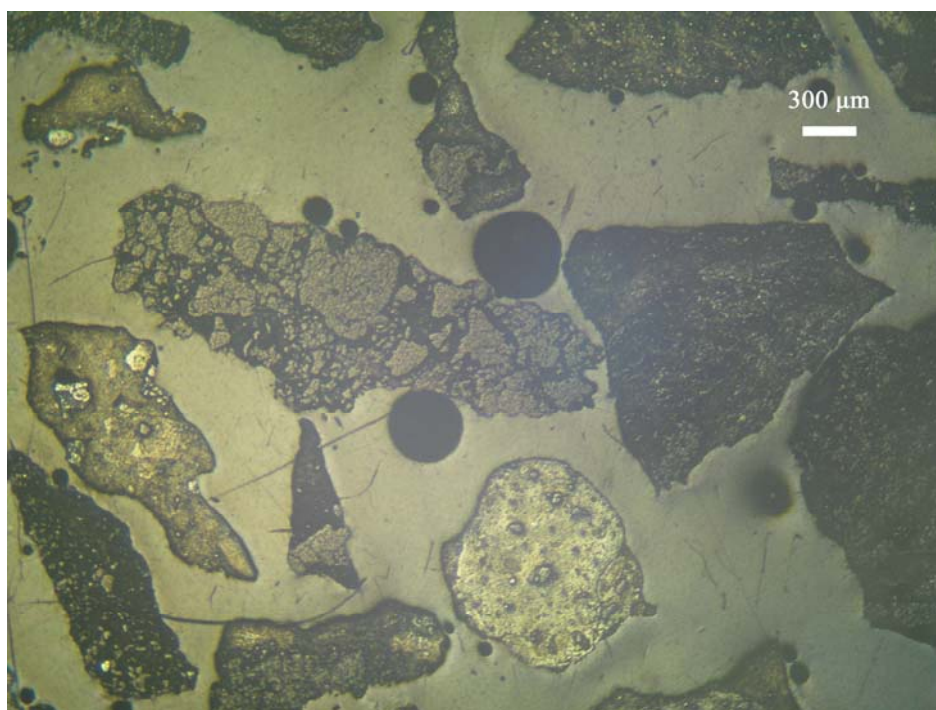
Στην τομή MK1 (μαγνητικό 1 προϊόν) παρατηρούνται κόκκοι χαλαζία, κόκκοι ωοειδών (Σχήμα 8.34) και πελοειδών, κρυστάλλων χρωμίτη καθώς και συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.35). Σύμφωνα με την ακτινοσκοπική εξέταση του μαγνητικού

προϊόντος ο αιματίτης και ο χαλαζίας αποτελούν τις κυρίαρχες φάσεις ενώ σε αξιοσημείωτο ποσοστό απαντάται ο νικελιούχος χλωρίτης (Σχήμα R0571, Παρ.).

Στην τομή MK2 (μαγνητικό 2 προϊόν) υπάρχουν κόκκοι ωοειδών-πελοειδών, χαλαζία, χρωμίτη και συνδετικού υλικού.

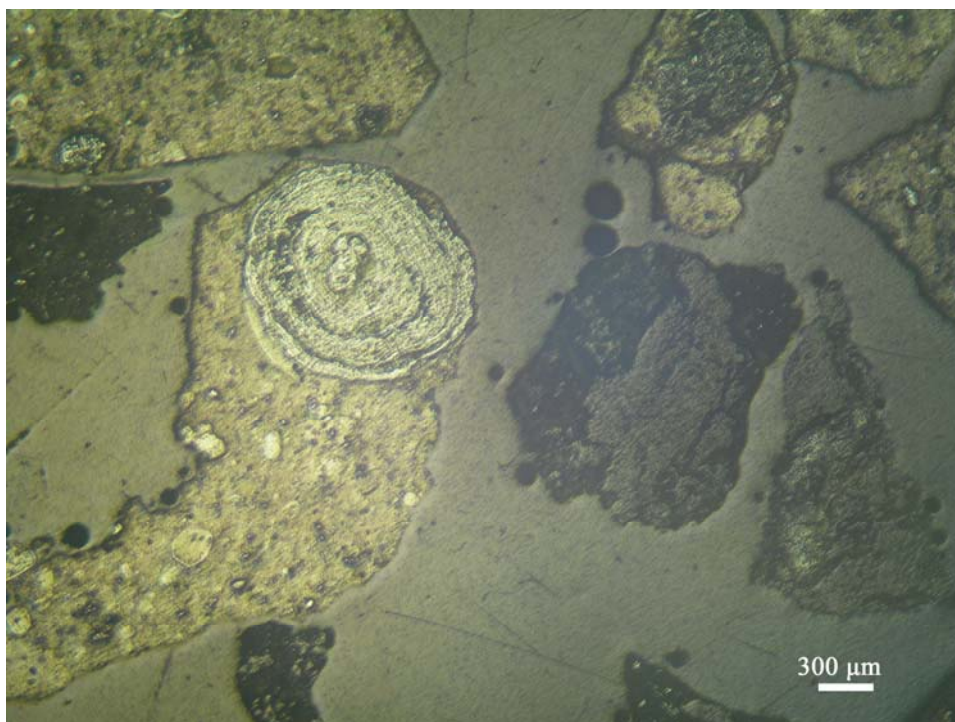
Στην τομή MK3 (μαγνητικό 3 προϊόν) παρατηρούνται επίσης κόκκοι ωοειδών-πελοειδών, κρύσταλλοι χαλαζία και χρωμίτη, καθώς και κόκκοι συνδετικού υλικού. Στο κλάσμα αυτό παρατηρείται μια αύξηση του ποσοστού του χαλαζία σε σχέση με τα κλάσματα MK1 και MK2 και ταυτόχρονη ελάττωση του ποσοστού τόσο του αιματίτη, όσο και του νικελιούχου χλωρίτη (Σχήμα R0573, Παρ.)

Στην τομή MK4 (μη μαγνητικό προϊόν) παρατηρούνται ως επί το πλείστον κόκκοι χαλαζία (Σχήμα R0574, Παρ.).



Σχήμα 8.34: Κόκκοι συνδετικού υλικού με μερική έκπλυση του μεταλλικού συστατικού τους, αιματίτη και χαλαζία.

Δείγμα MK1. Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 8.35: Κόκκοι συνδετικού υλικού με εγκλείσματα πελοειδών και ενός ωοειδούς καθώς και μεμονωμένοι κόκκοι χαλαζία.

Δείγμα MK1. Ανακλώμενο φως, // Nicols

Δείγμα Ρ:

Στην τομή MP1 (μαγνητικό 1 προϊόν) υπάρχουν κόκκοι που περιέχουν ωοειδή – πελοειδή, κόκκους χαλαζία, κλαστικούς κόκκους χρωμίτη και συνδετικού υλικού. Η ακτινοσκοπική εξέταση του προϊόντος έδειξε την παρουσία αιματίτη, χαλαζία και σε μικρότερο ποσοστό νικελιούχο χλωρίτη και διάσπορο (Σχήμα R0575, Παρ.).

Στην τομή MP2 (μαγνητικό 2 προϊόν) διακρίνονται επίσης κόκκοι ωοειδών-πελοειδών, χαλαζία, κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη και συνδετικού υλικού.

Στην τομή MP3 (μη μαγνητικό προϊόν) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι χαλαζία, αλλά υπάρχουν και κόκκοι με συνδετικό υλικό και με μικρού βαθμού μεταλλοφορία.

Παρατήρηση: Στο μέγεθος του κλάσματος που πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές (-4 +1mm) η αποδέσμευση δεν είναι ικανοποιητική.

Κοκκομετρικό Κλάσμα -1+0,250 mm

(1^ο Τμήμα)

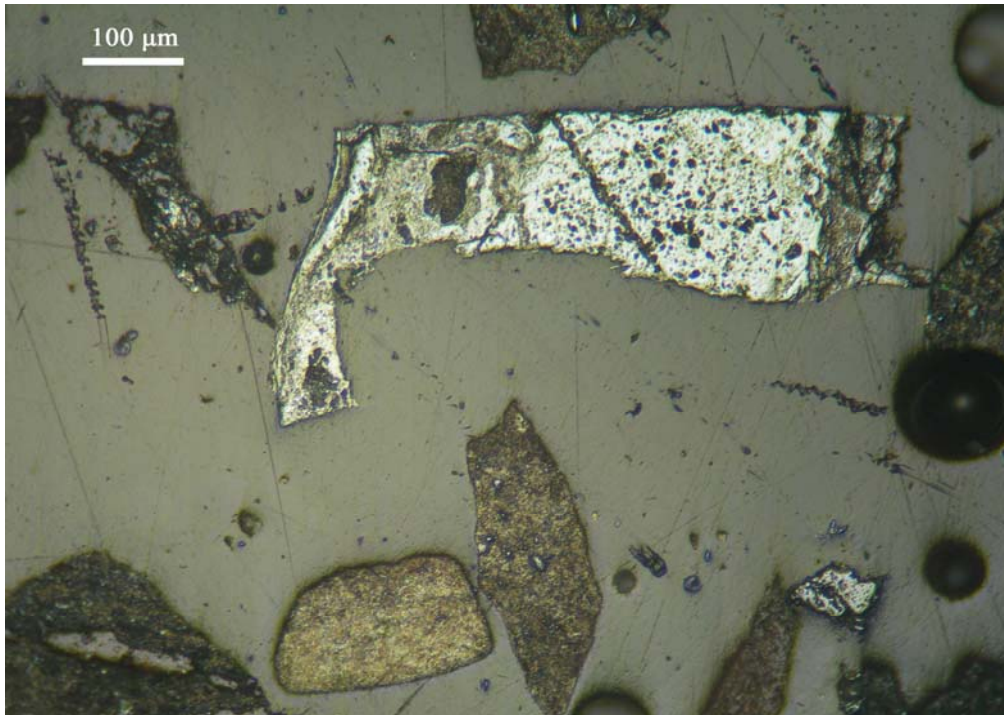
Δείγμα Κ:

Στην τομή ΚΑ1 (μαγνητικό προϊόν) απαντώνται κυρίως κόκκοι συνδετικού υλικού που περιέχει αιματίτη. Ένα μεγάλο ποσοστό των κόκκων του συνδετικού υλικού έχει υποστεί έκπλυση του μεταλλικού συστατικού του (σιδήρου) (Σχήμα 8.36). Ακόμη, υπάρχουν μεμονωμένοι κόκκοι χρωμίτη. Σε ορισμένους κόκκους χαλαζία παρατηρήθηκε μια σταδιακή αντικατάσταση από αιματιτικό υλικό κυρίως στα όρια των κόκκων ή κατά μήκος των ρωγμών. Η παρουσία αιματίτη, χαλαζία, χρωμίτη και σε μικρότερο ποσοστό νικελιούχου χλωρίτη πιστοποιείται μέσω της ακτινοσκοπικής διερεύνησης του προϊόντος (Σχήμα R0564, Παρ.)

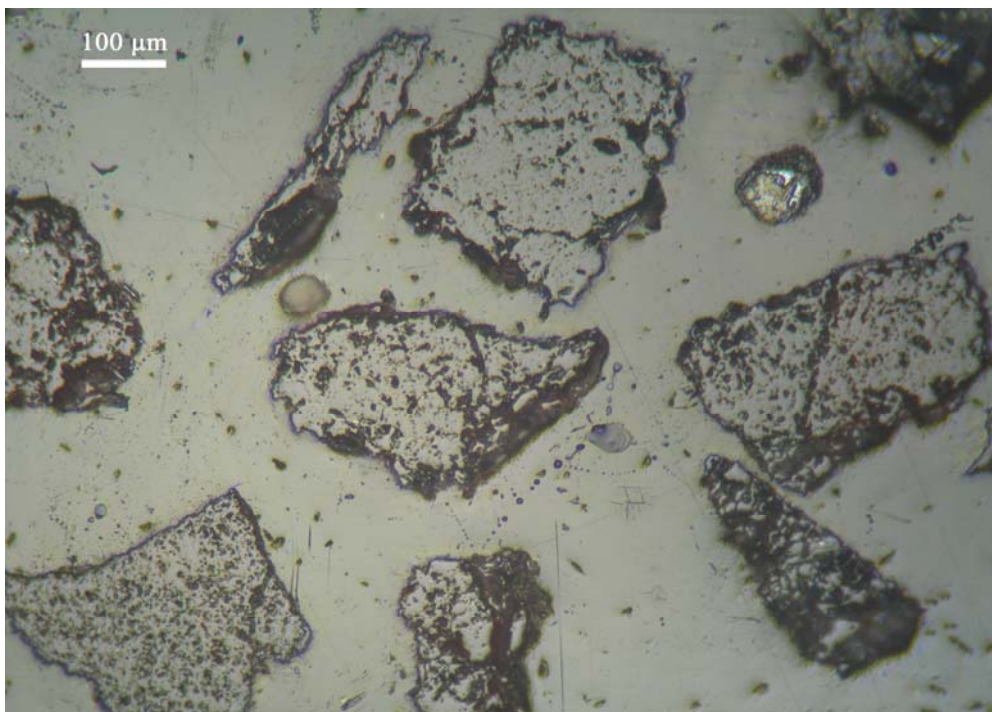
Στην τομή ΚΑ2 (ενδιάμεσο 1 προϊόν) διακρίνονται κόκκοι συνδετικού υλικού που περιέχουν κυρίως αιματίτη καθώς και μεμονωμένοι κόκκοι χρωμίτη. Τέλος, μεγάλο τμήμα του συνδετικού υλικού έχει υποστεί έκπλυση.

Στην τομή ΚΑ3 (ενδιάμεσο 2 προϊόν) παρατηρούνται πρωτίστως κόκκοι χαλαζία , καθώς και μεμονωμένοι κόκκοι συνδετικού υλικού οι οποίοι περιέχουν κλαστικά υλικά, όπως πελοειδή ή κλαστικούς κόκκους χαλαζία.

Στην τομή ΚΑ4 (μη μαγνητικό προϊόν) κυριαρχούν οι κόκκοι χαλαζία (Σχήμα 8.37), με εξαίρεση ελάχιστους κόκκους αιματίτη (Σχήμα R0560, Παρ.).



Σχήμα 8.36: Ένα μέρος των κόκκων του συνδετικού υλικού έχει υποστεί έκπλυση του μεταλλικού υλικού του, ενώ άλλοι κόκκοι διατηρούν το αιματιτικό συστατικό τους.
Δείγμα ΚΔ1. Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 8.37: Οι κόκκοι χαλαζία είναι κυρίαρχη φάση του μη μαγνητικού προϊόντος.
Δείγμα ΚΔ4. Ανακλώμενο φως, // Nicols

(2^ο Τμήμα)

Δείγμα Κ:

Στην τομή ΚΔ5 (μαγνητικό προϊόν) δεν παρατηρήθηκε ουσιαστική διαφοροποίηση από το αντίστοιχο προϊόν του 1^{ου} τμήματος, τόσο στον μικροσκοπικό έλεγχο όσο και στην ακτινοσκοπική (Σχήμα R0565, Παρ.) και χημική εξέταση των δειγμάτων. Παρατηρούνται ως επί το πλείστον κόκκοι χαλαζία, καθώς και συνδετικού υλικού που περιέχουν κλαστικά υλικά (πελοειδή) ή κλαστικούς κόκκους χαλαζία.

Στην τομή ΚΔ6 (ενδιάμεσο 1 προϊόν) διακρίνεται μεγάλο ποσοστό κόκκων χαλαζία και το συνδετικό υλικό περιέχει πελοειδή και κλαστικούς κόκκους χαλαζία.

Στην τομή ΚΔ7 (ενδιάμεσο 2 προϊόν) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι χαλαζία αλλά και μεμονωμένοι κόκκοι συνδετικού υλικού οι οποίοι περιέχουν κλαστικά υλικά (πελοειδή/κόκκοι χαλαζία). Στο κλάσμα αυτό παρατηρήθηκε μια αύξηση του ποσοστού του χαλαζία σε σχέση με το ΚΔ5 (Σχήμα R0562, Παρ.).

Στην τομή ΚΔ8 (μη μαγνητικό προϊόν) υπάρχουν σε μεγαλύτερο βαθμό κόκκοι χαλαζία με εξαίρεση ελάχιστους κόκκους αιματίτη και συνδετικού υλικού (Σχήμα R0559, Παρ.).

Δείγμα Ρ:

Στην τομή ΡΔ1 (μαγνητικό προϊόν) κυριαρχούν οι κόκκοι συνδετικού υλικού και αιματίτη. Υπάρχει ένα μικρό ποσοστό χαλαζία ο οποίος περιέχεται στο συνδετικό υλικό. Όσον αφορά το συνδετικό υλικό συνίσταται κατά μεγάλο ποσοστό από αιματίτη και σύμφωνα με την ακτινοσκοπική και χημική ανάλυση από ένα μικρότερο ποσοστό διάσπορου και χλωρίτη.

Στην τομή ΡΔ2 (ενδιάμεσο 1 προϊόν) το υλικό αποτελείται κυρίως από κόκκους συνδετικού υλικού και αιματίτη. Επίσης υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό κρυστάλλων χαλαζία. Η ακτινοσκοπική εξέταση του ενδιάμεσου προϊόντος έδειξε την παρουσία αιματίτη, χαλαζία και σε μικρότερο ποσοστό διάσπορου και χλωρίτη (Σχήμα R0563, Παρ.).

Στην τομή ΡΔ3 (ενδιάμεσο 2 προϊόν) επικρατούν επίσης οι κόκκοι συνδετικού υλικού μαζί με αιματίτη και σποραδικές εμφανίσεις χαλαζία.

Στην τομή P14 (μη μαγνητικό προϊόν) το βασικό συστατικό είναι ο χαλαζίας, ενώ εμφανίζεται μικρός αριθμός κόκκων αιματίτη και συνδετικού υλικού.

Παρατήρηση: Ο διαχωρισμός του 1^{ου} τμήματος του κλάσματος 0,250-1 mm του δείγματος K έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η αποδέσμευση όμως για την δεδομένη κοκκομετρία και για τα δυο δείγματα K και P δεν επιτεύχθηκε σε ικανοποιητικό βαθμό. Η αποδέσμευση θα έδινε καλύτερα αποτελέσματα για κοκκομετρία μικρότερη από 0,250 mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

9.1 Συμπεράσματα ορυκτολογικής εξέτασης

- ✚ Το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα της περιοχής Κομνηνών Βερμίου αναπτύσσεται σε μορφή στρωμάτων επάνω σε υπερβασικά πετρώματα και καλύπτεται από ανθρακικά κροκαλοπαγή του Κενομανίου. Το μέταλλευμα χαρακτηρίζεται μέσω εναλλασσόμενων οριζόντων από πυριτιολιθικά στρώματα, συμπαγές και πisolιθικό σιδηρομέταλλευμα καθώς και FeNi-μέταλλευμα με πυριτικές ενδιαστρώσεις.
- ✚ Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του μεταλλεύματος είναι αιματίτης, χαλαζίας, χρωμίτης, χλωρίτης και σε μικρότερο ποσοστό γκαιτίτης, νικελιούχος χλωρίτης, νικελιούχος τάλκης, ασβεστίτης και σπανιότερα ιλλίτης. Στο βωξιτικό μέταλλευμα από την περιοχή Παρχάρι εντοπίστηκαν επίσης διάσπορο και γκιψίτης.
- ✚ Τα σφαιροειδή σωμάτια που παρατηρήθηκαν στο σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα είναι κυρίως πελοειδή και αμπραζιόλιθοι (σύνθετα σφαιροειδή), σπανιότερα ωοειδή καθώς και θραύσματα πισοειδών. Τα σωμάτια αυτά βρίσκονται μαζί με κόκκους χρωμιτών και πυριτιολιθικά θραύσματα μέσα σε ένα συνδετικό υλικό από χλωρίτη, το οποίο υπόκειται σε σταδιακή αντικατάσταση μέσω σιδηρούχων διαλυμάτων (γκαιτίτη). Ο γκαιτίτης μεταβαίνει βαθμιαία σε αιματίτη λόγω αφυδάτωσης.
- ✚ Σύμφωνα με την μικροσκοπική εξέταση το σιδηρονικελιούχο μέταλλευμα χαρακτηρίζεται γενικά από έναν αλλοτριόμορφο ανισοκοκκώδη ιστό και μια ωολιθική-πισολιθική υφή.

9.2 Συμπεράσματα δοκιμών εμπλουτισμού

Γενικά, τα σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα δίδουν το μέταλλευμα τροφοδοσίας του πυρομεταλλουργικού εργοστασίου παραγωγής κράματος σιδηρονικελίου της εταιρίας ΛΑΡΚΟ στη Λάρυμνα. Λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε νικέλιο στην είσοδο του εργοστασίου (1%-1,1%) το κόστος επεξεργασίας ανά μονάδα παραγομένου νικελίου είναι υψηλό και πολλές φορές μη ανταγωνιστικό (Σταμπολιάδης, κ.α 2006). Επομένως, είναι προτιμότερο η περιεκτικότητα νικελίου τροφοδοσίας να μην πέσει κάτω από 1-1,1%.

Βαρυτομετρικός διαχωρισμός:

🚧 Το κλάσμα (-8+4mm) δεν έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα όσον αφορά στον διαχωρισμό αλλά και στην αποδέσμευση. Το γεγονός αυτό φαίνεται τόσο από τις χημικές αναλύσεις των προϊόντων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, όσο και από την ακτινοσκοπική και μικροσκοπική μελέτη των ίδιων προϊόντων. Παρατηρούμε ότι σημαντικό ποσοστό νικελίου πηγαίνει στο απόρριμμα και των δυο μεθόδων διαχωρισμού, γεγονός που είναι ανεπιθύμητο. Η εξήγηση στην συμπεριφορά αυτή του νικελίου οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αποδέσμευση, η οποία για την δεδομένη κοκκομετρία δεν υπήρξε ικανοποιητική. Τοιουτοτρόπως, αφού οι κόκκοι των ορυκτών που περιέχουν το νικέλιο δεν αποδεσμεύτηκαν σε καλό βαθμό, συμπαρασύρθηκαν με τους κόκκους των λοιπών ορυκτών στο απόρριμμα των μεθόδων (δηλαδή στο float προϊόν).

🚧 Στο κλάσμα (-4+1mm) τα αποτελέσματα της μεθόδου, όσον αφορά τον διαχωρισμό και την αποδέσμευση, υπήρξε σε κάποιο βαθμό βελτίωση. Το νικέλιο εμπλουτίζεται κυρίως στο βαρύ κλάσμα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, παρουσιάζοντας μικρές σχετικά απώλειες στο απόρριμμα και ο χαλαζίας συγκεντρώνεται ως επί το πλείστον στο float προϊόν.

Μαγνητικός διαχωρισμός:

- ✚ Στο κλάσμα (-8+4mm) ο διαχωρισμός δεν υπήρξε ικανοποιητικός. Τα μαγνητικά προϊόντα είναι μεν εμπλουτισμένα σε νικέλιο, όμως υπάρχουν και σημαντικές ποσότητες χαλαζία, ο οποίος θα έπρεπε να μεταφερθεί στο απόρριμμα. Ωστόσο έχουμε και σε κάποιο ποσοστό απώλεια νικελίου στο μη μαγνητικό κλάσμα, γεγονός που πιστοποιείται μέσω των χημικών αναλύσεων, της ακτινοσκοπικής μελέτης και της μικροσκοπικής παρατήρησης. Αυτό οφείλεται, όπως έχει προαναφερθεί στον χαμηλό βαθμό της αποδέσμευσης των ορυκτών. Οι κόκκοι των κλασμάτων (λόγω του μεγάλου τους μεγέθους) «συγκρατούν» συνδεδεμένα τα ορυκτά, τα οποία δεν διαχωρίζονται ικανοποιητικά.
- ✚ Στο κλάσμα (-4+1mm) παρατηρούμε ότι με την μείωση του μεγέθους των κόκκων, τα αποτελέσματα της δοκιμής γίνονται καλύτερα. Ο διαχωρισμός είναι αρκετά ικανοποιητικός. Το νικέλιο εμπλουτίζεται κυρίως στα μαγνητικά κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, παρουσιάζοντας μικρές σχετικά συγκεντρώσεις στο απόρριμμα και ο χαλαζίας συγκεντρώνεται ως επί το πλείστον στο μη μαγνητικό προϊόν.
- ✚ Στο κλάσμα (-1+0,250mm) τα αποτελέσματα της μεθόδου έδειξαν ακόμη πιο ικανοποιητικό διαχωρισμό των ορυκτολογικών φάσεων. Αυτό συμβαίνει διότι με την περαιτέρω θραύση του υλικού οδηγηθήκαμε σε υψηλότερο βαθμό αποδέσμευσης, γεγονός που σημαίνει ότι τα ορυκτά κατανέμονται ορθότερα (βάσει των μαγνητικών τους ιδιοτήτων) στα κλάσματα των προϊόντων του διαχωρισμού. Το νικέλιο εμπλουτίζεται στα μαγνητικά κλάσματα της μεθόδου και παρουσιάζει πολύ μικρότερες απώλειες στο απόρριμμα.

Επιπρόσθετα:

- ο Οι δοκιμές εμπλουτισμού με τη χρήση των βαρέων υγρών και του μαγνητικού διαχωρισμού δεν έδωσαν τα επιθυμητά αποτελέσματα (περιεκτικότητα των συμπυκνωμάτων σε νικέλιο 1% και πάνω). Αυτό συμβαίνει στους διαχωρισμούς με βαρέα υγρά και μαγνητικό διαχωρισμό για μεγέθη κόκκων 1-30mm) (Σταμπολιάδης, Τζαχρήστα, 1996).
- ο Το κλάσμα (-0,250mm) εμφανίζεται πλουσιότερο (μέχρι και 1%) σε νικέλιο σε σχέση με τα λοιπά κοκκομετρικά κλάσματα των δοκιμών για το δείγμα Κ.

Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι το νικέλιο βρίσκεται σε ορυκτά που υπάρχουν στο συνδετικό υλικό και μέσω της θραύσης και κοσκίνισης οι κόκκοι του συνδετικού υλικού οδηγούνται στο ψιλό αυτό κλάσμα.

9.3 Προτάσεις

- ❖ Να μελετηθεί ο διαχωρισμός και η αποδέσμευση των ορυκτολογικών φάσεων σε μικρότερες κοκκομετρίες (-0,250 mm).
- ❖ Πραγματοποίηση και άλλων μεθόδων εμπλουτισμού, ώστε να ερευνηθεί περαιτέρω η ανάκτηση του νικελίου στο συμύκνωμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνικές πηγές

- 1 Αλεβίζος, Γ. (1997). *Ορυκτολογία, γεωχημεία και γένεση ιζηματογενών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων Λοκρίδας (Κεντρική Ελλάδα)*, Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 2 Αλεβίζος, Γ. (2001). *Ορυκτολογική-πετρογραφική και γεωχημική μελέτη του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος του κοιτάσματος του Μαρμέικου (Βοιωτία-Κεντρική Ελλάδα)*, Ορυκτός Πλούτος 120, σ.33-48.
- 3 Αλεβίζος, Γ.(2005). *Μικροσκοπία ορυκτών πρώτων υλών και τεχνητών προϊόντων*, Τεύχος Β', Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 4 Αποστολίκας, Α., Φρογουδάκης, Ε και Μαγκλάρας, Κ. (2000). *Νικελιούχα κοιτάσματα στη Δυτική Μακεδονία. Παρόν και προοπτικές*, Κοζάνη, Φεβρουάριος 2000, σ. 27-30.
- 5 Δρακάκης, Δ. (2000). *Εμπλουτισμός αυτόχθονου λατερίτη της περιοχής Καστοριάς*, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 6 Ηλιόπουλος, Δ., Γρηγόρης, Π., Φωτιάδης, Α και Κυρίτσης, Ε. (2000). *Γεωλογικά, ορυκτολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά των σιδηρονικελιούχων λατεριτών του Δυτικού Βερμίου*, 1^ο Συνέδριο της επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Κοζάνη, 12-13 Φεβρουαρίου, σελ.111-123.
- 7 Θεοδωρίκας, Σ. (1997). *Γεωχημεία*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.
- 8 Καλλές, Ν. (1993). *Η Ελληνική Βιομηχανία νικελίου: Παρόν και Προοπτικές*, Πρακτ. Ημερίδας-Η Ελληνική Μεταλλευτική Βιομηχανία: Παρόν και Προοπτικές, Ελλ. Γεωλ. Εταιρία, σ. 29-38.
- 9 Κομνίτσας, Κ. (1988). *Εκχύλιση λατεριτών με θειικό οξύ υπό πίεση*, Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π.
- 10 Κομνίτσας, Κ. (2005). *Μεταλλουργικές διεργασίες*, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 11 Κωστάκης, Γ. (1988). *Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών*, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

- 12 Κωστάκης, Κ. (1992). *Ορυκτοδιαγνωστική, Σημειώσεις του μαθήματος*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 13 Κωστάκης, Γ. (2005). *Οπτική κρυσταλλογραφία, Σημειώσεις του μαθήματος*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 14 Μαράτος, Γ. (1960). *Σιδηρονικελιούχα κοιτάσματα Τσούκας-Λουτσίου-Καστρακίου (περιοχή Λοκρίδας)*, Γεωλ. Αναγν. Εκθ. 30, ΙΓΕΥ, Αθήνα.
- 15 Μαράτος, Γ. (1972). *Γεωλογία της Ελλάδος*, Γεωτεχνικό γραφείο ΓΕ.ΜΕΛ.ΕΡ., Αθήνα
- 16 Μαρτίνη, Σ. (2004). *Έρευνα αποδέσμευσης και εμπλουτισμού νικελιούχου λατερίτη Ευβοίας*, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 17 Μιχαηλίδης, Κ. (1982). *Κοιτασματολογική μελέτη των σιδηρονικελιούχων με χρώμιο λατεριτών της περιοχής Έδεσσας*, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- 18 Μπίτζιος, Δ. (2001). *Προσφορά του ΙΓΜΕ στην έρευνα εντοπισμού και την αξιολόγηση των Ο.Π.Υ της Ελλάδος. Αναπτυξιακοί στόχοι με σεβασμό στο περιβάλλον*, Έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε.
- 19 Περδικάτσης, Β. και Πεντάρη, Δ. (2003). *Εργαστηριακές ασκήσεις γεωχημείας*, Εργαστηριακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 20 Σταμπολιάδης, Η. και Τζαχρήστα, Β. (1996). *Μελέτη εμπλουτισμού του σιδηρονικελιούχου λατεριτικού μεταλλεύματος του κοιτάσματος Κωπαΐδος, Τεχνικά, ΤΕΕ περιοχή Γ, τόμος 16, τεύχος 1-2, σ. 17-27.*
- 21 Σταμπολιάδης, Η. (2001). *Εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων*, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- 22 Σταμπολιάδης, Η., Αλεβίζος, Γ., Ζαφειράτος, Ι. (2006). *Χαρακτηρισμός και αξιοποίηση του υπολείμματος εκχύλισης λατεριτών, Μεταλλειολογικά Μεταλλουργικά Χρονικά, Τόμος 16, σ. 23-40.*
- 23 Χρηστίδης, Γ. (2002). *Κοιτασματολογία Ι (Γενικές αρχές-μεταλλικά ορυκτά)*, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- 24 Χρηστίδης, Γ. (2002). *Κοιτασματολογία ΙΙ (Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα)*, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Διεθνείς πηγές

- 25 Augustithis, S.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.
- 26 Braud, J. (1967). *Stratigraphie, tectonique, metamorphisme et ophiolites dans le Vermion septentrional, Macedoine-Grece*, These Universite de Paris VI, Orsay, p. 213.
- 27 Braud, J., Brunn, J.H., Campion, G. et al. (1984). *La chaine du Vermion, ses nappes et sa bande broyee*, Bull. Soc. geol. France 7, 26. p. 713-717.
- 28 Eliopoulos, D.G. and Economou-Eliopoulos, M. (2000). *Geochemical and mineralogical characteristics of Fe-Ni and bauxitic-laterite deposits of Greece*, Ore Geology Reviews, no 16, pp.41-58.
- 29 Grivas, E., Rassios, A., Konstantopoulou, G., Vacondios, I and Vrahatis, G. (1993). *Drilling for "blind" podiform chrome ore bodies at Voidolakkos in the Vourinos ophiolite complex, Greece*. Econ. Geology, 88, pp.461-468.
- 30 Jones, G. and Robertson, A.H.F. (1991). *Tectono-stratigraphy and evolution of the Mesozoic Pindos ophiolite and related units, northwestern Greece*, J.Geol.Soc.London, 148, pp.267-288.
- 31 Mercier, J. (1968). *Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece)*.Ann.Geol.Pays Hellen., 20, p. 1-792.
- 32 Mountrakis, D. (1982). *Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the internal Hellenides (Greece)*. Ofioliti, 2/3, pp.397-406.
- 33 Naylor, M.A. and Harle, T.J. (1976). *Paleogeographic significance of rocks and structures beneath the Vourinos ophiolite Northern Greece*, Geol. Soc.London, 132, pp.667-675.
- 34 Photiades, A., V. Skourtsis-Coroneou and P. Grigoris (1998). *The stratigraphic and paleogeographic evolution of the Eastern Pelagonian margin during the late Jurassic-Cretaceous interval (Western Vermion mountain-Western Macedonia, Greece)*, Patras, Greece, May 1998, pp. 74.
- 35 Smith, A.G., Woodcock, N.H. and Naylor, M.A. (1979). *The structural evolution of a Mesozoic continental margin. Othris Mountains, Greece*, J.Geol.Soc.London, 136, pp.589-603.

- 36** Smith, A.G. and Spray, J.G. (1984). *A half-ridge transform model for the Hellenic-Dinaric ophiolites*. In Dixon and Robertson (eds.). Geol.Soc.London, Sp.Publ. 17, pp.629-644.
- 37** Smith, A.G. (1993). *Tectonic significance of the Hellenic-Dinaric ophiolites*. From Prichard et al. (eds.) 1993 Magmatic Processes and Plate Tectonics, Geol.Soc.Sp.Publ.. No 76, pp.213-243.
- 38** Spray, J.G., Bebout, J., Rex, D.C., and Roddick, J.C. (1984). *Age constraints on the igneous and metamorphic evolution of the Hellenic-Dinaric ophiolites*. In Dixon and Robertson (eds.), Geol. Soc. London Sp Publ. 17, pp.581-590.

Διαδικτυακές πηγές

Nickel Institute

<http://www.nickelinstitute.org>

<http://nidi.org/>

International Nickel Study Group

<http://www.insg.org>

Mining Intelligence and Technology

<http://www.infomine.com>

CSIRO Exploration and Mining

<http://www.em.csiro.au>

Omega Physics

<http://omega.physics.uoi.gr>

Chemical Elements

<http://www.chemicalelements.com>

Water treatment & Air Purification

<http://www.lenntech.com>

LARCO GMMSA –General Mining & Metallurgical Company

<http://www.larco.gr>

Primary Industries & Resources SA

<http://www.pir.sa.gov.au>

<http://www.portegeos.com>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ