ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Διπλωματική Εργασία

'Ορυκτολογική-Πετρογραφική μελέτη και δυνατότητες εμπλουτισμού του νικελιούχου λατεριτικού σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Nome (Αλβανία)''

Κατζαγιαννάκης Νικόλαος

Εξεταστική επιτροπή Γεώργιος Αλεβίζος, Επίκουρος Καθηγητής, Επιβλέπων Θεόδωρος Μαρκόπουλος, Καθηγητής Ηλίας Σταμπολιάδης, Καθηγητής

> Χανιά Ιούνιος, 2013

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης υπό την επίβλεψη του Επικούρου Καθηγητή κ. Γ. Αλεβίζου. Το θέμα της εργασίας είναι η "Ορυκτολογική-πετρογραφική μελέτη και δυνατότητες εμπλουτισμού του νικελιούχου λατεριτικού σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Nome (Αλβανία)". Το συγκεκριμένο θέμα επιλέχθηκε για τους εξής λογούς. Το νικέλιο αποτελεί ένα ιδιαιτέρως σημαντικό εμπορικό μέταλλο επειδή έχει κάποιες ιδιαίτερες ιδιότητες και χρησιμοποιείται κατά κόρον σε κράματα όπως ο χάλυβας, γεγονός που κάνει το νικέλιο αρκετά σημαντικό μέταλλο στη παγκόσμια βιομηχανία και για αυτό έχει και μια αρκετά υψηλή τιμή. Η Ελληνική βιομηχανία νικελίου αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς της ελληνικής βιομηχανίας η οποία προσφέρει σε σημαντικό βαθμό στην εθνική οικονομία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Κατ' αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, για την ουσιαστική συμβολή του στη ολοκλήρωση της, καθώς επίσης και για τις γνώσεις και την εμπειρία που αποκόμισα από εκείνον κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

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

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω προς τον Διπλ. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων κ. Α. Στρατάκη συνεργάτη του Εργαστηρίου Γενικής & Τεχνικής Ορυκτολογίας για τις ορυκτολογικές αναλύσεις με τη χρήση της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) αλλά και για τον πολύτιμο συμβουλευτικό του ρόλο στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Επίσης στον Διπλ. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Ε. Θωμαίδη για τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφερε, στην Διπλ. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Ο. Παντελάκη και στον Διπλ. Μηχανικό Ορυκτών Πόρων Ε. Πετράκη από το Εργαστήριο Εμπλουτισμού για την πολύτιμη βοήθεια τους κατά τη διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών του εμπλουτισμού καθώς και για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους κατά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται επίσης στην Λέκτορα κ. Δ. Πεντάρη από το Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας & Οργανικής Πετρογραφίας για χημικές αναλύσεις με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ακτινών-X (XRF) καθώς και στον κ Γ. Αποστολάκη για την παρασκευή των στιλπνών τόμων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μικροσκοπική εξέταση. Ακόμα θα ήθελα να δώσω θερμές ευχαριστίες στον Δρ. Α. Αποστολίκα για την δειγματοληψία και την αποστολή των δειγμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ορυκτολογικήπετρογραφική μελέτη καθώς και οι δυνατότητες εμπλουτισμού του νικελιούχου λατεριτικού σιδηρομεταλλεύματος του κοιτάσματος Nome (Αλβανία).

Το κοίτασμα αναπτύσσεται με στρωματοειδή μορφή πάνω σε υπερβασικά πετρώματα και καλύπτεται από ασβεστόλιθους του Κατωτέρου Κρητιδικού. Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του μεταλλεύματος είναι γκαιτίτης, αιματίτης και χαλαζίας, ενώ τα επιμέρους ορυκτολογικά συστατικά είναι χλωρίτης (κλινόχλωρο, Νi-χλωρίτης), καολινίτης και λιζαρδίτης. Ο χλωρίτης αποτελεί τον σημαντικότερο φορέα νικελίου στο κοίτασμα. Το μετάλλευμα χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεγάλου αριθμού σφαιροειδών σωματιδίων, όπως ωοειδή, πισοειδή, πελοειδή, και σύνθετα σφαιροειδή. Ο ιστός του μεταλλεύματος χαρακτηρίζεται γενικά σαν αλλοτριόμορφος ανισοκοκκώδης και η υφή του ωολιθική-πισολιθική.

Η γεωχημική μελέτη του μεταλλεύματος έδειξε την κατανομή των κυρίων στοιχείων του μεταλλεύματος κατά μήκος της τομής καθώς και τη συσχέτιση των στοιχειών μεταξύ τους. Η κατανομή του νικελίου στο μετάλλευμα έδειξε τις υψηλότερες περιεκτικότητες στα ενδιάμεσα και ανώτερα τμήματα της τομής.

Για τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος εφαρμόστηκαν η βαρυτομετρική και η μαγνητική μέθοδος, τα αποτελέσματα των οποίων πιστοποιηθήκαν μέσω χημικώνορυκτολογικών αναλύσεων και μικροσκοπικής παρατήρησης. Στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των βαρέων υγρών, στα κοκκομετρικά κλάσματα -8.00 +4.00 mm, -4.00 +1.00 mm, -1.00 +0.250 mm και -0.250 +0.063 mm. Όσον αφορά τα αποτελέσματα που έδωσαν οι δοκιμές, ο καλύτερος εμπλουτισμός του μεταλλεύματος επιτεύχθηκε στο κοκκομετρικό κλάσμα -1.00 +0.250 mm, όπου το ποσοστό του NiO ανέρχεται σε 0.96% και η ανάκτησή του σε 89% κ.β. αντίστοιχα, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό του πυριτίου οδηγείται στα ελαφρά προϊόντα του διαχωρισμού. Στον μαγνητικό διαχωρισμό χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι μαγνητικού διαχωρισμού, ανάλογα με την κοκκομετρία του δείγματος. Για το μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm χρησιμοποιήθηκε ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (perm roll). Για τα δυο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα -1.00 +0.250 mm και -0.250 +0.063 mm χρησιμοποιήθηκε ο ξηρός επαγωγικός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (high intensity induced magnetic separator). Όσον αφορά τα αποτελέσματα που έδωσαν οι δοκιμές, ο καλύτερος εμπλουτισμός του μεταλλεύματος επιτεύχθηκε στα δυο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα -1.00 +0.250 mm και -0.250 +0.063 mm του πρώτου περάσματος. Η ανάλυση του ΝiO ανέρχεται σε 0.90% κ.β. και στα δύο κοκκομετρικά κλάσματα, ενώ η ανάκτηση του κοκκομετρικού κλάσματος -1.00 +0.250 mm σε 0.89% και του -0.250 +0.063 mm σε 0.91% κ.β. αντίστοιχα.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση νικελίου (1,05% κ.β. NiO) παρατηρήθηκε στο κοκκομετρικό κλάσμα -0.063 mm στο οποίο δεν είχε προγραμματιστεί η πραγματοποίηση δοκιμών εμπλουτισμού.

Κεφάλαιο 1 Νικέλιο	1
1.1: Νικέλιο γενικές πληροφορίες – ιδιότητες	1
1.2 : Εφαρμογές – χρήσεις – κράματα νικελίου	1
1.3 : Ελληνική και παγκόσμια βιομηχανία νικελίου	3
1.4 : Η αξία του νικελίου διαχρονικά	7
Κεφάλαιο 2 Κοιτάσματα νικελίου	8
2.1: Κοιτάσματα νικελίου	8
2.2: Θειούχα κοιτάσματα	9
2.2.1: Ορυκτολογική σύσταση θειούχων κοιτασμάτων	10
2.3: Λατεριτικά κοιτάσματα	10
2.3.1:Ορυκτολογική σύσταση μητρικών πετρωμάτων λατεριτών	11
2.3.2: Λατεριτική αποσάθρωση	12
2.3.3: Ταξινόμηση νικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων	14
2.3.4 Ορυκτολογική σύσταση νικελιούχων λατεριτών	14
2.3.5: Νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα	16
2.4: Ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα	17
2.4.1: Ορυκτολογική σύσταση ιζηματογενών κοιτασμάτων	18
Κεφάλαιο 3 Γεωλογία βορειανατολικής Αλβανίας και του Nome (Kukes)	20
2.1: Γεωλονία του ορεινού όνκου του Κυκος	20
5.1. Tewnorta too opervoo oykoo too kakes	
3.2: Νικελιούχα κοιτάσματα στην Αλβανία στη ζώνη Mirdita	21
 3.1. Γεωλογία του ορείνου ογκού του κακει	21 24
 3.1. Γεωλύγια του υρείνου ύγκου του κακεε	21 24 24
 3.1. Γεωλογία του υρείνου ύγκου του κακέε	21 24 24 24
 3.1. Γεωλύγια του υρείνου ύγκου του κακές 3.2: Νικελιούχα κοιτάσματα στην Αλβανία στη ζώνη Mirdita Κεφάλαιο 4: Μεταλλουργικές μέθοδοι εξαγωγής σιδηρονικελίου 4.1: Μέθοδοι εξαγωγής του νικελίου 4.2: Παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ελλάδα 4.3: Γενικές πληροφορίες για τα ειδή μεταλλουργικών διαδικασιών 	21 24 24 24 26
 3.1. Γεωλογια του υρείνου ύγκου του κακέξει	21 24 24 24 26 26
 3.1. Γεωλογια του υρείνου υγκού του κακέξει	

5.2: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο29
5.3.1: Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (XRD) 30
5.3.2: Χημικές αναλύσεις τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτινών-Χ (XRF)
5.3.3: Χημική ανάλυση με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης
5.4: Δόκιμες εμπλουτισμού
5.4.1: Βαρυτομετρικός διαχωρισμός34
5.4.2: Μαγνητικός διαχωρισμός35
Κεφάλαιο 6 Χημικές αναλύσεις και ορυκτολογία δειγμάτων ΑΚΑ
6.1: Δειγματοληψία
6.2: Ορολογία για χαρακτηρισμό σχήματος και μεγέθους σφαιροειδών σωμάτων
6.3: Χημικές αναλύσεις δειγμάτων ΑΚ
6.4: Ορυκτολογία δειγμάτων και χαρακτηρισμός στρωματογραφίας κοιτάσματος
Κεφάλαιο 7 Γεωχημεία
7.1 Σχετικές ποσότητες- Ερμηνεία43
7.1.1: Γεωχημική εξέταση των δειγμάτων του μεταλλεύματος κατά μήκος της τομής 43
Κεφάλαιο 8 Αποτελέσματα εμπλουτισμού48
8.1: Κοκκομετρίες που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές δοκιμές εμπλουτισμού 48
8.2.1: Δοκιμή εμπλουτισμού με τη μέθοδο των βαρέων υγρών
8.2.1.1: Κατανομή βάρους στα βαριά και τα ελαφριά
8.2.1.1.1:Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα60
8.2.1.2: Περιεκτικότητα των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO
8.2.1.3: Κατανομή των SiO₂, Fe₂O₃ και NiO61
8.2.2: Αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού και εξέταση τους με βάση ορυκτολογικά κριτήρια64
8.2.2.1: Περιεκτικότητες ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των βαρυμετρικών κλασμάτων
8.2.2.2: Κατανομή ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των βαρυμετρικών κλασμάτων

	8.2.3 : Μικροσκοπική εξέταση κλασμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού	69
	8.2.3.1:Κοκκομετρικό κλάσμα -0.250 +0.063 mm	69
	8.2.3.2:Κοκκομετρικό κλάσμα -1.00 +0.250 mm	70
	8.2.3.3:Κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm	71
	8.2.3.4:Κοκκομετρικό κλάσμα -8.00 +4.00 mm	72
	8.2.4 : Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού.	74
	8.3.1: Δοκιμή εμπλουτισμού με τη μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού	76
	8.3.1.1: Κατανομή βάρους στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα	87
	8.3.1.2: Περιεκτικότητα των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού σε SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ κ NiO	αι 88
	8.3.1.3: Κατανομή των SiO2, Fe2O3 και NiO στα κλάσματα	93
	8.3.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού και εξέτασή τους με βάση ορυκτολογι κριτήρια	κά 95
	8.3.2.1: Περιεκτικότητες ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των μαγνητικών κλασμάτων	101
	8.3.2.2: Κατανομή ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των μαγνητικών κλασμάτων	105
	8.3.3 : Μικροσκοπική εξέταση κλασμάτων μαγνητικού διαχωρισμού	108
	8.3.3.1:Κοκκομετρικό κλάσμα -0.250 +0.063 mm	108
	8.3.3.2: Κοκκομετρικό κλάσμα -1.00 +0.250 mm	109
	8.3.3.3: Κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm	111
	8.3.4 : Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων μαγνητικού διαχωρισμού	113
к	εφάλαιο 9 Συμπεράσματα	114
	9.1: Συμπεράσματα ορυκτολογικής εξέτασης	114
	9.2 Συμπεράσματα από τη γεωχημική μελέτη	114
	9.3.1 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	115
	9.3.2 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού	115
	9.3.3: Γενικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των διαχωρισμών	116
	9.4: Προτάσεις	116

ΟΓΡΑΦΙΑ

Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ορυκτολογικήπετρογραφική εξέταση, η γεωχημική μελέτη καθώς και η διεξαγωγή και αξιολόγηση πειραματικών δοκιμών εμπλουτισμού για την μελέτη του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Nome στο Kukes της βορειοανατολικής Αλβανίας.

Για την ορυκτολογική εξέταση έγινε χρήση της περιθλασιμετρίας ακτινών-X (XRD), ενώ η περιγραφή των ιστολογικών χαρακτηριστικών του μεταλλεύματος και η παρατήρηση των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων των μεθόδων εμπλουτισμού πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο μικροσκοπίας ανακλωμένου φωτός. Όσον αφορά τις χημικές αναλύσεις αυτές έγιναν με τις μεθόδους της ατομικής απορρόφησης και της φασματοσκοπίας ακτινών-X φθορισμού (XRF).

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού που χρησιμοποιηθήκαν για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι ο διαχωρισμός με βαρέα υγρά και ο μαγνητικός διαχωρισμός. Στο μετάλλευμα προηγήθηκε θραύση και κοσκίνηση των αρχικών δειγμάτων, ώστε να γίνει επιλογή των αντιστοίχων κοκκομετρικών κλασμάτων που θα υποβάλλονταν σε εμπλουτισμό. Στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό τα ορυκτά διαχωρίζονται σύμφωνα με τα ειδικά τους βάρη, ενώ στο μαγνητικό διαχωρισμό 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 βιομηχανία καθώς ακόμη και οι μέθοδοι ανάκτησης αυτού από το μεταλλεύματα του. Επίσης δίδονται στοιχεία σχετικά με το σιδηρονικελιούχο κοίτασμα του Nome στο Kukes. Στη συνέχεια παρατίθεται το υπόβαθρο όλων των πειραματικών μεθόδων που χρησιμοποιηθήκαν. Έπειτα ακολουθούν η ορυκτολογική αξιολόγηση των αρχικών δειγμάτων, οι χημικές αναλύσεις καθώς και τα αποτελέσματα της γεωχημικής μελέτης. Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εφαρμοζόμενων μεθόδων εμπλουτισμού, όπως η χημική, η ορυκτολογική και η μικροσκοπική εξέταση των ορυκτολογικών φάσεων που βρίσκονται στα προϊόντα που προέκυψαν από τον βαρυτομετρικό και μαγνητικό διαχωρισμό.

Κεφάλαιο 1 Νικέλιο

1.1: Νικέλιο γενικές πληροφορίες – ιδιότητες

Το νικέλιο αποτελεί το 5ο πιο κοινό στοιχείο στη Γη. Είναι ένα στοιχείο το οποίο συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών. Το νικέλιο είναι εξαιρετικά σημαντικό εμπορικό προϊόν, διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια βιομηχανική ανάπτυξη παραμερίζοντας σχεδόν όλα τα υπόλοιπα βιομηχανικά μέταλλα. Οι παράγοντες που καθιστούν το νικέλιο και τα κάρματα του πολύτιμα εμπορεύσιμα αγαθά είναι η αντοχή, η αντίσταση στη διάβρωση, η ελαστικότητα, η καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, τα μαγνητικά χαρακτηριστικά και οι καταλυτικές ιδιότητες που διαθέτει (Larco).

Ατομικός αριθμός	28		
Ατομική μάζα	58.71 g.mol ⁻¹		
Ηλεκτραρνητικότητα συμφώνα με τον Pauling	1.8		
Πυκνότητα	8.9 g.cm ⁻³ at 20°C		
Σημείο τήξεως	1453 °C		
Σημείο βρασμού	2913 °C		
Актіva Van der Waals	0.124 nm		
Ιοντική ακτίνα	0.069 nm (+2) ; 0.06 nm (+3)		
Ισότοπα	10		
Ισότοπα Νέφος ηλεκτρόνιων	10 [Ar] 3d ⁸ 4s ²		
Ισότοπα Νέφος ηλεκτρόνιων Ενεργεία 1 ^{ου} ιονισμού	10 [Ar] 3d ⁸ 4s ² 735 kJ.mol ⁻¹		
Ισότοπα Νέφος ηλεκτρόνιων Ενεργεία 1 ^{ου} ιονισμού Ενεργεία 2 ^{ου} ιονισμού	10 [Ar] 3d ⁸ 4s ² 735 kJ.mol ⁻¹ 1753 kJ.mol ⁻¹		
Ισότοπα Νέφος ηλεκτρόνιων Ενεργεία 1 ^{ου} ιονισμού Ενεργεία 2 ^{ου} ιονισμού Ενεργεία 3 ^{ου} ιονισμού	10 [Ar] 3d ⁸ 4s ² 735 kJ.mol ⁻¹ 1753 kJ.mol ⁻¹ 3387 kJ.mol ⁻¹		
Ισότοπα Νέφος ηλεκτρόνιων Ενεργεία 1 ^{ου} ιονισμού Ενεργεία 2 ^{ου} ιονισμού Ενεργεία 3 ^{ου} ιονισμού Πρότυπο δυναμικό	10 [Ar] 3d ⁸ 4s ² 735 kJ.mol ⁻¹ 1753 kJ.mol ⁻¹ 3387 kJ.mol ⁻¹ - 0.25 V		

Πινάκας 1.1: Ιδιότητες νικελίου (Lenntech.com)

1.2 : Εφαρμογές – χρήσεις – κράματα νικελίου

Οι κυριότερες χρήσεις του νικελίου είναι οι εξής:

- a. Παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα, ειδικού χάλυβα και ειδικών κραμάτων
- b. Ενιαία παραγωγή χάλυβα και σιδήρου
- c. Παραγωγή ανθρακούχου χάλυβα KHT
- d. Μεταλλουργία κονιών μετάλλων
- e. Κατεργασία επιφάνειας μετάλλου
- f. Παραγωγή αλάτων νικελίου από μέταλλο νικέλιο
- g. Κατασκευή μπαταριών με τη χρήση θετικών ηλεκτροδίων νικελίου
- h. Παραγωγή καταλυτών Νi από πρόδρομη ουσία καταλύτη που περιέχει NiO
- i. Χρήση προ-ανηγμένου καταλύτη που περιέχει νικέλιο

- j. Παραγωγή μαγνητών
- k. Παραγωγή προϊόντων που περιέχουν νικέλιο (ηλεκτρονικά)
- Ι. Παραγωγή κράματος σκληρής συγκόλλησης
- m. Χρήση κραμάτων σκληρής συγκόλλησης
- n. Παραγωγή υλικών επαφής αργύρου-νικελίου
- ο. Χρήση υλικών επαφής αργύρου-νικελίου
- ρ. Καθοδική επίχριση
- q. Εναπόθεση λεπτού υμενίου με τεχνική εξαέρωσης

(nickel.vale.com)



Σχήμα 1.1: Χρήσεις νικελίου (nickelinstitute.org)

Το 61% του νικελίου χρησιμοποιείτε στη παράγωγη ανοξείδωτου χάλυβα, το υπόλοιπο 39% χρησιμοποιείτε στη παράγωγη μη σιδηρούχων κραμάτων χάλυβα, ελασμάτων και για λοιπές χρήσεις όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.



Σχήμα 1.2: Χρήσεις κραμάτων νικελίου (nickelinstitute.org)

Το σιδηρονικέλιο χρησιμοποιείται πρωτίστως στην κατασκευή Ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων. Αυτοί είναι μη μαγνητικοί και περιέχουν μεταξύ 8.5% και 25% νικέλιο, ενισχύοντας την αντιδιαβρωτική τους αντίσταση. Είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη ομάδα ανοξείδωτων χαλύβων, αναλογώντας στο 70%-75% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής. Οι Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες δεν περιέχουν νικέλιο.

Σήμερα, το σιδηρονικέλιο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο σε όλες τις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες οικονομίες. Χρησιμοποιείται σε μια πληθώρα εφαρμογών και τομείς: εφαρμοσμένη μηχανική, μεταφορές, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά, κτίρια και κατασκευές, μεταλλικά αντικείμενα , σωλήνες και εξαρτήματα σωλήνων. Επίσης καθιστά δυνατή την παραγωγή πολύ χρήσιμων προϊόντων με ειδικές ιδιότητεςμαγνητικές, ηλεκτρονικές, ελεγχόμενης διαστολής, καταλυτικές και ιδιότητες σχετιζόμενες με την τεχνολογία των επαναφορτιζόμενων συσσωρευτών. Το σιδηρονικέλιο συμβάλλει σε αποδοτικές τηλεπικοινωνίες, ασφαλείς μεταφορές, αποδοτική παραγωγή πετρελαίου και βενζίνης, καθαρή και αξιόπιστη παραγωγή ενέργειας, υγιεινολογική κατεργασία τροφίμων και ποτών, ασφαλή και αξιόπιστο ιατρικό εξοπλισμό, καθώς και σε εξοπλισμό μειωμένων εκπομπών από συσκευές έκπλυσης απαερίων έως υβριδικά οχήματα (Larco).

1.3 : Ελληνική και παγκόσμια βιομηχανία νικελίου

Το νικέλιο είναι ένα από τα σημαντικότερα μεταλλουργικά προϊόντα της Ελλάδας, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος 1.3 το 2007 το νικέλιο (περιεχόμενο σε κράματα) αποτελούσε το 48% των συνολικών μεταλλευτικώνμεταλλουργικων εξαγωγών της χώρας.

Στην Ελλάδα η βασική γεωλογική έρευνα και μελέτες διεξάγεται κυρίως από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) το οποίο παρέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογική δομή της χώρας, το μέγεθος, την τοποθεσία και την ποιότητα των διαφόρων μεταλλείων της Ελλάδας και κατά δεύτερο λόγο από άλλους φορείς (Larco).

Στην Ελλάδα τα κοιτάσματα νικελίου εκμεταλλεύονται από την εταιρεία Λάρκο, η οποία αποτελεί τη μοναδική επιχείρηση παράγωγης εγχώριου νικελίου όχι μόνο στη χώρα αλλά και σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή ένωση. Η Λάρκο διεξάγει εκτεταμένη και λεπτομερή έρευνα που περιλαμβάνει γεωλογική αναγνώριση, χαρτογράφηση και ερευνητικές γεωτρήσεις δειγματοληψίας. Η μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής έρευνας έχει ως στόχο το υπολογισμό του όγκου και της ποιότητας των αποθεματικών και αποθεμάτων των νικελιούχων μεταλλευμάτων.



Σχήμα 1.3: Εξαγωγές μεταλλευτικών-μεταλλουργικών, μαρμάρων και ΒΟΠ το 2007

Με βάση τα δεδομένα που έχουν προκύψει από τη γεωλογική ερευνά, οι ορυκτοί πόροι λατεριτικών σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων που υπάρχουν στη χώρα μας υπερβαίνουν τους 240 εκατομμύρια τόνους και είναι εξαπλωμένοι κυρίως σε τρεις μεγάλες περιοχές στους νομούς

- a. Εύβοιας
- b. Βοιωτίας
- Καστοριάς

Ακόμα σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα των ελληνικών κοιτασμάτων κυμαίνεται στο 1%.

Η Λάρκο εξορύσσει μετάλλευμα σιδηρονικελίου από τις περιοχές της Λοκρίδας, της κεντρικής Ευβοίας αλλά και της Καστοριάς. Η εξόρυξη μεταλλεύματος γίνεται κυρίως με επιφανειακές μεθόδους εκμετάλλευσης (98%) και σε πολύ μικρότερο βαθμό με υπόγειες μεθόδους. Το εργοστάσιο της εταιρίας βρίσκεται στη Λάρυμνα. Η βασική

γραμμή παραγωγής αποτελείται από 4 περιστροφικές καμίνους, 5 ηλεκτρικές καμίνους και 2 μεταλλάκτες τύπου OBM, δυναμικότητας 50 τόνων μετάλλου έκαστος. Πέραν των ανωτέρω υπάρχουν και οι αναγκαίες βοηθητικές εγκαταστάσεις, όπως οι 2 μονάδες για την παραγωγή οξυγόνου και αζώτου, μονάδα πελλετοποίησης κόνεων, μονάδα κοκκοποίησης FeNi και μονάδες μαγνητικού εμπλουτισμού.

Το εργοστάσιο λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο παράγοντας κοκκοποιημένο σιδηρονικέλιο υψηλής καθαρότητας, χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ανοξείδωτου χάλυβα (Larco).

Όσον αφορά την παγκόσμια βιομηχανία νικελίου οι κυριότεροι παραγωγοί νικελίου είναι οι εξής: Ηνωμένες πολίτες, Αυστραλία, Μποτσουάνα, Βραζιλία, Καναδάς, Κινά, Κούβα, Δομινικανή Δημοκρατία, Ινδονήσια, Νέα Καληδονία, Φιλιππίνες, Ρωσία, Νότιος Αφρική, Βενεζουέλα και Ζιμπάμπουε. Αξίζει να σημειωθεί ότι μονάδες εμπλουτισμού νικελίου με αρκετά μεγάλη δυναμικότητα υπάρχουν στη Νορβηγία, Φιλανδία, Γάλλια, Ιαπωνία και Μεγάλη Βρετάνια.

World Mine Production, Reserv	es, and Reserve Bas	e:			
	Mine	Mine production		Reserve base ⁶	
	2004	2005°			
United States					
Australia	178,000	210,000	22,000,000	27,000,000	
Botswana	33,000	37,100	490,000	920,000	
Brazil	45,200	46,000	4,500,000	8,300,000	
Canada	187,000	196,000	4,900,000	15,000,000	
China	64,000	71,000	1,100,000	7,600,000	
Colombia	75,000	72,500	830,000	1,100,000	
Cuba	72,400	75,000	5,600,000	23,000,000	
Dominican Republic	47,000	47,000	720,000	1,000,000	
Greece	21,700	22,100	490,000	900,000	
Indonesia	133,000	140,000	3,200,000	13,000,000	
New Caledonia ⁷	118,000	122,000	4,400,000	12,000,000	
Philippines	17,000	22,000	940,000	5,200,000	
Russia	315,000	315,000	6,600,000	9,200,000	
South Africa	39,900	41,700	3,700,000	12,000,000	
Venezuela	20,500	22,000	560,000	630,000	
Zimbabwe	9,520	9,800	15,000	260,000	
Other countries	11,000	26,000	2,100,000	5,900,000	
World total (rounded)	1,400,000	1,500,000	62,000,000	140,000,000	

Πινάκας 1.2: Παράγωγη νικελίου τα έτη 2004-2005 (κυριοτέρων χώρων παραγώγων) (minerals.usgs.gov-us)

Όπως φαίνεται και από το πίνακα 1.3 στη πρώτη θέση στην παραγωγή πρωτογενούς νικελίου εναλλάσσονται τα τελευταία χρόνια η Ευρώπη με την Ασία και σταθερά τρίτη είναι η Αμερική. Στον τομέα της κατανάλωσης νικελίου συμφώνα με τον πίνακα 1.4 πρώτη είναι η Ασία με σχεδόν τριπλάσιες ποσότητες από τη δεύτερη Ευρώπη και στη τρίτη θέση είναι η Αμερική.

Πινάκας 1.3: Παγκόσμια παράγωγη πρωτογενούς νικελίου τα έτη 2005-2010 τόνοι(insg.org)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Africa	55,5	54,5	49,1	42,1	36,4	36,0
America	307,6	313,1	317,2	304,8	239,2	229,0
Asia	270,6	303,5	379,4	378,6	432,3	538,0
Europe	462,9	511,6	513,7	510,2	444,4	501,2
EU27	110,7	116,1	121,8	122,8	81,5	108,3
Oceania	177,5	162,6	156,2	141,9	167,6	141,4
WORLD	1274,1	1345,3	1415,6	1377,7	1319,9	1445,6

Παραγωγή πρωτογενούς νικελίου

Πινάκας 1.4: Παγκόσμια κατανάλωσr	ι νικελίου τα έτη	2005-2010 то́vоі	(insg.org)
-----------------------------------	-------------------	------------------	------------

Χρήση νικελίου (κατανάλωση)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Africa	32,0	42,0	33,6	27,0	31,3	23,9
America	174,3	180,4	171,4	160,5	121,8	152,0
Asia	592,2	683,7	690,9	688,3	760,3	929,4
Europe	447,2	492,1	423,9	407,5	324,5	355,7
EU27	406,9	451,7	381,4	365,1	286,7	317,2
Oceania	2,8	2,9	2,9	2,9	2,7	2,7
WORLD	1248,5	1401,1	1322,7	1286,1	1240,6	1463,7



Σχήμα 1.4: Κατανομή παγκόσμιας παράγωγης νικελίου 2005 (Ime.com)

1.4 : Η αξία του νικελίου διαχρονικά

Η αξία του νικελίου σημείωσε μεγάλη αύξηση μετά το 2003 με αποκορύφωμα το Μάη του 2007 που έφτασε την τιμή των 54000 \$/τόνο. Μετά όμως το ξέσπασμα της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης η αξία του νικελίου έχει μειωθεί, οι σημερινές τιμές πώλησης είναι 18000\$/τόνο (Ime.com).



Σχήμα 1.5: Τιμές νικελίου στο LME(London Metal Exchange Market) για τη χρονική περίοδο 1998-2012

Κεφάλαιο 2 Κοιτάσματα νικελίου

2.1: Κοιτάσματα νικελίου

Τα μεταλλεύματα νικελίου με βάση τον τρόπο γένεσης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- a) Θειούχα
- b) Λατεριτικά
- c) Ιζηματογενή

Τα κύρια θειούχα κοιτάσματα είναι του Sudbury, Thompson, Raglan και Voisey bay του Καναδά, της Kambalda της Αυστραλίας, τα κοιτάσματα του κρατονικού χώρου Yilgarn της Δυτικής Αυστραλίας, Jinchuan Κίνας, Duluth ΗΠΑ και Noril'sk της Ρωσίας. Τα κοιτάσματα αυτά είναι συνήθως πολυμεταλλικά και συνδέονται με μεταλλεύματα χαλκού και πλατινοειδών (PGE). Η ιδιαιτερότητα αυτή τους δίνει μια ιδιαίτερα μεγάλη μεταλλευτική αξία.

Τα σημαντικότερα λατεριτικά κοιτάσματα εντοπίζονται στην Αυστραλία, Νέα Καληδονία, Κούβα, Ινδονησία, Φιλιππίνες, Βραζιλία και Κολομβία όπου και συγκεντρώνεται το 75% των παγκοσμίων αποθεμάτων νικελιούχων λατεριτών. Στην Αφρική ένα σημαντικό ποσοστό αποθεμάτων έχει εντοπιστεί στο Μπουρούντι, στην Ακτή Ελεφαντοστού και στη Μαδαγασκάρη. Σε αυτά τα κοιτάσματα, εάν το μετάλλευμα δεν επεξεργάζεται σε σιδηρονικέλιο, ανακτάται επίσης κοβάλτιο σαν παραπροϊόν. Με τη ραγδαία ανάπτυξη του νικελίου "Pig Iron" στην Κίνα, λατεριτικά κοιτάσματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο απέκτησαν μεγάλη σημασία τόσο για τη μεταλλευτική, όσο και για τη μεταλλουργική βιομηχανία.

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου διαφέρουν γενετικά από τα κοιτάσματα των άλλων δύο τύπων. Δημιουργήθηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης και μεταφοράς του λατεριτικού υλικού. Δεν υπάρχει όμως καμία ποιοτική διαφορά στη χημική σύσταση μεταξύ ιζηματογενών και λατεριτικών κοιτασμάτων νικελίου (Αποστολίκας, 2009).

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα αποτελούν μια ιδιαιτερότητα και αναπτύσσονται στις χώρες της Βαλκανικής, βεβαίως στις ίδιες χώρες έχουμε και την εμφάνιση λατεριτικών κοιτασμάτων. Πολλά κοιτάσματα της Αλβανίας και της Ελλάδος ανήκουν στην κατηγορία των λατεριτικών πρωτογενών κοιτασμάτων. Οι συνολικοί μεταλλευτικοί πόροι (Mineral Resources) μεταλλεύματος νικελίου παγκοσμίως εκτιμώνται σε 23 δισεκατομμύρια τόνους με μέση περιεκτικότητα νικελίου 0.97%. Στα αποθέματα αυτά συμμετέχουν τα θειούχα με 45% και μέση περιεκτικότητα νικελίου 1.32%. Με βάση το περιεχόμενο νικέλιο από τους Dalvi et. al (2004) εκτιμάται ότι στα λατεριτικά εμπεριέχεται το 72% των παγκοσμίων αποθεμάτων νικελίου σε σχέση με τα θειούχα που περιέχουν το 28%.

Σύμφωνα με νεότερη πηγή από τον Kuck (USGS Mineral Commodity Summaries 2005) τα αποθέματα νικελιούχων μεταλλευμάτων παγκοσμίως περιέχουν 130.000.000 τόνους νικελίου, εκ των οποίων 60% εμπεριέχεται σε λατεριτικά νικελιούχα μεταλλεύματα και 40% σε θειούχα. Σε κάθε περίπτωση κοινή διαπίστωση είναι ότι τα λατεριτικά κοιτάσματα περιέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό νικελίου, ενώ αντιθέτως η παγκόσμια παραγωγή στο μεγαλύτερο μέρος της προέρχεται από λατεριτικά σε ποσοστό 40% και από θειούχα 60% (Elias, 2002).

2.2: Θειούχα κοιτάσματα

Τα μαγματικά θειούχα κοιτάσματα είναι συγκεντρώσεις θειούχων ορυκτών συνδεδεμένων με συμπλέγματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, τα οποία σχηματίσθηκαν από πρώιμη κρυστάλλωση μάγματος (Ορθομαγματικό στάδιο) βασικής σύστασης εντός μαγματικών θαλάμων.

Η κρυστάλλωση δυσδιάλυτων θειούχων ενώσεων από ένα μαγματικό τήγμα είναι η βασική διαδικασία που οδηγεί σε θειούχα κοιτάσματα. Το θειούχο τήγμα λειτουργεί σαν συλλέκτης για το νικέλιο, κοβάλτιο, χαλκό και πλατινοειδή (PGE), ενώ ο σίδηρος συμμετέχει σε πολύ μικρότερο βαθμό αλλά λόγω του ότι αποτελεί κύριο στοιχείο του μάγματος τα περισσότερα θειούχα τήγματα είναι πλούσια σε σίδηρο.

Τα στοιχεία αυτά επιλεκτικά συγκεντρώνονται στο θειούχο τήγμα σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από ότι στο πυριτικό τήγμα ενός μάγματος. Οι θειούχες ενώσεις συγκεντρώνονται σε σταγονίδια και λόγω της βαρύτητας καθιζάνουν και αποτίθενται σε βαθύτερα σημεία. Η κρυστάλλωση του θειούχου τήγματος οδηγεί σε διάσπαρτη (αραιή ή πυκνή διασπορά) ή συμπαγή μεταλλοφορία στη βάση της μαγματικής διείσδυσης.

Μια άλλη μορφή θειούχου μεταλλοφορίας είναι οι Offsets, που σχηματίσθηκαν από υδροθερμικά διαλύματα σε θερμοκρασία μικρότερη της κρίσιμης θερμοκρασίας του νερού (375°C) και αναπτύσσονται σε ένα κοίτασμα υπό μορφή φλεβών στο συνοδό πέτρωμα. Πρόκειται για κρυστάλλωση (Υδροθερμικό στάδιο) υδροθερμικών ρευστών που προήλθαν από νερό και μέταλλα κατά τις διαδικασίες της μαγματικής διαφοροποίησης. Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται στις τελευταίες φάσεις της κλασματικής κρυστάλλωσης του μάγματος και η κρυστάλλωση των υδατικών διαλυμάτων γίνεται όταν επέλθουν ορισμένες μεταβολές, όπως η συγκέντρωση στοιχείων, η αλλαγή των συνθηκών pH-Eh και η πτώση της θερμοκρασίας. Καταθερμικές ορυκτές παραγενέσεις (πεντλανδίτης, χαλκοπυρίτης) αυτής της μορφής που σχηματίζονται σε θερμοκρασία 375°-300°C παρατηρούνται στα μεγαλύτερα θειούχα κοιτάσματα του Sudbury και Norilsk. Χωρίς κοιτασματολογική σημασία είναι τα αρσενίδια νικελίου που σχηματίζονται κατά το επιθερμικό στάδιο (200°-100°C) της υδροθερμικής κρυστάλλωσης (Αποστολίκας, 2009).

Τα θειούχα κοιτάσματα νικελίου είναι κυρίως συνδεδεμένα με βασικά και υπερβασικά πυριγενή πετρώματα. Τα κοιτάσματα σχηματίσθηκαν σε διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα, όπως σε ζώνες απόκλισης ή σύγκλισης, των λιθοσφαιρικών πλακών.

Υπάρχουν κοιτάσματα σε παραμορφωτικές ζώνες πρασινοπετρωμάτων και ασβεσταλκαλικούς βαθύλιθους, που συνδέονται με ενεργητικά περιθώρια των πλακών, σε παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια αλλά και σε οφιολιθικά συμπλέγματα, που συνδέονται με ζώνες απόκλισης των πλακών. Η συντριπτική πλειοψηφία των κοιτασμάτων έχουν ηλικία του Αρχαϊκού και Παλαιοπροτεροζωϊκού.

Γενικότερα τα βασικά και υπερβασικά σώματα που φιλοξενούν θειούχα κοιτάσματα διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Βασικό τήγμα που προήλθε από πρόσκρουση μετεωρίτη (Sudbury Καναδά)
- Ρεύματα βασαλτών σε ενδοηπειρωτικές ρηξιγενείς ζώνες (Noril'sk Ρωσίας, Duluth ΗΠΑ, Jinchuan Κίνας)
- Διεισδύσεις κοματιϊτικών ροών (Kambalda Agnew Αυστραλίας, Thompson -Raglan Καναδά)
- Άλλες βασικές υπερβασικές διεισδύσεις (Voisey's Bay Καναδά)

2.2.1: Ορυκτολογική σύσταση θειούχων κοιτασμάτων

Tα θειούχα κοιτάσματα Ni-Cu-PGE συνίστανται από τυπικά μαγματικά θειούχα ορυκτά. Τα κυριότερα ορυκτά που βρίσκονται σε σημαντικό ποσοστό στα μαγματικά θειούχα μεταλλεύματα είναι ο πυρροτίνης Fe_{1-x} S (x= 0-0.2), ο πεντλανδίτης (Fe,Ni)₉ S₈, ο χαλκοπυρίτης CuFeS₂ και ο σιδηροπυρίτης FeS₂. Σε πολλά κοιτάσματα απαντώνται επίσης νικελίνης NiAs, μαουχερίτης Ni₁₁As₈, γκερστορφίτης NiAsS, γκερστορφίτης κοβαλτίνης NiFeCoAsS και τα ορυκτά των πλατινοειδών, μιχενερίτης PdBiTe, μονχεϊτης PtTe₂ μερενσκυϊτης (Pd,Pt)(Te,Bi)₂ και σφερρύλιθος PtAs₂ υπό μορφή εγκλεισμάτων εντός των ορυκτών του νικελίου και του χαλκού. Σε κοιτάσματα πλούσια σε χαλκό εμφανίζονται επίσης βορνίτης Cu₅FeS₄, κουβανίτης CuFe₂S₃ και μοϊχεκίτης Cu₉Fe₉Si₁₆.

Χαρακτηριστική είναι επίσης η παρουσία δευτερογενώς σχηματισθέντων ορυκτών όπως βορνίτης, κυπρίτης, μαλαχίτης, βιολαρίτης, μιλλερίτης, αιματίτης και μαγνητίτης, που προέρχονται από εξαλλοίωση, οξείδωση και μεταμόρφωση πρωτογενών θειούχων ορυκτών (Αποστολίκας, 2009).

2.3: Λατεριτικά κοιτάσματα

Τα λατεριτικά νικελιούχα κοιτάσματα αποτελούν το 72% των παγκοσμίων αποθεμάτων νικελίου. Πρόκειται για υπολειμματικά κοιτάσματα λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης υπερβασικών πετρωμάτων με οικονομική σημασία όσον αφορά την περιεκτικότητά τους σε νικέλιο και κατά κανόνα και σε κοβάλτιο. Το 85% αυτών των λατεριτικών νικελιούχων κοιτασμάτων, ηλικίας Μειοκαίνου-Πλειοκαίνου, αναπτύσσεται σε περιοχές με εκτεταμένα οφιολιθικά συμπλέγματα αποτελούμενα από δουνίτες, χαρτσβουργίτες και σερπεντινίτες, ενώ το υπόλοιπο 15% αναπτύσσεται σε περιοχές Αρχαϊκών κρατόνων και Πρωτεροζωϊκών ζωνών πρασινοπετρωμάτων με κοματίΐτες. Τα υπερβασικά πετρώματα με βάση την ορυκτολογική σύστασή τους σε ολιβίνη (ο), ορθοπυρόξενο (ορχ) και κλινοπυρόξενο (cpx) ταξινομούνται κατά την International Union of Geological Sciences (IUGS) συμφώνα με το Σχήμα 2.1



Σχήμα 2.1: Ταξινόμηση υπερβασικών πετρωμάτων με ολιβίνη, ορθοπυρόξενο και κλινοπυρόξενο κατά IUGS

Η συντριπτική πλειοψηφία των κοιτασμάτων αυτών αναπτύσσεται επιφανειακά χωρίς να καλύπτονται από υπερκείμενα πετρώματα, με εξαίρεση μια σειρά κοιτασμάτων της Βαλκανικής που καλύπτονται από κυμαινόμενου πάχους υπερκείμενα, που λειτούργησαν προστατευτικά για τη διατήρησή τους. Η κάλυψη των κοιτασμάτων αυτών καθιστά την εκμετάλλευσή τους, σε σύγκριση με τα επιφανειακά, οικονομικά ακριβότερη (Αποστολίκας, 2009).

2.3.1:Ορυκτολογική σύσταση μητρικών πετρωμάτων λατεριτών

Οι περιδοτίτες συνίστανται ορυκτολογικά κυρίως από ολιβίνες, ορθοπυρόξενους, κλινοπυρόξενους και δευτερευόντως από αμφιβόλους, μαρμαρυγίες, σπινέλλιους, γρανάτες και σερπεντίνες. Οι κυριότεροι περιδοτίτες, που συμμετέχουν σαν μητρικά πετρώματα στο σχηματισμό λατεριτών, είναι δουνίτες-χαρτσβουργίτες και σερπεντινίτες. Η ορυκτολογική σύσταση των περιδοτιτών με την υψηλή συμμετοχή του ολιβίνη (Mg,Fe)₂SiO₄ είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το σχηματισμό των λατεριτικών νικελιούχων κοιτασμάτων, διότι ο ολιβίνης, που περιέχεται στα παραπάνω πετρώματα, αποτελεί την αρχική πηγή νικελίου. Ο ολιβίνης είναι ισόμορφη παράμειξη μεταξύ των ακραίων μελών φορστερίτη Mg₂SiO₄ (Fo) και φαϋαλίτη Fe₂SiO₄ (Fa) και στα υπερβασικά πετρώματα είναι κυρίως μαγνησιούχος με αξιόλογες περιεκτικότητες νικελίου.

Οι δουνίτες αποτελούνται κυρίως από ολιβίνη σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90%, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό της σύστασής τους συμπληρώνεται με σπινέλλιους (χρωμίτης) πυρόξενους και αμφιβόλους.

Παρόμοια ορυκτολογική σύσταση, με διαφορετικό ποσοστό συμμετοχής των επιμέρους ορυκτολογικών φάσεων, έχουν και οι χαρτσβουργίτες.

Η τρίτη ομάδα πετρωμάτων που συμμετέχει στο σχηματισμό νικελιούχων λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης είναι οι σερπεντινίτες. Τα ορυκτά της ομάδος του σερπεντίνη αποτελούν τα κύρια συστατικά των σερπεντινιτών και σχηματίζονται δευτερογενώς από την υδροθερμική αλλοίωση (σερπεντινίωση) πλουσίων σε μαγνήσιο πετρωμάτων, όπως ο περιδοτίτης και ο πυροξενίτης και ιδιαίτερα από τα ορυκτά ολιβίνη, πυρόξενο και σπανιότερα από Mg-αμφιβόλους.

Δύο δυνατές αντιδράσεις της σερπεντινίωσης του ολιβίνη είναι οι εξής:

 $2Mg_2SiO_4 + 3H_2O = Mg_3Si_2O_5 (OH)_4 + Mg(OH)_2$

Ολιβίνης + Νερό = Σερπεντίνης + Βρουκίτης

 $3Mg_2SiO_4 + 4H_2O + SiO_2 = 2Mg_3Si_2O_5 (OH)_4$

Ολιβίνης + Νερό + Διοξείδιο του πυριτίου = Σερπεντίνης

Τα κυριότερα προϊόντα της σερπεντινίωσης είναι τα ορυκτά χρυσοτίλης, λιζαρδίτης, αντιγορίτης και βρουκίτης. Εκτός των παραπάνω ορυκτών στους σερπεντινίτες δευτερευόντως βρίσκουμε τάλκη, ακτινόλιθο και ανθρακικά ορυκτά (Αποστολίκας, 2009).

2.3.2: Λατεριτική αποσάθρωση

Η λατεριτίωση είναι μια έντονη χημική, ορυκτολογική και μορφολογική μεταβολή, τα προϊόντα της οποίας παρουσιάζουν πολλές φορές διαφορετικά χημικά, ορυκτολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά από αυτά του μητρικού πετρώματος. Σύμφωνα με το "IGCP 129 - working group on laterites" ο ακόλουθος ορισμός πρέπει να δίνεται στους λατερίτες (Schellmann, 1982).

Λατερίτες είναι προϊόντα έντονης αποσάθρωσης πετρωμάτων σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αποτελούνται κυρίως από γκαιτίτη, αιματίτη, ΑΙ-υδροξείδια, καολινίτη και χαλαζία. Η σχέση SiO₂ : (Al₂O₃ + Fe₂O₃) ενός λατερίτη θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή του καολινιτοποιημένου μητρικού πετρώματος, στο οποίο το συνολικό Al₂O₃ βρίσκεται υπό μορφή καολινίτη και ο συνολικός Fe₂O₃ υπό μορφή οξειδίων του σιδήρου. Η περιεκτικότητα του λατερίτη σε siO₂ δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα του περιεχομένου SiO₂ στον καολινίτη και στον πρωτογενή χαλαζία του μητρικού πετρώματος.

Υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στην αποσάθρωση που πραγματοποιείται σε εύκρατα κλίματα από εκείνη των τροπικών-υποτροπικών κλιμάτων. Στα εύκρατα κλίματα η εξαλλοίωση των πετρωμάτων δεν είναι τόσο έντονη και δεν συντελείται ολική απομάκρυνση του πυριτίου. Αντίθετα στα τροπικά και υποτροπικά κλίματα ο βαθμός αποσάθρωσης των πετρωμάτων είναι μεγαλύτερος και η διάσπαση των πυριτικών ορυκτών πληρέστερη. Η μέγιστη ανάπτυξη της αποσάθρωσης στις τροπικές περιοχές οφείλεται στη συνύπαρξη συνθηκών υψηλών θερμοκρασιών, έντονων βροχοπτώσεων και έντονης βλάστησης.

Οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην ένταση της χημικής αποσάθρωσης είναι το είδος του πετρώματος, η βλάστηση, το ύψος των βροχοπτώσεων, η θερμοκρασία, το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής, ο χαμηλός υδροφόρος ορίζοντας και οι διακυμάνσεις του και κατ' επέκταση η παρουσία στο νερό ελεύθερου Ο₂, CO₂ και χουμικών οξέων.

Ο βαθμός αντίστασης των διαφόρων ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων στην αποσάθρωση ποικίλλει. Η σειρά σταθερότητας των πυριτικών ορυκτών δείχνει ότι τα ορυκτά, τα οποία κρυσταλλώνονται στα πρώτα στάδια κρυστάλλωσης του μάγματος σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζουν μικρότερη ανθεκτικότητα, εν αντιθέσει με εκείνα τα οποία κρυσταλλώνονται στα τελευταία στάδια σε συνθήκες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Η ένταση της λατεριτικής αποσάθρωσης επηρεάζεται σημαντικά από την πυκνότητα της βλάστησης, η οποία αυξάνει επιφανειακά την διαπερατότητα των πετρωμάτων και κατά συνέπεια την κυκλοφορία των διαλυμάτων. Επίσης ο σχηματισμός χουμικών οξέων και CO₂ ενισχύει σημαντικά την εξέλιξή της. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη της χημικής αποσάθρωσης εμφανίζεται σε περιοχές με μέση ετήσια θερμοκρασία 25° C. Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10° C επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις κατά 2-2.5 φορές. Οι χημικές αντιδράσεις οι οποίες δημιουργούνται κατά τη λατεριτική αποσάθρωση των πυριτικών πετρωμάτων, των οποίων τα κύρια συστατικά είναι το SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, CaO, MgO, FeO, Na₂O, K₂O, TiO₂ και NiO, είναι πολλές και περίπλοκες. Οι σημαντικότερες είναι η υδρόλυση, η ενυδάτωση, η επίδραση οξέων, η οξείδωση, η αναγωγή, η διάλυση και ο σχηματισμός κολλοειδών διαλυμάτων. Οι κλιματολογικές συνθήκες καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις διεργασίες της αποσάθρωσης. Σύγχρονοι λατερίτες παρατηρούνται σε περιοχές, όπου η περίοδος βροχών συμπίπτει με υψηλές θερμοκρασίες.

Η κατά προτίμηση συγκέντρωση λατεριτικών καλυμμάτων σε επίπεδες επιφάνειες με σχετικά ήπιο ανάγλυφο ενισχύει την άποψη ότι το χαμηλό ανάγλυφο αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για το σχηματισμό υπολειμματικών συγκεντρώσεων. Το ήπιο ανάγλυφο έχει αποφασιστική σημασία, διότι επιτρέπει την αργή διήθηση του εδαφικού νερού και μειώνει σημαντικά τη διάβρωση των προϊόντων της αποσάθρωσης. Η ύπαρξη ήπιου ανάγλυφου προϋποθέτει κυρίως μακρές περιόδους τεκτονικής ηρεμίας. Ο ρυθμός ανάπτυξης ενός λατεριτικού προφίλ σύμφωνα με τον Nahon (1991) ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 20mm ανά 1000 χρόνια.

Το υπερβασικό πέτρωμα χαρτσβουργίτης, με μερική ή πλήρη σερπεντινίωση δείχνει λόγω της ορυκτολογικής του σύστασης (ολιβίνης, σερπεντίνης, πυρόξενοι) υψηλού βαθμού προδιάθεση στην αποσάθρωση σε τροπικό περιβάλλον. Η λατεριτίωση υπερβασικών πετρωμάτων περιλαμβάνει τη διάλυση μη σταθερών ορυκτών, κυρίως του ολιβίνη, και την αντικατάστασή τους από άλλα. Επίσης ένας άλλος τύπος αντιδράσεως κατά τη λατεριτίωση είναι η αντικατάσταση ιόντων, με πιο σημαντική την αντικατάσταση του Mg από Ní μεταξύ του εδαφικού νερού και του σερπεντίνη, χλωρίτη, σμεκτίτη.

Στα όρια του σερπεντινίτη και του υπερκειμένου λατερίτη όπου το pH είναι αλκαλικό, συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος των ευκίνητων ιόντων του σερπεντινίτη. Το Mg

και το Si φθάνουν στην μέγιστη συγκέντρωση, εν αντιθέσει με το Al και τον Fe που εμφανίζονται σε χαμηλές τιμές. Η διαφοροποίηση αυτή εξηγείται με το διαφορετικό βαθμό διαλυτότητας και κινητικότητας των στοιχείων, η οποία στην αποσάθρωση δίνεται με την εξής σειρά σταθερότητας των στοιχείων του σερπεντινίτη: Co>Al>Mn>Fe>Cr>Ni>Si>Mg. Το νικέλιο, το οποίο υποκαθιστά κυρίως το μαγνήσιο και το σίδηρο στο πλέγμα των αργιλοπυριτικών ορυκτών (Annersten et al. 1982, Nord et al. 1982) και το σίδηρο στο πλέγμα στο πλέγμα οξειδίων, σουλφιδίων και κραμάτων (Filippidis 1997 a&b) των υπερβασικών πετρωμάτων, παρουσιάζει αρκετά μεγάλη διαλυτότητα. Έτσι στις διαδικασίες της λατεριτίωσης μεταφέρεται σε βαθύτερους ορίζοντες και καταβυθίζεται σε αλκαλικές περιοχές με pH > 7. Η κατά προτίμηση μετακίνηση του Ni²⁺ σε βαθύτερους ορίζοντες των λατεριτικών εδαφών φαίνεται να αποτελεί συχνό φαινόμενο, αφού τα περισσότερα λατεριτικά κοιτάσματα εμφανίζουν εμπλουτισμό σε νικέλιο στο κατώτερο τμήμα τους.

2.3.3: Ταξινόμηση νικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων

Στα λατεριτικά εδάφη διακρίνονται τρεις ζώνες, η εξέλιξη των οποίων, από την επιφάνεια προς τους βαθύτερους ορίζοντες, δίνεται από τον (Golightly 1979a) ως εξής:

- Ζώνη λειμωνίτη
- Αργιλική ζώνη
- Ζώνη σαπρολίτη

Τα λατεριτικά νικελιούχα κοιτάσματα σύμφωνα με τους (Brand et al. (1998), Gleeson et al. (2003)), ταξινομούνται σε τρεις κυρίως τύπους:

- Ένυδρα-πυριτικά (Hydrous Mg silicate) κοιτάσματα,
- Άργιλο πυριτικά (Clay silicate) κοιτάσματα
- Κοιτάσματα Οξειδίων (Oxide)

2.3.4 Ορυκτολογική σύσταση νικελιούχων λατεριτών

Οι νικελιούχοι λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης δείχνουν μια ευρεία ορυκτολογική σύσταση, η οποία διαφοροποιείται στους επιμέρους ορίζοντες του λατεριτικού προφίλ και εξαρτάται πάντοτε από τον τύπο του κοιτάσματος . Την κατανομή των ορυκτών που συμμετέχουν στη σύσταση ενός λατεριτικού κοιτάσματος τη βλέπουμε στο σχήμα 2.2 σε μια τομή του κοιτάσματος Kalgoorlie της Δυτικής Αυστραλίας. Βεβαίως πρόκειται για μια ενδεικτική ορυκτολογική σύσταση και μπορεί στα διάφορα κοιτάσματα να υπάρξει τόσο ποιοτική όσο και ποσοτική διαφοροποίηση των περιεχομένων ορυκτών.

Τα ορυκτά που αποδίδουν ένα οικονομικό ενδιαφέρον στα λατεριτικά κοιτάσματα είναι αυτά, που είναι φορείς του νικελίου και εμφανίζονται σε όλα τα κοιτάσματα παγκοσμίως. Αυτό που διαφοροποιείται σε ένα κοίτασμα είναι η αναλογία τους από ορίζοντα σε ορίζοντα ή από κοίτασμα σε κοίτασμα. Ορυκτά τα οποία μπορούν να

εμφανίζονται σε όλους τους ορίζοντες είναι ο χαλαζίας, χρωμίτης, ασβολάνης (Mnοξείδια) και ο δευτερογενώς σχηματισθείς ασβεστίτης.

Η λειμωνιτική ζώνη χαρακτηρίζεται από την παρουσία του γκαιτίτη FeO(OH) ή του αιματίτη Fe₂O₃ στον ορίζοντα Ferricrete, καολινίτη Al₂ Si₂O₅(OH)₄, χρωμίτη FeCr₂O₄ και χαλαζία SiO₂. Στο κατώτερο τμήμα του ορίζοντα αναπτύσσονται συγκεντρώσεις ορυκτών μαγγανίου με τα ορυκτά ασβολάνη (Co,Ni)Mn₂O₄(OH).xH₂O και λιθιοφορίτη (Al,Li)MnO₂(OH)₂ εμπλουτισμένα με νικέλιο και κοβάλτιο.





Τα ίδια ορυκτά παρατηρούνται επίσης στο ανώτερο τμήμα της αργιλικής ζώνης και όπου αυτή απουσιάζει στο ανώτερο τμήμα της σαπρολιτικής ζώνης. Δευτερευόντως εμφανίζονται τα ορυκτά χρωμίτης, μαγνητίτης, μαγκεμίτης, λεπιδοκροκίτης και χλωρίτης.

Χαρακτηριστικό της αργιλικής ζώνης είναι τα ορυκτά της ομάδας του σμεκτίτη τα οποία φέρουν νικέλιο, όπως ο νικελιούχος νοντρονίτης $Na_{0.33}(Fe,Ni)_2(SiAI)_4O_{10}$ (OH)₂.nH₂O, ο νικελιούχος μοντμοριλλονίτης $Na_{0.33}(AI,Mg,Ni)_2 Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ και ο νικελιούχος σαπονίτης $Ca_{0.25}(Mg,Fe,Ni)_3 (Si,AI)_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$. Επίσης συναντώνται γκαιτίτης, αιματίτης, μαγνητίτης, ασβολάνης, χαλαζίας και χλωρίτης. Η σαπρολιτική ζώνη, η οποία αναπτύσσεται επί του μητρικού πετρώματος, αποτελείται από ορυκτά

της ομάδας του σερπεντίνη, χλωρίτη, τάλκη, ασβολάνη, σεπιόλιθο, ορυκτά του σμεκτίτη, γκαιτίτη, μαγνητίτη, χρωμίτη και μαγκεμίτη.

Ιδιαίτερους φορείς του νικελίου αποτελούν τα ορυκτά της ομάδας σερπεντίνη, σμεκτίτη, τάλκη και χλωρίτη, τα οποία εμφανίζονται με τη μορφή φλεβιδίων και πόρων που αναπτύσσονται εντός του σαπρολίτη και των silcretes. Ορυκτά της ομάδας του σερπεντίνη που εμφανίζονται στη σαπρολιτική ζώνη είναι: ο νεπουίτης (Ni,Mg)₃Si₂O₅(OH)₄ νικελιούχο ανάλογο του λιζαρδίτη, ο πεκοραϊτης Ni₃Si₂O₅(OH)₄ νικελιούχο ανάλογο του χρυσοτίλη, ο νικελιούχος αντιγορίτης (Ni,Mg,Fe)₃Si₂O₅(OH)₄ νικελιούχο ανάλογο του αντιγορίτη και ο μπριντλεΐτης (Ni,Mg,Fe)₂Al(Si,Al)O₅(OH)₄ νικελιούχο ανάλογο του μπερθιρίνη. Από την ομάδα του τάλκη συστηματική είναι η εμφάνιση του βιλλεμζεΐτη (Ni,Mg)₃Si₄O₁₀(OH)₂ και του πιμελίτη Ni₃Si₄O₁₀(OH)₂.4H₂O που αποτελούν τα νικελιούχα ανάλογα του τάλκη. Καθοριστική για το νικέλιο στη ζώνη του σαπρολίτη είναι επίσης η παρουσία του νιμίτη (Ni,Mg,Al)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈ νικελιούχο ανάλογο του κλινοχλωρίτη της ομάδας του χλωρίτη. Συχνά εμφανίζεται και ο φαλκονδοΐτης (Ni,Mg)₄Si₆O₁₅(OH)₂ ₆H₂O νικελιούχο ανάλογο του σεπιόλιθου (Αποστολίκας, 2009).

Στα κοιτάσματα όπου το νικέλιο εμφανίζεται σε ζώνες με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο, αυτό βρίσκεται συνδεδεμένο κυρίως με τον γκαιτίτη. Αντιθέτως σε τύπους κοιτασμάτων στους οποίους το νικέλιο κυριαρχεί σε ζώνες με υψηλές περιεκτικότητες σε SiO₂ και MgO είναι συνδεδεμένο με ένυδρα Ni-Mg πυριτικά ορυκτά αντικαθιστώντας ένα μέρος του μαγνησίου.

Σε νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα εμφανίζονται επίσης ορυκτά της ομάδας των Platinum Group Minerals (PGM). Τα PGM μπορεί να εμπεριέχονται εντός κλαστικών κόκκων χρωμίτη ή σαν ελεύθεροι κόκκοι εντός της λατεριτικής ζώνης. Η πρώτη μορφή τους συνδέεται με χρωμίτες του μητρικού πετρώματος, η δεύτερη μορφή, που αποτελείται από οξείδια των πλατινοειδών, προέρχονται από αποσάθρωση προϋπαρχόντων PGM με μετακίνηση των πλατινοειδών στοιχείων (PGE) και κρυστάλλωση στο λατεριτικά περιβάλλον.

2.3.5: Νικελιούχα λατεριτικά κοιτάσματα

Οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην ανάπτυξη των νικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων είναι απλούστερες από αυτές των θειούχων κοιτασμάτων. Τα λατεριτικά κοιτάσματα αναπτύσσονται επιφανειακά επί υπερβασικών χωρίς να καλύπτονται από άλλα πετρώματα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το χαμηλό κόστος παραγωγής τους. Εξαίρεση αποτελούν κυρίως τα κοιτάσματα των Βαλκανίων που καλύπτονται συχνά από μεγάλου πάχους νεότερα πετρώματα.

Ακολούθως θα παρουσιάσουμε μια σειρά μεγάλων κοιτασμάτων παγκοσμίως, ο σχηματισμός των οποίων, όπως προαναφέρθηκε, προήλθε από τις διαδικασίες της λατεριτίωσης. Σημαντικά λατεριτικά κοιτάσματα νικελίου υπάρχουν στην Αυστραλία, Νέα Καληδονία, Νότιο και Κεντρική Αμερική, Αφρική, Ινδονησία, Φιλιππίνες, Παπούα Νέα Γουινέα, Τουρκία και Βαλκάνια. Τα αποθέματα που δίνονται αναφέρονται στους συνολικούς μεταλλευτικούς πόρους (mineral resources), ενώ τα μεταλλευτικά αποθέματα (mineral reserves) κάθε κοιτάσματος με βάση τη γεωλογική έρευνα και τα

οικονομικά δεδομένα διαφοροποιούνται ποσοτικά και ποιοτικά από τους μεταλλευτικούς πόρους.

2.4: Ιζηματογενή λατεριτικά κοιτάσματα

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου κυρίως Κρητιδικής ηλικίας που εμφανίζονται στα Βαλκάνια διαφέρουν από τα κοιτάσματα των δύο άλλων τύπων. Τα κοιτάσματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- a) κοιτάσματα που υπέρκεινται υπερβασικών πετρωμάτων
- κοιτάσματα που υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται ως καρστικά
- c) μεικτά κοιτάσματα που υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων και στα οποία συνυπάρχουν σιδηρονικελιούχοι ορίζοντες με βωξίτες ή σιδηρούχους αργιλικούς ορίζοντες.

Ο διατυπωμένες απόψεις και οι μέχρι τώρα παραδοχές γένεσης των κοιτασμάτων αυτών καταλήγουν στην κοινή θεωρία του ιζηματογενούς σχηματισμού τους με μια κυρίως θαλάσσια διαδικασία, η οποία κατά κανόνα άμεσα ή έμμεσα επηρεάζεται από το χερσαίο χώρο. Στα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα που υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων και σε αυτά που υπέρκεινται υπερβασικών, προκύπτει το ερώτημα των πιθανών πετρωμάτων που αποτέλεσαν την πηγή προέλευσης των χημικών και ορυκτολογικών συστατικών που τα δομούν.

Αυξημένη συγκέντρωση στοιχείων τα οποία απαντώνται στα ιζηματογενή σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα και σε λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης, εντοπίζονται στα υπερβασικά.

Ο ρόλος των υπερβασικών πετρωμάτων στο σχηματισμό των ιζηματογενών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων αντικατοπτρίζεται στη χημική σύστασή τους. Οι γεωχημικές αναλύσεις των κυρίων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των μεταλλευμάτων δείχνουν περιεκτικότητες ορισμένων στοιχείων (Fe, Ní, Co, Cr) που παραπέμπουν σε υπερβασικά πετρώματα. Βεβαίως το ύψος των συγκεντρώσεων των χαρακτηριστικών αυτών στοιχείων στα μεταλλεύματα προϋποθέτει κάποιον εμπλουτισμό σε σχέση με τις αναφερόμενες σε υπερβασικά πετρώματα συγκεντρώσεις.

Οι συγκεντρώσεις σιδήρου σε σχέση με τις χαμηλές περιεκτικότητες αργιλίου και ο σημαντικός εμπλουτισμός κυρίως σε νικέλιο, χρώμιο και δευτερευόντως σε κοβάλτιο, είναι χαρακτηριστικά χημικά στοιχεία των μεταλλευμάτων αυτών, Τα στοιχεία αυτά που είναι καθοριστικά για τα σιδηρονικελιούχα δείχνουν μια σαφή προτίμηση συγκέντρωσης και σε λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης. Τα λατεριτικά κοιτάσματα που είναι συνδεδεμένα με υπερβασικά δείχνουν τις υψηλότερες περιεκτικότητες νικελίου και σιδήρου από όλους τους λατερίτες.

Τα πρωτογενή λατεριτικά κοιτάσματα νικελίου δείχνουν επίσης παραπλήσια ορυκτολογική σύσταση με αυτή των δευτερογενών ιζηματογενών κοιτασμάτων και

πολλά ορυκτά των λατεριτών έχουν ανιχνευθεί και σε ιζηματογενή σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα. Αφού η κοινή εμφάνιση αυτών των ορυκτών και ιδιαίτερα των φυλλοπυριτικών στους δύο τύπους κοιτασμάτων είναι χαρακτηριστική, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τα πετρώματα από τα οποία προέρχεται το υλικό ιζηματογένεσης των μεταλλευμάτων. Τα φυλλοπυριτικά χλωρίτης και τάλκης, με τα οποία είναι συνδεδεμένο ένα σημαντικό μέρος του νικελίου, μπορεί να προέρχονται από περιοχές που βρισκόταν κάτω από συνθήκες λατεριτικής αποσάθρωσης.

Μια ιδιαιτερότητα αποτελεί η κοινή εμφάνιση σε ορισμένα κοιτάσματα της Λοκρίδας στην Ελλάδα, μιας μικτής μεταλλοφορίας, που αποτελείται από έναν ανώτερο ορίζοντα και έναν βωξιτικό ή σιδηρούχο αργιλικό κατώτερο ορίζοντα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος. Η συνύπαρξη των δύο διαφορετικών μεταλλευμάτων αποδίδεται σε τροφοδοσία από διαφορετικούς τύπους μητρικών πετρωμάτων. Η άποψη αυτή στηρίζεται στην υψηλή περιεκτικότητα σε τιτάνιο και βανάδιο του βωξιτικού-σιδηρούχου αργιλικού ορίζοντα, που συνηγορεί στην προέλευση του βωξιτικού υλικού από βασικής σύστασης πετρώματα. Τα μητρικά πετρώματα βασικής σύστασης ανήκουν στα τεκτονικά μίγματα (Melange) της ευρύτερης περιοχής Αοκρίδας.

Ο χαρακτηρισμός σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων ως δευτερογενή ιζηματογενή κοιτάσματα, θέτει σαν βασική προϋπόθεση την ύπαρξη στην ευρύτερη περιοχή εμφάνισής τους υπερβασικών συμπλεγμάτων, που αποτέλεσαν τα μητρικά πετρώματα των λατεριτών. Ένας βασικός παράγοντας επίσης είναι η κάθε αυτού ύπαρξη λατεριτών και κατάλληλων συνθηκών για την υποστήριξη των διαδικασιών λατεριτίωσης (Αποστολίκας, 2009).

2.4.1: Ορυκτολογική σύσταση ιζηματογενών κοιτασμάτων

Τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα διακρίνονται με βάση τα ιστολογικά τους χαρακτηριστικά σε δύο κυρίως τύπους:

- Συμπαγές μετάλλευμα
- Πισολιθικό μετάλλευμα

Σε ορισμένα κοιτάσματα μπορεί να παρατηρηθούν σε περιορισμένη έκταση επίσης ορίζοντες πηλιτικού μεταλλεύματος και κροκαλοπαγούς.

Η κύρια ορυκτολογική σύσταση των διαφόρων κοιτασμάτων είναι παρόμοια, με μικρές διαφοροποιήσεις σε δευτερεύοντα ορυκτά σε επιμέρους κοιτάσματα.

Σημαντική συμμετοχή στη δομή των μεταλλευμάτων εμφανίζουν τα σιδηρούχα ορυκτά αιματίτης Fe_2O_3 και γκαιτίτης FeOOH, επίσης ο χαλαζίας SiO_2 , ο ασβεστίτης $CaCO_3$, ο χρωμίτης $FeCr_2O_4$ και τα φυλλοπυριτικά χλωρίτης $(Mg,Fe,AI)_6(Si,AI)_4O_{10}(OH)_8$ και τάλκης $Mg_3(OH)_2Si_4O_{10}$.

Ο αιματίτης και ο γκαιτίτης αποτελούν το κυριότερο συστατικό των πισοειδών και της κύριας μάζας.

Ο χαλαζίας βρίσκεται κυρίως υπό μορφή κλαστικών τεμαχίων κατά προτίμηση στην κύρια μάζα και λιγότερο στα πισοειδή. Ο χρωμίτης που λόγω της ανθεκτικότητάς του στην αποσάθρωση εμφανίζεται υπό μορφή κλαστικών κόκκων, βρίσκεται διάσπαρτος στην κύρια μάζα ή συχνά αποτελεί πυρήνα των πισολιθικών δομών του μεταλλεύματος.

Τα φυλλοπυριτικά ορυκτά βρίσκονται διάσπαρτα κυρίως στην κύρια μάζα και σε μικρότερο βαθμό σε πισολιθικές δομές.

Δευτερευόντως εμφανίζονται και μια σειρά άλλων ορυκτών, τα οποία συμπληρώνουν την ορυκτολογική δομή των μεταλλευμάτων, όπως μαγνητίτης Fe₃O₄ που συχνά έχει FeTiO₃, υποστεί μαρτιτίωση, μαγκαιμίτης γ -Fe₂O₃, ιλμενίτης ιλλίτης $KAI_2(AISi_3O_{10})(OH)_2$, καολινίτης $AI_4(Si_4O_{10})(OH)_8$, σιδηροπυρίτης-μαρκασίτης FeS₂, χαλκοφανίτης (Zn,Fe²⁺,Mn²⁺)Mn₃O₇3H₂O, μ πραβοΐτης (Ni,Fe,Co)S₂, νεπουΐτης $Ni_3Si_20_5(OH)_4$, $Ni_{6}Al_{2}(OH)_{16}(CO_{3},OH)4H_{2}O_{16}$ τακοβίτης γκιψίτης AI(OHO₃, μπαστναιζίτης $Ce,La,Y(F/CO_3),$ ανατάσης ΤίΟ₂, τα μαγγανιούχα ορυκτά κρυπτομέλανας $K(M\eta^{4+},M\eta^{2+})_8O_{16}$, ασβολάνης Ni,Co,Ca,Mn²⁺(O,OH)₄nH₂O και λιθιοφορίτης (AI,Li)Mn⁴⁺O₂(OH)₂. Σε κοιτάσματα που έχουν υποστεί μεταμόρφωση ορυκτά στιλπνομέλας $K(Fe^{2+},Mg,Fe^{3+})_{8}$ συναντώνται επίσης тα (Si,Al)₁₂(O,OH)₂₇.nH₂O) και οι αμφίβολοι ριβεκίτης-μαγνησιοριβεκίτης. Το νικέλιο στα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα είναι κυρίως συνδεδεμένο με τα φυλλοπυριτικά ορυκτά χλωρίτη και τάλκη. Επίσης νικέλιο εμπεριέχουν τα ορυκτά νεπουΐτης, τακοβίτης και ασβολάνης. Δευτερευόντως τα σιδηρούχα αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα δέσμευσης του νικελίου, με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εντοπίζονται στον γκαιτίτη (Αποστολίκας, 2009).

<u>Κεφάλαιο 3 Γεωλογία βορειανατολικής Αλβανίας και</u> <u>του Nome (Kukes)</u>

3.1: Γεωλογία του ορεινού όγκου του Kukes

Ο ορεινός όγκος του Kukes αποτελείται από υπερβασικά πετρώματα. Ανήκει στην ζώνη της Αλβανικής Mirdita και έχει μεγάλο ενδιαφέρον γιατί αναπαριστά το τεκτονικό περιβάλλον των Άλπεων. Από κάτω προς τα πάνω, υπάρχει η ακόλουθη λιθολογική στρωματογραφία βασικών-υπερβασικών: χαρτσβουργίτες, χαρτσβουργίτες με δουνιτικούς φακούς, δουνίτες, μια ενδιάμεση ζώνη και γάββροι. Τα υπερβασικά πετρώματα είναι ασθενώς παραμορφωμένα. Η ζώνη Mirdata της Αλβανίας αντιστοιχεί σε ένα μεγάλο αλπικό οφιολιθικό σύμπλεγμα στο οποίο διακρίνονται δυο ζώνες βάσει της πετρολογίας των υπερβασικών πετρωμάτων. Η ανατολική ζώνη αποτελείται κυρίως από χαρτζβουργίτες οφιολιθικού τύπου, που ακόμα περιέχει κοιτάσματα χρωμίτη και κοιτάσματα ορυκτών της ομάδας των πλατινοειδών. Η δυτική ζώνη αποτελείται από λερζόλιθους οφιολιθικού τύπου. Η ζώνη Mirdata είναι η συνέχεια των δύο οφιολιθικών ζωνών που αναγνωρίζονται από το Pamic (1983) από τα βόρεια στο Shkoder-Peje (Διναρίδες) έως και τα νότια της Αλβανίας (Ελληνίδες), είναι μια μοναδική περίπτωση όπου δύο τύποι οφιολιθικών πετρωμάτων υπάρχουν στη ίδια γεωλογική ενότητα.



Σχήμα 3.1: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης Αλβανίας, το οφιολιθικό σύμπλεγμα της ζώνης. Mirdita1 = Ανώτερου Τριαδικού-Κάτω Ιουρασσικού. 2 = ηφαιστειακόιζηματογενείς σύμπλεγμα. 3 = ανατολική ζώνη (HOT = Χαζβουργίτες οφιολίθικού τύπου). 4 = δυτική ζώνη (LOT = Λεζερόλιθοι οφιολιθικού τύπου). 5 = Γάυροι-νορίτες. 6 = ηφαιστειακά πετρώματα (βασάλτες, σπιλίτες, κλπ.). 7 = Ασβεστόλιθοι Κάτω Κρητιδικού. 8 = Λατυποπαγή και οφιόλιθοι Tithonian-Κατώτερο Κρητιδικό. 9=Ετερογενή οφιόλιθοι. 10 = Ιζηματογενή πετρώματα Παλαιογενούς-Τεταρτογενούς (ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες, φλύσχης και κροκαλοπαγή). Ti = Τίρανα Ku = Kukes. Οι Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού ασβεστόλιθοι (Σχήμα 3.2) νοτιοανατολικά του ορεινού όγκου του Kukes αποτελούνται από γκρι πελαγικούς ασβεστόλιθους, που περιέχουν τοπικά στροματόλιθους και θραύσματα από μεγαλόδοντες. Το πάχος των ασβεστόλιθων είναι της τάξεως του ενός χιλιομέτρου (1km). Ο βαθμός ανακρυστάλλωσης αυξάνει στο σχηματισμό προς τα βορειοδυτικά.

Το ηφαιστειακό-ιζηματογενές σύμπλεγμα βρίσκεται σε στρωματογραφική συνέχεια πάνω από ασβεστόλιθους του Τριαδικού-Ιουρασικού (Kodra et al., 1993). Αυτό το σύμπλεγμα, της κάτω Ιουρασικής ηλικίας, έχει μια μεγάλη επέκταση προς το ανατολικό όριο δηλαδή την ζώνη οφιολίθων της Mirdata και μπορεί να συγκριθεί με σχηματισμούς των Διναρίδων (Ciric, 1984). Το σύμπλεγμα αποτελείται από πράσινο σχιστόλιθο, ο όποιος γίνεται μαύρος (οργανική ύλη) ή κοκκινωπός (οξείδια του σιδήρου) προς την κορυφή της διατομής. Μερικές εμφανίσεις κοκκινωπών πελαγικών ασβεστόλιθων παρατηρούνται σποραδικά και έχουν πάχος περίπου 10m.

Η ζώνη μεταμορφωμένων του ορεινού όγκου του Kukes παρατηρείται σε τοπικό επίπεδο μεταξύ των υπερβασικών και του συμπλέγματος ηφαιστειακώνιζηματογενών. Αποτελείται από δύο τύπους πετρωμάτων: 1) Λεπτά στρώματα αμφιβολιτών δείχνει μια στρωμάτωση μεταμορφωμένων και grano-lepidoblastic υφή (Bard, 1990). Το πάχος αυτών των αμφιβολιτών κυμαίνεται από 200 έως 500 m. Η μεταμορφική παραγένεση είναι αμφίβολος (τρεμολίτης-ακτινόλιθος), επίδοτο (clinozoite) και αλβίτης. 2) Micaceous χαλαζίτες και micaschists με γρανάτη αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του χαμηλού βαθμού περιφερειακής μεταμόρφωσης (Turku, 1987). Τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν λεπιδοβλαστική υφή και η παραγένεσή τους είναι γρανάτης, χαλαζίας, μοσχοβίτης, βιοτίτη και πλαγιόκλαστα. Το πάχος που οφείλεται σε αναδίπλωση. Το βορειοανατολικό και το νότιο τμήμα του ορεινού όγκου του Kukes καλύπτεται από ασβεστόλιθους του προώρου Κρητιδικό. Ως εκ τούτου, ο ορεινός όγκος του Kukes τοποθετείται ηλικιακά στο Ανώτερο Ιουρασικό-Κάτω Κρητιδικό όριο (Hoxha & Boullier 1995).

3.2: Νικελιούχα κοιτάσματα στην Αλβανία στη ζώνη Mirdita

Η νικελιούχος μεταλλογένεση στη ζώνη Mirdita επικεντρώνεται σε τρεις περιοχές και εξελίχθηκε πριν η κατά τη διάρκεια του Κατωτέρου Κρητιδικού στα βόρεια και κεντρικά και πριν το Ηώκαινο στα νότια. Η μεταλλοφορία στα βόρεια αναπτύσσεται στην ευρύτερη περιοχή Has-Kukes-Lure, στα κεντρικά στο Pogradec-Librazhd και στα νοτιά στο Devoll. Η γεωλογική εξέλιξη των περιοχών μεταλλοφορίας αποτυπώνεται παρακάτω με σχηματικές λιθοστρωματογραφικές στήλες συμφώνα με τον (Arkaxhiu 2008).

Στις περιοχές Pogradec και Librazhd το νικέλιο απαντάται με μορφή σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος (Fe-Ni) με περιεκτικότητες μεταξύ 0,8-1,1% Ni, ενώ στις περιοχές Devolli και Kukes το νικέλιο εντοπίζεται εκτός του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος και με μορφή νικελιούχου-πυριτικού μεταλλεύματος (Ni-Si) με συγκεντρώσεις μεταξύ 1,1-1,4% Ni. Τα συνολικά αποθέματα όλων των περιοχών της χώρας εκτιμώνται σε 230 εκατ. τόνους σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος (Fe-Ni), ενώ το νικελιούχο-πυριτικό μετάλλευμα



Σχήμα 3.2: Σχηματικός γεωλογικός χάρτης του υπερβασικού ορεινού όγκου του Kukes



Σχήμα 3.3: Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της περιοχής των κοιτασμάτων Mamez, Trull-Surroi, Nome και Has (Αποστολίκας 2009)

(Ni-Si) υπολογίζεται σε 81,4 εκατ. τόνους αντίστοιχα (<u>www.mete.gov.al</u> /<u>upload/nickel.pdf</u>)

Στην ευρύτερη περιοχή Has-Kukes-Lure εμφανίζεται ένα μεγάλης έκτασης οφιολιθικό σύμπλεγμα που ξεκινά από την περιοχή Has στα σύνορα με το Κόσοβο και εκτείνεται νότια σε ένα μήκος 70 Km έως την περιοχή Macukulli. Σε ορισμένες περιοχές που καλύπτονται από ανθρακικά πετρώματα έχουν αναπτυχθεί μια σειρά μεγάλων κοιτασμάτων, όπως το Mamez, Trull Surroj και Nome, επίσης μια μεταλλοφορία χαμηλότερης περιεκτικότητας εκτιμάται ότι υπάρχει στην περιοχή του όρους Has. Τα κοιτάσματα αυτά υπέρκεινται χαρτσβουργιτών-σερπεντινιτών και καλύπτονται από ασβεστόλιθους του Κατώτερου Κρητιδικού, με εξαίρεση το Has στο οποίο επί της μεταλλοφορίας αναπτύσσονται ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και ακολουθούν ασβεστόλιθοι του Κατώτερου Κρητιδικού (Αλεβίζος & άλλοι 2011).



Σχήμα 3.4. Τροποποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής του Nome

Η μεταλλοφορία στα κοιτάσματα Mamez, Trull Surroj έχει φακοειδή μορφή με φακούς μήκους μερικών εκατοντάδων μέτρων, ιδιαίτερα στο Mamez οι φακοί επαναλαμβάνονται περιφερειακά του Κρητιδικού καλύμματος. Το κοίτασμα Nome έχει μορφή στρώματος μήκους περίπου 1.5 Km. Το πάχος του συνολικού λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης στα κοιτάσματα αυτά κυμαίνεται μεταξύ 5-20m. Η μεταλλοφορία σε όλα τα κοιτάσματα είναι κυρίως σιδηρούχος και αποτελεί τη σιδηρούχο ζώνη λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης, με τη ζώνη του σαπρολίτη να παρατηρείται σε όλα τα κοιτάσματα σε μικρή όμως ανάπτυξη. Στο κοίτασμα του Trull-Surroi στη περιοχή μετάβασης από το σαπρολίτη στο σιδηρούχο μετάλλευμα αναπτύσσεται μια εκτεταμένη ζώνη πυριτικών (silcretes) που είναι χαρακτηριστική για πολλά παρόμοια κοιτάσματα. Επίσης το ανώτερο τμήμα της μεταλλοφορίας αποτελείται από ένα σιδηρούχο στρώμα δευτερογενούς προέλευσης, με όλα τα χαρακτηριστικά μεταφερμένου υλικού. Οι μεταλλευτικοί πόροι εκτιμώνται σε 70 X 10⁶ τόνους με μέση περιεκτικότητα νικελίου 1.00% και κοβαλτίου 0.05% (Αποστολίκας 2009).

Κεφάλαιο 4: Μεταλλουργικές μέθοδοι εξαγωγής σιδηρονικελίου

4.1: Μέθοδοι εξαγωγής του νικελίου

Η ανάκτηση του νικελίου από τους λατερίτες είναι δύσκολη λόγω της πολύπλοκης ορυκτολογικής τους σύστασης. Η ποικιλία των μεταλλευμάτων (επομένως και της χημικής τους σύστασης) και η έλλειψη ενός συγκεκριμένου νικελιούχου ορυκτού που να μπορεί να ανακτηθεί με συμβατικές φυσικές ή φυσικοχημικές μεθόδους εμπλουτισμού, αντιπροσωπεύουν τις κύριες αιτίες της σχετικά περιορισμένης εκμετάλλευσης των λατεριτών. Παραπέρα δυσκολίες παρουσιάζονται από το γεγονός ότι μέσα στο μετάλλευμα υπάρχουν και άλλα μέταλλα, τα οποία δεν μπορούν να εξαχθούν οικονομικά, όπως ο σίδηρος, το κοβάλτιο, το χρώμιο. Γενικά, η πολυμορφία των μεταλλευμάτων οδήγησε στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας μεθόδων εξαγωγής νικελίου, μερικές από τις οποίες βρίσκονται σε εμπορική λειτουργία και είναι Πυρομεταλλουργικές, Υδρομεταλλουργικές, ή συνδυασμοί Πυρομεταλλουργιας και Υδρομεταλλουργίας. Κάθε μία από τις μεθόδους εξαγωγής του νικελίου εφαρμόζεται και σε διαφορετικό τύπο λατερίτη, ανάλογα δηλαδή με τις ιδιαιτερότητες του μεταλλεύματος που θα υποστεί επεξεργασία κάθε φορά (Τζουβελάκης 1981).

4.2: Παραγωγή σιδηρονικελίου στην Ελλάδα

Τα κοιτάσματα σιδηρονικελιού του ελλαδικού χώρου αξιοποιούνται 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 μετάλλευμα 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 εταιρίας διακρίνονται ως ακολούθως:

- <u>Μεταλλεία Αγ. Ιωάννη στη Βοιωτία</u>. Εξόρυξη μεταλλεύματος υπόγειες και επιφανειακές εκμεταλλεύσεις και με χρήση ιδιόκτητου εξοπλισμού. Εγκαταστάσεις επεξεργασίας του μεταλλεύματος,
- <u>Μεταλλεία Εύβοιας</u>. Εξόρυξη λατερίτη μέσω επιφανειακής εκμετάλλευσης και με χρήση ιδιόκτητου εξοπλισμού. Εγκαταστάσεις εμπλουτισμού του μεταλλεύματος.
- <u>Μεταλλεία Καστοριάς</u>. Επιφανειακή εξόρυξη μεταλλεύματος με μισθωμένο εξοπλισμό.
- 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).

- <u>Λιγνιτωρυχείο Σερβίων στο Νομό Κοζάνης</u>. Εξόρυξη λιγνίτη με επιφανειακή εκμετάλλευση και μισθωμένο εξοπλισμό,
- 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 ανοξείδωτου χάλυβα. Κατά την πυρομεταλλουργική διαδικασία το μετάλλευμα 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 ανοξείδωτου 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 μετάλλευμα 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:
- Την συγκριτικά χαμηλότερης περιεκτικότητάς τους σε <u>Φυσική υγρασία</u> (περίπου 4,5% έναντι 20-30% άλλων λατεριτών), <u>απώλεια πύρωσης</u> (περίπου 9% έναντι 12-20% άλλων λατεριτών), <u>περιεκτικότητα MgO</u> (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.
- Την εφαρμογή φθηνής μεθόδου μαζικής εξόρυξης.
- Την ύπαρξη εγχώριων πηγών μαλακών στερεών καυσίμων (λιγνίτες).
- Το χαμηλότερο κόστος εργατικών και ηλεκτρικής ενέργειας

4.3: Γενικές πληροφορίες για τα ειδή μεταλλουργικών διαδικασιών

Οι μεταλλουργικές διεργασίες μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στις Πυρομεταλλουργικές (Πυρομεταλλουργία) και στις Υδρομεταλλουργικές (Υδρομεταλλουργία). Οι Πυρομεταλλουργικές διεργασίες εφαρμόζονται κατά την παραγωγή των μετάλλων από τα μεταλλεύματα και λαμβάνουν χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως 800-1600 °C, απουσία υδατικής φάσης. Τέτοιες διεργασίες αποτελούν η ξήρανση, η πύρωση, η φρύξη, η τήξη, η απόσταξη και η ηλεκτρόλυση τήγματος. Με τις Πυρομεταλλουργικές διεργασίες παράγεται περισσότερο από το 95% όλων των μετάλλων. Ο σίδηρος και ο χάλυβας παράγονται αποκλειστικά με Πυρομεταλλουργικές μεθόδους.

Οι Υδρομεταλλουργικές διεργασίες διεξάγονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, συνήθως από 25 μέχρι 150 °C περίπου, και περιλαμβάνουν τη χρήση ύδατος ή υδατικών διαλυμάτων για την εξαγωγή των μετάλλων από τα μεταλλεύματα ή άλλα υλικά. Επίσης, η πίεση στην οποία λαμβάνει χώρα η Υδρομεταλλουργική κατεργασία μπορεί να είναι υψηλή (πολλές ατμόσφαιρες) σε αντίθεση με την Πυρομεταλλουργική οποία διεξάγεται συνήθως σε ατμοσφαιρική διεργασία ŋ πίεση. Or Υδρομεταλλουργικές διεργασίες περιλαμβάνουν την εκχύλιση, τον διαχωρισμό στερεής-υγρής φάσης, τις διεργασίες καθαρισμού του μεταλλοφόρου διαλύματος ή αποχωρισμού της ένωσης του μετάλλου (καταβύθιση κ.ά.) και την ηλεκτρόλυση υδατικού διαλύματος (Larco).

4.4: 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):

- α) Θραύση και ομογενοποίηση των λατεριτικών νικελιούχων μεταλλευμάτων και ελεγχόμενη ανάμειξή τους με στερεά καύσιμα για τη δημιουργία μείγματος καθορισμένης σύστασης.
- b) Θέρμανση μέχρι τους 870 °C περίπου και μερική αναγωγή των μεταλλευμάτων του μεταλλουργικού μείγματος σε περιστροφική κάμινο.
- c) Αναγωγική θέρμανση και τήξη μέχρι τους 1450 °C του προϊόντος εξαγωγής των περιστροφικών καμίνων σε ηλεκτρική κάμινο 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 κοκκοποίηση της με θαλασσινό νερό.
- d) 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 ηλεκτρικές κάμινους 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 ανοξείδωτων χαλύβων, που απορροφά το 45% της παγκόσμιας παραγωγής νικελίου.

Κατά την παραγωγή ενός τόνου (1t) Ni με FeNi 22% παράγονται περίπου 100t κοκκοποιημένης σκωρίας, που για μέση παραγωγή 20.000t Ni το χρόνο αντιστοιχεί σε 2.000.000t/year. Από την ποσότητα αυτή περίπου 600000t/year απορροφούνται από την ελληνική τσιμεντοβιομηχανία κατά κύριο λόγο ως μετρίως ποζολανικό υλικό και ύστερα ως σιδηρούχο υλικό προσθήκης, 100,000 t/year 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/year. 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 εξολοκλήρου 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.

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 (Ζευγλωτής 1989).

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

Sales (tone)	2001	2002	2003	2004	2005
Nickel	17911	19229	18000	18112	18714
Slag E/F	321812	357960	389548	397941	378653
Κεφάλαιο 5 Υπόβαθρο πειραματικών μεθόδων

5.1: Δείγματα

Η διαδικασία της δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε σε ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του κοιτάσματος κατά μήκος τομής κάθετης προς την οροφή του (κοιτάσματος), στη περιοχή του Kukes στο Nome, συνολικά ελήφθησαν 13 αρχικά δείγματα.

Από το υποκείμενο υπερβασικο πέτρωμα ελήφθη ένα δείγμα το AK1 (AK: Albania-Kukes). Από τη σαπρολιθικη ζώνη ελήφθησαν δυο δείγματα τα AK2 και AK3. Από το αργιλικό μετάλλευμα ελήφθη ένα δείγμα το AK4. Από το πισολιθικό μετάλλευμα ελήφθησαν όλα τα υπόλοιπα αρχικά δείγματα από το AK5 έως και AK13. Τα αρχικά δείγματα ήταν συμπαγή τεμάχια με διαμέτρους από 5cm έως και 12cm και το συνολικό βάρος όλων των δειγμάτων ήταν 2.5 Kg.

Στα αρχικά δείγματα πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση με τη μέθοδο ατομικής απορρόφησης. Έπειτα από αυτή τη διαδικασία παρθήκαν όλα τα αρχικά δείγματα, ομογενοποιήθηκαν και λειοτριβήθηκαν σε σιαγωνοτό σπαστήρα. Μετά τη λειοτρίβηση το υλικό κοσκινίστηκε και διαχωρίστηκε σε 5 διαφορετικές κοκκομετρίες :

- 1. -8.00 +4.00
- 2. -4.00 +1.00
- 3. -1.00 +0.250
- 4. -0.250 +0.063
- 5. -0.063

Από την κάθε κοκκομετρία προέκυψε και ένα δείγμα. Έπειτα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές εμπλουτισμού (βαρομετρικού και μαγνητικού διαχωρισμού) και από αυτή τη διαδικασία προέκυψαν 18 δείγματα. Από το βαρυμετρικό διαχωρισμό προέκυψαν 8 δείγματα και από τον μαγνητικό διαχωρισμό πρόεκυψαν 10 δείγματα. Σε αυτά τα προϊόντα πραγματοποιήθηκε χημική ανάλυση με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτινών-X XRF Θα πρέπει να σημειωθεί ότι δε πραγματοποιήθηκε μαγνητικός διαχωρισμός στο δείγμα 8.00-4.00 γιατί η ποσότητα που προέκυψε μετά τη λειοτρίβηση ήταν περίπου 20gr και μια τέτοια ποσότητα υλικού κρίθηκε ότι δε θα έδινε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα, ευτυχώς η απώλεια αυτού του διαχωρισμού δε κρίνεται καθοριστική γιατί σε αυτή τη κοκκομετρία υπάρχει μικρή αποδέσμευση.

5.2: Μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

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

- a) Ο ανακλαστήρας, που έχει τοποθετηθεί μεταξύ του αντικειμενικού και του προσοφθάλμιου φακού, κατευθύνει το προσπίπτον φως κάθετα στη στιλβωμένη επιφάνεια του μελετώμενου παρασκευάσματος.
- b) Χρησιμοποιούνται ειδικοί αντικειμενικοί φακοί για την παρατήρηση μη καλυμμένων παρασκευασμάτων.
- c) Η περιστρεφόμενη τράπεζα μετακινείται ελεύθερα προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ώστε να είναι εφικτή η εστίαση σε διαφορετικά πάχη παρασκευασμάτων.
- d) 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 λειαίνεται 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-Rehwald, χρησιμοποιείται η συσκευή Rehwald και γίνεται επιλογή διάφορων μέσων στίλβωσης (π.χ αλοιφές-Rehwald, αδαμανταλοιφές, καρβίδιο του βορίου με εκχύλισμα πίσσας) διαφόρων κοκκομετριών. Ως λιπαντικό μέσο χρησιμοποιείται ένα μείγμα από παραφινέλαιο, πετρέλαιο και εκχυλίσματα 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 Rehwald είναι η μοναδική μέθοδος στίλβωσης με την όποια παρασκευάζονται στιλπνές τομές ελεύθερες από ανάγλυφο και χαραγές (Αλεβίζος, 2005).

5.3.1: Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων με το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (XRD)

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των Ι.Τ. πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτίνων-X (XRD) τύπου D8-Advance της Bruker AXS (Εικ. 5.1) του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 5.1: Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων -Χ βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-Χ πάνω στους κρυστάλλους.

Ο Bragg ερμήνευσε, κατά απλούστερο τρόπο, την περίθλαση των ακτίνων-Χ στους κρυστάλλους ως ανάκλαση των ακτίνων-Χ, οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία στα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου.

Έστω ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση, d.

Εάν Ε₁, Ε₂, Ε₃, τα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου, Α₁,Α₂, δύο ακτίνες-Χ μήκους κύματος λ, θ, η γωνία με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες (Εικόνα 5.2), και n, η τάξη της ανάκλασης συμφώνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει:

nλ=2dηµθ

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων-Χ., η οποία τυγχάνει ευρείας εφαρμογής, καθίστανται δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτινών-Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.



Σχήμα 5.2: Ανάκλαση ακτίνων-Χ στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ είναι (Σχήμα 5.3) η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης, η λυχνία ακτίνων-Χ, το γωνιόμετρο (σε κατακόρυφη θέση), ο απαριθμητής των ακτίνων-Χ με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα (Κωστάκης Γ., 1999).

Το παρασκεύασμα τοποθετείται στον 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-Χ και μάλιστα έτσι ώστε το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.



Σχήμα 5.3: Σχηματική παράσταση της διάταξης εστιασμού των ακτίνων-Χ. 1) λυχνία ακτίνων-Χ, 2) διαφράγματα, 3)παρασκεύασμα, 4) βάση απαριθμητή ακτίνων –Χ και 5) απαριθμητής ακτίνων –Χ.

Ταυτόχρονα ως προς τον ίδιο άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμητής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα 2θ/min και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμητή και τη περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και στο σημείο εξόδου των ακτίνων-Χ της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων –Χ των προερχόμενων από την λυχνία, ώστε να πληρούται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων η εξίσωση του Bragg.

Όπως όλες οι μέθοδοι ανάλυσης, έτσι και η περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έχει κάποιους περιορισμούς κατά την εφαρμογή της (Whiston C., 1987). Για παράδειγμα, δεν είναι δυνατό να γίνει ταυτοποίηση υλικών στις περιπτώσεις όπου πρόκειται για άμορφα ή κρυσταλλικές φάσεις που βρίσκονται μέσα σε ένα μείγμα σε πολύ μικρή περιεκτικότητα.

Επίσης ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται κατά την ταυτοποίηση όταν πρόκειται για πολυφασικά μείγματα, λόγω της αλληλοεπικάλυψης των ανακλάσεων, φάσεις που παρουσιάζουν εκλεκτικό προσανατολισμό, ατέλειες δομής ή έχουν πολύ μικρές γωνίες ανάκλασης.

Τα δείγματα τα οποία εξετάστηκαν με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ στα πλαίσια της παρούσας εργασίας λειοτριβήθηκαν έτσι ώστε να έχουν μέγεθος κόκκων <45μm τοποθετήθηκαν με τον ίδιο τρόπο και σε περίπου ίδιες ποσότητες σε δειγματοφορείς. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Cu, φίλτρο νικελίου, τάση λυχνίας U=35KV και ένταση ρεύματος I=35mA. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων Ι.Τ. έγινε σε γωνίες μεταξύ 7-70° 2θ.

5.3.2: Χημικές αναλύσεις τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτινών-Χ (XRF)

Η χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο φασματοσκοπίας ακτινών-Χ φθορισμού (XRF), χρησιμοποιήθηκε το φασματοσκόπιο S2 Ranger (Σχήμα5.4) του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.



Σχήμα 5.4: Φασματοσκόπιο ακτίνων-Χ φθορισμού του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα α 5.5 το σύστημα φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ φθορισμού που χρησιμοποιήθηκε, αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

- Τη λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας Χ
- Τον δειγματοφορέα Το φίλτρο πρωτογενούς ακτινοβολίας
- Τον ευθυγραμμιστή Τον αναλυτή κρύσταλλο
- Τον ανιχνευτή
- Το ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής

Η αρχή λειτουργίας του φασματοφωτόμετρου XRF είναι η παρακάτω. Πρωτογενείς ακτίνες X₁ που εκπέμπονται από την πηγή, προκαλούν εκπομπή χαρακτηριστικών δευτερογενών ακτίνων X₂ από το δείγμα (φθορισμός), των οποίων οι ενέργειες είναι μικρότερες από την ενέργεια των πρωτογενών ακτίνων X₁, εξαρτώνται δε από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα.

Η δέσμη των ακτινών X₂ φθορισμού διέρχεται από τον ευθυγραμμιστή για να γίνει παράλληλη και προσπίπτει στον αναλυτή κρύσταλλο όπου και περιθλάται. Η περιθλώμενη αυτή ακτινοβολία μετριέται από τον ανιχνευτή και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο καταγράφεται.



Εικόνα 5.5: Σχηματική παράσταση της διάταξης Φασματομέτρου. του Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Από το μήκος κύματος των ακτίνων-Χ προσδιορίζεται το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση), ενώ από την ένταση τους η σύσταση (ποσοτική ανάλυση) (Whiston C., 1987).

Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Pd, με τάση λυχνίας U=30KV, και ένταση ρεύματος I=100μA. Οι συνθήκες μέτρησης των δειγμάτων ήταν ένταση I=250μA, και τάση μέτρησης 40KV για τα βαρέα στοιχεία (Fe, Mn, Ti, Ca, K) και 20KV για τα ελαφρά (P, Si, Al, Mg, Na).

Τα δείγματα στα οποία προσδιορίστηκε η χημική σύσταση με τη παραπάνω μέθοδο λειοτριβήθηκαν σε κοκκομετρία κάτω των 60 μm και στη συνέχεια πιέστηκαν εντός ειδικής μήτρας, με πίεση 150 atm.

5.3.3: Χημική ανάλυση με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης

Στην ατομική φασματοσκοπία, μια ουσία αποσυντίθεται σε άτομα όταν βρεθεί σε φλόγα, φούρνο ή πλάσμα. (Το πλάσμα είναι ένα αέριο αρκετά θερμό ώστε να περιέχει ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια.) Η μέτρηση του κάθε στοιχείου βασίζεται στο γεγονός ότι τα άτομα στην αέρια φάση απορροφούν ή εκπέμπουν υπεριώδη ή ορατή ακτινοβολία. Για τη μέτρηση των ιχνοστοιχείων σε ένα δείγμα, μικρές ποσότητες του δείγματος εξαχνώνονται (μέσω θερμικής αποσύνθεσης) από έναν παλμό λέιζερ και παρασύρονται μέσα στο πλάσμα. Το πλάσμα ιονίζει ορισμένα από τα άτομα, τα οποία εισέρχονται στο φασματόμετρο μάζας που διαχωρίζει τα ιόντα βάσει των μαζών τους και μετρά την ποσότητά τους.

Στην ατομική φασματοσκοπία, τα δείγματα εξαχνώνονται στους 2000-8000 K και αποσυντίθενται σε άτομα. Οι συγκεντρώσεις των ατόμων στην αέρια φάση μετριούνται μέσω της απορρόφησης ή της εκπομπής ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος. Λόγω της μεγάλης ευαισθησίας, της ικανότητας να διαχωρίζει ένα στοιχείο από κάποιο άλλο σε σύνθετα δείγματα, της ικανότητας να εκτελεί ταυτοχρόνως πολυστοιχειακές αναλύσεις και της ευκολίας αυτόματης ανάλυσης πολλών δειγμάτων, η ατομική φασματοσκοπία αποτελεί κύριο εργαλείο της αναλυτικής χημείας.

Ο αναλυτής μπορεί να μετρηθεί σε επίπεδα από μέρη ανά εκατομμύριο (μ-g/g) ως μέρη ανά τρισεκατομμύριο (pg/g). Για την ανάλυση των κύριων συστατικών, το δείγμα πρέπει να αραιώνεται ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση σε επίπεδα ppm Η ακρίβεια της ατομικής φασματοσκοπίας, συνήθως 1-2%, δεν είναι τόσο υψηλή όσο εκείνη ορισμένων υγρών χημικών μεθόδων.

5.4: Δόκιμες εμπλουτισμού

5.4.1: Βαρυτομετρικός διαχωρισμός

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

Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι εμπλουτισμού ήταν οι πρώτες μηχανικές διεργασίες που χρησιμοποιήθηκαν για τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και εφαρμόζονται για μία μεγάλη ποικιλία ορυκτών, από τα βαρέα σουλφίδια μετάλλων, όπως ο γαληνίτης (πυκνότητα 1,5gr/cm3) μέχρι το γαιάνθρακα (πυκνότητα 1,3gr/cm3).

Το μέγεθος των τεμαχιδίων, που μπορούν να επεξεργασθούν, ποικίλλει ανάλογα με τη μέθοδο, από τα 200mm έως τα 50μτη (Σταμπολιάδης 2008).

Εργαστηριακή Μέθοδος των Βαρέων Υγρών:

Εάν σε ένα υγρό με πυκνότητα ρ_υ προσθέσουμε κόκκους δύο ορυκτών α και β με αντίστοιχες πυκνότητες $\rho_{\alpha} < \rho_{\pi}$ και $\rho_{\nu} < \rho\beta$, τότε οι κόκκοι του ορυκτού α θα επιπλεύσουν (float), ενώ αυτοί του ορυκτού β θα βυθισθούν (sink). Με τον τρόπο αυτό, μπορεί κανείς να χωρίσει εύκολα τα ορυκτά α και β. Τα ορυκτά έχουν πυκνότητες αρκετά μεγαλύτερες από το νερό και, για το λόγο αυτό, ένα υγρό που έχει ενδιάμεση πυκνότητα μεταξύ δύο ορυκτών ονομάζεται βαρύ υγρό. Τα προς χρήση, στο εργαστήριο, βαρέα υγρά παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.1 και είναι οργανικά υγρά ή ακόμη υδατικά διαλύματα ευδιάλυτων αλάτων βαρέων μετάλλων, όπως του βολφραμίου W. Η μέθοδος των βαρέων υγρών είναι μία καθαρά βαρυτομετρική μέθοδος.

Επειδή τα οργανικά υγρά είναι αναμίξιμα, μπορεί κανείς, χρησιμοποιώντας δύο από αυτά, να φτιάξει οποιαδήποτε ενδιάμεση πυκνότητα. Η πυκνότητα τον υδατικών διαλυμάτων ευδιάλυτών αλάτων μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεκτικότητα του άλατος στο διάλυμα, η οποία δεν μπορεί να υπερβεί την συγκέντρωση κορεσμού.

Τα βαρέα υγρά χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο όχι μόνο για να διαχωρίσουν ελεύθερους κόκκους δύο ορυκτών αλλά και σύμμεικτους κόκκους με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής της κάθε ορυκτολογικής φάσης. Ανεξαρτήτως του τρόπου παρασκευής τους, τα βαρέα υγρά είναι ομοιογενείς υγρές φάσεις και διατηρούν την πυκνότητά τους σταθερή για αρκετό χρόνο, πράγμα που επιτρέπει σχολαστική εργαστηριακή εργασία. Η πυκνότητα των βαρέων υγρών αλλάζει πολύ αργά, λόγω εξατμίσεως των φάσεων που τα απαρτίζουν. Εξαιτίας του μεγάλου κόστους, τα βαρέα υγρά δεν χρησιμοποιούνται στη βιομηχανική παραγωγή για τον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων (Σταμπολιάδης 2008).

5.4.2: Μαγνητικός διαχωρισμός

Μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού που εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών.

Εφαρμόζεται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από μη μαγνητικά, στείρα ορυκτά, όπως, π.χ., ο διαχωρισμός μαγνητίτη από χαλαζία, αλλά και για την απομάκρυνση βλαβερών μαγνητικών ορυκτών από χρήσιμα μη μαγνητικά ορυκτά, όπως, π.χ, η απομάκρυνση σερπεντίνη από μαγνησίτη (λευκόλιθο).

Όλα τα υλικά αντιδρούν με κάποιο τρόπο όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο, μόνο που σε μερικά η αντίδραση αυτή είναι τόσο μικρή, που δε μπορεί πρακτικά να προσδιορισθεί. Τα υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα, εάν έλκονται ή απωθούνται από το μαγνητικό πεδίο:

Διαμαγνητικά: ονομάζονται τα υλικά που απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί.

Οι ασκούμενες δυνάμεις είναι, κατά κανόνα, πολύ μικρές και τα διαμαγνητικά υλικά, πρακτικά, δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό διαχωρισμό.

Παραμαγνητικά: ονομάζονται τα υλικά που έλκονται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Πολλά παραμαγνητικά υλικά μπορούν να εμπλουτισθούν με μαγνητικούς διαχωριστές υψηλής έντασης.

Παραδείγματα παραμαγνητικών ορυκτών που εμπλουτίζονται βιομηχανικά με μαγνητικό διαχωρισμό είναι ο ιλμενίτης, το ρουτίλιο ,ο αιματίτης ο σιδηρίτης ο χρωμίτης FeCr₂0₄ κ.ά. Πολλά ορυκτά, που στην καθαρή τους μορφή δεν έλκονται από το μαγνήτη, γίνονται πιο μαγνητικά, όταν κάποιο στοιχείο τους αντικαθίσταται με σίδηρο Fe. Παράδειγμα αποτελεί ο σφαλερίτης (ZnS), στον οποίο ένα μέρος του Zn αντικαθίσταται με Fe, με αποτέλεσμα να γίνεται όλο και περισσότερο μαγνητικός

Σιδηρομαγνητικά: υλικά είναι, τέλος, μία κατηγορία παραμαγνητικών υλικών, που η δύναμη έλξης τους από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με τα υπόλοιπα παραμαγνητικά υλικά.

Τα σιδηρομαγνητικά υλικά είναι πολύ επιδεκτικά στις μαγνητικές δυνάμεις και πολλά απ' αυτά παραμένουν μαγνητισμένα, όταν απομακρύνονται από το μαγνητικό πεδίο. Τα υλικά αυτά μπορούν να εμπλουτισθούν εύκολα με μαγνητικούς διαχωριστές χαμηλής έντασης. Το κυριότερο σιδηρομαγνητικά ορυκτό είναι ο μαγνητίτης (Fe₃0₄).

Πολλές φορές είναι δυνατόν ορυκτά μη μαγνητικά ή ελάχιστα μαγνητικά να μετατραπούν σε ισχυρώς μαγνητικά μέσω κάποιας διαδικασίας, όπως είναι η φρύξη, Έτσι, τα παραμαγνητικά ορυκτά σιδηρίτης FeCO₃ και αιματίτης Fe₂O₃ μπορούν να μετατραπούν σε μαγνητίτη μετά από οξειδωτική και αναγωγική φρύξη αντίστοιχα, ενώ ο σιδηροπυρίτης FeS₂ να μετατραπεί σε μαγνητικό πυρροτίτη FeS μετά από οξειδωτική φρύξη (Σταμπολιάδης 2008).

<u>Κεφάλαιο 6 Χημικές αναλύσεις και ορυκτολογία</u> <u>δειγμάτων ΑΚ</u>

6.1: Δειγματοληψία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο 3° κεφαλαίο, στην περιοχή Has-Kukes-Lure υπάρχει ένα μεγάλης έκτασης οφιολιθικό σύμπλεγμα. Σε ορισμένες περιοχές που καλύπτονται από ανθρακικά πετρώματα που έχουν ανατηχθεί υπάρχει μια σειρά μεγάλων κοιτασμάτων, όπως το Mamez, Trull, Surroj και Nome. Τα κοιτάσματα αυτά υπέρκεινται χαρτσβουργιτών-σερπεντινιτών και καλύπτονται από ασβεστόλιθους του κατωτέρου κρητιδικού, με εξαίρεση το Has στο όποιο επί της μεταλλοφόρας αναπτύσσονται ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και ακολουθούν ασβεστόλιθοι του κατωτέρου κρητιδικού.

Το κοίτασμα του Nome βρίσκεται 50 km περίπου νοτιοδυτικά του Kukes και σε ένα υψόμετρο 1000-1250 m. Το κοίτασμα του Nome έχει μορφή στρώματος μήκους περίπου 1.5 km. Το πάχος του συνολικού λατεριτικού φλοιού αποσάθρωσης στα κοιτάσματα αυτά κυμαίνεται μεταξύ 5-20 m.

Η μεταλλοφορία σε όλα τα κοιτάσματα είναι κυρίως σιδηρούχος και αποτελεί τη σιδηρούχο ζώνη λατεριτικών φλοιών αποσάθρωσης με τη ζώνη του σαπρολίτη να παρατηρείται σε μικρή όμως ανάπτυξη. Στο κοίτασμα του Trull-Surroi στην περιοχή μετάβασης από σαπρολίτη στο σιδηρούχο μετάλλευμα αναπτύσσεται μια εκτεταμένη ζώνη πυριτικών (silcretes) που είναι χαρακτηριστική για πολλά παρόμοια κοιτάσματα. Επίσης το ανώτερο τμήμα της μεταλλοφορίας αποτελείται από ένα σιδηρούχο στρώμα δευτερογενούς προέλευσης, με όλα τα χαρακτηριστικά μεταμορφωμένου υλικού.

Η διαδικασία της δειγματοληψίας πραγματοποιήθηκε στη περιοχή του Kukes στο Nome, σε ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του κοιτάσματος κατά μήκος τομής κάθετης προς την οροφή του, όπου ελήφθησαν συνολικά 13 αρχικά δείγματα.

6.2: Ορολογία για χαρακτηρισμό σχήματος και μεγέθους σφαιροειδών σωμάτων

Ορισμοί συμφώνα με Young(1989): <u>Ωοειδές (Ooid)</u>: Σφαιρικά ή ελλειψοειδή σώματα με διάμετρο μικρότερη των 2mm, τα όποια διαθέτουν πύρινα περιβαλλόμενο από κανονικά διατεταγμένες συγκεντρικές επιφλοιώσεις.

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

<u>Πελοειδές (Peloid):</u> Σφαιρικά ή ελλειψοειδή σώματα από λεπτόκοκκο υλικό, τα όποια δεν διαθέτουν κανονική εσωτερική δομή

<u>Ωόλιθος (Oolith):</u> Χαρακτηρισμός πετρώματος, το όποιο αποτελείται κυρίως από ωοειδή

<u>Αμπραζιόλιθος (Abrasiolith):</u> Αποστρογγυλεμένο κλαστικό υλικό από επεξεργασμένα θραύσματα ωολίθων, το όποιο διαθέτει αντίστοιχα με τα ωοειδή και πισοειδή ένα εφαπτομενικά διατεταγμένο περίβλημα (Alevizos & Muecke, 2001).

6.3: Χημικές αναλύσεις δειγμάτων ΑΚ

Στα δείγματα ΑΚ πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της χημικής σύστασης με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης επίσης πραγματοποιήθηκε απώλειας πύρωσης LOI. Η απώλεια πύρωσης πραγματοποιήθηκε με σκοπό να γίνει γνωστός ο βαθμός ενυδάτωσης και ανθρακοποίησης των δειγμάτων ΑΚ, πιο συγκεκριμένα αυτή η δοκιμή δείχνει το ποσοστό του κρυσταλλικού νερού αλλά και του διοξειδίου του άνθρακα που περιέχεται στα δείγματα.

δείγμα/%κ.β.	MgO	AI_2O_3	SiO ₂	CaO	Cr_2O_3	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO	А.П.	Sum
AK1	33,83	0,53	41,07	0,68	0,33	0,04	8,98	0,04	0,41	13,56	99,46
AK2	4,11	1,44	70,17	0,58	1,10	0,02	19,44	0,05	0,84	2,38	100,13
AK3	3,58	1,36	71,88	0,43	1,25	0,04	18,07	0,07	0,73	2,63	100,04
AK4	3,78	15,04	16,86	1,19	1,79	0,07	53,36	0,08	0,52	6,95	99,63
AK5	4,78	10,88	11,98	0,87	3,38	0,07	60,11	0,08	0,86	6,80	99,81
AK6	4,18	9,90	10,44	0,83	4,06	0,06	61,99	0,07	0,91	7,48	99,92
AK7	3,92	8,92	9,33	0,75	4,49	0,06	64,40	0,08	1,08	7,04	100,06
AK8	12,93	6,42	7,10	0,65	4,19	0,06	60,05	0,07	1,06	7,42	99,95
AK9	3,45	5,97	7,79	0,58	4,65	0,06	68,68	0,06	1,06	7,93	100,24
AK10	2,85	5,37	5,56	0,59	4,43	0,06	71,32	0,06	1,01	8,25	99,50
AK11	5,17	7,18	10,44	0,68	4,39	0,06	63,54	0,07	1,04	7,39	99,96
AK12	3,91	5,29	6,50	0,60	4,07	0,06	71,26	0,06	1,01	7,44	100,21
AK13	4,64	5,52	11,47	0,64	3,78	0,06	66,28	0,08	1,11	6,25	99,83

Πινάκας 6.1: Χημικές αναλύσεις αρχικών δειγμάτων ΑΚ

6.4: Ορυκτολογία δειγμάτων και χαρακτηρισμός στρωματογραφίας κοιτάσματος

Η ορυκτολογική εξέταση των δειγμάτων του νικελιούχου μεταλλεύματος πραγματοποιήθηκε κατά μήκος τομής αρχίζοντας από τη βάση (υπερβασικά πετρώματα) προς την οροφή (πισολιθικό μετάλλευμα) του κοιτάσματος. Στο δείγμα ΑΚ1 το όποιο πάρθηκε από το υποκείμενο του μεταλλεύματος υπερβασικό πέτρωμα, η παρατήρηση στο μικροσκόπιο δείχνει κυρίως την παρουσία αιματίτη. Ο αιματίτης βρίσκεται σε μορφή μικροκρυσταλλικών συσσωματωμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι σποραδικά παρατηρήθηκαν κρύσταλλοι χρωμίτη.



Σχήμα 6.1: Δείγματα (ΑΚ) που πάρθηκαν κατά μήκος της τομής (Αλεβίζος 2011)

Μετέπειτα τα δείγματα AK2 και AK3 πάρθηκαν από τη ζώνη σαπρολίτη, το πάχος της οποίας είναι περίπου 2m. Σε αυτά τα δυο δείγματα διαπιστώθηκε ότι η ορυκτολογική φάση η όποια βρίσκεται σε πλειονότητα είναι εκείνη του χαλαζία. Επίσης αλλά συστατικά που βρέθηκαν στα δύο δείγματα είναι κλινόχλωρο (χλωρίτης), γκαιτίτης και αιματίτης. Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε ότι ο χαλαζίας σχηματίζει κυρίως συμπαγείς μάζες και μερικώς αποστρογγυλεμένους κόκκους, όμως υπάρχουν μερικές περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκαν λεπτοκρυσταλλικά συσσωματώματα χαλαζία με μορφή φλεβών. Το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία αποτελείται από κλινόχλωρο. Η σιδηρούχος φάση σε αυτή τη ζώνη σαπρολίτη αναπτύσσεται με τη μορφή γκαιτίτη, ο οποίος σταδιακά μεταβαίνει σε αιματίτη.

Το επόμενο στρώμα μετά τη ζώνη σαπρολίτη είναι ένα στρώμα αργιλικού μεταλλεύματος σχετικά μικρού πάχος (περίπου 1m), από αυτό το στρώμα πάρθηκε ένα μόνο δείγμα το ΑΚ4. Η ορυκτολογική εξέταση του δείγματος ΑΚ4 έδειξε ότι αυτό το αργιλικό στρώμα αποτελείται κυρίως από, καολινίτη, αιματίτη, γκαιτίτη και μερικώς νικελιούχο χλωρίτη, χαλαζία, ασβεστίτη. Η μικροσκοπική εξέταση έδειξε την ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού ωοειδών, πισοειδών, πελοειδών και σύνθετων σφαιροειδών, τα οποία αποτελούνται κυρίως από αιματίτη. Ο γκαιτίτης δεν απαντάται τόσο πολύ σαν συστατικό των σφαιροειδών σωματιδίων αλλά πιο πολύ με τη μορφή περιβλήματος γύρω από τα ωοειδή και πελοειδή. Τα ωοειδή και πισοειδή



Σχήμα 6.2: Πελοειδές από αιματίτη με πολλαπλές διαρρήξεις και ένα λεπτό περίβλημα από γκαιτίτη. Δείγμα ΑΚ4, Ανακλώμενο φως, // Nicols

εμφανίζουν συνήθως καλά σχηματισμένες συγκεντρικές επιφλοιώσεις, οι οποίες συχνά διατρέχονται από πολλαπλές διαρρήξεις. Η διαρρήξεις σχετίζονται με τη αφυδάτωση του γκαιτίτη και μετάβαση του σε αιματίτη. Ο μετασχηματισμός αυτός ξεκινά από τις διαρρήξεις και εξαπλώνεται σταδιακά σε ολόκληρη την επιφάνεια των κόκκων. Σύνθετα σφαιροειδή απαντώνται επίσης συχνά, στο εσωτερικό των οποίων παρατηρήθηκαν με μορφή εγκλεισμάτων ωοειδή, πελοειδή καθώς και κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη και χαλαζία.



Σχήμα 6.3: Ωοειδές αιματίτη με πολλαπλές διαρρήξεις, το όποιο περιβάλλεται από μια ευρεία ζώνη γκαιτίτη. Δείγμα ΑΚ7, Ανακλώμενο φως, // Nicols

Το συνδετικό υλικό συνίσταται κυρίως από καολινίτη, νικελιούχο χλωρίτη και ασβεστίτη. Ακόμα θα πρέπει να σημειωθεί ότι διάσπαρτοι μεμονωμένοι κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη και χαλαζία βρέθηκαν στο συνδετικό υλικό.

Από το τελευταίο και ανώτερο στρώμα του μεταλλοφόρου κοιτάσματος, δηλαδή το στρώμα πισολιθικού μεταλλεύματος το οποίο είχε πάχος περίπου 9m, πάρθηκαν 9 δείγματα και αυτά ήταν τα ΑΚ5 έως και ΑΚ13. Σε αυτό το πισολιθικό στρώμα παρατηρείται η παρουσία ενός μεγάλου αριθμού σφαιροειδών σωματιδίων. Τα ορυκτολογικά συστατικά που εντοπίζονται σε αυτό το στρώμα είναι κυρίως αιματίτης και γκαιτίτης. Τα πελοειδή υπερτερούν σε αριθμό σε σχέση με τα άλλα σφαιροειδή σωμάτια και απαντώνται κυρίως με μορφή κλαστικών κόκκων διάσπαρτων στο συνδετικό υλικό του μεταλλεύματος. Τα πελοειδή εμφανίζουν στη πλειονότητα τους πολλαπλές διαρρήξεις και η σύστασή τους είναι κυρίως αιματιτική. Τα ωοειδή και πισοειδή διαθέτουν κυρίως μια εμφανή συγκεντρική υφή κατά φλοιούς, η οποία αντικατοπτρίζει τις διαδικασίες σχηματισμού τους.

Τα σύνθετα σφαιροειδή συνιστούν βασικά συστατικά του πισολιθικού μεταλλεύματος το μέγεθος των οποίων ποικίλλει. Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των σύνθετων σφαιροειδών αποτελούν ο αιματίτης και δευτερευόντως ο γκαιτίτης. Τα σύνθετα σφαιροειδή χαρακτηρίζονται από την παρουσία σημαντικού αριθμό ωοειδών, πισοειδών, πελοειδών καθώς και κόκκων χρωμίτη και χαλαζία, συστατικά τα οποία έχουν ενσωματωθεί με μορφή εγκλεισμάτων στο εσωτερικό τους (ενδοκοκκώδης δομή). Τα σύνθετα σφαιροειδή διαθέτουν στη πλειονότητα τους συγκεντρικές επιφλοιώσεις, γεγονός το όποιο συνδέεται με τις διαδικασίες σχηματισμού, μεταφοράς και εναπόθεσης των κλαστικών ιζημάτων.



Σχημα6.4: Σύνθετο σφαιροειδές από αιματίτη με πληθώρα εγκλεισμάτων από ωοειδή και πελοειδή. Δείγμα ΑΚ5, Ανακλώμενο φως, // Nicols

Στο πισολιθικό μετάλλευμα παρατηρήθηκαν επίσης κρύσταλλοι χρωμίτη και χαλαζία διάσπαρτοι στο συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων . Η κρύσταλλοι του χρωμίτη εμφανίζουν πολλαπλές διαρρήξεις (κατακλαστικός ιστός) λόγω τεκτονικής καταπόνησης. Το συνδετικό υλικό των κόκκων του πισολιθικού μεταλλεύματος αποτελείται κυρίως από κλινόχλωρο και σε μικρότερο βαθμό από νικελιούχο χλωρίτη και καολινίτη.



Σχήμα 6.5: Ωοειδές αιματίτη με πολλαπλές συγκεντρικές επιφλοιώσεις. Δείγμα ΑΚ9, Ανακλώμενο φως, // Nicols



Σχήμα 6.6: Κατακερματισμένος κρύσταλλος χρωμίτη μέσα στο συνδετικό υλικό του μεταλλεύματος. Δείγμα ΑΚ11, Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης αντικατοπτρίζονται στα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό.

<u>Κεφάλαιο 7 Γεωχημεία</u>

7.1 Σχετικές ποσότητες- Ερμηνεία

Υπάρχουν διάφορα άλλα αριθμητικά μέτρα που προσδιορίζουν την έκταση της στατιστικής εξάρτησης μεταξύ των ζευγαριών των παρατηρήσεων. Το πιο κοινό από αυτά είναι ο συντελεστής συσχέτισης Pearson product-moment. Ένα εναλλακτικό όνομα για τη συσχέτιση κατάταξης Spearman είναι ο "βαθμός συσχέτισης". Σε αυτό, η «κατάταξη» μιας παρατήρησης αντικαθίσταται από το «βαθμό». Σε συνεχείς κατανομές, ο βαθμός μιας παρατήρησης είναι, κατά συνθήκη, πάντα το μισό λιγότερο από την κατάταξη, και ως εκ τούτου, σε αυτήν την περίπτωση, οι συσχετίσεις βαθμού και κατάταξης είναι οι ίδιες. Αν και ασυνήθιστο, ο όρος «βαθμός συσχέτισης» είναι ακόμα σε χρήση.

Ένας θετικός συντελεστής συσχέτισης Spearman αντιστοιχεί σε μια αύξουσα μονότονη τάση μεταξύ X και Y. Ένας αρνητικός συντελεστής συσχέτισης Spearman αντιστοιχεί σε μια φθίνουσα μονότονη τάση μεταξύ X και Y. Το πρόσημο της συσχέτισης Spearman δείχνει την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ της X (ανεξάρτητη μεταβλητή) και της Y (εξαρτημένη μεταβλητή). Εάν η Y τείνει να αυξάνεται όταν η X αυξάνει, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι θετικός. Εάν η Y τείνει να μειώνεται όταν η X αυξάνει, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman δείχνει την κατεύθυνση της σχέσης μεταξύ της X (ανεξάρτητη μεταβλητή) και της Y (εξαρτημένη μεταβλητή). Εάν η Y τείνει να αυξάνεται όταν η X αυξάνει, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι θετικός. Εάν η Y τείνει να μειώνεται όταν η X αυξάνει, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman είναι συσχέτιση για την Y είτε να αυξηθεί ή να μειωθεί, όταν η X αυξάνει. Η συσχέτιση Spearman αυξάνει σε μέγεθος, όταν η X και η Y είναι πιο κοντά στο να είναι τέλειες μονότονες συναρτήσεις η μία της άλλης.. Όταν η X και η Y έχουν απόλυτη μονοτονική σχέση, ο συντελεστής συσχέτισης Spearman γίνεται 1.

7.1.1: Γεωχημική εξέταση των δειγμάτων του μεταλλεύματος κατά μήκος της τομής

Η γεωχημική εξέταση του κοιτάσματος του Nome έγινε σε μια σειρά αντιπροσωπευτικών δειγμάτων (AK) από όλους τους ορίζοντες του μεταλλεύματος συμπεριλαμβανομένου του υποκείμενου υπερβασικού πετρώματος. Οι χημικές αναλύσεις των κυρίων στοιχείων των δειγμάτων του μεταλλεύματος έγιναν με ατομική απορρόφηση. και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1, ενώ η κατανομή επιλεγμένων χημικών στοιχείων κατά μήκος της τομής του κοιτάσματος απεικονίζεται στο Σχήμα 7.2. Τα επιλεχθέντα χημικά στοιχεία είναι τα εξής 9: Mg, Al, Si, Ca, Cr, Mn, Fe, Co και Ni.

	MgO	Al2O ₃	SiO ₂	CaO	Cr_2O_3	MnO	Fe ₂ O ₃	CoO	NiO
MgO	1,00								
AI_2O_3	-0,41	1,00							
SiO ₂	0,18	-0,62	1,00						
CaO	-0,04	0,87	-0,36	1,00					
Cr_2O_3	-0,50	0,39	-0,83	-0,04	1,00				
MnO	-0,36	0,79	-0,90	0,51	0,71	1,00			
Fe ₂ O ₃	-0,56	0,60	-0,91	0,21	0,94	0,87	1,00		
CoO	-0,66	0,73	-0,47	0,40	0,55	0,66	0,63	1,00	
NiO	-0,57	0,06	-0,52	-0,38	0,87	0,36	0,74	0,47	1,00

Πίνακας 7.1: Πίνακας συσχέτισης επιλεγμένων στοιχείων των αρχικών δειγμάτων ΑΚ

Τα στοιχεία Fe, Ni και Cr παρουσιάζουν αντιστοιχία στην κατανομή κατά μήκος της τομής (Σχήμα 7.2), ενώ δείχνουν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ τους (Πίνακα 7.1)

Ο σίδηρος συνδέεται κατά κύριο λόγο με τα σιδηρούχα ορυκτά αιματίτη και γκαιτίτη και δευτερευόντως με τα ορυκτά χρωμίτη, χλωρίτη. Η ισχυρή θετική συσχέτιση του σιδήρου με το χρώμιο παρίσταται στο σχήμα 7.1.

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7.2 ο σίδηρος έχει έντονη παρουσία στο αργιλικό και το πισολιθικό μετάλλευμα όπου βρίσκεται σε ποσοστά από 53% έως και 71% κ.β. Fe₂O₃, ενώ στο υπερβασικό πέτρωμα και στη ζώνη σαπρολίτη τα ποσοστά του σιδήρου είναι πολύ χαμηλότερα, περίπου στο 19% κ.β. Fe₂O₃.

Το νικέλιο απαντάται κυρίως στα ορυκτά χλωρίτη (νικελιούχο χλωρίτη), σε μικρότερο βαθμό απαντάται σε ορυκτά του σιδήρου και σε σερπεντίνη. Υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου σε χλωρίτες μέχρι και 40% κ.β. ΝίΟ αναφέρεται από την Economou-Eliopoulos (2003) για τα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα του Βερμίου στη Β.Δ. Ελλάδα.



Σχήμα 7.1: Συσχέτιση μεταξύ Cr_2O_3 -Fe₂O₃



Σχήμα 7.2: Κατανομή επιλεγμένων στοιχείων κατά μήκος της τομής του κοιτάσματος Συχνά παρατηρείται η παρουσία νικελίου σε ορυκτά του σιδήρου, το γεγονός αυτό δεν συνδέεται μόνο με φαινόμενα προσρόφησης. Ο Schellmann (1978) θεωρεί πιθανότερο την αντικατάσταση του σιδήρου από νικέλιο, μέσω επιπρόσθετης υποδοχής στο πλέγμα Si⁴⁺, με αποτέλεσμα την εξισορρόπηση των φορτίων. Ο γκαιτίτης αποτελεί τον κύριο φορέα νικελίου στους λατερίτες της περιοχής Lomie, στο Νοτιοανατολικό Καμερούν (Yongue-Fouateu et al., 2006). Η θετική συσχέτιση του νικελίου με το σίδηρο φαίνεται στον Πίνακα 7.1 και αποτυπώνεται στο διάγραμμα συσχέτισης στο Σχήμα 7.3.

Το χρώμιο απαντάται κυρίως στους χρωμίτες, ενώ σε μικρό ποσοστό μπορεί να ενσωματωθεί στο πλέγμα των ορυκτών του σιδήρου, λόγω της αναλογίας της ιοντικής ακτίνας του Fe³+ και του Cr³+. Οι Friedrich et al. (1980) πιθανολογούν επίσης την προσρόφηση του χρωμίου σε σιδηρούχα ορυκτά. Η παρουσία του χρωμίου είναι πιο έντονη στο πισολιθικό μετάλλευμα όπου το βρίσκουμε σε ποσοστά 3.5-4.6% κ.β. Cr₂O₃. Στα δύο υποκείμενα στρώματα, του αργιλικού μεταλλεύματος και της σαπρολιτικής ζώνης, το χρώμιο κυμαίνεται σε ποσοστά από 1,1-1,8% κ.β. Cr₂O₃.



Σχήμα 7.3: Συσχέτιση μεταξύ Fe₂O₃-NiO

Τα στοιχεία Mn, Al, Ca και Co δείχνουν μια σχετικά παρόμοια κατανομή κατά μήκος της τομής του μεταλλεύματος.

Το μαγγάνιο απαντάται σε μικρά ποσοστά στο πλέγμα των ορυκτών του σιδήρου, η παρουσία MnO είναι πολύ μικρή κατά μήκος όλης της τομής. Το αργίλιο απαντάται κυρίως στα ορυκτά καολινίτη, χλωρίτη και χρωμίτη, ενώ σε μικρό ποσοστό εντοπίζεται στο πλέγμα των οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου. Σύμφωνα με τους Thiel (1963) και Schellmann (1964) στο πλέγμα του γκαιτίτη παρατηρείται μια ισόμορφη αντικατάσταση μέρους του Fe³⁺ από Al³⁺. Το Al απαντάται σε μικρές ποσότητες στο υπερβασικό πέτρωμα και στη ζώνη σαπρολίτη, σε ποσοστά μεταξύ 0.5-1.4% κ.β. Al₂O₃, ενώ στο αργιλικό και πισολιθικό μετάλλευμα έχει ποσοστά από 5.3 μέχρι 15% κ.β. Al₂O₃. Το ασβέστιο συνδέεται με την παρουσία ασβεστίτη, ορυκτό το οποίο απαντάται σε μικρό ποσοστό κατά μήκος όλης της τομής. Η παρουσία του είναι λίγο πιο έντονη στο αργιλικό μετάλλευμα. Το κοβάλτιο απαντάται σε πολύ μικρά ποσοστά κατά μήκος της τομής του κοιτάσματος και δείχνει θετική συσχέτιση με το μαγγάνιο.

Τα στοιχεία Si και Mg παρουσιάζουν μια αντίστοιχη κατανομή μεταξύ τους, ενώ με το σίδηρο η κατανομή τους είναι ακριβώς αντίθετη. Η υψηλή αρνητική συσχέτιση του πυριτίου με το σίδηρο παρίσταται στο Σχήμα 7.4. Το πυρίτιο συνδέεται κυρίως με την παρουσία του χαλαζία και κατά δεύτερο λόγο με τα ορυκτά καολινίτη και χλωρίτη. Στο υπερβασικό πέτρωμα το ποσοστό SiO₂ είναι 41% κ.β, ενώ στη υπερκείμενη σαπρολιτική ζώνη το πυρίτιο απαντάται σε ποσοστά 70-72% κ.β. SiO₂. Στο αργιλικό και πισολιθικο μετάλλευμα η παρουσία πυριτίου είναι πολύ μικρότερη και πιο συγκεκριμένα από 6-17% κ.β. SiO₂.

Μικρά ποσοστά πυριτίου έχουν παρατηρηθεί επίσης σε σιδηρούχα ορυκτά. Σε μικροαναλύσεις αιματίτη από το σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα Κομνηνών Βερμίου οι Αλεβίζος και Κακογιάννη (2008) αναφέρουν συγκεντρώσεις SiO₂ μέχρι και 6,75% κ.β..



Σχήμα 7.4: Συσχέτιση μεταξύ Fe₂O₃-SiO₂

Αντίστοιχα ποσοστά SiO₂ μέχρι και 5,74% κ.β. σε αιματίτη από σιδηρονικελιούχους λατερίτες της Κεντρικής Εύβοιας αναφέρονται από τους Μπόσκος κ.ά. (1996), οι οποίοι αποδίδουν την παρουσία του πυριτίου σε υπομικροσκοπικά εγκλείσματα χαλαζία ή σε μερική αντικατάσταση του Fe³⁺ από Si⁴⁺ με ταυτόχρονη ύπαρξη κενών θέσεων Fe³⁺ στο πλέγμα του αιματίτη. Το μαγνήσιο βρίσκεται στα ορυκτά λιζαρδίτη, και χλωρίτη. Το μαγνήσιο εμφανίζεται σε ποσοστό 34% κ.β. MgO στο υπερβασικό πέτρωμα. Στα υπερκείμενα στρώματα το μαγνήσιο έχει μικρότερα ποσοστά 3-13% κ.β. MgO.

Κεφάλαιο 8 Αποτελέσματα εμπλουτισμού

8.1: Κοκκομετρίες που χρησιμοποιήθηκαν στις εργαστηριακές δοκιμές εμπλουτισμού

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναφέρθηκε, ότι τα αρχικά δείγματα ΑΚ του μεταλλεύματος εξετάστηκαν ως προς την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση, τα ιστολογικά χαρακτηριστικά τους και την κατανομή των χημικών στοιχείων κατά μήκος της τομής. Μετά από τη διαδικασία αυτή, τα αρχικά δείγματα ανακατευθήκαν όλα μαζί για να περάσουν από διαδικασία θραύσης σε σιαγονωτό σπαστήρα. Από τη θραύση στο σιαγονωτό σπαστήρα προέκυψε υλικό αρκετά μικρότερης κοκκομετρίας από τα αρχικά δείγματα ΑΚ, συγκεκριμένα η θραύση έδωσε υλικό κοκκομετρίας -8.00 mm. Το υλικό έπειτα κοσκινίστηκε και διαχωρίστηκε σε 5 κοκκομετρικά κλάσματα και αυτά ήταν τα εξής:

- a) -8.00 +4.00 mm
- b) -4.00 +1.00 mm
- c) -1.00 +0.250 mm
- d) -0.250 +0.063 mm
- e) -0.063 mm

Όλα τα παραπάνω κοκκομετρικά κλάσματα χρησιμοποιήθηκαν σε δοκιμές εμπλουτισμού (βαρυτομετρικές και μαγνητικές) εκτός από το τελευταίο (-0.063 mm). Ακόμα πρέπει να αναφερθεί ότι στο κλάσμα -8.00 +4.00 mm δε πραγματοποιήθηκε μαγνητικός διαχωρισμός γιατί η ποσότητα που προέκυψε μετά τη λειοτρίβηση ήταν περίπου 30gr και μια τέτοια ποσότητα υλικού κρίθηκε ότι δε θα έδινε αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Η απώλεια αυτού του διαχωρισμού δε κρίνεται καθοριστική γιατί σε αυτή τη κοκκομετρία υπάρχει μικρή αποδέσμευση. Τα βάρη των κοκκομετρικών κλασμάτων φαίνονται στο Πίνακα 8.1

Κοκκομετρικά	βάρος	βάρος %
κλάσματα (mm)	(g)	
-8,00 +4.00	27	1,19
-4,00 +1.00	1120,4	49,45
-1,00 +0.250	764,4	33,74
-0,250+0.063	214,7	9,48
-0,063	139,1	6,14
Σύνολο	2265,6	100

Πίνακας 8.1: Βάρος και κατανομή βάρους κοκκομετρικών κλασμάτων

Στα 5 κοκκομετρικά κλάσματα πραγματοποιήθηκε απώλεια πύρωσης, χημική ανάλυση με φασματοσκοπία ακτίνων-Χ φθορισμού (XRF), προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD) αλλά και μικροσκοπική εξέταση. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων και της ορυκτολογικής σύστασης για τα αρχικά κλάσματα πριν από κάθε διαχωρισμό παρατίθενται στον Πίνακα 8.2 και 8.3.1 αντίστοιχα.

Δείγμα (mm)	Βάρος(g)	Βάρος %	MgO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	K₂O%	CaO%	TiO₂%	Cr ₂ O ₃ %	MnO%	Fe ₂ O ₃ %	CoO%	NiO%	LOI %	Σύνολο
-8,00 +4.00	27	1,19	11,48	1,83	47,04	0,04	0,2	0,12	1,47	-	30,47	0,07	0,47	6,87	100,06
-4,00 +1.00	1120,4	49,45	1,93	2,74	11,85	0,08	0,26	0,34	3,39	-	70,49	0,28	0,78	7,93	100,07
-1,00 +0.250	764,4	33.74	1,9	3,11	10,96	0,21	0,36	0,24	4,01	0,11	68,17	0,33	0,84	9,9	100,14
-0,250+0.063	214,7	9.48	2,01	3,3	12,38	0,21	0,5	0,24	4,32	0,11	65,09	0,31	0,88	11,14	100,5
-0,063	139,1	6,14	2,49	4,52	16,64	0,17	0,66	0,33	3,61	-	58,61	0,3	1,05	12,04	100,43

Πίνακας 8.2: Χημικές αναλύσεις αρχικών κοκκομετρικών κλασμάτων



Σχήμα 8.1: Χημική ανάλυση SiO₂-Fe₂O₃ στα κοκκομετρικά κλάσματα



Σχήμα 8.2: Χημική ανάλυση MgO, $AI_2O_3Cr_2O_3$, NiO στα κοκκομετρικά κλάσματα

No	1	2	3	4	5	6	
Samples	Goethite %	Hematite %	Quartz %	Quartz % Chlorite %		Kaolinite %	Sum
-8,00 +4.00	10	24	45	10	4	7	100
-4,00 +1.00	49	34	11	6	0	0	100
-1,00 +0.250	56	29	9	6	0	0	100
-0,250+0.063	59	23	11	7	0	0	100
-0,063	51	24	14	11	0	0	100

Πίνακας 8.3.2: Ποσοστιαία αναλογία των ορυκτολογικών συστατικών στα αρχικά κοκκομετρικά κλάσματα

Πίνακας 8.3.1: Περιεκτικότητες των ομαδοποιημένων ορυκτολογικών φάσεων στα αρχικά κοκκομετρικά κλάσματα

Δείγματα /φάσεις(mm)	Βάρος(g)	Βάρος %	Fe %	Si-Al %	Ni-Mg %	Σύνολο
-8,00 +4.00	27	1,19	34	52	14	100
-4,00 +1.00	1120,4	49,45	83	11	12	100
-1,00 +0.250	764,4	33.74	85	9	9	100
-0,250+0.063	214,7	9.48	82	11	7	100
-0,063	139,1	6,14	75	14	11	100

Η ορυκτολογική εξέταση των αρχικών κοκκομετρικών κλασμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD) έδειξε την παρουσία γκαιτίτη, αιματίτη και χαλαζία σαν κύρια ορυκτολογικά συστατικά και σαν επιμέρους συστατικά χλωρίτη (κλινόχλωρο, Niχλωρίτη), καολινίτη και λιζαρδίτη. Τα ορυκτολογικά αυτά συστατικά ομαδοποιήθηκαν σε τρεις ορυκτολογικές φάσεις και συγκεκριμένα:

- a) ο αιματίτης και ο γκαιτίτης αποτελούν τη φάση του Fe
- b) ο χαλαζίας και ο καολινίτης αποτελούν τη φάση των Si-Al
- c) ο χλωρίτης (κλινόχλωρο, Νi-χλωρίτης) και ο λιζαρδίτης αποτελούν τη φάση των Ni-Mg (Πίν. 8.3.1)

Στον Πίνακα 8.3.2 αναγράφεται η ποσοστιαία αναλογία των ορυκτολογικών συστατικών στα αρχικά κοκκομετρικά κλάσματα, ενώ στα Σχήματα 8.3 και 8.4 αποτυπώνεται η κατανομή των ομαδοποιημένων ορυκτολογικών φάσεων.



Σχήμα 8.3: Περιεκτικότητα ορυκτολογικής φάσης Fe και Si-Al στα αρχικά κοκκομετρικά κλάσματα



Σχήμα 8.4: Περιεκτικότητα ορυκτολογικής φάσης Ni-Mg στα αρχικά κοκκομετρικά κλάσματα

8.2.1: Δοκιμή εμπλουτισμού με τη μέθοδο των βαρέων υγρών

Σε αυτή τη δοκιμή βαρυτομετρικού διαχωρισμού έγινε διαχωρισμός στα τέσσερα από τα πέντε κοκκομετρικά κλάσματα, αυτά ήταν τα εξής:

- a) -8.00 +4.00 mm
- b) -4.00 +1.00 mm
- c) -1.00 +0.250 mm
- d) -0.250 +0.063 mm

Στη πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν δυο οργανικά βαρέα υγρά τα οποία αναμιχθήκαν με σκοπό τη δημιουργία ενός τελικού υγρού με πυκνότητα ίση με 2.70g/cm³. Τα δυο βαρέα υγρά που χρησιμοποιηθήκαν ήταν το καθαρό τετραβρωμοαιθάνιο (tetrabromoethane) με πυκνότητα 2,96 g/cm³ και ο καθαρός τετραχλωράνθακας (carbon tetrachloride) με πυκνότητα 1,59 g/cm³. Ο τύπος που δίνει τις αναλογίες για τη δημιουργία του επιθυμητού βαρέως υγρού είναι ο εξής:

$$\rho_1^* v_1 + \rho_2^* v_2 = \rho^* (v_1 + v_2)$$

με:

- ρ1= πυκνότητα του τετραβρωμοαιθάνιου σε g/cm³
- ρ2= πυκνότητα του τετραχλωράνθακα σε g/cm³
- ρ= πυκνότητα που επιδιώκεται να έχει το βαρύ υγρό σε g/cm³
- v1= όγκος του τετραβρωμοαιθάνιου σε ml
- v2= όγκος του τετραχλωράνθακα σε ml

Οι αναλογίες όγκων για την επίτευξη της συγκεκριμένης πυκνότητας ήταν 81% καθαρό τετραβρωμοαιθάνιο και 19% καθαρός τετραχλωράνθακας.

Η πειραματική διαδικασία είχε ως εξής. Σε πρώτη φάση χρησιμοποιήθηκε ένα ποτήρι ζέσεως των 1000ml στο όποιο τοποθετήθηκαν 650 ml βαρέως υγρού πυκνότητας 2,70 g/cm³. Σε αυτό το δοχείο προστέθηκε προοδευτικά το κάθε κοκκομετρικό κλάσμα ξεχωριστά και αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα να προκύψουν δυο νέα κλάσματα, ένα ελαφρύ (FLOAT), το όποιο αποτελείται από κόκκους που έχουν πυκνότητα μικρότερη από εκείνη του βαρέως υγρού και από ένα βαρύ (SINK), το όποιο αποτελείται από κόκκους που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από εκείνη του βαρέως υγρού. Τα ελαφριά επιπλέουν στη επιφάνεια του βαρέως υγρού και τα βαριά καταβυθίζονται στο πάτο του ποτηριού ζέσεως, έτσι τα ελαφριά συλλέγονται και απομακρύνονται από το βαρύ υγρό. Στη συνέχεια τα νέα κλάσματα αφού είχαν συλλεχτεί πλύθηκαν με ακετόνη, ώστε να απομακρυνθεί κάθε ίχνος βαρέως υγρού από την επιφάνεια των κόκκων, μετά ξηράθηκαν στο φούρνο και ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας.

Στο Πίνακα 8.4 αναγράφονται οι ποσότητες των κοκκομετρικών κλασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις βαρυτομετρικές δόκιμες με βαρέα υγρά.

Κοκκομετρικά	βάρος
κλάσματα (mm)	(g)
-8,00+4,00	26,3
-4,00+1,00	213,2
-1,00+0,250	170,9
-0,250+0,063	59
Σύνολο	469,4

Πινάκας 8.4: Ποσότητες κοκκομετρικών κλασμάτων των βαρυτομετρικών δοκιμών

Στο Πίνακα 8.5 και στο Πίνακα 8.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού και η αξιολόγηση τους. Ενώ στο πίνακα 8,7 απεικονίζεται ο βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

			βάρος		Χημικές αναλύσεις%					
μέγεθος κόκκων	βαρυτομετρικά κλάσματα	βάρος (g)	βάρος κλασμάτων	βάρος επί του αρχικού	MgO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	$Fe_2O_3\%$	NiO%
	SINK	6,4	24,3	0,3	1,82	3,31	9,04	3,36	74,42	0,82
-8,00+4,00	FLOAT	19,9	75,7	0,9	14,60	1,35	59 <i>,</i> 30	0,86	16,17	0,36
	SUM	26,3	100,0	1,2	11,49	1,83	47,07	1,47	30,34	0,47
	SINK	193,7	90,9	44,9	1,82	3,44	7,57	3,84	71,88	0,85
-4,00+1,00	FLOAT	19,5	9,1	4,5	7,57	4,03	60,18	0,93	19,13	0,57
	SUM	213,2	100,0	49,5	2,35	3,49	12,38	3,57	67,06	0,82
	SINK	147,2	86,1	29,1	1,62	3,07	7,31	3,99	68,58	0,96
-1,00+0,250	FLOAT	23,7	13,9	4,7	4,05	8,24	46,49	1,27	23,79	0,74
	SUM	170,9	100,0	33,7	1,96	3,79	12,74	3,61	62,37	0,93
	SINK	51,5	87,3	8,3	1,65	3,40	7,88	4,59	70,15	0,94
-0,250+0,063	FLOAT	7,5	12,7	1,2	4,55	8,86	46,70	1,17	21,53	0,80
	SUM	59	100,0	9,5	2,02	4,09	12,81	4,16	63,97	0,92
-0,063	SUM	139,1	100,0	6,1	2,49	4,52	16,64	3,61	58,61	1,05
σύνολο		608,5		100	2,30	3,69	13,22	3,62	64,23	0,88

Πίνακας 8.5: Χημικές αναλύσεις των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

				μεταλλομ	ιονάδες		κατανομή %						
μέγεθος κόκκων (mm)	βαρυτομετρικά κλάσματα	MgO	AI_2O_3	SiO ₂	Cr_2O_3	Fe ₂ O ₃	NiO	MgO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	NiO%
-8,00+4,00	SINK	0,44	0,81	2,20	0,82	18,11	0,20	3,85	44,09	4,67	55,68	59,68	42,28
	FLOAT	11,05	1,02	44,87	0,65	12,24	0,27	96,15	55,91	95,33	44,32	40,32	57,72
	SUM	11,49	1,83	47,07	1,47	30,34	0,47	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-4,00+1,00	SINK	1,65	3,13	6,88	3,49	65,31	0,77	70,49	89,45	55,55	97,62	97,39	93,68
	FLOAT	0,69	0,37	5,50	0,09	1,75	0,05	29,51	10,55	44,45	2,38	2,61	6,32
	SUM	2,35	3,49	12,38	3,57	67,06	0,82	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-1,00+0,250	SINK	1,40	2,64	6,30	3,44	59,07	0,83	71,30	69,83	49,41	95,13	94,71	88,96
	FLOAT	0,56	1,14	6,45	0,18	3,30	0,10	28,70	30,17	50,59	4,87	5,29	11,04
	SUM	1,96	3,79	12,74	3,61	62,37	0,93	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-0,250+0,063	SINK	1,44	2,97	6,88	4,01	61,23	0,82	71,35	72,49	53,67	96,42	95,72	88,97
	FLOAT	0,58	1,13	5,94	0,15	2,74	0,10	28,65	27,51	46,33	3,58	4,28	11,03
	SUM	2,02	4,09	12,81	4,16	63,97	0,92	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-0,063	SUM	2,49	4,52	16,64	3,61	58,61	1,05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	1												
σύνολο		20,30	17,72	101,65	16,42	282,35	4,20						

Πίνακας 8.6: Μεταλλομονάδες και κατανομή των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

8.2.1.1: Κατανομή βάρους στα βαριά και τα ελαφριά

Στον Πίνακα 8.5 φαίνεται η κατανομή βάρους στα βαριά (SINK) και στα ελαφριά (FLOAT) για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. Στα σχήματα 8.6 έως και 8.8 φαίνονται οι παραπάνω κατανομές.



Σχήμα 8.6: Κατανομή βάρους % στα SINK και τα FLOAT στο κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00



Σχήμα 8.7: Κατανομή βάρους % στα SINK και τα FLOAT στο κοκκομετρικό κλάσμα - 1.00 +0.250



Σχήμα 8.8: Κατανομή βάρους % στα SINK και τα FLOAT στο κοκκομετρικό κλάσμα - 0.250 +0.063

8.2.1.1.1:Παρατηρήσεις-Συμπεράσματα

Από τα τέσσερα παραπάνω κοκκομετρικά κλάσματα φαίνεται ότι στις τρεις μικρότερες κοκκομετρίες η κατανομή βάρους στα SINK είναι κατά μέσο ορό 88% ενώ στα FLOAT 22%, το νικέλιο Ni συγκεντρώνεται στα βαρέα (SINK) και φαίνεται να εμπλουτίζεται περισσότερο στις δυο μικρότερες κοκκομετρίες (-1.00 +0.250 και - 0.250 +0.063). Πιο συγκεκριμένα στη κοκκομετρία -1.00 +0.250 η περιεκτικότητα σε νικέλιο είναι 0.96% και στη κοκκομετρία -0.250 +0.063 η περιεκτικότητα σε νικέλιο είναι 0.96% και στη κοκκομετρία οι αντίστοιχες κατανομές βάρους είναι 24% και 76%, αυτά τα ποσοστά μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι στη κοκκομετρία -8.00 +4.00 η αποδέσμευση είναι μικρή. Επίσης η ποσότητα που υπήρχε διαθέσιμη για τη δοκιμή ήταν μικρή σε σχέση με το μέγεθος των κόκκων, όποτε δε κρίνεται πλήρως αντιπροσωπευτική.

8.2.1.2: Περιεκτικότητα των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO

Στα Σχήματα 8.9 έως και 8.11 αποτυπώνονται οι περιεκτικότητες σε, SiO₂, Fe₂O₃ και NiO των κλασμάτων που προέκυψαν από το βαρυτομετρικό διαχωρισμό. Οι περιεκτικότητες των MgO, Al₂O₃ ,Cr₂O₃, και CoO παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 8.9: Περιεκτικότητα σε SiO2 στα κλάσματα του βαρομετρικού διαχωρισμού



Σχήμα 8.10: Περιεκτικότητα σε Fe₂O₃ στα κλάσματα του βαρομετρικού διαχωρισμού



Σχήμα 8.11: Περιεκτικότητα σε ΝίΟ στα κλάσματα του βαρομετρικού διαχωρισμού

8.2.1.3: Κατανομή των SiO₂, Fe₂O₃ και NiO

Στα Σχήματα 8.12 έως και 8.14 αποτυπώνονται οι κατανομές των SiO₂, Fe₂O₃ και NiO στα κοκκομετρικά κλάσματα που πρόεκυψαν από το βαρυτομετρικό διαχωρισμό Οι περιεκτικότητες των MgO, Al₂O₃, Cr₂O₃ και CoO παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 8.12: Κατανομή του SiO2 στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού



Σχήμα 8.13: Κατανομή του Fe₂O₃ στα κλάσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού





Πινάκας 8.7: Βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του βαρυτομετρικού
διαχωρισμού



Σχήμα 8.5: Βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού
8.2.2: Αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού και εξέταση τους με βάση ορυκτολογικά κριτήρια

Στο κεφάλαιο 8.2 παρουσιαστήκαν τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού και η εξέτασή τους με βάση τις χημικές αναλύσεις, στο παρόν κεφάλαιο τα ίδια αποτελέσματα εξετάζονται με βάση τα ορυκτολογικά δεδομένα που προέκυψαν από την ακτινοσκοπική εξέταση (XRD). Αυτά αποτυπώνονται στο Πίνακα 8.8 και 8.9.

			βάρος	Φάσεις %			
Μέγεθος κόκκων (mm)	βαρυτομετρικά κλάσματα	βάρος (g)	βάρος κλασμάτων	βάρος επί του αρχικού	Fe	Si-Al	Ni-Mg
	SINK	6,4	24,33	0,29	84	10	6
-8,00+4.00	FLOAT	19,9	75,67	0,90	18	66	16
	SUM	26,3	100,00	1,19	34	52	14
	SINK	193,7	90,85	44,93	83	8	5
-4,00+1.00	FLOAT	19,5	9,15	4,52	19	67	14
	SUM	213,2	100,00	49,45	77	13	6
	SINK	147,2	86,13	29,06	84	7	5
-1,00+0.250	FLOAT	23,7	13,87	4,68	24	55	17
	SUM	170,9	100,00	33,74	76	14	7
	SINK	51,5	87,29	8,27	83	8	4
-0,250+0.063	FLOAT	7,5	12,71	1,21	22	58	14
	SUM	59	100,00	9,48	75	14	5
-0,063	SUM	139,1	100,00	6,14	73	9	12

Πινάκας 8.8: Περιεκτικότητες ορυκτολογικών φάσεων των κλασμάτων του
βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στον Πίνακα 8.8 αναγράφονται οι περιεκτικότητες των ομαδοποιημένων ορυκτολογικών φάσεων (Fe, Si-Al, Ni-Mg) των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, ενώ στον Πίνακα 8.9 αναγράφονται οι μεταλλομονάδες και οι κατανομές.

		μετα	αλλομονά	δες	1	κατανομή %	6
μέγεθος κόκκων (mm)	βαρομετρικά κλάσματα	Fe	Si-Al	Ni-Mg	Fe	Si-Al	Ni-Mg
	SINK (4S)	20.44	2.43	1.46	60.01	4.65	10.76
-8,00+4.00	FLOAT (4F)	13.62	49.94	12.11	39.99	95.35	89.24
	SUM	34.06	52.37	13.57	100.00	100.00	100.00
	SINK (3S)	75.41	7.27	4.54	97.75	54.26	78.01
-4,00+1.00	FLOAT (3F)	1.74	6.13	1.28	2.25	45.74	21.99
	SUM	77.15	13.40	5.82	100.00	100.00	100.00
	SINK (2S)	72.35	6.03	4.31	95.60	44.15	64.62
-1,00+0.250	FLOAT (2F)	3.33	7.63	2.36	4.40	55.85	35.38
	SUM	75.68	13.66	6.66	100.00	100.00	100.00
	SINK (1S)	72.45	6.98	3.49	96.28	48.64	66.24
-0,250+0.063	FLOAT (1F)	2.80	7.37	1.78	3.72	51.36	33.76
	SUM	75.25	14.36	5.27	100.00	100.00	100.00
-0.063	SUM	73.00	9.00	12.00	100.00	100.00	100.00

Πινάκας 8.9: Μεταλλομονάδες και κατανομές ορυκτολογικών φάσεων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

8.2.2.1: Περιεκτικότητες ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των βαρυμετρικών κλασμάτων

Στα παρακάτω Σχήματα 8.16 έως 8.18 φαίνονται τα ποσοστά % των ορυκτολογικών φάσεων Si, Fe και Ni-Mg σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα.



Σχήμα 8.16: Περιεκτικότητα φάσης Fe% σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα



Σχήμα 8.17: Περιεκτικότητα φάσης Si-Al% σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα



Σχήμα 8.18: Περιεκτικότητα φάσης Ni-Mg% σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα

8.2.2.2: Κατανομή ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των βαρυμετρικών κλασμάτων

Στα παρακάτω Σχήματα 8.19 έως 8.21 φαίνονται οι κατανομές% των ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si και Ni-Mg σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα.



Σχήμα 8.19: Κατανομή φάσης Fe% σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα



Σχήμα 8.20: Κατανομή φάσης Si-Al% σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα



Σχήμα 8.21: Κατανομή φάσης Ni-Mg% σε κάθε βαρυτομετρικό κλάσμα

Τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βάση τα ορυκτολογικά δεδομένα που προέκυψαν από την ακτινοσκοπική εξέταση των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων έδειξαν γενικά μια αντιστοιχία με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Οι φάσεις του Fe εμπλουτίζονται στα βαριά προϊόντα του διαχωρισμού σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα, ενώ αυτές του Si-Al στα ελαφρά προϊόντα του διαχωρισμού αντίστοιχα, με εξαίρεση το κλάσμα -4+1 mm. Οι φάσεις του Ni-Mg δείχνουν μια ιδιόμορφη συμπεριφορά, διότι στις χημικές αναλύσεις δείχνουν μια σχετικά μεγαλύτερη συγκέντρωση στα ελαφρά προϊόντα του διαχωρισμού, στην κατανομή των φάσεων όμως, τα ποσοστά τους είναι μεγαλύτερα στα βαριά προϊόντα του διαχωρισμού σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα με εξαίρεση το κλάσμα -8+4 mm.

	Βαθμός διαχωρισμού								
Κοκκομετρικό κλάσμα	Fe	Si-Al	Ni-Mg						
4,00-8,00	54,11	-41,34	-15,70						
1,00-4,00	30,16	-42,26	-13,64						
0,250-1,00	38,01	-49,66	-25,60						
0,063-0,250	36,34	-45,12	-22,22						

Πινάκας 8.10: Βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για τις ορυκτολογικές φάσεις



Σχήμα 8.15: Βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για τις ορυκτολογικές φάσεις

8.2.3 : Μικροσκοπική εξέταση κλασμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού

8.2.3.1:Κοκκομετρικό κλάσμα -0.250 +0.063 mm

Στη τομή 1F (FLOAT) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι συνδετικού υλικού και αρκετοί κόκκοι χαλαζία, ακόμα διακρίνονται κάποια θραύσματα κόκκων από αιματίτη (Σχήμα 8.22).

Στη τομή 1S (SINK) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι συνδετικού υλικού και σε πολύ μικρότερο βαθμό μη αποδεσμευμένοι κόκκοι αιματίτη (Σχήμα 8.23)



Σχήμα 8.22: Κόκκοι συνδετικού υλικού με κόκκους χαλαζία και μερικά θραύσματα κόκκων αιματίτη. Δείγμα 1F, float (-0.250 +0.063 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.



Σχήμα 8.23: Κόκκοι συνδετικού υλικού με κόκκους αιματίτη. Δείγμα 1S, sink (-0.250 +0.063 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

8.2.3.2:Κοκκομετρικό κλάσμα -1.00 +0.250 mm

Στη τομή 2F (FLOAT) παρατηρούνται κόκκοι χαλαζία στους οποίους εντοπίζονται κάποια ίχνη μη αποδεσμευμένου αιματίτη (Σχήμα 8.24).

Στη τομή 2S (SINK) παρατηρούνται κόκκοι αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.25).



Σχήμα 8.24: Κόκκοι χαλαζία με ίχνη αιματίτη. Δείγμα 2F, float (-1.00 +0.250 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.



Σχήμα 8.25: Κόκκοι αιματίτη με κόκκους συνδετικού υλικού. Δείγμα 2S, sink (-1.00 +0.250 mm). Ανακλώμενο φως // Nicols.

8.2.3.3:Κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm

Στη τομή 3F (FLOAT) παρατηρούνται κόκκοι χαλαζία και κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.26).

Στη τομή 3S (SINK) παρατηρούνται θραύσματα πελοειδών από αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.27).



Σχήμα 8.26: Κόκκοι χαλαζία με κόκκους συνδετικού υλικού. Δείγμα 3F, float (-4.00 +1.00 mm). Ανακλώμενο φως // Nicols.



Σχήμα 8.27: Θραύσματα πελοειδών από αιματίτη με κόκκους συνδετικού υλικού. Δείγμα 3S, sink (-4.00 +1.00 mm). Ανακλώμενο φως // Nicols

8.2.3.4:Κοκκομετρικό κλάσμα -8.00 +4.00 mm

Στη τομή 4F (FLOAT) παρατηρούνται κόκκοι συνδετικού υλικού με διάσπαρτα εγκλείσματα χαλαζία(Σχήμα 8.28).

Στη τομή 4S (SINK) παρατηρούνται κόκκοι αιματίτη με συνδετικό υλικό (Σχήμα 8.29).



Σχήμα 8.28: Συνδετικό υλικό με εγκλείσματα χαλαζία. Δείγμα 4F, flaot (-8.00 +4.00 mm) Ανακλώμενο φως // Nicols.



Σχήμα 8.29: Κόκκος αιματίτη με συνδετικό υλικό. Δείγμα 4S, sink (-8.00 +4.00 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

8.2.4 : Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στο κλάσμα -8.00 +4.00 mm ο διαχωρισμός δεν κρίνεται ικανοποιητικός , η ανάλυση του νικελίου είναι 0.82 και 0.36 % στα βαριά (SINK) και στα ελαφριά (FLOAT) αντίστοιχα. Αν και η ανάλυση 0.82 % δεν είναι απαγορευτική συνδυάζεται με μια κατανομή βάρους από το αρχικό μετάλλευμα στο κλάσμα των SINK ίση με 24% γεγονός που δείχνει ότι αρκετό από το νικέλιο παρασύρεται στα FLOAT. Ακόμα από τη κατανομή % του ΝiΟ προκύπτει ότι στα SINK είναι 42.3% και στα FLOAT είναι 57.72%, ο βαθμός διαχωρισμού είναι 1.70, δεδομένα που φανερώνουν ότι ο διαχωρισμός δεν είναι καθόλου καλός. Τα παραπάνω συμφωνούν και με όσα έδειξε η μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, δηλαδή και στα δυο προϊόντα εντοπιστήκαν σχεδόν ίδια ποσοστά κόκκων συνδετικού υλικού. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να αποδοθούν κυρίως στο μικρό ποσοστό αποδέσμευσης που παρατηρήθηκε σε αυτή την κοκκομετρία

Στο κλάσμα -4.00 +1.00 mm ο διαχωρισμός είναι πολύ καλύτερος από ότι στο προηγούμενο κλάσμα αλλά γενικά όχι αρκούντως ικανοποιητικός. Η ανάλυση του νικελίου είναι 0.85 και 0.57 % στα βαριά (SINK) και στα ελαφριά (FLOAT) αντίστοιχα. Αν και η ανάλυση 0.85 ούτε σε αυτή τη περίπτωση δεν είναι απαγορευτική στα SINK, η ανάλυση 0.57 % στα FLOAT δείχνει ότι πηγαίνει κάποια ποσότητα στο απόρριμμα. Ακόμα από τη κατανομή % του ΝiΟ προκύπτει ότι στα SINK είναι 93,7% και στα FLOAT είναι 6,3% δεδομένο που δείχνει ότι ο διαχωρισμός είναι πολύ καλύτερος από το προηγούμενο και στη περίπτωση της κατανομής. Αλλά και πάλι ο βαθμός διαχωρισμού είναι 2.85, γεγονός που φανερώνει πολύ φτωχό διαχωρισμό Στη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, στα SINK φαίνεται ότι υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό από κόκκους συνδετικού υλικού. Στα FLOAT επίσης εμφανίζονται κάποιοι κόκκοι συνδετικού οι όποιοι δικαιολογούν την ανάλυση 0.57 %. Η ανάλυση 0.57 % στα FLOAT αλλά και η μικροσκοπική μελέτη δείχνει ότι ο βαθμός αποδέσμευσης δεν έχει βελτιωθεί αρκετά παρά τη μείωση της κοκκομετρίας των κλασμάτων

Στο κλάσμα -1.00 +0.250 mm ο διαχωρισμός είναι περίπου ίδιος με αυτόν στο προηγούμενο κλάσμα αλλά γενικά όχι αρκούντως ικανοποιητικός. Η ανάλυση του νικελίου είναι 0.96 και 0.74% στα βαριά (SINK) και στα ελαφριά (FLOAT) αντίστοιχα. Η ανάλυση 0.96% είναι πολύ καλή στα SINK, η ανάλυση 0.74 στα FLOAT είναι πολύ υψηλή για απόρριμμα και δείχνει ότι πηγαίνει κάποια ποσότητα στο απόρριμμα. Ο βαθμός διαχωρισμού είναι 2.85 το ίδιο φτωχός με τον προηγούμενο διαχωρισμό. Ακόμα από την κατανομή % του ΝίΟ προκύπτει ότι στα SINK είναι 89% και στα FLOAT είναι 11% δεδομένο που δείχνει ότι ο διαχωρισμός δεν είναι καλλίτερος από τον προηγούμενο στον τομέα της κατανομής. Στη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, στα SINK φαίνεται ότι υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό από κόκκους συνδετικού υλικού. Στα FLOAT επίσης εμφανίζονται κάποιοι κόκκοι συνδετικού οι όποιοι, όπως παρατηρήθηκε ήταν μικρότερου μεγέθους και ίσως συμπαρεσύρθηκαν με το χαλαζιακό υλικό και έτσι δικαιολογείται η ανάλυση 0.74%. Η μικροσκοπική μελέτη δείχνει ότι ο βαθμός αποδέσμευσης έχει βελτιωθεί αρκετά με τη μείωση της κοκκομετρίας των κλασμάτων αλλά παρατηρείται ότι αρκετό συνδετικό υλικό συμπαρασύρεται στο απόρριμμα.

Στο κλάσμα -0.250 +0.063 mm ο διαχωρισμός είναι περίπου ίδιος με αυτόν στο προηγούμενο κλάσμα αλλά γενικά ούτε σε αυτή την περίπτωση αρκετά ικανοποιητικός. Η ανάλυση του νικελίου είναι 0.94 και 0.80% στα βαριά (SINK) και στα ελαφριά (FLOAT) αντίστοιχα. Η ανάλυση 0.94% είναι πολύ καλή στα SINK, η ανάλυση 0.80% στα FLOAT είναι πολύ υψηλή για απόρριμμα και δείχνει ότι και σε αυτή τη περίπτωση πηγαίνει κάποια ποσότητα νικελίου στο απόρριμμα. Ο βαθμός διαχωρισμού είναι 18,3 ο υψηλότερος από όλους τους βαρυτομετρικούς διαχωρισμούς που πραγματοποιήθηκαν. Ακόμα από την κατανομή % του NiO προκύπτει ότι στα SINK είναι 89% και στα FLOAT είναι 11% δεδομένο που δείχνει ότι ο διαχωρισμός είναι ακριβώς ο ίδιος με τον προηγούμενο στο τομέα της κατανομής. Στη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, στα SINK φαίνεται ότι υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό από κόκκους συνδετικού υλικού. Στα FLOAT επίσης εμφανίζονται αρκετοί κόκκοι συνδετικού, οι όποιοι ίσως συμπαρασύρθηκαν με το χαλαζιακό υλικό και αυτοί δικαιολογούν την ανάλυση 0.80%. Η μικροσκοπική μελέτη δείχνει ότι ο βαθμός αποδέσμευσης έχει βελτιωθεί ακόμα περισσότερο με τη μείωση της κοκκομετρίας των κλασμάτων αλλά παρόλα αυτά παρατηρείται ότι περισσότερο συνδετικό υλικό συμπαρασύρεται στο απόρριμμα με αυτή τη βαρυτομετρική μέθοδο.

8.3.1: Δοκιμή εμπλουτισμού με τη μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού

Σε αυτή τη δοκιμή μαγνητικού διαχωρισμού χρησιμοποιήθηκαν τα τρία από τα πέντε κοκκομετρικά κλάσματα και αυτά ήταν τα εξής:

- a) -4.00 +1.00 mm
- b) -1.00 +0.250 mm
- c) -0.250 +0.063 mm

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές μέθοδοι μαγνητικού διαχωρισμού, ανάλογα με την κοκκομετρία του δείγματος. Αυτές ήταν οι εξής, για το μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm χρησιμοποιήθηκε ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (perm roll) που φαίνεται στην Εικόνα 8.1. Για τα δυο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα -1.00 +0.250 mm και -0.250 +0.063 mm χρησιμοποιήθηκε ο ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (high intensity induced magnetic separator Carpco MIH 111-5) που φαίνεται στο Εικόνα 8.2.



Εικόνα 8.1: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής (perm roll)

Η πειραματική διαδικασία για το μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm είχε ως εξής. Αρχικά ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε για το πρώτο πέρασμα στις 180 rpm (στροφές ανά λεπτό) και η λεπίδα του διαχωριστή τοποθετήθηκε στη θέση 10. Από το πρώτο πέρασμα συλλέχθηκε το πρώτο μαγνητικό προϊόν, το οποίο ζυγίστηκε και αποθηκεύτηκε. Το μη μαγνητικό κλάσμα χρησιμοποιήθηκε σαν τροφοδοσία του επόμενου περάσματος, το οποίο έγινε στις 140 rpm με τη θέση της λεπίδας στο 10. Από το οποίο πάλι χρησιμοποιήθηκε σαν τροφοδοσία του επόμενου περάσματος, το οποίο έγινε στις 140 rpm με τη θέση της λεπίδας στο 10. Από το οποίο πάλι χρησιμοποιήθηκε σαν τροφοδοσία του επόμενου περάσματος πέρασμα προέκυψε το δεύτερο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό το οποίο πάλι χρησιμοποιήθηκε σαν τροφοδοσία για το τρίτο πέρασμα. Το τρίτο πέρασμα έγινε στις 100 rpm με τη θέση της λεπίδας στο 10. Από το τρίτο πέρασμα προέκυψε το τρίτο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό προϊόν. Θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι

αρχικά η δοκιμή επιχειρήθηκε να πραγματοποιηθεί στο πρώτο πέρασμα στις 160 rpm σε διαφορές θέσεις της λεπίδας αλλά τελικά κρίθηκε ότι θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί στις 180rpm όπως αναφέρεται παραπάνω γιατί έτσι θα είχε καλύτερο αποτέλεσμα.



Εικόνα 8.2: Ξηρός μαγνητικός διαχωριστής υψηλής έντασης (high intensity induced magnetic separator Carpco MIH 111-5)

Η πειραματική διαδικασία για τα δυο μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα -1.00 +0.250 mm και -0.250 +0.063 mm είχε ως εξής. Αρχικά για το κλάσμα -1.00 +0.250 mm ο μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε για το πρώτο πέρασμα στις 120rpm με ένταση μαγνήτη στα 2.80-3.05 A και τη λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα προέκυψε το πρώτο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό το οποίο αποτέλεσε τη τροφοδοσία του επόμενου περάσματος. Στο δεύτερο και τελευταίο πέρασμα ο μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε στις 100rpm με την ένταση του μαγνήτη στα 2.78-2.85 A και τη λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα ο μαγνητικός διαχωριστής ρυθμίστηκε στις 100rpm με την ένταση του μαγνήτη στα 2.78-2.85 A και τη λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα προέκυψε το δεύτερο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό ποι μαγνήτη στα 2.78-2.85 A και τη λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα προέκυψε το δεύτερο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό ποι μαγνήτη στα 2.78-2.85 A και τη λεπίδα στη θέση 4, από αυτό το πέρασμα προέκυμε το δεύτερο μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό προϊόν και το μη μαγνητικό προϊόν. Σε ότι αφορά το κλάσμα -0.250 +0.063 mm η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν ιδία με εκείνη που πραγματοποιήθηκε στο κλάσμα -1.00 +0.250 mm με μονή διάφορα την ένταση του μαγνήτη στα περάσματα. Στο πρώτο πέρασμα η ένταση του μαγνήτη ήταν 2.77-2.86 A και στο δεύτερο πέρασμα ήταν 2.70-2.77 A. Στον Πίνακα 8.9 φαίνονται τα βάρη των κοκκομετρικών κλασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές του μαγνητικού διαχωρισμού.

Κοκκομετρικά κλάσματα	βάρη (g)
-4.00 +1.00 mm	886,4
-1.00 +0.250 mm	570,4
-0.250 +0.063 mm	126,7
Σύνολο	1583,5

Πίνακας 8.11: Βάρη κοκκομετρικών κλασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στο μαγνητικό διαχωρισμό

Στους Πίνακες 8.12 και 8.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πειραματικής δοκιμής του βαρυτομετρικού διαχωρισμού καθώς και η αξιολόγησή τους. Στον πίνακα 8.14 και 8.15 παρουσιάζονται οι αναλύσεις αθροιστικών μαγνητικών και αθροιστικών μη-μαγνητικών.

			βάρος				Χημικές αν	αλύσεις %		
μέγεθος κόκκων	κλάσματα μαγνητικού διαχωρισμού	βάρος (g)	βάρος κλασμάτων %	βάρος επί του αρχικού	MgO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	NiO%
-8.00+4.00	sum	6,4	100,00	1,19	11,48	1,83	47,04	1,47	30,47	0,47
	μαγνητικό 1 <u>180 rpm</u>	783,0	88,96	43,99	2,58	2,90	11,70	3,63	66,46	0,80
4.00.1.00	μαγνητικό 2 <u>140 rpm</u>	82,1	9,33	4,61	2,31	2,96	16,25	3,68	63,21	0,86
-4.00+1.00	μαγνητικό 3 <u>100 rpm</u>	5,2	0,59	0,29	5,38	3,18	35,53	2,73	40,11	0,52
	μη μαγνητικό 3	9,9	1,12	0,56	12,52	1,29	65,43	0,14	4,22	0,09
	sum	880,2	100,00	49,45	2,68	2,89	12,87	3,59	65,30	0,80
	μαγνητικό 1 <u>120 rpm</u>	493,8	86,98	29,35	2,00	2,92	10,20	4,18	68,07	0,90
-1.00+0.250	μαγνητικό 2 <u>100 rpm</u>	55,2	9,72	3,28	1,83	5,12	16,96	3,24	55,71	0,83
3 A	μη μαγνητικό 2	18,7	3,29	1,11	2,73	9,16	48,06	1,38	20,41	0,55
	sum	567,7	100,00	33,74	2,01	3,34	12,10	4,00	65,30	0,88
										-
	μαγνητικό 1 <u>120 rpm</u>	111,7	88,44	8,38	1,91	3,04	9,82	4,37	67,19	0,90
-0.250+0.063	μαγνητικό 2 <u>100 rpm</u>	9,8	7,76	0,74	2,24	6,56	21,36	3,46	50,78	0,86
3 A	μη μαγνητικό 2	4,8	3,80	0,36	2,34	7,96	63,92	0,71	9,80	0,27
	sum	126,3	100,00	9,48	1,96	3,50	12,77	4,16	63,74	0,87
										-
-0.063	sum	139,1	100,00	6,14	2,49	4,52	16,64	3,61	58,61	1,05
Σύνολο		1713,3		100,00	2,48	3,19	13,24	3,76	64,33	0,84

Πίνακας 8.12: Χημικές αναλύσεις των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού

			μεταλλομονάδες					κατανομή %					
μέγεθος κόκκων	κλάσματα διαχωρισμού	MgO	AI_2O_3	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	MgO%	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	NiO%
-8.00+4.00	sum	11,48	1,83	47,04	1,47	30,47	0,47	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	μαγνητικό 1	2,30	2,58	10,41	3,23	59,12	0,71	85,54	89,29	80,87	89 <i>,</i> 95	90,54	89,41
	μαγνητικό 2	0,22	0,28	1,52	0,34	5,90	0,08	8,03	9,56	11,78	9,56	9,03	10,08
-4.00+1.00	μαγνητικό 3	0,03	0,02	0,21	0,02	0,24	0,00	1,18	0,65	1,63	0,45	0,36	0,39
	μη μαγνητικό 3	0,14	0,01	0,74	0,00	0,05	0,00	5,25	0,50	5,72	0,04	0,07	0,13
	sum	2,68	2,89	12,87	3,59	65,30	0,80	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	μαγνητικό 1	1,74	2,54	8,87	3,64	59,21	0,78	86,66	76,05	73,30	90,98	90,67	88,76
1 00+0 250	μαγνητικό 2	0,18	0,50	1,65	0,32	5,42	0,08	8,87	14,92	13,62	7,89	8,30	9,19
-1.00+0.230	μη μαγνητικό 2	0,09	0,30	1,58	0,05	0,67	0,02	4,47	9,03	13,08	1,14	1,03	2,04
	sum	2,01	3,34	12,10	4,00	65,30	0,88	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	μαγνητικό 1	1,69	2,69	8,69	3,87	59,42	0,79	86,58	76,79	68,01	92,91	93,23	91,09
0.250+0.062	μαγνητικό 2	0,17	0,51	1,66	0,27	3,94	0,07	8,87	14,56	12,98	6,44	6,18	7,71
-0.230+0.005	μη μαγνητικό 2	0,09	0,30	2,43	0,03	0,37	0,01	4,55	8,65	19,02	0,65	0,58	1,20
	sum	1,96	3,50	12,77	4,16	63,74	0,87	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
-0.063	sum	2,49	4,52	16,64	3,61	58,61	1,05	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Σύνολο		20,62	16,08	101,43	16,83	283,42	4,07						

Πίνακας 8.13: Μεταλλομονάδες και κατανομή των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού

				Αθροιστικά	ό μαγνητικό					Αθροιστικό	μη μαγνητικό		
				ανά	λυση			ανάλυση					
μέγεθος κόκκων	κλάσματα μαγνητικού διαχωρισμού	MgO	AI2O3	SiO2	Cr2O3	Fe2O3	NiO	MgO	AI2O3	SiO2	Cr2O3	Fe2O3	NiO
-8.00 +4.00	sum	11,48	1,83	47,04	1,47	30,47	0,47	11,48	1,83	47,04	1,47	30,47	0,47
	μαγνητικό 1	2,58	2,90	11,70	3,63	66,46	0,80	3,51	2,80	22,29	3,27	55,97	0,76
-4.00 +1.00	μαγνητικό 2	2,55	2,91	12,13	3,63	66,15	0,81	10,06	1,94	55,13	1,03	16,58	0,24
	μαγνητικό 3	2,57	2,91	12,27	3,63	66,00	0,80	12,52	1,29	65,43	0,14	4,22	0,09
1 00 10 250	μαγνητικό 1	2,00	2,92	10,20	4,18	68,07	0,90	2,06	6,15	24,83	2,77	46,78	0,76
-1.00 +0.250	μαγνητικό 2	1,98	3,14	10,88	4,09	66,83	0,89	2,73	9,16	48,06	1,38	20,41	0,55
0.250 10.062	μαγνητικό 1	1,91	3,04	9,82	4,37	67,19	0,90	2,27	7,02	35,35	2,55	37,31	0,67
-0.250 +0.065	μαγνητικό 2	1,94	3,32	10,75	4,30	65,87	0,89	2,34	7,96	63,92	0,71	9,80	0,27
-0.063	sum	2,49	4,52	16,64	3,61	58,61	1,05	2,49	4,52	16,64	3,61	58,61	1,05

Πίνακας 8.14: Αναλύσεις αθροιστικών μαγνητικών και αθροιστικών μη μαγνητικών

				Βαθμός δια	αχωρισμού		
Κοκκομετρικό κλάσμα	Περάσματα	MgO	AI_2O_3	SiO ₂	Cr_2O_3	Fe ₂ O ₃	NiO
	1ο πέρασμα	-3,51	0,34	-9,28	1,03	4,55	0,46
-4.00 +1.00	2ο πέρασμα	-4,85	0,58	-6,47	1,27	3,69	1,21
	3ο πέρασμα	-4,24	0,64	-5,27	1,12	3,03	1,01
1 00 10 250	1ο πέρασμα	-0,33	-11,31	-15,57	4,16	10,64	1,80
-1.00 +0.250	2ο πέρασμα	-1,20	-5,94	-11,13	2,24	6,53	1,26
0.250 10.062	1ο πέρασμα	-1,90	-12,07	-23,43	4,66	13,22	2,68
-0.250 +0.005	2ο πέρασμα	-0,76	-5,02	-17,45	3,29	8,87	2,62

Πίνακας 8.15: Βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού



Σχημα 8.30: Βαθμοί διαχωρισμού του SiO2 στον μαγνητικό διαχωρισμό σε κάθε πέρασμα



Σχημα 8.31: Βαθμοί διαχωρισμού των Fe₂O₃ και NiO στον μαγνητικό διαχωρισμό



Σχημα 8.31.1: Βαθμοί διαχωρισμού των Fe₂O₃, SiO₂ και NiO στον μαγνητικό διαχωρισμό



Σχημα 8.31.2: Βαθμοί διαχωρισμού των Fe₂O₃, SiO₂ και NiO στον μαγνητικό διαχωρισμό



Σχημα 8.31.2: Βαθμός διαχωρισμού του ΝίΟ στον μαγνητικό διαχωρισμό

8.3.1.1: Κατανομή βάρους στα μαγνητικά και μη μαγνητικά προϊόντα

Στον Πίνακα 8.10 φαίνεται η κατανομή βάρους στα μαγνητικά και μη μαγνητικά για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. Στα σχήματα 8.36 έως και 8.38 φαίνονται οι παραπάνω κατανομές.



Σχήμα 8.32: Κατανομή βάρους % στα μαγνητικά και μη μαγνητικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm



Σχήμα 8.33: Κατανομή βάρους % στα μαγνητικά και μη μαγνητικό κλάσμα -1.00 +0.250 mm



Σχήμα 8.34: Κατανομή βάρους % στα μαγνητικά και μη μαγνητικό κλάσμα -0.250 +0.063 mm

8.3.1.2: Περιεκτικότητα των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO

Στα Σχήματα 8.35 έως και 8.44 αποτυπώνονται οι περιεκτικότητες σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO των μαγνητικών, μη μαγνητικών, αθροιστικών μαγνητικών και αθροιστικών μη μαγνητικών κλασμάτων που προέκυψαν από το διαχωρισμό. Οι περιεκτικότητες των MgO, Al₂O₃, Cr₂O₃ και CoO παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 8.35: Περιεκτικότητα SiO₂% σε όλα τα μαγνητικά κλάσματα



Σχήμα 8.36: Περιεκτικότητα SiO₂% των αθροιστικώς μαγνητικών



Σχήμα 8.37: Περιεκτικότητα SiO₂% των αθροιστικώς μη μαγνητικών



Σχήμα 8.38: Περιεκτικότητα $Fe_2O_3\%$ σε όλα τα μαγνητικά κλάσματα



Σχήμα 8.39: Περιεκτικότητα Fe₂O₃% των αθροιστικώς μαγνητικών



Σχήμα 8.40: Περιεκτικότητα Fe₂O₃% των αθροιστικώς μη μαγνητικών



Σχήμα 8.41: Περιεκτικότητα ΝίΟ% σε όλα τα μαγνητικά κλάσματα



Σχήμα 8.42: Περιεκτικότητα ΝίΟ% των αθροιστικώς μαγνητικών



Σχήμα 8.43: Περιεκτικότητα ΝίΟ% των αθροιστικώς μη μαγνητικών



Σχήμα 8.44: Περιεκτικότητα του μαγνητικού 3ου περάσματος σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO

8.3.1.3: Κατανομή των SiO2, Fe2O3 και NiO στα κλάσματα

Στα Σχήματα 8.45 έως και 8.48 αποτυπώνονται οι κατανομές των SiO₂, Fe₂O₃ και NiO στα μαγνητικά και μη μαγνητικά κοκκομετρικά κλάσματα που πρόεκυψαν από το μαγνητικό διαχωρισμό. Οι κατανομές των MgO, Al₂O₃, Cr₂O₃ και CoO παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 8.45: Κατανομή του SiO2 στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.46: Κατανομή του Fe₂O₃ στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.47: Κατανομή του ΝίΟ στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.48: Κατανομή μαγνητικού 3ου περάσματος σε SiO₂, Fe₂O₃ και NiO

8.3.2: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού και εξέτασή τους με βάση ορυκτολογικά κριτήρια

Στο κεφάλαιο 8.3.1 παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού και η εξέτασή τους με βάση τις χημικές αναλύσεις, στο παρόν κεφάλαιο τα ίδια αποτελέσματα εξετάζονται με βάση τα ορυκτολογικά κριτήρια. Αυτά αποτυπώνονται στο Πίνακα 8.16 και 8.17. Ενώ στο πινάκα 8.18 αποτυπώνονται οι αναλύσεις των αθροιστικών μαγνητικών και μη μαγνητικών ορυκτολογικών φάσεων.

			βάρος			φάσεις	%
μέγεθος κόκκων (mm)	μαγνητικά κλάσματα	βάρος (g)	βάρος κλασμάτων	βάρος επί του αρχικού	Fe	Si-Al	Ni-Mg
-8.00+4.00	sum	6,4	100,00	1,19	34	52	14
	μαγνητικό 1	783,0	88,96	43,99	78	13	4
	μαγνητικό 2	82,1	9,33	4,61	72	18	6
-4.00+1.00	μαγνητικό 3	5,2	0,59	0,29	48	38	14
	μη μαγνητικό	9,9	1,12	0,56	5	69	17
	sum	880,2	100,00	49,45	76	14	4
	μαγνητικό 1	493,8	86,98	29,35	81	10	4
1 00 0 250	μαγνητικό 2	55,2	9,72	3,28	66	29	5
-1.00+0.250	μη μαγνητικό 2	18,7	3,29	1,11	26	63	5
	sum	567,7	100,00	33,74	78	14	4
		<u> </u>					
	μαγνητικό 1	111,7	88,44	8,38	81	10	4
-	μαγνητικό 2	9,8	7,76	0,74	61	34	5
0.250+0.063	μη μαγνητικό 2	4,8	3,80	0,36	13	78	4
	sum	126,3	100,00	9,48	77	14	4
-0.063	sum	139,1	100,00	6,14	73	9	12
sum		1713,3		100,00			

Πίνακας 8.16: Περιεκτικότητες ορυκτολογικών φάσεων των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού

		μι	εταλλομονό	ιδες	κατανομή%			
μέγεθος κόκκων (mm)	μαγνητικά κλάσματα	Fe	Si-Al	Ni-Mg	Fe	Si-Al	Ni-Mg	
-8.00+4.00	sum	34.06	52.37	13.57	100.00	100.00	100.00	
	μαγνητικό 1	69.39	11.56	3.56	90.77	81.19	81.02	
	μαγνητικό 2	6.72	1.68	0.56	8.79	11.79	12.74	
-4.00+1.00	μαγνητικό 3	0.28	0.22	0.08	0.37	1.58	1.88	
	μη μαγνητικό	0.06	0.78	0.19	0.07	5.45	4.35	
	sum	76.44	14.24	4.39	100.00	100.00	100.00	
	μαγνητικό 1	70.46	8.70	3.48	90.64	63.99	84.24	
1 00+0 250	μαγνητικό 2	6.42	2.82	0.49	8.26	20.74	11.77	
-1.00+0.250	μη μαγνητικό 2	0.86	2.08	0.16	1.10	15.27	3.99	
	sum	77.73	13.59	4.13	100.00	100.00	100.00	
	μαγνητικό 1	71.64	8.84	3.54	93.20	61.22	86.76	
0.050.0.000	μαγνητικό 2	4.73	2.64	0.39	6.16	18.26	9.51	
-0.250+0.063	μη μαγνητικό 2	0.49	2.96	0.15	0.64	20.52	3.73	
	sum	76.86	14.45	4.08	100.00	100.00	100.00	
		•			•			
-0.063	sum	73.00	9.00	12.00	100.00	100.00	100.00	

Πίνακας 8.17: Κατανομές και μεταλλομονάδες ορυκτολογικών φάσεων του μαγνητικού διαχωρισμού

					αθροιστικά	μαγνητικά	ŕ	
			μεταλλομονάδες ανάλυση %					
μέγεθος κόκκων	κλάσματα μαγνητικού διαχωρισμού	βάρος %	Fe	Si-Al	Ni-Mg	Fe	Si-Al	Ni-Mg
-8.00 +4.00	sum	100,00	34,06	52,37	13,57	34,06	52,37	13,57
	μαγνητικό 1	88,96	69,39	11,56	3,56	78,00	13,00	4,00
-4.00 +1.00	μαγνητικό 2	98,28	76,10	13,24	4,12	77,43	13,47	4,19
	μαγνητικό 3	98,88	76,39	13,47	4,20	77,25	13,62	4,25
1 00 10 250	μαγνητικό 1	86,98	70,46	8,70	3,48	81,00	10,00	4,00
-1.00 +0.250	μαγνητικό 2	96,71	76,87	11,52	3,97	79,49	11,91	4,10
0.250 +0.062	μαγνητικό 1	88,44	71,64	8,84	3,54	81,00	10,00	4,00
-0.250 +0.005	μαγνητικό 2	96,20	76,37	11,48	3,93	79,39	11,94	4,08
-0.063	sum	100,00	73,00	9,00	12,00	73,00	9,00	12,00

Πίνακας 8.18: Αναλύσεις αθροιστικών μαγνητικών ορυκτολογικών φάσεων

Πίνακας 8.19: Αναλύσεις αθροιστικών μη μαγνητικών ορυκτολογικών φάσεων

			αθροιστικά μη μαγνητικά					
			μεταλλομονάδες			ανάλυση %)
μέγεθος κόκκων	κλάσματα μαγνητικού διαχωρισμού	βάρος %	Fe	Si-Al	Ni-Mg	Fe	Si-Al	Ni-Mg
-8.00 +4.00	sum	100,00	100,00	34,06	0,00	100,00	34,06	0,00
-4.00 +1.00	μη μαγνητικό 1	11,04	7,06	2,68	0,83	63,89	24,26	7,55
	μη μαγνητικό 2	1,72	0,34	1,00	0,27	19,81	58,32	15,97
	μη μαγνητικό 3	1,12	0,06	0,78	0,19	5,00 69	69,00	17,00
1 00 10 250	μη μαγνητικό 1	13,02	7,27	4,90	0,65	55 55,88	37,60	5,00
-1.00 +0.250	μη μαγνητικό 2	3,29	0,86	2,08	0,16	26,00	63,00	5,00
-0.250 +0.063	μη μαγνητικό 1	11,56	5,23	5,60	0,54	45,22	48,47	4,67
	μη μαγνητικό 2	3,80	0,49	2,96	0,15	13,00	78,00	4,00
-0.063	sum	100,00	73,00	9,00	12,00	73,00	9,00	12,00

		Βαθμός διαχωρισμού			
Κοκκομετρικό κλάσμα	Περάσματα	Fe	Si-Al	Ni-Mg	
	1ο πέρασμα	7,70	-9,06	-8,30	
1,00-4,00	2ο πέρασμα	5,40	-6,19	-4,73	
	3ο πέρασμα	4,46	-5,04	-3,38	
0.250 1.00	1ο πέρασμα	16,43	-26,61	-2,86	
0,230-1,00	2ο πέρασμα	9,84	-13,86	-0,72	
0.062.0.250	1ο πέρασμα	20,57	-31,82	-1,75	
0,003-0,250	3ο πέρασμα	13,65	-19,54	0,08	

Πίνακας 8.20: Βαθμός διαχωρισμού των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού στις ορυκτολογικές φάσεις



Σχημα 8.49: Βαθμοί διαχωρισμού φάσης Fe στον μαγνητικό διαχωρισμό


Σχημα 8.50: Βαθμοί διαχωρισμού φάσης Si-Al και Ni-Mg στον μαγνητικό διαχωρισμό

8.3.2.1: Περιεκτικότητες ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των μαγνητικών κλασμάτων

Στα παρακάτω Σχήματα 8.51 έως 8.60 φαίνονται τα ποσοστά % των ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg σε κάθε μαγνητικό κλάσμα, μη μαγνητικό, αθροιστικό μαγνητικό και αθροιστικό μη μαγνητικό.



Σχήμα 8.51: Περιεκτικότητα φάσης Fe% στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.52: Περιεκτικότητα φάσης Fe% στα αθροιστικός μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.53: Περιεκτικότητα φάσης Fe% στα αθροιστικός μη μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού







Σχήμα 8.55: Περιεκτικότητα φάσης Si-Al% στα αθροιστικός μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.56: Περιεκτικότητα φάσης Si-Al% στα αθροιστικός μη μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.57: Περιεκτικότητα φάσης Ni-Mg % στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.58: Περιεκτικότητα φάσης Ni-Mg % στα αθροιστικός μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.59: Περιεκτικότητα φάσης Ni-Mg % στα αθροιστικός μη μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.60: Περιεκτικότητα του μαγνητικού 3ου περάσματος στις φάσεις Fe,Si-Al και Ni-Mg

8.3.2.2: Κατανομή ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si-Al και Ni-Mg των μαγνητικών κλασμάτων

Στα παρακάτω Σχήματα 8.61 έως 8.64 φαίνονται οι κατανομές% των ορυκτολογικών φάσεων Fe, Si και Ni-Mg σε κάθε μαγνητικό κλάσμα. Οι αντίστοιχες κατανομές για ανθρακικά-C και το Cr παρατίθενται στο παράρτημα.



Σχήμα 8.61: Κατανομή φάσης Fe% στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.62: Κατανομή φάσης Si-Al% στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.63: Κατανομή φάσης Ni-Mg% στα μαγνητικά κλάσματα του διαχωρισμού



Σχήμα 8.64: Κατανομή του μαγνητικού 3ου περάσματος στις φάσεις Fe,Si-Al και Ni-Mg

Τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού με βάση την ορυκτολογική σύσταση, έτσι όπως προέκυψε από την ακτινοσκοπική εξέταση των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων, έδειξαν γενικά μια αντιστοιχία με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων. Οι φάσεις του Fe εμπλουτίζονται στα μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα. Οι συγκεντρώσεις των φάσεων του Si-Al είναι μεγαλύτερες στα μη μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού, αλλά στην κατανομή των φάσεων τα μεγαλύτερα ποσοστά τους απαντώνται στα μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού. Οι φάσεις του Ni-Mg δείχνουν μια σχετικά αντίστοιχη συγκέντρωση τόσο στα μαγνητικά, όσο και στα μη μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού, ενώ στην κατανομή των φάσεων τα ποσοστά τους είναι πολύ μεγαλύτερα στα μαγνητικά προϊόντα του διαχωρισμού σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα.

8.3.3 : Μικροσκοπική εξέταση κλασμάτων μαγνητικού διαχωρισμού

8.3.3.1:Κοκκομετρικό κλάσμα -0.250 +0.063 mm

Στην τομή 1ΜΙ (μαγνητικό 1) παρατηρούνται κρύσταλλοι αιματίτη και κρύσταλλοι συνδετικού υλικού, με εκείνους του συνδετικού υλικού να βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα στη τομή (Σχήμα 8.65).



Σχήμα 8.65: Κόκκοι συνδετικού υλικού και κόκκοι αιματίτη. Δείγμα 1ΜΙ, μαγνητικό 1 (-0.250 +0.063 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.



Σχήμα 8.66: Κόκκοι συνδετικού υλικού με ελάχιστοι κόκκοι αιματίτη. Δείγμα 1ΜΙΙ, μαγνητικό 2 (-0.250 +0.063 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols

Στην τομή 1ΜΙΙ (μαγνητικό 2) παρατηρούνται κυρίως κρύσταλλοι συνδετικού υλικού και μερικοί κρύσταλλοι αιματίτη (Σχήμα 8.66).

Στην τομή 1MMII (μη μαγνητικό) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι χαλαζία μεταξύ των οποίων εντοπίζονται και ελάχιστοι κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.67).



Σχήμα 8.67: Κόκκοι χαλαζία και μερικοί κόκκοι συνδετικού υλικού. Δείγμα 1ΜΜΙΙ, μη μαγνητικό (-0.250 +0.063 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

8.3.3.2: Κοκκομετρικό κλάσμα -1.00 +0.250 mm

Στην τομή 2MI (μαγνητικό 1) παρατηρούνται ωοειδή από αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.68)



Σχήμα 8.68: Ωοειδές από αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού. Δείγμα 2ΜΙ, μαγνητικό 1 (-1.00 +0.250 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Στην τομή 2MII (μαγνητικό 2) παρατηρούνται κυρίως ωοειδή από αιματίτη και μερικοί κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.69)



Σχήμα 8.69: Ωοειδές από αιματίτη με διαρρήξεις. Δείγμα 2ΜΙΙ, μαγνητικό 2 (-1.00 +0.250 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Στην τομή 2MMII (μη μαγνητικό) παρατηρούνται κόκκοι χαλαζία και ελάχιστοι κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.70)



Σχήμα 8.70: Κόκκοι χαλαζία. Δείγμα 2ΜΜΙΙ, μη μαγνητικό (-1.00 +0.250 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

8.3.3.3: Κοκκομετρικό κλάσμα -4.00 +1.00 mm

Στη τομή 3ΜΙ (μαγνητικό 1) παρατηρούνται ωοειδή και πελοειδή αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.71)



Σχήμα 8.71: Ωοειδή από αιματίτη. Δείγμα 3ΜΙ, μαγνητικό 1 (-4.00 +1.00 mm) Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Στη τομή 3MII (μαγνητικό 2) παρατηρούνται ωοειδή και πελοειδή από αιματίτη και κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.72)



Σχήμα 8.72: Ωοειδή από αιματίτη κόκκοι συνδετικού υλικού. Δείγμα 3ΜΙΙ, μαγνητικό 2 (4.00 +1.00 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Στη τομή 3ΜΙΙΙ (μαγνητικό 3) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι συνδετικού υλικού (Σχήμα 8.73)



Σχήμα 8.73: Κόκκοι συνδετικού υλικού. Δείγμα 3ΜΙΙΙ, μαγνητικό 3 (-4.00 +1.00 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Στη τομή 3ΜΜΙΙΙ (μη μαγνητικό) παρατηρούνται κυρίως κόκκοι χαλαζιακού υλικού (Σχήμα 8.74)



Σχήμα 8.74: Κόκκοι χαλαζία. Δείγμα 3ΜΜΙΙΙ, μη μαγνητικό (-4.00 +1.00 mm). Ανακλώμενο φως, // Nicols.

8.3.4 : Σχολιασμός και παρατηρήσεις αποτελεσμάτων μαγνητικού διαχωρισμού

Στο κλάσμα -4.00 +1.00 mm ο διαχωρισμός είναι καλύτερος σε σχέση με οποιοδήποτε αποτέλεσμα έδωσαν οι βαρυτομετρικοί διαχωρισμοί. Η ανάλυση του νικελίου είναι 0.80% στο πρώτο μαγνητικό προϊόν, 0.86% στο δεύτερο μαγνητικό προϊόν, 0.52% στο τρίτο μαγνητικό προϊόν και τέλος 0,09% στο μη μαγνητικό προϊόν. Η ανάλυση 0.80 και 0.86% στα δυο πρώτα μαγνητικά προϊόντα είναι αρκούντως ικανοποιητική αν και ένα καλυτέρα αποδεσμευμένο αρχικό υλικό θα μπορούσε να δώσει ακόμα καλύτερες αναλύσεις. Ο βαθμός διαχωρισμού στο πρώτο πέρασμα ήταν 0,46 και στο δεύτερο ήταν 1,21. Οι κατανομές % σε NiO είναι 89.4, 10, 0.4 και 0.1 στο μαγνητικό 1, 2, 3 και μη μαγνητικό προϊόν αντίστοιχα. Στη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, στα δυο πρώτα μαγνητικά προϊόντα φαίνεται ότι υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό από κόκκους συνδετικού υλικού, στο τρίτο μαγνητικό προϊόν φαίνεται να έχουν συμπαρασυρθεί και κάποιοι κόκκοι χαλαζία. Τέλος στο μη μαγνητικό προϊόν παρατηρείται μόνο χαλαζιακό υλικό.

Στο κλάσμα -1.00 +0.250 mm ο διαχωρισμός είναι καλύτερος σε σχέση με αυτόν που έδωσε ο μαγνητικός διαχωρισμός στο αμέσως μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα. Η ανάλυση του νικελίου είναι 0.90% στο πρώτο μαγνητικό προϊόν, 0.83% στο δεύτερο μαγνητικό προϊόν και 0.55% στο μη μαγνητικό προϊόν. Η ανάλυση 0.90 και 0.83 στα δυο μαγνητικά προϊόντα είναι και σε αυτό το διαχωρισμό αρκούντως ικανοποιητική. Ο βαθμός διαχωρισμού στο πρώτο πέρασμα ήταν 1,80 και στο δεύτερο ήταν 1,26. Οι κατανομές % σε NiO είναι 89, 9.2 και 2 στο μαγνητικό 1, 2 και μη μαγνητικό προϊόν αντίστοιχα. Στη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, στα δυο μαγνητικά προϊόντα υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό από κόκκους συνδετικού υλικού και αιματίτη, στο μη μαγνητικό προϊόν παρατηρείται μόνο χαλαζιακό υλικό.

Στο κλάσμα -0.250 +0.063 mm ο διαχωρισμός είναι ακόμα καλύτερος σε σχέση με αυτόν που έδωσε ο μαγνητικός διαχωρισμός στο αμέσως μεγαλύτερο κοκκομετρικό κλάσμα και γενικά κρίνεται ότι αυτός ο διαχωρισμός είναι ο πιο ικανοποιητικός από όλους. Η ανάλυση του νικελίου είναι 0.90% στο πρώτο μαγνητικό προϊόν, 0.86% στο δεύτερο μαγνητικό προϊόν και 0.27% στο μη μαγνητικό προϊόν. Η ανάλυση 0.90 και 0.86% στα δυο μαγνητικά προϊόντα είναι και σε αυτό το διαχωρισμό ικανοποιητική. Ο βαθμός διαχωρισμού στο πρώτο πέρασμα ήταν 2,68 και στο δεύτερο ήταν 2,62. Οι κατανομές % σε ΝiΟ είναι 91.1, 7.7 και 1.2 στο μαγνητικό 1, 2 και μη μαγνητικό προϊόν αντίστοιχα. Στη μικροσκοπική μελέτη των προϊόντων του διαχωρισμού, στα δυο μαγνητικά προϊόντα μαγνητικό προϊόντα είναι από κόκκους συνδετικού υλικού και αιματίτη, στο μη μαγνητικό προϊόν και αιματίτη, στο μη

Κεφάλαιο 9 Συμπεράσματα

9.1: Συμπεράσματα ορυκτολογικής εξέτασης

- Τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα της περιοχής Nome (B.A. Αλβανία) απαντώνται με μορφή στρώματος πάνω σε υπερβασικά πετρώματα (χαρτσβουργίτες-σερπεντινίτες). Στο ανώτερο τμήμα των εξαλλοιωμένων υπερβασικών πετρωμάτων αναπτύσσεται μια ζώνη σαπρολίτη, η οποία ακολουθείται από ένα λεπτό στρώμα αργιλικού μεταλλεύματος. Στη συνέχεια τα στρώματα αυτά διαδέχεται ένας ορίζοντας πισολιθικού μεταλλεύματος. Τέλος το πισολιθικό μετάλλευμα καλύπτεται από ασβεστόλιθους του Κατωτέρου Κρητιδικού.
- Τα ορυκτολογικά συστατικά που απαντώνται στο σιδηρονικελιούχο μετάλλευμα της περιοχής Nome είναι κυρίως αιματίτης ,γκαιτίτης, χαλαζίας και δευτερευόντως χλωρίτης (κλινόχλωρο, νικελιούχος χλωρίτης), χρωμίτης, λιζαρδίτης, καολινίτης, και ασβεστίτης.
- Τα κυρία ορυκτολογικά συστατικά του μεταλλεύματος ο αιματίτης, ο γκαιτίτης και ο χαλαζίας αλλά και ο χρωμίτης απαντώνται σε διακριτούς κρυστάλλους. Πιο συγκεκριμένα τα σιδηρούχα ορυκτά απαντώνται κυρίως με μορφή σφαιροειδών σωματιδίων, όπως ωοειδή, πισοειδή, πελοειδή και σύνθετα σφαιροειδή. Επίσης συχνά διακρίνεται μια σταδιακή μετάβαση του γκαιτίτη σε αιματίτη, λόγω αφυδάτωσης.
- Οι μεγαλύτερες ποσότητες νικελίου εντοπίζονται στο συνδετικό υλικό του μεταλλεύματος, το όποιο αποτελείται κυρίως από κλινόχλωρο και δευτερευόντως σε πολύ μικρότερο ποσοστό από νικελιούχο χλωρίτη.
- Η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων έδειξε ότι το μετάλλευμα χαρακτηρίζεται από έναν αλλοτριόμορφο ανισοκοκκώδη ιστό και μια ωολιθική-πισολιθική ύφη.

9.2 Συμπεράσματα από τη γεωχημική μελέτη

Η γεωχημική διερεύνηση του μεταλλεύματος έδειξε την αντιστοιχία στην κατανομή των διαφόρων στοιχείων κατά μήκος της τομής. Τα στοιχεία Fe, Ni και Cr παρουσιάζουν θετική συσχέτιση μεταξύ τους, ενώ με το Si αρνητική. Η κατανομή του Fe είναι ακριβώς αντίθετη με αυτή του Si, γεγονός που καταγράφεται στα περισσότερα προφίλ νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του Fe παρατηρούνται στο πισολιθικό μετάλλευμα, ενώ μειώνονται αισθητά στο αργιλικό

μεγαλύτερη, όπως και στο υποκείμενο υπερβασικό πέτρωμα. Το νικέλιο απαντάται κυρίως στα ενδιάμεσα και ανώτερα τμήματα της τομής. Οι συγκεντρώσεις του είναι σχετικά χαμηλές και κυμαίνονται σε ποσοστά γύρω στο 1% κ.β. ΝiO. Σύμφωνα με τους Αλεβίζος κ.α. (2011) αντίστοιχες συγκεντρώσεις νικελίου καταγράφονται συνήθως σε μεταλλεύματα ιζηματογενούς προέλευσης, ενώ διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό από αυτές που απαντώνται σε υπερβασικά πετρώματα καθώς και σε λατερίτες.

9.3.1 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Από τα αποτελέσματα των δοκίμων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού προέκυψε, ότι στα κοκκομετρικά κλάσματα -8+4 mm και -4+1 mm τόσο ο διαχωρισμός, όσο και η αποδέσμευση του μεταλλεύματος δεν έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στο βαρύ κλάσμα -1.00+0.250 mm παρατηρήθηκε ο καλύτερος εμπλουτισμός του μεταλλεύματος, όπου η ανάλυση του νικελίου ανέρχεται σε 0.96% και η ανάκτηση 89% κ.β. αντίστοιχα, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό του πυριτίου οδηγείται στα ελαφρά προϊόντα του διαχωρισμού. Στο κοκκομετρικό κλάσμα -0.250+0.063 mm διαπιστώθηκε μια παρόμοια συγκέντρωση νικελίου στο βαρύ προϊόν που ανέρχεται σε 0.94% και η ανάκτηση 89% κ.β. αντίστοιχα, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό του πυριτίου οδηγείται στα ελαφρά προϊόντα του διαχωρισμού. Στο κοκκομετρικό κλάσμα -0.250+0.063 mm διαπιστώθηκε μια παρόμοια συγκέντρωση νικελίου στο βαρύ προϊόν που ανέρχεται σε 0.94% και η ανάκτηση 89% κ.β. αντίστοιχα. Παρόλα αυτά ένα σημαντικό ποσοστό του νικελίου οδηγείται στο απόρριμμα, γεγονός που υποδηλώνει το χαμηλό βαθμό αποδέσμευσης του μεταλλεύματος. Η μικροσκοπική εξέταση των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων έδειξε πράγματι, ότι ένα μεγάλο ποσοστό κόκκων συνδετικού υλικού έχουν συμπαρασυρθεί στα ελαφριά προϊόντα του διαχωρισμού (απόρριμμα). Από τα παραπάνω προκύπτει, ότι ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός μάλλον δεν είναι η ενδεδειγμένη μέθοδος εμπλουτισμού για το συγκεκριμένο μετάλλευμα.

9.3.2 Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών του μαγνητικού διαχωρισμού προέκυψε, ότι στο κοκκομετρικό κλάσμα -4+1 mm ο διαχωρισμός είναι αρκετά ικανοποιητικός. Το νικέλιο εμπλουτίζεται κυρίως στα μαγνητικά κλάσματα, παρουσιάζοντας μικρές συγκεντρώσεις στο απόρριμμα. Ο καλύτερος εμπλουτισμός του νικελίου πραγματοποιήθηκε στα μαγνητικά προϊόντα των κλασμάτων -1.00+0.250 mm και -0.250+0.063 mm, όπου η ανάλυση του νικελίου ανέρχεται σε 0.90% και 0.90% κ. β. στα μαγνητικά προϊόντα είναι μεν εμπλουτισμένα σε νικέλιο, υπάρχουν όμως σημαντικές ποσότητες πυριτίου, το οποίο θα έπρεπε να μεταφερθεί στο συμπύκνωμα. Η μικροσκοπική εξέταση των δειγμάτων έδειξε, ότι σχεδόν όλοι οι κόκκοι του συνδετικού υλικού έχουν συμπαρασυρθεί στα μαγνητικά προϊόντα.

Η μεγαλύτερη συγκέντρωση νικελίου (1,05% κ.β. NiO) παρατηρήθηκε στο κοκκομετρικό κλάσμα -0.063 mm σε σχέση με τα υπόλοιπα κοκκομετρικά κλάσματα (στο κλάσμα αυτό δεν πραγματοποιήθηκε εμπλουτισμός). Το γεγονός αυτό συνδέεται με την παρουσία του

νικελίου κυρίως σε φυλλοπυριτικά ορυκτά, τα οποία απαντώνται στο συνδετικό υλικό του μεταλλεύματος. Μέσω της διαδικασίας θραύσης και κοσκίνισης οι κόκκοι του συνδετικού υλικού οδηγούνται στο λεπτομερές αυτό κλάσμα.

9.3.3: Γενικά συμπεράσματα από τα αποτελέσματα των διαχωρισμών

Τα αποτελέσματα των διαχωρισμών έδειξαν ότι καλύτερη αποδοτικότητα ως προς τον εμπλουτισμό του νικελίου (Ni) έδωσαν οι μαγνητικοί διαχωρισμοί και συγκεκριμένα αυτοί στο μικρότερο κοκκομετρικό κλάσμα. Στους βαρυτομετρικούς διαχωρισμούς με βαρέα υγρά παρατηρήθηκε ότι ακόμα και στα μικρά κλάσματα οπού υπήρχε καλύτερη αποδέσμευση πολλοί κόκκοι συνδετικού υλικού (που εμπεριέχουν το νικέλιο) συμπαρεσύρονταν στα FLOAT.

9.4: Προτάσεις

 Πραγματοποίηση άλλων μεθόδων εμπλουτισμού ούτως ώστε να βελτιστοποιηθεί ανάκτηση νικελίου από το μετάλλευμα.

<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>

Ελληνικές και Διεθνής πηγές

- Alevizos, G., Muecke, A., 2001. "Erzpetrographisch-mikroanalytische Untersuchung und Genese der sedimentaeren Eisennickel vorkommen von Agios Ioannis und Marmeiko" N. Jb Miner.Abh., vol. 176, pp.67-88.
- Arkaxhiu, F., 2008. "Hekuri dhe nikeli ne Shqiperi" Tirana Australian Code for Mineral Rescources and Ore Reserves, Reporting of Exploration Results, The JORC Code, 2004 Edition.
- Αλεβίζος, Γ., 2001. "Ορυκτολογική-πετρογραφική και γεωχημική μελέτη του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος του κοιτάσματος του Μαρμέικου" Ορυκτός πλούτος, τ. 120, σελ. 33-48.
- Αλεβίζος, Γ. , Σταθογιάννη, Φ., 2008. "Ορυκτολογική-Πετρογραφική και γεωχημική μελέτη του σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος της περιοχής Κομνηνών Βερμίου" Μεταλλειολογικά-Μεταλλουργικά Χρονικά, τ. 1-2, σελ. 61-79.
- Αλεβίζος, Α., Αποστολίκας, Α., Ρεπούσκου, Ε., 2011. "Ορυκτολογική-Πετρογραφική και Γεωχημική εξέταση του Νικελιούχου Λατεριτικού κοιτάσματος του Nome (Β.Α. Αλβανία)" Ορυκτός πλούτος, τ. 161, σελ. 7-21.
- Αλεβίζος, Γ., 2005. "Μικροσκοπία ορυκτών πρώτων υλών και τεχνητών προϊόντων" Σημειώσεις μαθήματος Τεύχος Β, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χάνια.
- Αποστολίκας, Α., Φρογουδάκης, Α., Μαγκλάρος, Ε., 2000. "Νικελιούχα κοιτάσματα στη Δυτική Μακεδονία και προοπτικές" Παρόν και προοπτικές Κοζάνη, τ. Φεβρουαρίου 2000, σελ. 27-30.
- Αποστολίκας, Α., 2009. "Κοιτασματολογία νικελίου" Εκδόσεις ΕΦΥΡΑ, Καστοριά 2009, σελ. 19-58, 86.
- Bard, J.P., 1990. "Microtextures des Roches Magmatiques et Metamorphiques" Masson, Paris, pp. 208.

- Brand, N.W., Butt, CRM, Elias, M., 1998. "Nickel laterites: Classification and features" AGSO Journal of Australian Geology& Geophysics, vol. 17(4), pp. 81-88.
- 11. Ciric, B., 1984. "Complex ophiolitique et formations comparables dans les Dinarides" Mem.Belgrade, vol. 23, pp. 1-44.
- Dalvi, A., Bacon, G., Asborne, R., 2004. "The past and the future of nickel Laterites" PDAC 2004 International Convention, Trade Show and Investors Exchange, vol. March, pp. 7-10.
- Economou-Eliopoulos, M, 2003. "Apatite and Mn, Zn, Co-enriched chromite in Ni-laterites of northern Greece a their genetic significance" Journal of Geolochemical Exploration, vol. 80, pp. 41-54.
- Elias, M. 2002. "Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploitation" Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, vol. special Publication 4, pp. 205-220.
- Filippidis, A., 1997. "Chemical variation of chromite in the Gorgona olivine orthopyroxenite, (Thrace, Greece)" Neuses Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte, vol. 3, pp. 113-130.
- Friedrich, G., Brunemann, H., Wilke, J., 1980. "Chrome-spinel in lateritic soils and ultramafic source rocks" International symposium on the metallogenesis of Mafic and ultramafic complex, National Technical University of Athens, vol. 1, pp. 257-278.
- Ζευγλωτής, Μ. Ν., 1989. "Εισαγωγή στην εξαγωγική μεταλλουργία" Σημειώσεις του μαθήματος, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
- Golightly, J.P., 1981. "Nickelferous laterite deposits" Economic Geology, vol. 75, pp. 710-735.
- Kodra, A. ,Vergely, J. , Gjata, K. ,Bakalli, F. , Godroli, M., 1993. "La formation volcano-sedimentaire du Jurassique superieur: temoin de l'ouverture du domaine ophiolitique dans les Albanides internes" Bull. Soc. Geol. France, vol. 164, pp 61-67.

- Κομνίτσας, Κ., 2005. "Μεταλλουργικές διεργασίες" Σημειώσεις του μαθήματος,
 Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Κωστάκης, Γ., 2005. "Οπτική Κρυσταλλογραφία" Σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Hoxha, M., Boullier, A.M., 1995. "The peridotites of the Kukes ophiolite (Albania): structure and kinematics" Tectonophysics Nancy, France, vol. 249, pp. 217-231.
- 23. Μπόσκος, Ε., Περράκη, Τ., Κολοκοτρώνη, Κ., 1996. "Κατανομή του Νί και του Cr στις ορυκτολογικές φάσεις Fe-Ni-ούχων λατεριτών της Κεντρικής Ευβοίας" Ορυκτός πλούτος, τ. 101, σελ. 9-26.
- 24. Nahon, D.B., 1991 "Introduction to the petrology of soils and chemical weathering" John Wiley, New York, pp. 313.
- 25. Nord, A.G., Annersten, H., Filippidhs, A., 1982. "The cation distribution in synthetic Mg-Fe-Ni olivines" American Mineralogist, vol. 67, pp. 1206-1211.
- 26. Νέου- Συγκούνα, Π., "Εξαγωγική μεταλλουργία-πυρομετελλουργικές και υδρομεταλλουργικές διεργασίες" Σημειώσεις του μαθήματος Ε.Μ.Π., Αθηνά.
- 27. Pamic, J., 1983. "Considerations on the boundary between Iherzolite and hasburgite subprovinces in the Dinarides and northern Hellinides" Ofioliti vol. 8, pp. 153-163.
- 28. Scellmann, W., 1978. "Behaviour of nickel cobalt and chlorium in ferruginous lateritic nickel ores" Bull. Bur. Recherches Geol. Min, sect. II, 3, pp. 275-282.
- 29. Schellman, W., 1982. "Eine neue Lateritdefinition" Geol. Jb., vol. D38, pp. 31-47.
- Σταμπολιάδης, Η., 2008. "Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων" Χανιά, σελ. 107-115, 133-141.
- 31. Turku, I., 1987. "Metamorphites from the Kukes ultramafic massif" Ofioliti, vol. 12, pp. 137-150.

- 32. Τζουβελάκης, Κ.Ε., 1981. "Κατεργασία των νικελούχων λατεριτών και η θέση του νικελίου στη παγκόσμια αγορά" Τεχνικά Χρονικά, τ. Ιανουαρίου-Φεβρουαρίου, σελ. 171-185.
- 33. Whiston, C., 1987. "X-ray methods" Chichester: John Wiley and Sons, pp. 300– 302.

Διαδικτυακές πηγές

- 34. Site/ insg.org
- 35. Site/ larco.gr/el.nickel.php
- 36. Site/ Ime.com/nickel_graphs.asp
- 37. Site/ lemtech.com/periodicelements/ni
- 38. Site/ mete.gov.al/upload/nickel.pdf
- 39. Site/ minerals.usgs.gov-us.geological_survey Mineral Comyodity summers January 2006
- 40. Site/ nickelinstitute.org/nickeluseinsociety
- 41. Site/ nickel.vale.com/products (safetry_data_sheet/nickel)
- 42. Site/ scribd.com/doc /122948643/Ελληνικος-ορυκτος-πλουτος-τζεφερης-πετρος
- 43. Site/ http://el.wikipedia.org/wiki/_spearman

Παράρτημα



M 1A - File: d8121114.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.00 Operations: Smooth 0.150 | Import

Poladolis Orioda (1) - Hematile, syn - Fe2O3 - Y: 222.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - b 1.074890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri
 00-033-064 (1) - Hematile, syn - sioparticle, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 179.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.0
 400-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 326.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3
 101-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 367.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta



3A - File: d8121116.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.00 Operations: Smooth 0.150 | Import

Deperations: Smooth 0.150 | import ■00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 178.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.0 ●00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 225.29 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ●00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 334.30 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ●00-033-0564 (N) - Nepouite-2O - (Ni,Mg)3Si2O5(OH)4 - Y: 244.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 5.31000 - b 9.19000 - c 14.50000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90



2-Theta - Scale

M1F - File: d8100846.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Operations: Smooth 0.150 | Import

Operations: 0:100 minuted
 Oper



IS - File: d8100847.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - _____Operations: Smooth 0.150 | Import

00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+30(OH) - Y: 186.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 223.17 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive
 00-033-1064 (*) - Hematite, syn - SiO2 - Y: 318.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 318.31 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive
 00-023-1161 (D) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7010(OH)8 - Y: 367.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (
 00-024-0512 (D) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7010(OH)8 - Y: 367.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.38400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - beta 90.000 - beta



Z2S - File: d8100845.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - _____Operations: Smooth 0.150 | Import



Construction
 C



2-Theta - Scale

 M3F - File: d8100853.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 °

 Operations: Smooth 0.150 | Import

 O-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 108.37 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (
 O-033-0664 (') - Hematite, syn - Fa2O3 - Y: 26.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - O1-039-0664 (') - Hematite, syn - Fa2O3 - Y: 26.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - O1-089-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg2.70Fe0.18Al0.11)(Si1.81Al0.1905)(OH)4 - Y: 3576 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - b 5.31700 - alpha 90.000 - beta 90.000 F00-005-0143 (D) - Kaolinite - Al25205(OH)/4/Al203-2SiO2-2H2O - Y: 24.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.130 - beta 104.800 - gamma 91. O1-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 13.27 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta 97.080



AS - File: d8100852.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - ______
Operations: Smooth 0.150 | Import



2-Theta - Scale

MAF - File: d8100848.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° Operations: Smooth 0.150 | Import

Construction of the second secon



AS - File: d8100851.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Operations: Smooth 0.150 | Import

 O0-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 202.74 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 237.06 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 332.22 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive 01-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 379.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive 01-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 379.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta 90



MIII - File: d8100855.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.885 ° - End: 69.912 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 3.885 ° - Theta: 2.0

Operations: Displacement 0.250 | Smooth 0.150 | Import ■ 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 206.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ● 00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 174.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - gamma 90.000 ● 00-003-0141 (D) - Guartz, syn - SiO2 - Y: 316.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3 ▲ 00-005-0143 (D) - Kaolinite - Al25i2O5(OH)/4/I2O3-2SiO2-2H2O - Y: 137.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.130 - beta 104.800 - gam ▼ 01-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 156.91 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta



M 1MI - File: d8100840.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2. Operations: Smooth 0.150 | Import

■ 00-033-064 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 231.38 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - P ● 00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 193.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - P ● 00-003-0149 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 336.39 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.45530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive -■ 00-024-0512 (D) - Chromite, syn - Fe+2Cr2O4 - Y: 236.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.36400 - b 8.36400 - c 8.36400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-ce ▼ 01-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 172.74 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - gamma 90.000 - 9000 - gamma 90.000 - gamma 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Face-ce



[
]. 2MI - File: d8100856.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.00
 Operations: Smooth 0.150 | Import

■ 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 242.13 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ● 00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+30(OH) - Y: 200.95 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 ● 00-003-0249 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 338.17 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ● 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 338.17 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Prilive - P3 ● 00-024-033-1161 (D) - Chinochlore, chromian 1 Mla-4 - Mg5.1Al1.25GC7.7010(OH)8 - Y: 226.98 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta ● 00-024-0512 (D) - Chromite, syn - Fe+2Cr2O4 - Y: 244.33 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.36400 - b 8.36400 - c 8.36400 - b 8.3



M 1MMII - File: d8100850.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 Operations: Smooth 0.150 | Import

Construction
 Cons



🖾 2MMII - File: d8100858.rav - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2. Operations: Smooth 0.150 | Import

00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 119.57 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3 🕑 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 39.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Prim October 203-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 32.46 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000
 Outber 20.000 - gamma 90.000 - 201-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1Mla-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 44.25 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta 9



🖾 2MII - File: d8100857.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.933 ° - End: 69.951 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 3.933 ° - Theta: 2.0

 Doperation: Displacement 0.146 | Smooth 0.150 | Import
 Doperation: Displacement Displace 🖲 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 337.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3 00-005-0143 (D) - Kaolinite - Al2Si2O5(OH)4/Al2O3-2SiO2-2H2O - Y: 135.22 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.14000 - b 8.93000 - c 7.37000 - alpha 91.130 - beta 104.800 - gam 🔽 01-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1Mla-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 158.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.43500 - alpha 90.000 - beta



2-Theta - Scale

MM3IIR - File: d8130147.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.015 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 25 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2. _____Operations: Smooth 0.150 | Import

■ 00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+3O(OH) - Y: 183.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.0 ● 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 223.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ▲ 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 317.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ▲ 00-032-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 317.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri ▲ 00-032-6275 (C) - Lizardite 1T - (Mg2.70Fe0.18Al0.11)(Si1.814.01.905)(OH)4 - Y: 268.78 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.31700 - b 5.31700 - c 7.31000 - alpha 90.000 - beta ♥ 00-024-0512 (D) - Chromite, syn - Fe+2Cr/204 - Y: 223.94 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cbuic - a 8.36400 - b 8.36400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.00 - Face-cent



 3/3/1 - File: d8100843.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.885 ° - End: 69.912 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 3.885 ° - Theta: 2.000 °

 Operations: Displacement 0.250 | Displacement 0.250 | Smooth 0.150 | Import

■ 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 195.32 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive ● 00-003-0249 (D) - Goethite, syn - alpha-Fe+30(CH) - Y: 164.51 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.64000 - b 10.00000 - c 3.03000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 -● 00-003-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 300.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hoxes - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive P2221 (▲ 00-024-0512 (D) - Chromite, syn - Fe+2C7204 - Y: 215.35 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Cubic - a 8.36400 - b 8.36400 - c 8.36400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Fe-centered -▼ 01-072-1385 (C) - Clinochlore, chromian 1MIa-4 - Mg5.1Al1.2Si3Cr.7O10(OH)8 - Y: 143.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Triclinic - a 5.33800 - b 9.24700 - c 14.33500 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primite - P2.026 - P3.026 - P3



2-Theta - Scale

3/3/M/III - File: d8100849.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.923 ° - End: 69.943 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 3.923 ° - Theta: 2.000 Operations: Displacement 0.167 | Smooth 0.150 | Import

00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 99.05 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (1
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3 - Y: 5.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive 00-05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO3 - Y: 13.82 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive 01-086-0175 (A) - Magnesite, syn - Mg(CO3) - Y: 16.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.63200 - b 4.63200 - c 15.00700 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive 00-036-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO3)2 - Y: 7.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80920 - b 4.80920 - c 16.02000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive -



 MJ3MIII - File: d8100842.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.976 ° - End: 69.986 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 24 s - 2-Theta: 3.976 ° - Theta: 2.000 °
 Operations: Displacement 0.052 | Smooth 0.150 | Import

 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO2 - Y: 156.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (

Construction
 Construction

Περιεκτικότητα των κλασμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού σε MgO, AI_2O_3 , Cr_2O_3 , και CoO









Κατανομή των MgO, Al₂O₃ , Cr₂O₃, και CoO του βαρυτομετρικού διαχωρισμού








Περιεκτικότητα των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού σε MgO, Al2O3, Cr2O3 και CoO

















Κατανομή των MgO, Al₂O₃, Cr₂O₃ και CoO των κλασμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού















Κατανομή CoO% -0.250 +0.063

