

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή Ηλία Σταμπολιάδη.

Η εργασία αυτή είχε σκοπό την ανάκτηση χρυσού από προσχωματικές εμφανίσεις με τη μέθοδο του βαρυτομετρικού διαχωρισμού και σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τη μέθοδο ανάκτησης χρυσού με κυάνωση. Η μέθοδος ανάκτησης με βαρυτομετρικό διαχωρισμό είναι φιλική προς το περιβάλλον σε αντίθεση με την κυάνωση που φαίνεται να επιφέρει βλαβερές επιπτώσεις σε αυτό.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου για την πολύτιμη βοήθειά του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και για τις συμβουλές σε ότι αφορά τα δείγματα που εξετάστηκαν σε αυτή τη διπλωματική εργασία. Ευχαριστώ ακόμα τον Λέκτορα κ. Γεώργιο Αλεβίζο για την βοήθειά του στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της «Περιθλασιμετρίας Ακτίνων –X» και για την αξιολόγηση αυτής της εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ. Όλγα Παντελάκη, επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων, για τη βοήθειά της στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Δέσποινα Πεντάρη, χημικό, για την βοήθειά της στις χημικές αναλύσεις χρυσού με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την πολύτιμη στήριξη που μου έδειξαν στη διάρκεια των σπουδών μου. Ευχαριστώ πολύ τις φίλες μου Παγώνα Μακρή και Ουρανία Τζωράκη για τη συμπαράσταση τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους μου που με ενθάρρυναν ακόμα και στις δύσκολες στιγμές των φοιτητικών μου χρόνων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία περιλαμβάνει τη διερεύνηση της δυνατότητας ανάκτησης χρυσού με βαρυτομετρική μέθοδο διαχωρισμού και τη μέθοδο της κυάνωσης καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Εξετάστηκαν συνολικά τρία δείγματα, από τα οποία τα δύο ήταν ψαμμιτικές μάργες του Νεογενούς από την περιοχή του Νομού Χανίων και το ένα δείγμα ήταν ψαμμίτης από τον φλύσχη των εξωτερικών Ελληνίδων από την περιοχή του Νομού Άρτας.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε θραύση των αρχικών δειγμάτων σε μέγεθος -1,00 mm. Με τη χρήση του υδροκυκλώνα αφαιρέθηκαν τα ψιλά τεμαχίδια και έτσι προέκυψαν δύο κοκκομετρικά κλάσματα, U/F και O/F, για καθένα από τα τρία δείγματα. Στη συνέχεια έγινε κοκκομετρική ανάλυση σε όλο το δείγμα και στο κλάσμα -1000 +53 μm πραγματοποιήθηκε βαρυτομετρικός διαχωρισμός με τη χρήση βαρέως υγρού πυκνότητας 2,80 g/ml με σκοπό τον προσδιορισμό των βαρέων ορυκτών από τα οποία αποτελούνται τα αρχικά δείγματα. Στα αρχικά δείγματα έγιναν χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς τους σε χρυσό.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κυάνωσης στο ψιλό κοκκομετρικό κλάσμα του υδροκυκλώνα (O/F) και των τριών δειγμάτων, με προσθήκη στον πολφό ενεργού άνθρακα. Οι δοκιμές αυτές έγιναν με σκοπό τον προσδιορισμό της πραγματικής ανάκτησης του περιεχομένου χρυσού στα δείγματα αυτά. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις τόσο στον ενεργό άνθρακα όσο και στα υπολείμματα των κυανώσεων.

Πραγματοποιήθηκαν ακόμα δοκιμές φυγοκεντρικού διαχωρισμού στα δείγματα και από τις δυο περιοχές. Για τον προσδιορισμό των βέλτιστων συνθηκών κάτω από τις οποίες θα γινόταν ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χρησιμοποιήθηκε δείγμα ασβεστόλιθου και χρωμίτη γνωστής σύστασης και ίδιας κοκκομετρίας με τα προς εξέταση δείγματα. Το δείγμα θραύτηκε και με τη χρήση υδροκυκλώνα αφαιρέθηκαν τα ψιλά σωματίδια. Στο χονδρό κλάσμα (U/F) έγινε κοκκομετρική ανάλυση και το δείγμα χωρίστηκε σε τρία κοκκομετρικά κλάσματα (+150 μm , +75 μm , -75 μm). Σε καθένα από τα τρία αυτά κλάσματα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές βαρυτομετρικού

διαχωρισμού σε διαφορετικές συνθήκες πίεσης και στροφών. Με τη χρήση μαγνητικού διαχωριστή έγινε διαχωρισμός των μαγνητικών και των μη μαγνητικών συστατικών των προϊόντων και των απορριμμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, για τον προσδιορισμό κατανομής χρωμίτη σε κάθε προϊόν αντί για χημική ανάλυση.

Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών καθορίστηκαν οι συνθήκες λειτουργίας του βαρυτομετρικού διαχωριστή για τα τρία αρχικά δείγματα χρυσού.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν δοκιμές βαρυτομετρικού διαχωρισμού με σκοπό τη μηχανική ανάκτηση του χρυσού. Στα προϊόντα και στα απορρίμματα του διαχωρισμού αυτού έγιναν χημικές αναλύσεις για τον προσδιορισμό του περιεχόμενου χρυσού.

Γενικά συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών ανάκτησης χρυσού με την κυάνωση και την χρήση φυγοκεντρικού διαχωριστή συμπεραίνουμε ότι με τη μέθοδο της κυάνωσης υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης.

Λόγω της φύσεως των δειγμάτων όπου ο χρυσός βρίσκεται σε ελεύθερους κόκκους σε πολύ μικρή περιεκτικότητα παρατηρήθηκαν σοβαρές αποκλίσεις στα ισοζύγια των δοκιμών εμπλουτισμού.

Από τα εξετασθέντα δείγματα φαίνεται ότι το δείγμα από τον Νομό Χανίων είναι πολύ φτωχότερο από αυτό του Νομού Άρτας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελίδα
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΧΡΥΣΟΥ	3
1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΥΣΟ	3
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ	3
1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ	4
1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	5
1.4 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	5
1.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΦΛΟΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ	6
1.5.1 Ο χρυσός σε ιζηματογενή πετρώματα	6
1.6 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	7
1.7 Μέθοδοι ανάκτησης του Χρυσού	9
1.7.1 Μέθοδοι ανάκτησης του ελεύθερου χρυσού	10
1.8 οικονομικά στοιχεία για τον χρυσο	12
ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	14
2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	14
2.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ	14
2.2 ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ	14
2.2.1 Φλύσχης Ιονίου Ζώνης	17
2.3 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	17
2.4 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ	20
2.4.1 Αλλουβιακά κοιτάσματα ή κοιτάσματα ποταμίων αποθέσεων	21
2.4.2 Αλλουβιακά ή προσχωματικά κοιτάσματα χρυσού	21
ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΦΥΟΥΣ ΧΡΥΣΟΥ	23
3.1 ΚΥΑΝΩΣΗ	23
3.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ	23
3.1.2 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΥΑΝΩΣΗΣ	24
3.1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΜΕ ΚΥΑΝΙΟ	26
3.1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΑΠΟ ΚΥΑΝΙΟΥΧΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ	29
3.1.4.α Καταβύθιση των κυανιόντων με ψευδάργυρο	29
3.1.4.β Προσρόφιση σε ενεργό άνθρακα	32
3.1.4.γ Η CIP διαδικασία	33
3.1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΥΑΝΙΟΥΧΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	34
3.2 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	40
3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ	40
3.2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	41
3.2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ	43
3.2.3.α Βαρυτομετρικοί Διαχωριστές	46
3.2.3.β Φυγοκεντρικοί Συγκεντρωτές	47
ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ	49
4.1 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-Χ(XRD)»	49

4.2 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ»	51
4.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ.....	53
4.4 ΠΥΡΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΚΤΗΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΥΣΟΥ	54
4.5 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ FALCON ΜΟΝΤΕΛΟ SB40	58
4.5 ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ.....	59
4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΥΑΝΙΟΥ	59
ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	62
5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	62
5.1.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ +0.053 ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	64
5.1.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	65
5.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΥΑΝΩΣΗΣ	75
5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ NaCN.....	76
5.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΙΜΟΥ ΧΡΥΣΟΥ	76
5.2.3 Αξιολογήση αποτελεσμάτων	78
5.3 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ	79
5.3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ.....	80
5.3.1.α Προετοιμασία Δείγματος Χρωμίτη Ασβεστόλιθου	80
5.3.1.β Δοκιμές Δείγματος Χρωμίτη- Ασβεστόλιθου στο Φυγοκεντρικό Διαχωριστή	82
5.3.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ	93
5.3.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΧΡΥΣΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ	94
5.3.6 ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ.....	99
5.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	101
5.4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΥΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ.....	101
5.4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΧΡΥΣΟΥ	102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χρυσός είναι ένα από τα πολυτιμότερα μέταλλα και έχει συμβάλλει στην οικονομική και πολιτιστική ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Πιθανόν να είναι από τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο, εξαιτίας της εμφάνισής του και σε ελεύθερη μορφή.

Ανάλογα με τη μορφή που εμφανίζεται ο χρυσός στα κοιτάσματα χρησιμοποιούνται και διαφορετικές μέθοδοι ανάκτησης του.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος ανάκτησης χρυσού είναι η κυάνωση. Σύμφωνα με αυτή ο χρυσός και άλλα πολύτιμα μέταλλα διαλύονται σε διάλυμα κυανιούχου νατρίου, διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα στερεά και ανακτώνται από το υδάτινο διάλυμα σε συμπυκνωμένη μορφή. Στην περίπτωση που ο χρυσός δεν είναι αυτοφυής αλλά εμπεριέχεται σε άλλα ορυκτά, τότε η ανάκτησή του επιτυγχάνεται μόνο μετά την απελευθέρωση αυτού με απόσπαση από το αντίστοιχο πλέγμα του ορυκτού. Πρακτικά αυτό επιτυγχάνεται μέσα από πυρομεταλλουργικές και υδρομεταλλουργικές διεργασίες και στη συνέχεια ο απελευθερωμένος χρυσός ανακτάται με κυάνωση. Οι παραπάνω αναφερόμενες τεχνικές απαιτούν στενό έλεγχο λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργεί η χρήση του κυανίου. Σήμερα εμφανίζονται ισχυρές αντιδράσεις από τους κοινωνικούς φορείς, κυρίως των κοντινών της περιοχής εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων, για την ανάκτηση χρυσού με τη μέθοδο της κυάνωσης.[Σταμπολιάδης, 2002]

Άλλη μέθοδος ανάκτησης χρυσού είναι ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός. Νέες εξελίξεις στην τεχνολογία βαρυτομετρικού διαχωρισμού μπορούν να επιτρέψουν ανάκτηση πολύ λεπτών σωματιδίων ελεύθερου χρυσού σε μεγέθη που δεν ήταν δυνατόν να ανακτηθούν από τα παραδοσιακά μοντέλα μηχανημάτων. Αυτό οφείλεται στην δημιουργία ρευστοποιημένου στρώματος κάτω από ένα ισχυρό βαρυτικό πεδίο της τάξης 200 G που δημιουργείται από φυγοκεντρικές δυνάμεις. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η ανάκτηση λεπτόκοκκου χρυσού από προσχωματικά κοιτάσματα. [Σταμπολιάδης, 2002]

Μελετήθηκαν δείγματα από σχηματισμούς του Νεογενούς της Δ. Κρήτης διότι η ύπαρξη μεταμορφωμένων πετρωμάτων του Φυλλιτικού καλύμματος που περιέχει και μεταμορφωμένα βασικά ηφαιστειακά πετρώματα δημιουργούν προϋπόθεση ύπαρξης συγκεντρώσεων πρωτογενούς χρυσού.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η μελέτη της δυνατότητας ανάκτησης του χρυσού από δείγματα αυτής της περιοχής με χρήση μηχανημάτων βαρυτομετρικού διαχωρισμού που χρησιμοποιούν φυγοκεντρικές δυνάμεις. Επίσης προσχωματικός χρυσός έχει βρεθεί και στην περιοχή της Άρτας. Η βαρυτομετρική ανάκτηση χρυσού από προσχωματικά κοιτάσματα είναι μια μέθοδος που δεν επιφέρει βλαβερές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελείται συνολικά από 5 ενότητες. Η δομή της έχει ως εξής:

- Η πρώτη ενότητα αναφέρεται σε γενικά στοιχεία για το χρυσό.
- Στη δεύτερη ενότητα περιγράφεται η γεωλογική δομή της Κρήτης καθώς και η γεωλογική δομή της περιοχής της Άρτας από όπου έγινε και η δειγματοληψία.
- Στην τρίτη ενότητα περιγράφονται οι μέθοδοι ανάκτησης του χρυσού.
- Η τέταρτη ενότητα αναφέρεται στις πειραματικές διεργασίες και τεχνικές που πραγματοποιήθηκαν κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.
- Τέλος, η πέμπτη ενότητα περιλαμβάνει το πειραματικό κομμάτι της διπλωματικής αυτής εργασίας και τα αντλούμενα συμπεράσματα.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΧΡΥΣΟΥ

1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΧΡΥΣΟ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Ο χρυσός είναι το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο. Πολλοί πιστεύουν ότι ο σίδηρος και ο χαλκός συνέβαλλαν στην οικονομική ανάπτυξη και στην εξέλιξη του πολιτισμού, αλλά ο χρυσός ανακαλύφθηκε πρώτα. Οι μέθοδοι με τις οποίες λαμβάνεται, το χρώμα του, η σταθερότητα και η σπανιότητά του τον καθιστούσαν πάντοτε ως ένα από τα καλύτερα σπάνια μέταλλα.

Ο χρυσός ήταν πάντα ένα ισχυρό μέταλλο και αποτελεί βασικό στοιχείο σε όλους σχεδόν τους αρχαίους πολιτισμούς λόγω της συσχέτισής του με τους Θεούς, την αθανασία και την ευημερία. Προγενέστεροι πολιτισμοί εξομοίωσαν τον χρυσό με τους Θεούς και τους άρχοντες και ο χρυσός αναζητήθηκε στο όνομά τους και αφοσιωνόταν στη εξύμνησή τους. Οι άνθρωποι σχεδόν διαισθητικά έδωσαν υψηλή αξία στον χρυσό εξισώνοντάς τον με τη δύναμη, την ομορφιά και την κοινωνική καταξίωση.

Στα αρχαία χρόνια βωμοί, είδωλα, πιάτα, ποτήρια, βάζα και αγγεία καθώς και κοσμήματα ήταν φτιαγμένα από χρυσό. Στην Τροία κρύβονται θησαυροί που περιέχουν μεγάλες ποσότητες χρυσού και χρονολογούνται από το 2450-2600 π.Χ. Ήταν μια εποχή που εκτιμήθηκε ιδιαίτερα ο χρυσός αλλά ακόμα δεν είχε χρησιμοποιηθεί στη κοπή κοσμημάτων. Χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή αντικειμένων λατρείας και για να διακοσμή ιερούς ναούς.

Ακόμη και πριν χρησιμοποιηθεί ο ίδιος σαν χρήμα, ο χρυσός είχε μεγάλη αξία για τους ανθρώπους. Αυτό αποδεικνύεται από τις εξαιρετικές προσπάθειες που καταβάλλονταν για να τον αποκτήσουν. Η χρήση του χρυσού ως χρήμα εμφανίστηκε περίπου το 700 π.Χ. όπου αυξήθηκε και η αξία του. Ο χρυσός κομμένος σε κοσμήματα διευκόλυνε τις συναλλαγές και κατέστησε το εμπόριο στην κλασική περίοδο ευκολότερο.

Ο χρυσός ήταν χρήμα και στην Αρχαία Ελλάδα. Οι Έλληνες διακίνησαν τον χρυσό σε όλες τις περιοχές της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής από το 550 π.Χ. Ο Πλάτωνας και ο Αριστοτέλης έγραψαν για τον χρυσό και ανέπτυξαν θεωρίες για την προέλευσή του. Ο χρυσός συνδέθηκε με το νερό, αφού το μεγαλύτερο μέρος του βρέθηκε σε ρεύματα, και αναπτύχθηκε η θεωρία ότι ο χρυσός είναι ένα πυκνό διάλυμα νερού και φωτός του ηλίου. Η επιστήμη τους μπορεί να είχε αναπτυχθεί σε αρχικό στάδιο αλλά οι Έλληνες ήξεραν πρακτικές μεθόδους για την μεταλλουργία του χρυσού. Ακόμα από τα ελληνικά χρυσά κειμήλια και κοσμήματα που βρέθηκαν εξακριβώνετε θαυμάσια καλλιτεχνία.

Η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία προήγαγε την αναζήτηση για τον χρυσό. Οι Ρωμαίοι προώθησαν την επιστήμη εξόρυξης του χρυσού. Κατασκεύασαν φράγματα για να αποκλίνουν το ρεύμα του ποταμού και να συλλέγουν χρυσό. Επίσης εξόρυσσαν χρυσό και από υπόγεια ορυχεία κατασκευάζοντας συστήματα άντλησης νερού. Ακόμα με πυρομεταλλουργικές μεθόδους διαχώριζαν τον χρυσό από το υπόλοιπο μετάλλευμα.

Γενικότερα ο χρυσός σε τυποποιημένα νομίσματα επέτρεψε την παγκόσμια οικονομία να επεκταθεί και να ευημερήσει. Κατά τη διάρκεια της Ελληνικής και Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας στη Δύση, ο χρυσός χρησιμοποιήθηκε για εμπορικούς σκοπούς στην Ινδία και στην Κίνα. [www.onlygold.com]

1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ

Η σημαντικότερη χρήση του χρυσού είναι νομισματικοί λόγοι. Μεγάλες ποσότητες του μετάλλου αυτού διατηρούνται στις κρατικές τράπεζες σαν αντίκρισμα στην κοπή χαρτονομίσματος. Άλλη σημαντική χρήση του χρυσού, είναι η διακοσμητική και κυρίως η κοσμηματοποιία. Στην κοσμηματοποιία, επειδή ο χρυσός είναι πολύ μαλακός χρησιμοποιείται μαζί με άλλα μέταλλα και η καθαρότητά του προσδιορίζεται σε καράτια. Ένα καράτι είναι ισοδύναμο με ένα μέρος του χρυσού στα 24 μέρη της χρησιμοποιούμενης ένωσης. Επίσης το καράτι σαν μονάδα βάρους των πολύτιμων μετάλλων είναι ίσο με 0.2 g.

Άλλες χρήσεις του χρυσού είναι στη διακόσμηση πορσελανών, στο δέσιμο των βιβλίων, στην οδοντοτεχνική, στη χημική βιομηχανία κ.α. Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιούνται λεπτά φύλλα χρυσού. Μια ουγκιά χρυσού επαρκεί για την κάλυψη επιφάνειας 10 m^2 . [Σκουνάκης, 1993]

1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Ο χρυσός είναι πολύτιμο μέταλλο και χημικό στοιχείο της ομάδας I_b του περιοδικού συστήματος κατά Medelejef, με σύμβολο Au (augum), ατομικό αριθμό 79 και ατομικό βάρος 196,9665,. Έχει ένα σταθερό ισότοπο το, το Au^{197} .

Είναι μέταλλο εύπλαστο, πολύ βαρύ και δύστηκτο, με λαμπρό κίτρινο χρώμα. Είναι το πιο ελατό και όλκιμο από όλα τα μέταλλα. Μπορεί να εξελαθεί σε φύλλα πάχους $0,0001 \text{ mm}$, διαμέσου των οποίων διέρχεται φως με πρασινωπή χροιά. Μπορεί επίσης να τραβηχτεί σε σύρμα, που ζυγίζει 1 γραμμάριο ανά 2 χλμ. μήκους. Έχει σκληρότητα 2 της κλίμακας Mohs. Είναι καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Η πυκνότητά του (στους 20^0 C) είναι $19,32 \text{ gr/cm}^3$, το σημείο τήξης 1064^0 C και το σημείο βρασμού 2947^0 C . Σε κατάσταση τήξης έχει πράσινο χρώμα, ενώ στην αέρια έχει χρώμα κυανό. Ο θερμικός συντελεστής γραμμικής διαστολής είναι $14,2 \cdot 10^{-6}$ ($0-100^0 \text{ C}$), η ειδική θερμική αγωγιμότητα $311,48 \text{ watts/m. } ^0\text{K}$, η ειδική θερμότητα $132,3 \text{ joules/kg } ^0\text{K}$. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι $2,25 \cdot 10^{-8} \text{ ohm/m}$ (20^0 C) και ο συντελεστής θερμοκρασίας της ηλεκτρικής αντίστασης $0,00396$ ($0-100^0 \text{ C}$). Ο συντελεστής ελαστικότητας είναι $79 \cdot 10^3 \text{ Kp/mm}^2$. Για το σκληρυμένο χρυσό η δύναμη τάσης είναι $10-14 \text{ Kp/mm}^2$ και η σχετική επιμήκυνση $30-50\%$. Μετά από κρύα πλαστική παραμόρφωση, η δύναμη τάσης αυξάνει σε $27-34 \text{ Kp/mm}^2$. [www.onlygold.com]

1.4 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Ο χρυσός στα πρωτογενή κοιτάσματα συναντάται συνήθως με θειούχα μεταλλεύματα από τα οποία παραλαμβάνεται σαν παραπροϊόν. Επίσης σαν παραπροϊόν παραλαμβάνεται από τα κοιτάσματα πορφυρικού χαλκού, από τα συμπαγή θειούχα μεταλλεύματα υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας και από ορισμένα υδροθερμικά

κοιτάσματα Pb-Zn. Τέλος στη Δυτική Αυστραλία παραλαβή χρυσού γίνεται από βωξίτες και νικελιούχους λατερίτες.

Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η διάσπαρτη υδροθερμική μεταλλοφορία Au-Ag σε ηφαιστειακές εκχύσεις και πυροκλαστικά πετρώματα. Η μεταλλοφορία αυτή συναντάται σε εξαλλοιωμένους ρυόλιθους, ανδεσίτες ή βασάλτες με περιεκτικότητα 0,1-1,00 ppm σε Au.

Οι σημαντικότερες κατηγορίες των κοιτασμάτων χρυσού είναι:

1. Μετασώματος επαφής. Κοίτασμα Cable Montana Η.Π.Α., Hedley Βρετανική Κολομβία.
2. Υδροθερικά αντικατάστασης. Black Hills Nevada Η.Π.Α.,
3. Υδροθερικά πλήρωσης. Κοιτάσματα Mother Lode Η.Π.Α., Kalgoorlie Αυστραλίας.
4. Προσχωματικά (placer). Witwatersrand Ν. Αφρική, California Η.Π.Α.

[Σκουνάκης, 1993]

1.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΟΝ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΦΛΟΙΟ ΤΗΣ ΓΗΣ

Η διανομή του χρυσού στη λιθόσφαιρα αφορά αυστηρά τα πρότυπα για τις αποθέσεις του μεταλλεύματος. Είναι σημαντικό να είναι γνωστή η μέση συγκέντρωση χρυσού στους διάφορους τύπους πετρωμάτων της λιθόσφαιρας καθώς και σε τι συγκεντρώσεις εμφανίζονται στην ορυκτογένεση.

1.5.1 Ο χρυσός σε ιζηματογενή πετρώματα

Μεγάλο ποσοστό του παγκόσμιου αποθέματος χρυσού έχει εξορυχτεί από Προκάμβρια κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα. Το αρχαιότερο παράδειγμα, η λεκάνη Witwatersrand, στη Ν. Αφρική, η οποία έχει συγκέντρωση χρυσού 8 ppm. Ακόμα, αποθέματα χρυσού υπάρχουν στην Βραζιλία και στην Γκάνα με περιεκτικότητες από 8-15 ppm και 1,5-9 ppm αντίστοιχα.

Από δεδομένα που έχουν δημοσιευθεί σχετικά με τη συγκέντρωση χρυσού σε ιζηματογενή πετρώματα προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Από τις σημαντικότερες κατηγορίες ιζηματογενών πετρωμάτων (κροκαλοπαγή/ ψαμμίτης, αργιλικός σχιστόλιθος και ασβεστόλιθος) οι υψηλότερες συγκεντρώσεις βρίσκονται σε χονδρόκοκκα έως μεσαίας κοκκομετρίας θραυσματοπαγών πετρωμάτων.
- Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι έχουν συγκεντρώσεις χρυσού συγκρίσιμες με τα πυριγενή πετρώματα και απεικονίζουν πιθανώς τον περιεχόμενο χρυσό του εξωτερικού φλοιού της γης περισσότερο από άλλες σημαντικές κατηγορίες ιζηματογενών πετρωμάτων.
- Οι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις χρυσού από οποιοδήποτε άλλο ιζηματογενές πέτρωμα, παρόλο που η διαφορά όσον αφορά τους αργιλικούς σχιστόλιθους είναι μόλις 17%.
- Προκάμβριοι σχηματισμοί σιδήρου και σιδηρούχα ιζηματογενή πετρώματα έχουν μεταβλητές τιμές στη συγκέντρωση σε χρυσό. Μερικά σουλφίδια-πλούσιοι τύπο- υπερβαίνουν τα 100 ppb. Οξειδία –πλούσια πετρώματα- έχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις και εμφανίζουν να επηρεάζονται από τα περιβάλλοντα πετρώματα.

[Foster, 1993]

1.6 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Ο χρυσός στον Ελλαδικό χώρο εμφανίζεται σε πρωτογενή κοιτάσματα σαν αυτοφυής μαζί με χαλαζία, σε ενώσεις με το τελλούριο και με τη μορφή εγκλεισμάτων ή σαν υποκαταστάτης στο πλέγμα των ορυκτών σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης και αρσеноπυρίτης.

Εμφανίσεις πρωτογενούς χρυσού συναντώνται:

1. Στο Παγγαίον, της Ανατολικής Μακεδονίας, όπου οι χαλαζιακές φλέβες με σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη περιέχουν 0,7-2 g/t. Τοπικά συναντώνται αυξημένες περιεκτικότητες.
2. Στην περιοχή Άγγιστρον, όπου οι φλέβες σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη και πυρροτίνη περιέχουν 0,02-8 g/t χρυσό.
3. Στα κοιτάσματα μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων των μεταλλείων Κασσάνδρας, και ιδιαίτερα στο κοίτασμα Ολυμπιάδας, όπου η συμμετοχή του χρυσού στο πλέγμα του αρσενικούχου σιδηροπυρίτη κυμαίνεται από 7-20 g/t.
4. Στις εμφανίσεις των θειούχων μεταλλευμάτων της περιοχής Ποντοκερασιά Κιλκίς συναντάται χρυσός σε περιεκτικότητα 1-2 g/t. Ανάλογες περιεκτικότητες έχουν διαπιστωθεί και σε χαλαζιακές φλέβες στην οροσειρά των Κρουσίων.
5. Στην περιοχή Καλιανοί Καρύστου της Εύβοιας συναντάται χρυσός με μεικτά θειούχα σε χαλαζιακές φλέβες.

Δευτερογενείς εμφανίσεις χρυσού συναντώνται:

1. Στην περιοχή Νιγρίτας σε αποθέσεις του Τεταρτογενούς κατά τη ροή του ποταμού Στρυμόμα.
2. Στην περιοχή Λαγκαδά στα χωριά Κολχικό, Ασηρός και Χρυσανγή, έχει διαπιστωθεί η παρουσία χρυσού μέσα σε άμμους.
3. Στο Γαλλικό ποταμό όπου οι χρυσοφόρες προσχώσεις εκτείνονται σε μήκος 60 km. Στην περιοχή αυτή γινόταν εκμετάλλευση χρυσού μέχρι το 1960 με μηνιαία παραγωγή 30-40 kg. Η περιεκτικότητα σε χρυσό των προσχώσεων του Γαλλικού εκτιμάται σε 0.35 g/m².
4. Στην περιοχή των Σερβίων Κοζάνης ο χρυσός συναντάται σε νεογενή ιζήματα, σε κορήματα και σε προσχώσεις. Αναφέρονται περιεκτικότητες 0.02-0.5 g/t.
5. Στα Βαρδούσια έχει διαπιστωθεί η παρουσία χρυσού σε ορισμένους ορίζοντες του φλύσχη.

[Σκουνάκης, 1993]

Για να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμη μία εμφάνιση χρυσού πρέπει τα έσοδα από την πώλησή του να υπερβαίνουν τα έξοδα για τον εντοπισμό την εξόρυξη, την μεταλλουργία, την αποκατάσταση περιβάλλοντος και τις χρηματοοικονομικές δαπάνες. Τα έσοδα επίσης εξαρτώνται από την ποσότητα και την τιμή του μετάλλου, ενώ οι δαπάνες από τον τύπο της μεταλλοφορίας, την υπάρχουσα τεχνολογία, την περιεκτικότητα σε μέταλλο.

Λίγες γνωστές εμφανίσεις χρυσού πληρούν τις συνθήκες αυτές και αυτός είναι ένα λόγος που η αναζήτηση του χρυσού αποτελούσε ανέκαθεν αντικείμενο έρευνας [Σταμπολιάδης, 2001].

1.7 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ

Τα μεταλλεύματα χρυσού περιέχουν λίγα g/t του μετάλλου αυτού. Οι ορυκτολογικές μελέτες που σχετίζονται με τα μεταλλεύματα χρυσού περιλαμβάνουν διερεύνηση των ορυκτολογικών χαρακτηριστικών τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά έχουν σημασία για την έρευνα εντοπισμού κοιτασμάτων, τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος και τις τεχνικές που πρέπει να εφαρμοστούν για την ανάκτησή του. Η ορυκτολογική μελέτη παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της μεθόδου ανάκτησης του χρυσού με τεχνικές επίπλευσης ή βαρυτομετρικά ή με έκπλυση. Ο στόχος των εμπλουτιστών και μεταλλουργών είναι η μέγιστη δυνατή ανάκτηση του χρυσού που περιέχεται στο μέταλλευμα. Στην κατεύθυνση αυτή ο ρόλος του κοιτασματολόγου είναι κρίσιμος και η εμπειρία δείχνει ότι σε πολλές περιπτώσεις είναι ο κρισιμότερος παράγοντας για την εκμετάλλευση ορισμένων κοιτασμάτων χρυσού. Τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά που επιδρούν στην ανάκτηση χρυσού συνοψίζονται στα εξής:

1. Το είδος των ορυκτών που περιέχουν το χρυσό και η σύνδεσή τους με μεταλλικά ή μη μεταλλικά ορυκτά.
2. Η παρουσία του χρυσού σε μία από τις παρακάτω μορφές:
 - ελεύθερη μορφή: Ανεξάρτητοι κόκκοι καθαρού χρυσού ή σε κράμα με άλλα μέταλλα, συνήθως άργυρο
 - «μη ορατούς»: Ο όρος έχει εισαχθεί για να δηλώνει ίχνη χρυσού, τα οποία είτε βρίσκονται με μορφή στερεών διαλυμάτων σε ένα ορυκτό,

είτε σαν έγκλεισμα καθαρού χρυσού με μέγεθος μικρότερο από 1000 Α.

Ο περιεχόμενος χρυσός σε ένα δείγμα είναι το σύνολο του «ελεύθερου» και του «μη ορατού» χρυσού. Ενώ ο ελεύθερος χρυσός μπορεί να εντοπιστεί σε ένα δείγμα με μία παρατήρηση σε συμβατικό μικροσκόπιο ή σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, ο μη ορατός χρυσός εντοπίζεται με σημειακή ανάλυση με ειδική αναλυτική τεχνική. Με την τεχνική αυτή προσδιορίζονται περιεκτικότητες της τάξης των ppb. Κατά συνέπεια μια απλή χημική ανάλυση του μεταλλεύματος δεν είναι αρκετή για την εφαρμογή μιας μεθόδου μεταλλουργικής κατεργασίας, εφόσον δεν περιλαμβάνει διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο ο χρυσός εμφανίζεται στο μέταλλευμα. Συνήθως, η συστηματική διερεύνηση της ορυκτολογικής σύστασης και των ιστών που σχετίζονται με την παρουσία του χρυσού είναι ακριβέστερες όταν γίνονται σε εμπλουτισμένα δείγματα. Η ορυκτολογική εξέταση χρυσοφόρων δειγμάτων και προϊόντων εμπλουτισμού γίνεται με μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης. Τα αποτελέσματα της επί τοις εκατό συμμετοχής των διαφόρων μορφών εμφάνισης χρυσού στο δείγμα παρουσιάζονται με τη μορφή ενός διαγράμματος τύπου πίτας. Επίσης παρουσιάζεται διαγραμματικά η κατανομή μεγέθους κόκκων σε κάθε δείγμα.

3. Ο τρόπος σύμφυσης των ελεύθερων κόκκων χρυσού με άλλα ορυκτά του μεταλλεύματος.
4. Η αναλογία των ορυκτών τα οποία είναι διαλυτά σε αλκααλικά κυανιούχα διαλύματα (αυτοφυής χρυσός, ήλεκτρο).
5. Η αναλογία του χρυσού σε τελλουρίδια.

[Σκαρπέλης, 2002]

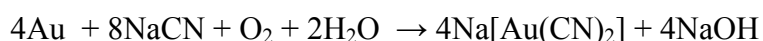
1.7.1 Μέθοδοι ανάκτησης του ελεύθερου χρυσού

Οι κυριότερες μέθοδοι ανάκτησης του ελεύθερου χρυσού είναι:

1. Βαρυτομετρική: Εκμεταλλεύεται τη μεγάλη διαφορά του ειδικού βάρους του χρυσού (20 g/cm^3) σε σχέση με τα συνυπάρχοντα ορυκτά (2.5 έως 3 g/cm^3). Η μέθοδος αυτή στοχεύει να ανακτήσει το ανδρομερές κλάσμα του χρυσού,

το οποίο προορίζεται κατευθείαν για τήξη και να οδηγήσει το λεπτομερές για κύανωση.

2. Αμαλγαμοποίηση: Η μέθοδος χρησιμοποιούταν παλιά και στηρίζεται στην ικανότητα του υδραργύρου να διαλυτοποιεί το χρυσό δημιουργώντας αμάλγαμα, που εύκολα διαχωρίζεται από το μέταλλευμα.
3. Διαλυτοποίηση του χρυσού: Η διαλυτοποίηση του χρυσού στο νερό απαιτεί την οξείδωσή του και στη συνέχεια τη δημιουργία σταθερού συμπλόκου με συστατικό που προστίθεται στο διάλυμα. Για τη διαλυτοποίηση η πιο συνηθισμένη ένωση είναι το κυανιούχο νάτριο. Η χρήση κυανιούχου νατρίου παρουσία οξυγόνου οδηγεί σε οξείδωση το χρυσό ενώ ταυτόχρονα τα ιόντα κυανίου δημιουργούν σύμπλοκο σε αλκαλικό περιβάλλον (pH 10.5 έως 11.5) σύμφωνα με την αντίδραση:



Η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα του σχετικά μικρού κόστους και το μειονέκτημα της πιθανής διαρροής κυανιούχων αποβλήτων προς το περιβάλλον. Όμως τα τελευταία χρόνια οι μεταλλευτικές εταιρείες λαμβάνουν μέτρα, είτε εξουδετέρωσης των κυανιούχων ενώσεων μετά την ανάκτηση του χρυσού, είτε μέτρα προστασίας με την κατασκευή τεχνικών έργων (λίμνες τελμάτων) που παρέχουν ασφάλεια ώστε να αποφεύγονται διαρροές τους στο περιβάλλον.

Ο τύπος του χρυσού, του οποίου η ανάκτηση δεν είναι δυνατή με τις συμβατικές μεθόδους κύανωσης ή με εμπλουτισμό δια βαρύτητας, απαιτεί ειδικές τεχνικές και ονομάζεται δυσκατέργαστος.

Ο δυσκατέργαστος χρυσός ανακτάται με κύανωση, αφού όμως προηγουμένως – με οξειδωτική προκατεργασία – καταστραφεί το ορυκτό στο πλέγμα του οποίου έχει παγιδευτεί. Οι κυριότεροι μέθοδοι οξείδωσης των χρυσοφόρων θειούχων συμπυκνωμάτων για την αποδέσμευση του δυσκατέργαστου χρυσού είναι:

1. Η φρύξη
2. Η υδατική οξείδωση υπό πίεση
3. Η βακτηριακή οξείδωση

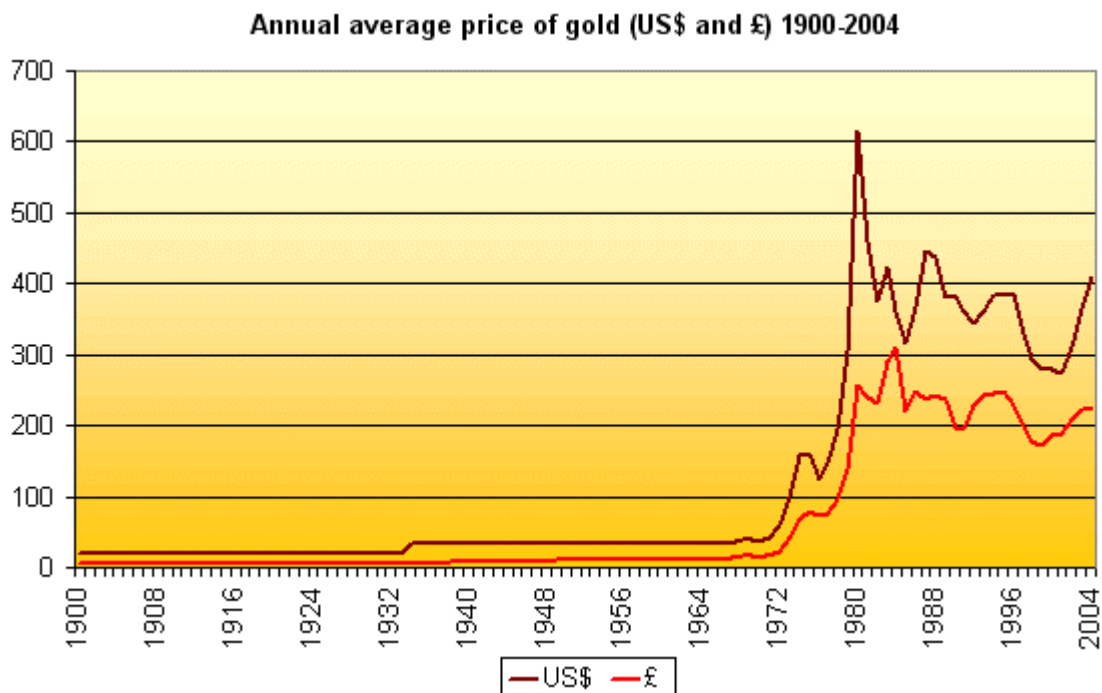
[Σκαρπέλης, 2002]

1.8 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΥΣΟ

Ο χρυσός είναι γνωστός περισσότερο από 6000 χρόνια. Από πολύ νωρίς έγινε σύμβολο του πλούτου. Μεγάλες ποσότητες του μετάλλου αυτού κρατούνται στις κρατικές τράπεζες σαν αντίκρισμα στην κοπή χαρτονομίσματος.

Στην εικόνα 1 φαίνεται η διακύμανση της τιμής του χρυσού από το 1900 μέχρι και το 2005.

Εικόνα 1: ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΑΠΟ ΤΟ 1900 ΕΩΣ 2004



Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται ότι το έτος 1980 σημειώθηκε μεγάλη αύξηση στην τιμή του χρυσού. Συγκεκριμένα, στις 21 Ιανουαρίου στο χρηματιστήριο της Νέας Υόρκης η τιμή του χρυσού φτάνει στο ιστορικά υψηλότερο επίπεδό της, τα 870

δολάρια ανά ουγκιά, σαν αποτέλεσμα της γενικευμένης οικονομικής ανασφάλειας που επικρατούσε εκείνη τη δεκαετία.

Μετά το τέλος της δεκαετίας αυτής παρατηρείται μεγάλη πτώση της τιμής του χρυσού, σχεδόν κατά το μισό. Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 η τιμή του χρυσού είναι κατά μέσο όρο 383 δολάρια ανά ουγκιά. Η συνέχιση της υποχώρησης της τιμής του χρυσού στα 251.70 δολάρια η ουγκιά το Σεπτέμβριο του 1999, ανάγκασε 15 ευρωπαϊκές τράπεζες να αποφασίσουν τον περιορισμό της ποσότητας χρυσού που μπορούν να πωλούν. Το γεγονός αυτό συνέβαλε στην ανάκαμψη της τιμής του χρυσού στα 380-400 δολάρια ανά ουγκιά. [www.kitco.com]

ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Στη διπλωματική αυτή εργασία εξετάστηκαν συνολικά τρία δείγματα, από τα οποία τα δύο ήταν ψαμμιτικές μάργες του Νεογενούς από την περιοχή του Νομού Χανίων και το ένα δείγμα ήταν ψαμμίτης από τον φλύσχη των εξωτερικών Ελληνίδων από την περιοχή του Νομού Άρτας.

2.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΕΛΛΗΝΙΔΕΣ

Οι Εξωτερικές Ελληνικές ζώνες (ή «Εξωτερικές Ελληνίδες» όπως έχει καθιερωθεί να ονομάζονται στη γεωλογική βιβλιογραφία) κατέχουν τα εξωτερικά (Δυτικά) τόξα των Ελληνίδων οροσειρών. Αυτό σημαίνει ότι ο γεωγραφικός χώρος των Εξωτερικών Ελληνίδων είναι η Δυτική Ελλάδα, δηλαδή τα Ιόνια νησιά, η Ήπειρος, η Δυτική Στερεά Ελλάδα, ολόκληρη σχεδόν η Πελοπόννησος (εκτός της Αργολίδας), η Κρήτη, η Κάρπαθος και η Ρόδος.

Κύριο στοιχείο διάκρισης των Εξωτερικών ζωνών από τις Εσωτερικές ζώνες θεωρείται το γεγονός ότι οι Εξωτερικές δεν υπέστησαν τη δράση των πρώιμων ορογενέσεων αλλά ο χώρος τους είχε συνεχή, αδιάκοπη ιζηματογένεση σε όλη τη διάρκεια των Αλπικών χρόνων, από το Τριαδικό μέχρι το Τριτογενές. Στο Τριτογενές έλαβε χώρα η οριστική ανάδυση των Εξωτερικών ζωνών με τη δράση της τελικής ορογένεσης οπότε έγινε και η μοναδική πτύχωση των σχηματισμών των ζωνών αυτών. [Μουντράκης, 1985]

2.2 ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ

Εκτείνεται κατά μήκος της Δυτικής παραλίας της Ηπειρωτικής Ελλάδας με διεύθυνση Β – Ν και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία, τμήματα από τα Ιόνια νησιά και την Βορειοδυτική Πελοπόννησο.

Νέες απόψεις τοποθετούν τη σειρά των Plattenkalk στη Ιόνιο ζώνη οπότε η τελευταία θα πρέπει να θεωρηθεί ότι προεκτείνεται στη Νότια Πελοπόννησο, την Κρήτη και τη Ρόδο. Σύμφωνα με τις απόψεις αυτές η Ιόνιος ζώνη θα πρέπει να είναι αυτόχθονη πάνω στην οποία επωθήθηκαν οι πιο εσωτερικές ζώνες υπό μορφή καλυμμάτων και η αυτόχθονη ζώνη αποκαλύπτεται ως τεκτονικό παράθυρο και σε ορισμένες περιπτώσεις ως διπλό παράθυρο.

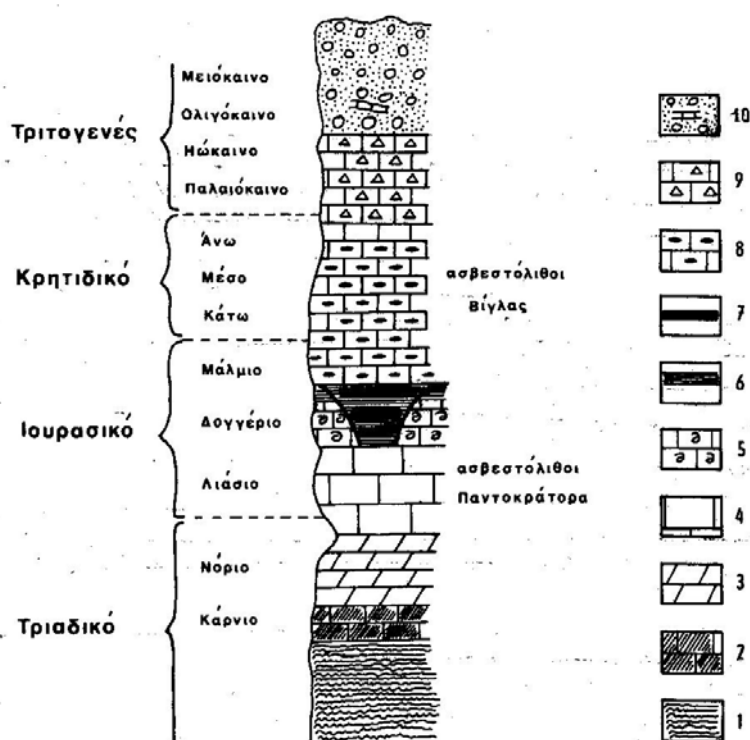
Η Ιόνιος ζώνη θεωρήθηκε στο αρχικό παλαιογεωγραφικό σύστημα εξέλιξης ως το Ελληνικό «μειογεωσύγκλινο» σε συσχετισμό με το «ευγεωσύγκλινο» της ζώνης Πίνδου. Με τις νεώτερες απόψεις χαρακτηρίζεται σαν μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική-πελαγική ιζηματογένεση. [Μουντράκης, 1985]

Σαν πρώτα αλπικά ιζήματα της ζώνης θεωρούνται οι Εβαπορίτες (κοιτάσματα γύψου) με συνολικό πάχος στρωμάτων γύρω στα 1500 m. Πάνω στις γύψους επίκειται μαύρος ασβεστόλιθος ηλικίας Καρνίου και μετά άσπροι δολομίτες του Νορίου (Άνω Τριαδικό). Στη συνέχεια αποθέτονται οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι Νορίου – Μέσου Λιασίου μέσου πάχους 600 m, που είναι γνωστοί στη βιβλιογραφία σαν ‘‘ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα’’.

Στο Άνω Λιάσιο δημιουργείται ένας βαθύτερος χώρος ιζηματογένεσης, όπου αποθέτονται κερατόλιθοι σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και έγχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους. Την ίδια περίοδο και στις δύο πλευρές της ζώνης αποθέτονται κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες. Η διττή αυτή ιζηματογένεση διαρκεί όλο το Δογγέριο (Μέσο Ιουρασικό), ενώ στο Μάλμιο γίνεται κοινή σε όλο το πλάτος της ζώνης με την απόθεση πελαγικών ασβεστόλιθων με ενστρώσεις κερατολίθων, που αναφέρονται με το όνομα ‘‘ασβεστόλιθοι Βίγλας’’. Η απόθεσή τους κράτησε μέχρι τα μέσα του Άνω Κρητιδικού και έχουν συνολικό πάχος περίπου 400 m.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται αδιάκοπα προς τα πάνω με ασβεστόλιθους λατυποπαγής Ανωτέρου Κρητιδικού – Μέσου Ιωκαίνου πάχους περίπου 400 m, οι οποίοι στην αξονική υποζώνη χαρακτηρίζονται περισσότερο πελαγικοί.

Τέλος αποθέεται ο φλύσχη από το Πριαμπόνιο του Ηωκαίνου μέχρι το Ακουιτάνιο του Κάτω Μειοκαίνου οπότε και έλαβε χώρα η παροξυσμική πτύχωση της ζώνης. Το συνολικό πάχος του φλύσχη υπολογίζεται ότι ξεπερνά τα 5000 m αν και οι πτυχωμένες μορφές του, επηρεάζουν πιθανότατα το φαινόμενο πάχος του. Η σύσταση του φλύσχη στα κατώτερα στρώματα είναι κυρίως ψαμμιτική – μαργαϊκή και εξελίσσεται προς τα πάνω σε εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων και κροκαλοπαγών.



Σχήμα 2.1 : Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη ιόνιας Ζώνης (Μουντράκης, 1985).

1: γύψος, 2: μαύροι ασβεστόλιθοι, 3: δολομίτες, 4: ασβεστόλιθοι νηριτικοί «Παντοκράτορα», 5: ασβεστόλιθοι του *Ammonitico Rosso*, 6: σχιστόλιθοι με *Posidonomyes*, 7: κερατόλιθοι, 8: ασβεστόλιθοι πελαγικοί «Βίγλας», 9: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς, 10: φλύσχη

Το δείγμα της Άρτας είναι από ψαμμιτικές μάργες του φλύσχη της Ιονίου Ζώνης από την περιοχή της Άρτας.

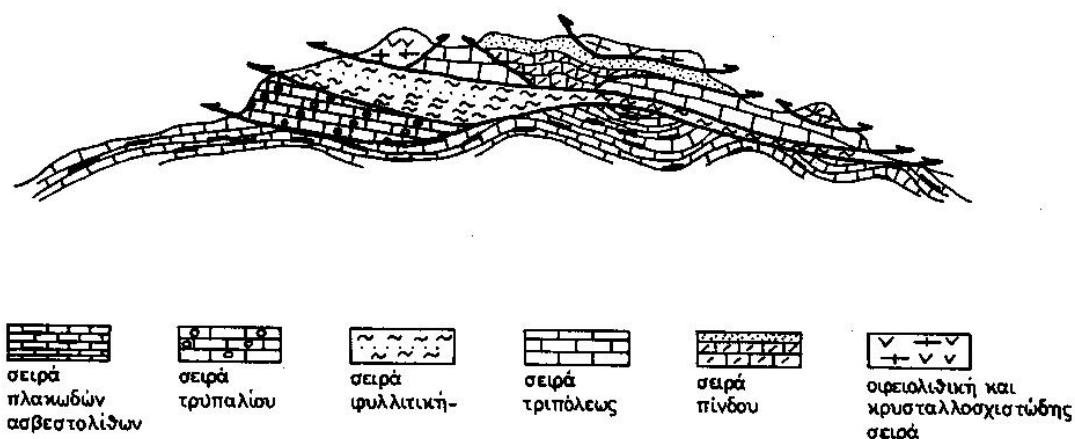
2.2.1 Φλύσξης Ιονίου Ζώνης

Στην Ιόνια ζώνη έχουμε την ύπαρξη τυπικότατου φλύσχη, σε αντίθεση με την ενότητα Παξών, με χαρακτηριστική έναρξη της φλυσχογένεσης στο Ανώτερο Ηώκαινο έως τη βάση του Ολιγόκαινου. Στην ενότητα αυτή έχουμε χαρακτηριστική μετάβαση από βιοχημική πελαγική ιζηματογένεση σε κλαστική πελαγική ιζηματογένεση. Εκεί που υπάρχει ένα ήρεμο περιβάλλον με βιοχημική ιζηματογένεση, κάποια γεωλογική στιγμή, αρχίζουν να έρχονται ρεύματα κλαστικού υλικού και να αποτίθενται σαν ενδιαστρώσεις στην ανθρακική ιζηματογένεση, η οποία όμως συνεχίζεται. Έτσι δημιουργούνται εναλλαγές από ορίζοντες ασβεστόλιθων και κλαστικού υλικού, που οι μεν πρώτοι βαθμιαία ελαττώνονται, οι δε δεύτεροι προοδευτικά αυξάνονται, μέχρι που να μηδενιστεί η βιοχημική ιζηματογένεση και να κυριαρχήσει η κλαστική ιζηματογένεση. [Παπανικολάου, 1986]

2.3 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με τη συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας, η οποία χωρίζεται σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας είναι ένα αποτέλεσμα της διάρθρωσης των Ελληνίδων οροσειρών που σχηματίστηκαν κυρίως από τα Τριαδικά – Κάτω Μειοκαινικής ηλικίας αλπικά ιζήματα. Κάθε ζώνη από αυτές, χαρακτηρίζεται από μια ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά. Αυτές οι διαφορές μεταξύ των ζωνών οφείλονται στα διαφορετικά παλαιογεωγραφικά περιβάλλοντα κατά του σχηματισμού των πετρωμάτων των. [Μουντράκης, 1993]

Η Κρήτη έχει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή και έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με τη δομή της, αυτό οφείλεται στην γεωτεκτονική θέση που κατέχει σε σχέση με τις δύο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες, της Αφρικανικής και της Ευρωασιατικής. Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι τα αλληπάλλληλα τεκτονικά καλύμματα των ελληνίδων ζωνών (σχήμα 2.3), τα οποία αναπτύσσονται πάνω στην ενότητα Ταλέα όροι των πλακωδών ασβεστόλιθων (που αποτελεί το υπόβαθρο της Κρήτης) με λεπιοειδή τεκτονική διάταξη.



Σχήμα 2.3. Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της Κρήτης με τα αλληπάλλληλα τεκτονικά καλύμματα. (Μουντράκης, 1985, σελ.186).

Αυτή η ακολουθία στρωμάτων αποτελεί αυτόχθονο ή σχετικά αυτόχθονο σύστημα που έχει σαν υπόβαθρο την ενότητα Ταλέα Όρη των Πλακωδών ασβεστόλιθων όπως αναφέρθηκε (σχήμα 2.4). Η ενότητα αυτή έχει ηλικία από το Πέρμιο μέχρι το Ηώκαινο και είναι ημιμεταμορφωμένη και πιθανώς ανήκει στην ζώνη της Αδριατικοϊονίου, αποτελείται κυρίως από τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους που περιέχουν σε σημαντικό βαθμό κερατολιθικούς κονδύλους και πυριτικές ενστρώσεις, συναντιόνται επίσης μεγάλες μάζες ασβεστόλιθων, δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και φυλλιτικές- χαλαζιτικές παρεμβολές. Αποκαλύπτεται σε πολλές περιοχές της Κρήτης υπό μορφή πολλαπλού τεκτονικού παραθύρου.

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των λεγόμενων εσωτερικών ζωνών, όπως είναι η ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει οφιολιθικά συμπλέγματα, η ενότητα της Αστερούσιας που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.

Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς (κυρίως κλαστικά θαλάσσια ιζήματα) τα οποία συνήθως έχουν μεγάλο πάχος και εξάπλωση στις παραλιακές περιοχές της Κρήτης.

Ειδικότερα στο νομό Χανίων οι νεότερες αποθέσεις αποτελούνται από:

1. Τεταρτογενείς αποθέσεις. Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες-λατύπες ποικίλης σύστασης, αναλόγως της προέλευσής τους, ασύνδετες έως συνεκτικά συνδεδεμένες, καθώς και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα. Η εμφάνισή τους γίνεται κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς τη θάλασσα, στις μείζονες κοίτες των ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και σε μορφή πλευρικών κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων.
2. Νεογενείς αποθέσεις. Αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων-κιτρινόλευκων μάργων με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συχνά βιογενείς-υφαλογενείς, ομοιόμορφα στρωμένους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως ένα-δύο μέτρα. Επίσης, εντός των αποθέσεων αυτών συναντώνται και άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ψαμμίτες. Τα κροκαλοπαγή-λατυποπαγή εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Χοιροσπηλίου νοτιότερα της Αγιάς και στην περιοχή Τοπολίων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η έντονη συνεκτικότητα την οποία παρουσιάζουν, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι λατύπες και κροκάλες που συνιστούν τις παραπάνω αποθέσεις,

έχουν προέλθει από την διάβρωση και απόθεση των προϊόντων, τόσο του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης όσο σε μικρότερο βαθμό και των άλλων ενοτήτων που αποτελούν υπόβαθρο των νεογενών αποθέσεων. Οι ενότητες που επίσης συμμετέχουν στην παραπάνω διεργασία είναι η Φυλλιτική-Χαλαζιτική, των Πλακωδών ασβεστολίθων (Plattenkalk) και της Πίνδου.

2.4 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ

Η διαδικασία των μηχανικών συγκεντρώσεων είναι στην πράξη ένας φυσικός διαχωρισμός των ελαφρών από τα βαριά ορυκτά, ο οποίος γίνεται, κύρια, με τη βοήθεια του νερού ή του αέρα. Η συγκέντρωση των βαρύτερων ορυκτών, οδηγεί στο σχηματισμό των μηχανικών δευτερογενών κοιτασμάτων από αποσάρθρωση και μεταφορά (placer deposits).

Ο σχηματισμός των κοιτασμάτων αυτών, περιλαμβάνει δύο επιμέρους διαδικασίες:

- α) την απελευθέρωση των ορυκτών από τη μάζα του πετρώματος
- β) τη συγκέντρωση των χρήσιμων συστατικών

Για να πραγματοποιηθεί η συγκέντρωση των χρήσιμων ορυκτών, πρέπει αυτά να παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- α) μεγάλο ειδικό βάρος
- β) ανθεκτικότητα στη χημική αποσάρθρωση
- γ) επαρκή φυσική αντοχή

Ορυκτά τα οποία παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, ο κασσίτερος, ο μαγνητίτης, ο χρωμίτης, ο ιλμενίτης, το ρουτίλιο, ο χαλκός, οι πολύτιμοι λίθοι, το ζιρκόνιο.

Τα μηχανικά δευτερογενή κοιτάσματα από αποσάρθρωση και μεταφορά διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Ελουβιακά κοιτάσματα
2. Αλλουβιακά κοιτάσματα ή κοιτάσματα ποταμίων αποθέσεων
3. Παράκτια κοιτάσματα
4. Αιολικά κοιτάσματα
5. Κοιτάσματα αποθέσεων παγετώνων

2.4.1 Αλλουβιακά κοιτάσματα ή κοιτάσματα ποταμίων αποθέσεων

Τα αλλουβιακά κοιτάσματα, είναι τα σημαντικότερα από τις άλλες κατηγορίες των μηχανικών δευτερογενών κοιτασμάτων. Για τα κοιτάσματα της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιείται ο όρος προσχωματικά κοιτάσματα. Σε αυτά περιλαμβάνονται τα μεγαλύτερα κοιτάσματα χρυσού, λευκόχρυσου, κασσίτερου και πολύτιμων λίθων στον κόσμο.

Ο σχηματισμός των κοιτασμάτων αυτών περιλαμβάνει τη μεταφορά, τη διαλογή και την απόθεση των κλαστικών προϊόντων της αποσάθρωσης. [Σκουνάκης, 1993]

2.4.2 Αλλουβιακά ή προσχωματικά κοιτάσματα χρυσού

Τα αλλουβιακά κοιτάσματα χρυσού προέρχονται από εκμεταλλεύσιμα ή μη πρωτογενή κοιτάσματα. Το σχήμα του αλλουβιακού χρυσού είναι δισκοειδές λόγω της συνεχούς λειοτρίβισης που υφίσταται. Συναντώνται υπό τη μορφή σβώλων και ψηγμάτων. Οι σβώλοι είναι πεπλατυσμένοι και έχουν ακανόνιστο περίγραμμα, ενώ τα ψήγματα αποτελούνται από μικρά πεπλατυσμένα σφαιρίδια ή λεπτούς δίσκους. Γενικά οι διαστάσεις των διαφόρων μορφών χρυσού κυμαίνονται.

Το μέγεθος του χρυσού ελαττώνεται κατά τη μεταφορά του, λόγω της συνεχούς λειοτρίβισης που υφίσταται. Η ελάττωση είναι ταχεία μέχρι να επιτευχθεί ισορροπία μεταξύ αυτού και του φορτίου του ποταμού. Όταν οι κόκκοι του χρυσού κινούνται, στο στρώμα των χαλικιών, κάτω από τη ζώνη μεταφοράς, η ελάττωση του μεγέθους τους πρακτικά σταματά. Έχει εκτιμηθεί ότι τα τμήματα χρυσού που είναι

αποστρογγυλωμένα, σε όλη τους την έκταση, έχουν μεταφερθεί από αποστάσεις 80 – 100 km.

Η σύσταση των κοιτασμάτων ποικίλει, εξαρτώμενη από τη σύσταση του πρωτογενούς υλικού και την απόσταση μεταφοράς του. Η καθαρότητα του χρυσού επίσης αυξάνει με την απόσταση μεταφοράς του. Αυτό συμβαίνει γιατί στα συνηθισμένα κράματα του χρυσού, με άργυρο και χαλκό, τα δύο τελευταία είναι περισσότερο διαλυτά και αποπλύνονται εκλεκτικά από το κράμα, σε περιβάλλον πλούσιο σε οξυγόνο. Η καθαρότητα σε χρυσό των κοιτασμάτων αυτών εκφράζεται σε μέρη στα 1000 και κυμαίνεται από 500 – 999.

Τα σύγχρονα κοιτάσματα του χρυσού συνήθως αποτελούνται από χαλαρή ή ημισυμπαγή άμμο και χαλίκια, μεταξύ των οποίων βρίσκεται ο χρυσός και τα άλλα βαριά μέταλλα. Ευνόητο είναι ότι στα παλαιότερα κοιτάσματα, λόγω της διαγένεσης, τα υλικά αυτά έχουν μετατραπεί σε κροκαλοπαγή και ψαμμίτες. [Σκουνάκης, 1993]

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΦΥΟΥΣ ΧΡΥΣΟΥ

Διαφορετικές μέθοδοι ανάκτησης χρησιμοποιούνται για τον αυτοφυή και δυσκατέργαστο χρυσό. Για τον αυτοφυή χρυσό ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για να προσυγκεντρώσει το μέταλλευμα και μετά ακολουθεί κυάνωση. Για το λεπτόκκοκο χρυσό, που δε μπορεί να ανακτηθεί με τη μέθοδο του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, η μόνη χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η κυάνωση. [Σταμπολιάδης 2002]

3.1 ΚΥΑΝΩΣΗ

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ανάκτησης χρυσού από κοιτάσματα ελεύθερου χρυσού ή φτωχά μεταλλεύματα είναι η συμπλοκοποίησή του με το ανιόν του κυανίου κατά την εκχύλισή του συνήθως με κυανιούχα διαλύματα KCN ή NaCN και στη συνέχεια η ανάκτησή του από το διάλυμα με κάποια από τις μεθόδους που εφαρμόζονται. Οι πιο γνωστές μέθοδοι είναι η προσρόφιση από ενεργό άνθρακα, η ηλεκτροανάκτηση με ηλεκτρόλυση, η καταβύθιση των κυανιόντων με ψευδάργυρο και η ιοντοεναλλαγή. [Burt, R. ,1999]

3.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ

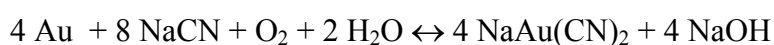
Η διαλυτότητα του Χρυσού σε υδατικά κυανιούχα διαλύματα είναι γνωστή από τον XVIII αιώνα. Ο Scheele το 1783 και ο Bagraton το 1843 παρατήρησαν ότι ο χρυσός μπορεί να διαλυθεί σε κυανιούχα διαλύματα. Ο Elsner το 1846 ήταν ο πρώτος που έλαβε υπόψιν την σημαντική σπουδαιότητα του οξυγόνου στην κυάνωση του χρυσού. Το 1887 οι McArthur και Forrest παρουσίασαν την πρώτη πατέντα εξαγωγής χρυσού και αργύρου με κυανιούχα διαλύματα από διάφορα ορυκτά. Από τότε, και παρ' όλο την σημαντική έρευνα στο πεδίο αυτό, η εκχύλιση χρυσού με κυανιούχα διαλύματα δεν έχει αλλάξει σημαντικά.

Τριάντα χρόνια πριν, ο Habashi είχε προτείνει ότι η εκχύλιση του Χρυσού σε κυανιούχα διαλύματα είναι μία ετερογενής ηλεκτροχημική διαδικασία που ρυθμίζεται

από την διάχυση ιόντων κυανίου και οξυγόνου προς την επιφάνεια του χρυσού, διαμέσου του στρώματος Nernst .[Guzman et.al.,1999]

3.1.2 Ο ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΥΑΝΩΣΗΣ

Η κυάνωση θεωρείται ότι ακολουθεί την στοιχειομετρία της παρακάτω αντίδρασης, η οποία συχνά αποκαλείται και εξίσωση του Elsner αν και δεν έχει δημοσιευθεί από αυτόν:

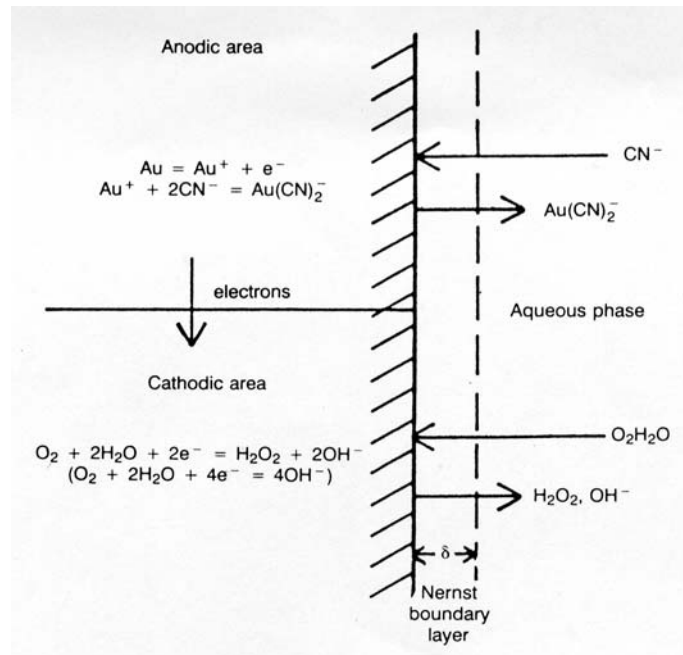


Η απαιτούμενη ποσότητα κυανίου που προκύπτει από την στοιχειομετρία της παραπάνω αντίδρασης για την εκχύλιση του χρυσού είναι πολύ μικρή, παρόλα αυτά όμως συνήθως απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες εξαιτίας μηχανικών απωλειών ή της παρουσίας των συμπλόκων κυανίου με βασικά μέταλλα.[Σταμπολιάδης 1993].

Βασικά μέταλλα όπως ο χαλκός και ο ψευδάργυρος μπορούν να δράσουν με τον τρόπο αυτό σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση :



Στην πράξη όμως ο μηχανισμός της κυάνωσης είναι πιο πολύπλοκος και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φυσικοχημικές διεργασίες, όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1. [Yannopoulos, 1990]



Εικ. 3.1: Μηχανισμός της κύνωσης.

- Προσρόφηση του οξυγόνου στο διάλυμα εκχύλισης
- Μεταφορά των διαλυμένων ιόντων κυανίου και οξυγόνου στην διεπιφάνεια υγρού – στερεού
- Προσρόφηση των αντιδρώντων στην επιφάνεια των στερεών
- Ηλεκτροχημική αντίδραση
- Εκρόφηση των διαλυτών συμπλόκων χρυσού – κυανίου και άλλων προϊόντων της αντίδρασης από την επιφάνεια του στερεού
- Μεταφορά των εκροφημένων προϊόντων στον πολφό της εκχύλισης

Η διαδικασία της κύνωσης επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων όπως αυτοί περιγράφονται παρακάτω.

3.1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΜΕ ΚΥΑΝΙΟ

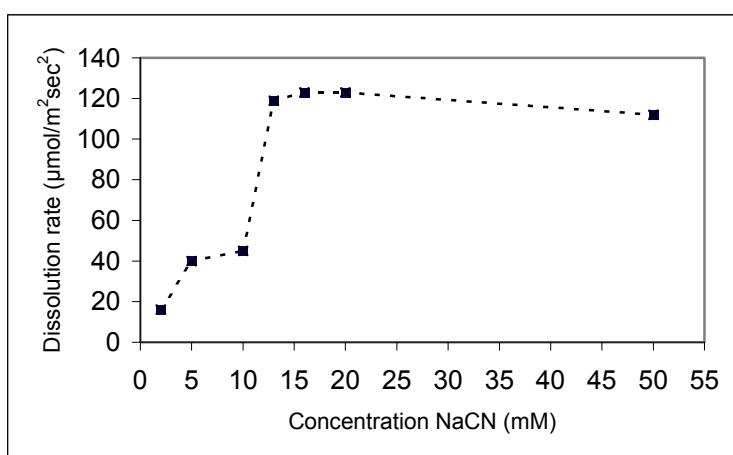
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκχύλιση χρυσού με κυάνιο είναι οι παρακάτω [Yannopoulos, 1990] :

1. Οξυγόνο

Σε εκχυλίσεις χρυσού με κυάνιο σε ατμοσφαιρική πίεση, με παροχή ατμοσφαιρικού αέρα και σε πυκνότητες πολφού μέχρι 30% δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές μεταβολές στους ρυθμούς εκχύλισης σε συνάρτηση με την συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου. Σε πολφούς κυάνωσης με υψηλές συγκεντρώσεις στερεών μειώνεται σημαντικά ο ρυθμός μεταφοράς μάζας του διαλυμένου οξυγόνου από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

2. Συγκέντρωση κυανίου

Η επίδραση της συγκέντρωσης κυανίου στους ρυθμούς εκχύλισης φαίνονται στην εικόνα 3.2.

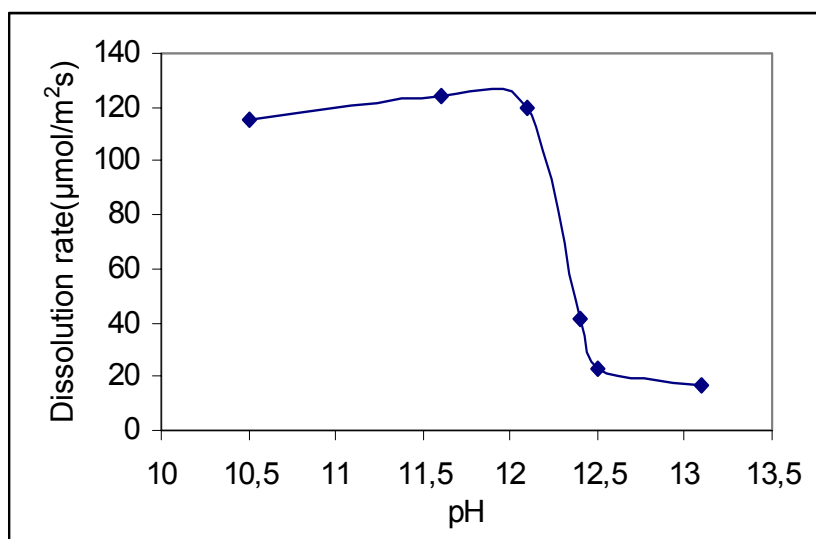


Εικ. 3.2: Επίδραση της συγκέντρωσης κυανίου στον ρυθμό εκχύλισης

Σε χαμηλές συγκεντρώσεις ο ρυθμός εκχύλισης είναι ανάλογος της αρχικής συγκέντρωσης του κυανίου. Όταν η συγκέντρωση αυτή φτάσει την τιμή 0,012 M, ο ρυθμός κυάνωσης αυξάνεται μέχρι να αποκτήσει την σχετικά σταθερή τιμή των 121,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, για μια συγκέντρωση 0,0125 M NaCN. Η αλλαγή στον ρυθμό κυάνωσης μπορεί να εξηγηθεί από την αλλαγή του μηχανισμού, καθώς το κυάνιο συμμετέχει και στο στάδιο της προσρόφησης και στην συμπλοκοποίηση του χρυσού για να οδηγήσει τελικά στο διαλυμένο $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

3. pH

Η επίδραση του pH στην κινητική της κυάνωσης του χρυσού σε ατμοσφαιρική πίεση φαίνεται στην εικόνα 3.3.



Εικ. 3.3: Επίδραση του pH στον ρυθμό εκχύλισης

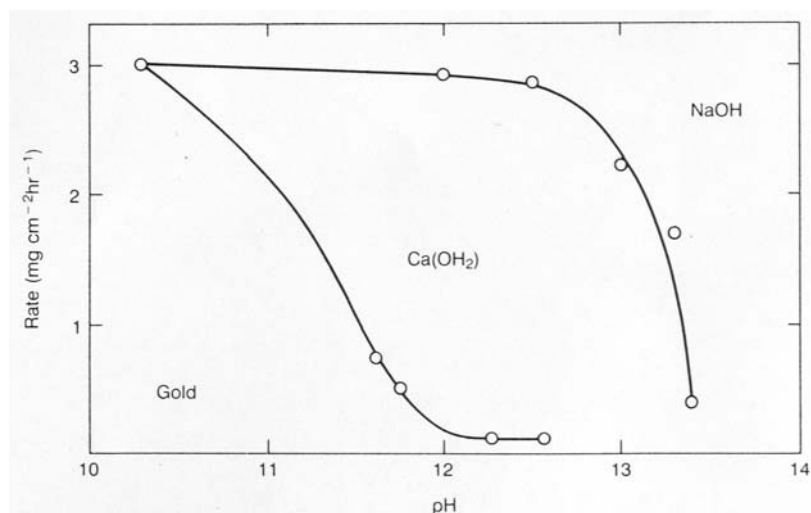
Ο ρυθμός εκχύλισης του χρυσού αυξάνει ελάχιστα μέχρι τιμές pH γύρω στο 12. Στη συνέχεια επέρχεται μια απότομη μείωση στο ρυθμό εκχύλισης, που οφείλεται πιθανώς σε αλλαγή του μηχανισμού της διαδικασίας. Οι συνήθεις κυανιώσεις πραγματοποιούνται σε τιμές pH ανάμεσα 10 και 12, όπου έχει παρατηρηθεί μια μέση τιμή του ρυθμού εκχύλισης του χρυσού $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

4. Προσθήκη αλκαλικών ουσιών

Κατά την διαδικασία της κυάνωσης γίνεται προσθήκη αλκαλικών ουσιών για την πραγματοποίηση των παρακάτω στόχων:

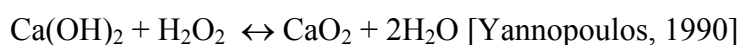
- Ρύθμιση του pH σε επιθυμητά επίπεδα
- Αποφυγή απώλειας κυανίου λόγω υδρόλυσης σύμφωνα με την αντίδραση:
$$\text{CN}^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCN} + \text{OH}^-$$
- Αποφυγή απώλειας κυανίου λόγω δράσης του CO_2 του αέρα σύμφωνα με την αντίδραση
$$\text{CN}^- + \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{HCN} + \text{HCO}_3^-$$
- Διάσπαση των δισανθρακικών ριζών του παρεχόμενου κατά νερού
- Εξουδετέρωση όξινων αλάτων
- Διευκόλυνση καθίζησης των λεπτομερών τεμαχιδίων του μεταλλεύματος έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερα ο διαχωρισμός του διαλύματος από τον πολφό της κυάνωσης.

Αν και η χρήση των αλκαλικών ουσιών είναι συνήθεις στην κυάνωση, πολλοί ερευνητές έχουν εκφράσει την γνώμη ότι αλκάλια όπως το NaOH και το Ca(OH)_2 καθυστερούν την διάλυση του χρυσού στα κυανιούχα διαλύματα. Ο Barsky (1934) διερεύνησε την επίδραση των NaOH και Ca(OH)_2 στον βαθμό διάλυσης του χρυσού. Βρέθηκε ότι όταν χρησιμοποιήθηκε Ca(OH)_2 ο βαθμός διάλυσης μειωνόταν σε τιμές pH κοντά στο 11 και η διάλυση πρακτικά μηδενίζεται σε pH 12,2. Η επίδραση του NaOH ήταν αρκετά διαφορετική (εικόνα 3.4).



Εικ. 3.4: Επίδραση ιόντων ασβεστίου στον ρυθμό εκχύλισης του χρυσού.

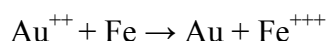
Ο ρυθμός διάλυσης αρχίζει να μειώνεται σε pH πάνω από 12,5. Ο Habashi (1967) απέδωσε την μείωση του ρυθμού συμπλοκοποίησης του χρυσού σε διαλύματα εκχύλισης με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ στον σχηματισμό υπεροξειδίου του ασβεστίου στην επιφάνεια των στερεών, σύμφωνα με την αντίδραση:



3.1.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΑΠΟ ΚΥΑΝΙΟΥΧΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

3.1.4.α Καταβύθιση των κυανιόντων με ψευδάργυρο

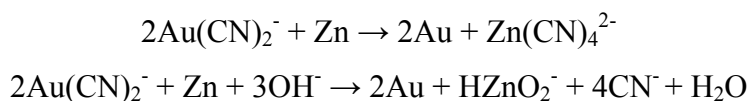
Η έννοια της καταβύθισης χρησιμοποιήθηκε σαν λύση για την ανάκτηση του χρυσού από τον δέκατο ένατο αιώνα:



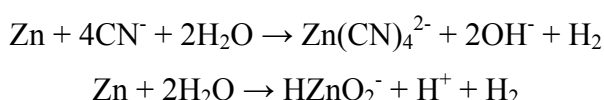
Η ηλεκτροχημική συμπεριφορά των μετάλλων σε ένα κυανιούχο διάλυμα υπαγορεύει τις σχετικές διαλυτότητες τους σε εκείνο το διαλύτη. Ο πιο διαδεδομένος προσδιορισμός της ηλεκτροχημικής συμπεριφοράς των μετάλλων σε διάλυμα κυανιούχου καλίου παραθέτει στην ακόλουθη σειρά, από θετικό σε αρνητικό: Mg, Al,

Zn, Cu, Au, Ag, Hg, Pb, Fe, Pt. Οποιοδήποτε μέταλλο αυτής της ακολουθίας τείνει να διαλυθεί πιο εύκολα στο κυανιούχο διάλυμα από τα μέταλλα που βρίσκονται δεξιά του και μπορεί να αντικαταστήσει τα μέταλλα αυτά στο διάλυμα καθώς και να τα κατακρημνίσει. Για παράδειγμα ο χαλκός κατακρημνίζει τον χρυσό, το ασήμι, τον ψευδάργυρο κ.τ.λ. Ο μαγνησίτης ή το αλουμίνιο κατακρημνίζει τον χρυσό ή τον άργυρο πιο εύκολα από ότι ο ψευδάργυρος. [Yannopoulos, 1990]

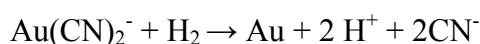
Όταν η κυάνωση πραγματοποιούνταν σε μεγάλη αναλογία, όπως στην διαδικασία εκχύλισης χρυσού από τα μεταλλεύματά του, το 1980, ο MacArthur χρησιμοποίησε ψήγματα ψευδαργύρου για να κατακρημνίσει τον χρυσό από κυανιούχα διαλύματα. Πραγματοποιούνταν προσθήκη των διαλυτών αλάτων μολύβδου, με ελεγχόμενο εμπλουτισμό, ώστε να δημιουργηθεί κράμα ψευδαργύρου-μολύβδου στα μόρια ψευδαργύρου, εμποδίζοντας έτσι την παθητικότητα των επιφανειών ψευδαργύρου. Η κατακρήμνιση χρυσού έγινε αποδοτικότερη όταν εισήχθη σκόνη ψευδαργύρου από τον C. W. Merrill το 1904.



Ο ψευδάργυρος μπορεί να αντιδράσει σε αλκαλικά διαλύματα κυανίου και να παραχθεί υδρογόνο.

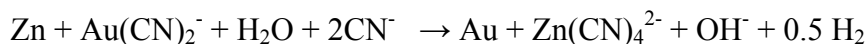


Ως εκ τούτου, είναι δυνατό η κατακρήμνιση κάποιας ποσότητας χρυσού να μην προχωρήσει άμεσα αλλά μέσω του ενδιάμεσου σχηματισμού του υδρογόνου.



Είναι γνωστό εν τούτης, ότι ο χρυσός δεν κατακρημνίζεται σε κυανιούχα διαλύματα από το υδρογόνο της ατμοσφαιρικής πίεσης. Σε υψηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες, η μείωση των ιόντων χρυσού από το υδρογόνο πραγματοποιείται σε

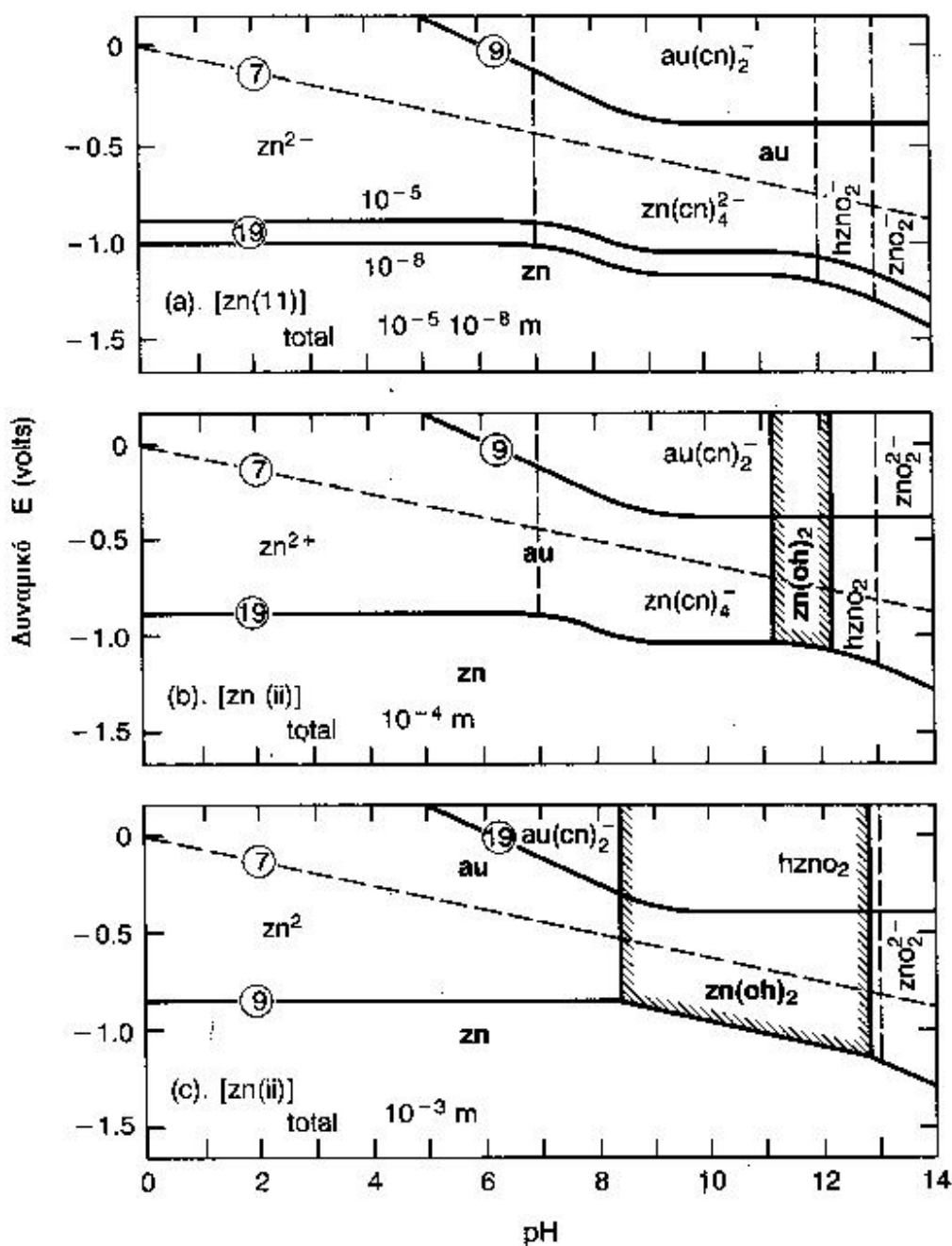
ένα χαμηλό σχετικά ποσοστό. Ο Barin και άλλοι (1980) πρότειναν την ακόλουθη χημική αντίδραση για την καταβύθιση του χρυσού από τον ψευδάργυρο:



Η καταβύθιση είναι ένα ετερογενές οξειδοαναγωγικό σύστημα στο οποίο τα ιόντα χρυσού και κυανίου πρέπει να μεταφερθούν στην επιφάνεια ψευδαργύρου. Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται στην επιφάνεια ψευδαργύρου. Τα προϊόντα της αντίδρασης προσροφώνται και μεταφέρονται στον όγκο του διαλύματος. Το ποσοστό οποιονδήποτε και όλων των προηγούμενων βημάτων είναι ανάλογο προς τη διαθέσιμη επιφάνεια ψευδαργύρου, όπως η εισαγωγή σκόνης ψευδαργύρου αντί ξυσμάτων ψευδαργύρου, όπως έχει αποδειχθεί στην πράξη. [Yannopoulos, 1990]

Προφανώς, το πιο αργό από τα παραπάνω βήματα θα ελέγξει το ποσοστό του χρυσού της καταβύθισης. Ο Barin και άλλοι (1980) επιβεβαίωσαν το πειραματικό συμπέρασμα των Nicol και άλλων (1979) ότι το ποσοστό του χρυσού της καταβύθισης ελέγχεται από το ποσοστό μεταφοράς του $\text{Au}(\text{CN})_2^-$.

Ο Finkelstein (1972) έχει συζητήσει τις πιθανές αντιδράσεις του συστήματος $\text{Zn}-\text{H}_2\text{O}-\text{CN}$ και έχει παρουσιάσει τις αντίστοιχες ισορροπίες στο δυναμικό σε διαγράμματα pH (πίνακας 4.5). Η αναγωγή των ιόντων χρυσού και κυανίου από τον ψευδάργυρο σε μία βιομηχανική κλίμακα βελτιώθηκε περαιτέρω όταν ο T.B Crowe αφαίρεσε τον αέρα από το διάλυμα προτού εισάγει τη σκόνη ψευδαργύρου. Η παρουσία οξυγόνου στο διάλυμα επιβραδύνει την αντίδραση αναγωγής και αυξάνει την κατανάλωση ψευδαργύρου. Μετά την αφαίρεση αέρα, σύμφωνα με τον T.B Crowe, ενδεικτικά διαλύματα περιέχουν μόνο 0.6-1.3 ppm οξυγόνο. [Yannopoulos, 1990]



Εικ. 3.5: Διάγραμμα Δυναμικό-pH για το σύστημα Zn- H₂O- CN στους 25⁰C (περιέχει ισορροπίες μεταξύ χρυσό, κυάνιο και νερό)

3.1.4.β Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα

Το γεγονός ότι ο ενεργός άνθρακας έχει την ικανότητα να προσροφά πολύτιμα μέταλλα από τα διαλύματά τους είχε αρχικά δημοσιευθεί από τον Lazowski το 1847. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ξυλάνθρακας σε κάποια μεταλλουργικά διαδικασία με σκοπό την εξαγωγή χρυσού μετά από χλωρίωση. Συγκεκριμένα ο χρυσός

διαλυτοποιούνται με αέριο χλώριο και στη συνέχεια φιλτράρονταν διαμέσου ξυλάνθρακα. Η χρήση του ενεργού άνθρακα για την προσρόφηση του διαλυτοποιημένου χρυσού χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Johnston το 1897, αφού βρέθηκε ότι η διαδικασία της ενεργοποίησης του άνθρακα με θερμική επεξεργασία δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ικανότητα προσρόφησης. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιελάμβανε διαλυτοποίηση του χρυσού και του αργύρου σε διάλυμα κυανιούχου καλίου και φιλτράρισμα του διαλύματος από μια σειρά από φίλτρα ξυλάνθρακα, ο οποίος στην συνέχεια έπρεπε να καεί για την ανάκτηση των πολύτιμων μετάλλων.

Το 1934, στο πανεπιστήμιο της Αριζόνας, ο Chapman ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τον άνθρακα κατευθείαν μέσα στον πολφό εκχύλισης, σαν το πρώτο στάδιο για την ανάπτυξη της CIP “carbon in pulp” διαδικασίας. Αρχικά η διαδικασία κρίθηκε οικονομικά ασύμφορη, αφού ο ενεργός άνθρακας έπρεπε να καεί για την ανάκτηση του χρυσού. Το 1971 λειτούργησε ένα τροποποιημένο πιλοτικό σχέδιο CIP που περιελάμβανε αναγέννηση του άνθρακα. Το σχέδιο αυτό ήταν πολύ απλό στην λειτουργία του και έδωσε αρκετά ικανοποιητική ανάκτηση σε χρυσό. Το 1973 ένα δεύτερο πιλοτικό πρόγραμμα με δυναμικότητα λειτουργίας πάνω από 2000 τόνους την ημέρα άλλαξε ριζικά την εικόνα της CIP διαδικασίας από μια μικρής κλίμακας, πειραματική διαδικασία σε μια βιώσιμη υψηλής δυναμικότητας διαδικασία [Constance, 1982].

3.1.4.γ Η CIP διαδικασία

Η διαδικασία αυτή γενικά χρησιμοποιείται για να μεταχειρίζεται χαμηλής περιεκτικότητας κοιτάσματα, αν και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και με εμπλουτισμένα συμπυκνώματα.

Δημιουργείται πολφός στον οποίο προστίθεται το λειοτριβημένο μέταλλευμα καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου, κυανιούχο νάτριο ή κάλιο για την εκχύλιση του χρυσού, η οποία πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια. Μετά το στάδιο της εκχύλισης, ο πολφός οδηγείται στο στάδιο της προσρόφησης. Κατά το στάδιο αυτό

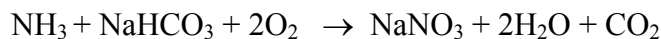
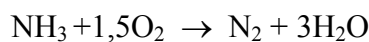
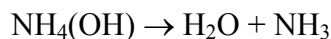
προστίθεται και ο χονδρόκοκκος σε σχέση με την κοκκομετρία του μεταλλεύματος ενεργός άνθρακας για την προσρόφηση σε αυτόν του εκχυλισθέντος χρυσού. Στη συνέχεια πραγματοποιείται διαχωρισμός του χονδρόκοκκου άνθρακα από τον πολφό, και ο άνθρακας οδηγείται σε ειδικές συσκευές όπου χρησιμοποιείται ένα ζεστό διάλυμα από NaCN και NaOH με σκοπό την εκχύλιση των ευγενών μετάλλων Au και Ag που περιέχει. Τέλος ο άνθρακας αφού έχει απαλλαγεί από το φορτίο των πολύτιμων μετάλλων που περιείχε, ξαναγεννιέται σε ειδικούς κλιβάνους και ενεργοποιείται ξανά οπότε και επαναχρησιμοποιείται.

Η CIP διαδικασία αντιπροσωπεύει την πιο πρόσφατη τεχνολογία για ανάκτηση χρυσού που χρησιμοποιείται σε αρκετά μεγάλη κλίμακα (Constance, 1982). Τα τελευταία χρόνια η χρήση του κυανίου σε εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης χρυσοφόρων κοιτασμάτων έχει δημιουργήσει πολλές αντιδράσεις από κοινωνικούς φορείς. Οι αντιδράσεις αυτές καθιστούν πλέον αδύνατη την εγκατάσταση μιας νέας τέτοιου είδους μονάδας εκμετάλλευσης.

3.1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΥΑΝΙΟΥΧΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Μετά την διαλυτοποίηση του χρυσού και την απορρόφησή του από τον ενεργό άνθρακα, τα στερεά του πολφού δεν χρειάζονται πλέον και πρέπει να απορριφθούν. Για τον σκοπό αυτό ο πολφός οδηγείται σε μία διαδικασία καταστροφής και εξουδετέρωσης των κυανιόντων (NaCN) που υπάρχουν διαλυμένα στο νερό, με ταυτόχρονη απομάκρυνση και των βαρέων μετάλλων που τυχόν υπάρχουν στο διάλυμα.

Αρχικά απαιτείται οξείδωση των κυανιούχων ιόντων NaCN σε κυανικά NaCNO. Τα κυανικά άλατα με την πάροδο του χρόνου υδρολύονται από μόνα τους και δίδουν άλατα του αμμωνίου που στη συνέχεια οξειδώνονται σε άζωτο και νιτρικά ανάλογα με το υπάρχον οξυγόνο, σύμφωνα με τις αντιδράσεις :

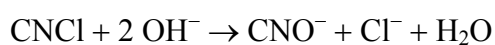
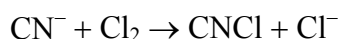


Μακροπρόθεσμα επομένως η τοξικότητα των αποβλήτων καταστρέφεται τελείως και παραμένουν ανόργανα άλατα του νατρίου [Σταμπολιάδης, 1993].

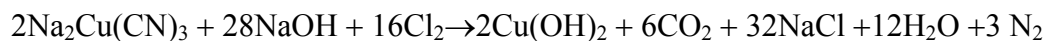
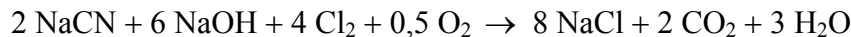
Αν και όπως αναφέρθηκε σε συνθήκες περιβάλλοντος πραγματοποιείτε φυσικός υποβιβασμός του κυανίου, παρόλα αυτά επιβάλλεται η καταστροφή των ιόντων κυανίου για συμμόρφωση σε περιβαλλοντικούς κανόνες. Οι διαδικασίες που ακολουθούνται και οδηγούν στη γρήγορη και αποτελεσματική καταστροφή των κυανιόντων είναι οι εξής [Yannopoulos, 1990] :

1. Αλκαλική χλωρίωση

Κατά τη διαδικασία της αλκαλικής χλωρίωσης οξειδώνονται τα ελεύθερα σύμπλοκα του κυανίου που τυχόν υπάρχουν στα υγρά απόβλητα και παράγονται διοξείδιο του άνθρακα και άζωτο. Επιπρόσθετα προκαλείται καταβύθιση των βαρέων μετάλλων με την μορφή υδροξειδίων. Οι διεργασίες αυτές περιγράφονται με τις παρακάτω αντιδράσεις:



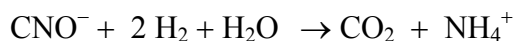
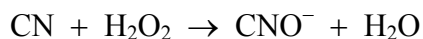
Η καταστροφή των ελεύθερων κυανιόντων (NaCN), των θειοκυανιόντων (SCN^-), καθώς και των χαλκούχων κυανιόντων, επιτυγχάνεται με οξείδωση, σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις :



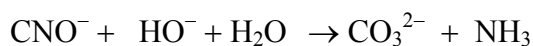
2. Χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου

Το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι μία ‘‘καθαρή’’ χημική ουσία που μπορεί να προκαλέσει οξείδωση των κυανιόντων χωρίς τον ενδιάμεσο σχηματισμό άλλων τοξικών ουσιών. Η μέθοδος αυτή ξεκίνησε να εφαρμόζεται στα μέσα της δεκαετίας του 1980.

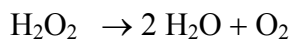
Αρχικά γίνεται οξείδωση των ιόντων του κυανίου και στη συνέχεια πραγματοποιείται υδρόλυση του CNO^- που έχει σχηματιστεί σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις :



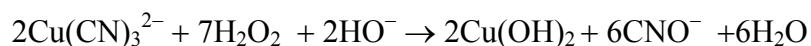
ή ανάλογα με την τιμή του pH



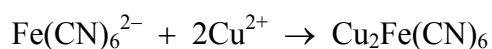
Το υπεροξείδιο του υδρογόνου είναι ένα ιδανικό αντιδραστήριο για την εξουδετέρωση των κυανιόντων εξαιτίας της άριστης περιβαλλοντικής του ιδιότητας να διασπάται σε νερό και οξυγόνο. Έτσι, ενδεχόμενη περίσσεια υπεροξειδίου του υδρογόνου στα προς διαχείριση απόβλητα, διασπάται άμεσα σύμφωνα με την αντίδραση :



Το υπεροξείδιο του υδρογόνου χρησιμοποιείται για την οξείδωση όχι μόνο των ελεύθερων κυανιόντων αλλά και των ασθενώς δεσμευμένων συμπλόκων του κυανίου, όπως HCN , $\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$, $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_4^-$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$, σύμφωνα με το παρακάτω παράδειγμα :

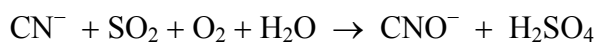


Σε αντίθεση με τα προηγούμενα τα σύμπλοκα του κυανίου με δισθενή ή τρισθενή σίδηρο δεν καταστρέφονται από το υπεροξείδιο του υδρογόνου, αλλά αν είναι απαραίτητο μπορούν να απομακρυνθούν από το διάλυμα με προσθήκη ιόντων χαλκού ή σιδήρου, όπως φαίνεται στην αντίδραση :



3. Χρήση SO_2 , Μέθοδος INCO

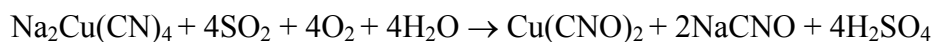
Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην οξείδωση των κυανιόντων ελεύθερων ή συμπλόκων με μέταλλα μετάβασης εκτός από το σίδηρο και το κοβάλτιο, χρησιμοποιώντας το SO_2 του αέρα, παρουσία ιόντων χαλκού, σύμφωνα με την αντίδραση :



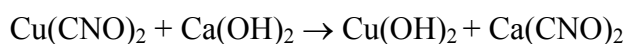
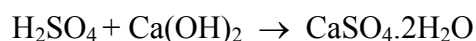
Τα ιόντα του χαλκού καταλύουν την αντίδραση αυτή και έτσι όταν η συγκέντρωση του χαλκού στα προς διαχείριση απόβλητα δεν είναι ικανοποιητική απαιτείται προσθήκη ποσότητας θεικού χαλκού.

Οι βέλτιστες τιμές pH για την διαδικασία αυτή κυμαίνονται από 8 ως 10, ενώ η θερμοκρασία αφού δεν έχει σημαντική επίδραση μπορεί να κυμαίνεται από 5 ως 60 °C. Η συνιστώμενη συγκέντρωση σε SO_2 του αέρα είναι μικρότερη ή ίση με 2%.

Ταυτόχρονα διασπώνται και τα ευδιάλυτα σύμπλοκα των βαρέων μετάλλων εκτός του σιδήρου, όπως χαλκού, νικελίου, ψευδαργύρου κλπ. σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση :

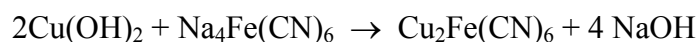


Το παραγόμενο H_2SO_4 και τα ευδιάλυτα κυανικά άλατα των βαρέων μετάλλων εξουδετερώνονται με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και καθιζάνουν σαν γύψος και υδροξείδια αντίστοιχα :



Τα παραμένοντα στο διάλυμα κυανικά άλατα του νατρίου και του ασβεστίου είναι σαφώς λιγότερο τοξικά από τα αντίστοιχα κυανιούχα.

Τα κυανιούχα σύμπλοκα του σιδήρου που δεν καταστρέφονται άμεσα, καθιζάνουν δημιουργώντας αδιάλυτα άλατα με άλλα μέταλλα.



4. Διαχείριση των κυανιούχων αποβλήτων με αερόβιες βιολογικές διαδικασίες

Στην εταιρεία Homestake Mining Company αναπτύχθηκε μία αερόβια βιολογική διαδικασία διαχείρισης κυανιούχων αποβλήτων κατά την οποία οξειδώνονται τα ελεύθερα κυανιόντα καθώς και τα σύμπλοκα των ιόντων κυανίου, τα θειοκυανιόντα και η αμμωνία η οποία παράγεται κατά τη διάρκεια της αρχικής οξείδωσης. Το απαραίτητο βακτήριο βρίσκεται αυτόχθονο στα συγκεκριμένα κυανιούχα απόβλητα, και οι μόνες απαιτήσεις σε χημικές ουσίες περιορίζονται στην χρήση κάποιας πηγής ανόργανου άνθρακα με σκοπό βοήθεια για την νιτροποίηση, καθώς και στη χρήση φωσφόρου (H_3PO_4) σαν θρεπτική ουσία.

Στην συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόζονται δύο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο χρησιμοποιείτε το βακτήριο *Pseudomonas paucimobilis* για να οξειδώσει τα σύμπλοκα κυανιόντα με μέταλλα και τα θειοκυανιόντα σε αμμωνία , ανθρακικά και θειικά με ταυτόχρονη προσρόφηση των βαρέων μετάλλων στο βιοφίλμ. Κατά το δεύτερο στάδιο η αμμωνία που δημιουργήθηκε, μετατρέπεται σε νιτρώδη και τελικά νιτρικά με την βοήθεια δύο βακτηρίων, του *Nitrobacter* και του *Nitrosomonas*.

Τα προϊόντα αυτής της βιολογικής διαχείρισης περιλαμβάνουν μη μολυσμένα ανιόντα, καθώς και θειικά, νιτρικά και ανθρακικά άλατα. Συσσώρευση των τοξικών μετάλλων στην βιομάζα μπορεί να προκαλέσει αργή μικροβιακή αύξηση και κατά συνέπεια αστοχία στο σύστημα. Αν απαιτείται προεπεξεργασία απομάκρυνσης των μεταλλικών ιόντων, τότε το αναμενόμενο κόστος καθιστά την όλη διαδικασία ασύμφορη [Yannopoulos, 1990] .

3.2 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χαρακτηρίζεται μια σειρά μεθόδων εμπλουτισμού μεταλλευμάτων, οι οποίες εκμεταλλεύονται τη διαφορά των πυκνοτήτων των προς τον διαχωρισμό ορυκτών. Το αποτέλεσμα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού εξαρτάται επίσης από το μέγεθος 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 $7,5 \text{ gr/cm}^3$) μέχρι τον γαιάνθρακα (πυκνότητα $1,2 \text{ gr/cm}^3$).

Το μέγεθος των τεμαχιδίων που μπορούν να επεξεργαστούν ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο, από τα 200mm έως τα 50μ m.

Το δεύτερο ήμισυ του αιώνα μας οι μέθοδοι αυτές άρχισαν να υποχωρούν, έναντι της επίπλευσης, η οποία εξελίχθηκε και μπόρεσε να επεξεργασθεί επιλεκτικά φτωχά , σύνθετα μεταλλεύματα. Παρέμειναν όμως οι κύριες μέθοδοι εμπλουτισμού για τα μεταλλεύματα του σιδήρου, του βολφραμίου, του χρωμίτη, ενώ χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά στον εμπλουτισμό μεταλλευμάτων κασσιτέρου. Η επιλογή βαρυτομετρικών μεθόδων, έναντι της επίπλευσης, γίνεται με βάση οικονομικά κριτήρια. Ορυκτά που αποδεσμεύονται σε μεγέθη μεγαλύτερα του συνήθους μεγέθους επίπλευσης μπορούν να εμπλουτισθούν οικονομικότερα χρησιμοποιώντας βαρυτομετρικές μεθόδους.

Τα τελευταία χρόνια οι μέθοδοι αυτές άρχισαν πάλι να ανακτούν και πάλι έδαφος, κυρίως για την απλότητά τους, τη μικρή δυσμενή τους επίπτωση στο περιβάλλον και την αύξηση του κόστους των αντιδραστηρίων της επίπλευσης.

Οι νέες τεχνικές που εφαρμόστηκαν έχουν αυξήσει τη δυναμικότητα των εγκαταστάσεων και την απόδοση του διαχωρισμού και έχουν διευρύνει το πεδίο εφαρμογής τους στις περιοχές μεγέθους 50-10μm.

Σε πολλές περιπτώσεις όπου οι συνθήκες αποδέσμευσης είναι ευνοϊκές, οι βαρυτομετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται με επιτυχία, τουλάχιστον για την παραγωγή ενός προσυμπυκνώματος με ένα φτηνό και οικολογικά καθαρό τρόπο. Έτσι, μειώνεται το κόστος λειοτρίβησης και η ποσότητα των χρησιμοποιούμενων αντιδραστηρίων, όπως επίσης και οι δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον [Σαμπολιάδης 2001].

3.2.2 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι διαχωρίζουν ορυκτά με βάση τη διαφορετική τους κίνηση μέσα σε ρευστά υπό την επίδραση της βαρύτητας.

Για να επιτευχθεί ικανοποιητικός διαχωρισμός πρέπει να υπάρχει εμφανής διαφορά στην πυκνότητα των προς διαχωρισμό ορυκτών. Μια ποσοτική ιδέα του αναμενόμενου διαχωρισμού λαμβάνεται από το λεγόμενο κριτήριο διαχωρισμού:

$$(\rho_{\beta} - \rho_{\pi}) / (\rho_{\alpha} - \rho_{\pi}) \quad (5.1)$$

που δεν είναι τίποτε άλλο από τη σχέση καθίζησης. Όπου ρ_{π} η πυκνότητα του πετρώματος, ρ_{α} η πυκνότητα του απορρίμματος, ρ_{β} η πυκνότητα του συμπηκνώματος.

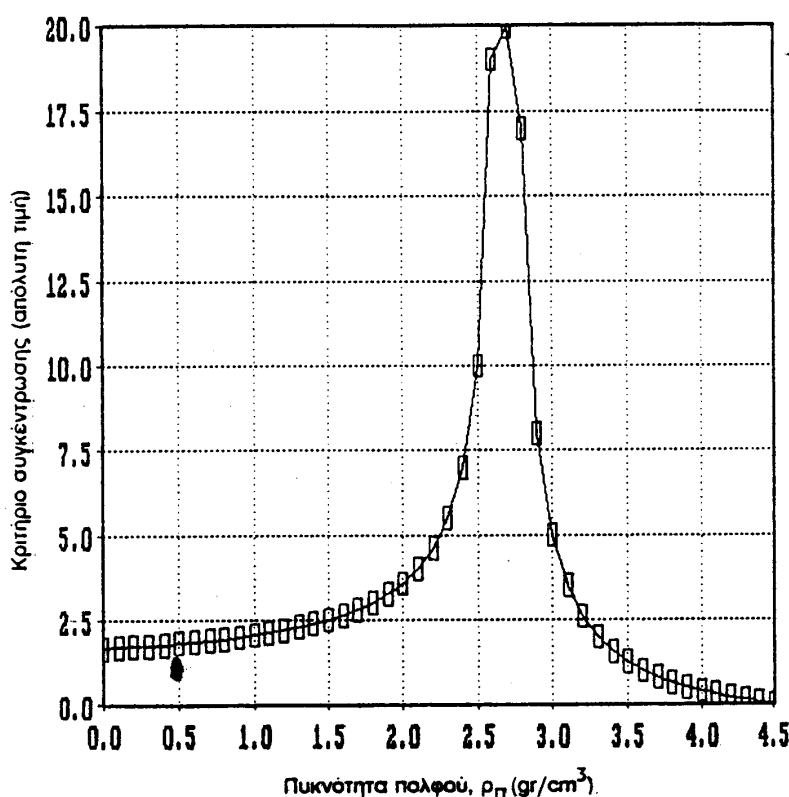
Σε γενικές γραμμές, όταν η απόλυτη τιμή του κριτηρίου διαχωρισμού είναι μεγαλύτερη του 2,5, αναμένεται σχετικά εύκολος και ικανοποιητικός διαχωρισμός. Για τιμές μέχρι 1,25, η απόδοση σιγά σιγά ελαττώνεται και για τιμές μικρότερες του 1,25, ο διαχωρισμός δεν είναι συνήθως αποδεκτός.

Στην περίπτωση με το χρυσό, τόσο στο δείγμα από την περιοχή της Άρτας όσο και στο δείγμα από την περιοχή Χανίων η απόλυτη τιμή του κριτηρίου διαχωρισμού είναι

μεγελύτερη από 2,5 οπότε και αναμένεται σχετικά εύκολος και ικανοποιητικός διαχωρισμός. Η τιμή αυτή υπολογίζεται από τη σχέση καθίζησης όπου, $\rho_{\pi}=1$, $\rho_{\alpha}=2.7$, $\rho_{\beta}=19.8$.

Επειδή οι πυκνότητες ρ_{α} και ρ_{β} των ορυκτών που πρέπει να διαχωριστούν είναι δεδομένες από τη φύση του μεταλλεύματος, η μόνη μεταβλητή που μπορεί να επηρεάσει κανείς είναι η πυκνότητα του ρευστού υπό συνθήκες παρεμποδιζομένης καθίζησης, δηλαδή η πυκνότητα του πολφού των ιδίων των σωματιδίων ή η πυκνότητα ενός βαρέος διαμέσου που χρησιμοποιείται ως μέσο διαχωρισμού.

Το σχήμα 3.5 παρουσιάζει τη μεταβολή της απόλυτης τιμής του κριτηρίου διαχωρισμού μεταξύ ασβεστίτη (πυκνότητα 2,7 gr/cm³) και βαρύτη (πυκνότητα 4,5 gr/cm³) συναρτήσει της πυκνότητας του πολφού. Το κριτήριο διαχωρισμού λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή για πυκνότητα πολφού ίση με αυτή του ελαφρύτερου ορυκτού, που υπό τις συνθήκες αυτές αρχίζει να επιπλέει στον πολφό.



Σχήμα 3.5: Κριτήριο συγκέντρωσης συναρτήσει της πυκνότητας του πολφού

Το κριτήριο διαχωρισμού όπως έχει ήδη ελεγχθεί είναι και δείκτης της σχέσης των διαμέτρων δύο σωματιδίων που έχουν την ίδια ταχύτητα καθίζησης. Άρα για να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των σωματιδίων, πρέπει η σχέση μεγέθους τους να μην υπερβαίνει το κριτήριο διαχωρισμού για συνθήκες Νευτώνειας καθίζησης. Επομένως, η τροφοδοσία των σωματιδίων σε μία μέθοδο βαρυτομετρικού διαχωρισμού πρέπει να είναι πολύ στενά ταξινομημένη σε ένα στάδιο προετοιμασίας με κοσκίνιση.

Η επίδραση του μεγέθους είναι ακόμη πιο σημαντική στους μικρούς κόκκους, για τους οποίους η σχέση ελεύθερης καθίζησης είναι ανάλογη με την τετραγωνική ρίζα του κριτηρίου συγκέντρωσης.

$$d_{\alpha}/d_{\beta} = [(\rho_{\beta} - \rho_{\pi}) / (\rho_{\alpha} - \rho_{\pi})]^n \quad (5.2)$$

3.2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός είναι μια μέθοδος ανάκτησης χρυσού από τις ιζηματώδεις αποθέσεις μεταλλοφόρων κοιτασμάτων. Η εφαρμογή της βασίζεται στις διαφορετικές τελικές ταχύτητες που μπορεί να έχουν οι βαρείς κόκκοι χρυσού έναντι των ελαφριών κόκκων του μεταλλεύματος. Για τα ισομεγέθη τεμαχίδια η διαφορά της ταχύτητας οφείλεται στην πυκνότητά τους, η οποία για τον χρυσό είναι 19.3 g/cm^3 ενώ για το στείρο μέταλλευμα είναι της τάξης του 2.7 g/cm^3 . Επίσης ανεξάρτητα από την πυκνότητα, η ταχύτητα των τεμαχιδίων επηρεάζεται και από το μέγεθός τους.

Γενικότερα οι βαρυτομετρικές μέθοδοι διαχωρίζουν τα ορυκτά με βάση την διαφορετική τους κίνηση μέσα σε ρευστά υπό την επίδραση μόνο της βαρύτητας ή ακόμη υπό την επίδραση της βαρύτητας σε συνδυασμό με άλλες μηχανικά εξασκούμενες δυνάμεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η κίνηση των τεμαχιδίων μέσα στο ρευστό καθορίζεται από τον νόμο του Stokes, σύμφωνα με τον οποίο υπολογίζεται η ταχύτητα του χαλαζία και των κόκκων χρυσού ανάλογα με το μέγεθός τους. [Σταμπολιάδης 2003]

$$U_t = (\rho_s - \rho_w) \gamma \chi^2 / 18 \eta$$

Όπου

U_t : τελική ταχύτητα (m/sec)

ρ_s : πυκνότητα στερεού (kg/m^3)

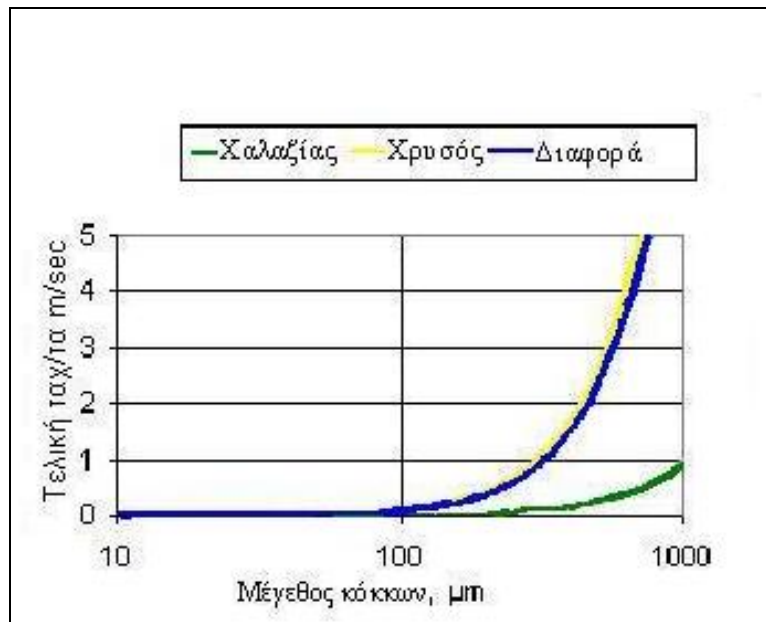
ρ_w : πυκνότητα ρευστού (1000 kg/m^3)

γ : επιτάχυνση της βαρύτητας (m/sec^2)

χ : μέγεθος τεμαχιδίων (m)

η : ιξώδες (0.001 N sec/m^2)

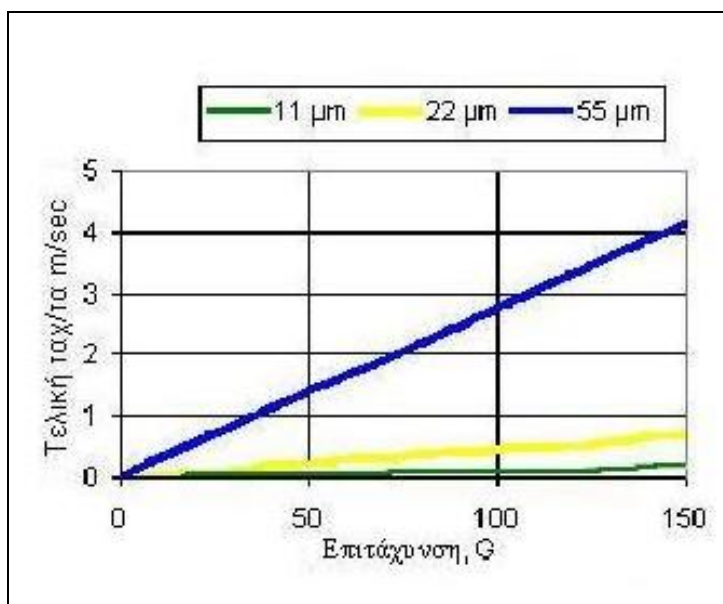
Τα αποτελέσματα για τους κόκκους χρυσού και χαλαζία φαίνονται στο σχήμα 3.6 . στο σχήμα αυτό φαίνεται και η διαφορά μεταξύ των δύο υλικών για $\gamma=9,81 \text{ m/sec}^2$. Είναι προφανές ότι κάτω από μέγεθος $100 \mu\text{m}$ η διαφορά στην τελική ταχύτητα είναι αμελητέα και ο διαχωρισμός πολύ δύσκολος.



Σχήμα 3.6 Επίδραση μεγέθους

Δεδομένου ότι η τελική ταχύτητα εξαρτάται από την επιτάχυνση των τεμαχιδίων και λόγω της ποικιλίας του μεγέθους αυτών, κάποιο θα μπορούσε να έχει επίπτωση στο αποτέλεσμα.

Η επίδραση που μπορεί να έχει μία τέτοια διαφοροποίηση στην τελική ταχύτητα μεταξύ κόκκων χρυσού και των κόκκων του μεταλλεύματος φαίνεται στο σχήμα 3.7. Η επιτάχυνση G που χρησιμοποιείται σε αυτό το σχήμα είναι η σχετική επιτάχυνση $G=\gamma/g$. Παρατηρείται ότι η διαφορά στην τελική ταχύτητα αυξάνεται αναλογικά με την επιτάχυνση. [Σταμπολιάδης 2003].



Σχήμα 3.7: Επίδραση Βαρύτητας

Παράγοντες που επιδρούν στην αποτελεσματικότητα των μηχανών βαρυτομετρικού διαχωρισμού, εκτός από το μέγεθος και την ταξινόμηση της τροφοδοσίας, είναι και η τυχόν παρουσία πολύ λεπτών κόκκων.

Τα πολύ λεπτά τεμαχίδια αυξάνουν το ιξώδες του πολφού και έτσι μειώνουν το αποτέλεσμα του διαχωρισμού. Είναι κοινή πρακτική για το λόγο αυτό τα σωματίδια αυτά, συνήθως μικρότερα από 10 μm , να απομακρύνονται από την τροφοδοσία των βαρυτομετρικών διαχωριστών.

Η αποτελεσματικότητα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού μειώνεται αρκετά σε μικρά μεγέθη κόκκων, κάτω των 100 μm . Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού σχεδιάστηκαν νέα μηχανήματα που ονομάζονται φυγοκεντρικοί συγκεντρωτές.

3.2.3.α Βαρυτομετρικοί Διαχωριστές

Κατά το παρελθόν σχεδιάστηκαν διάφορα μηχανήματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού, εκ των οποίων πολλά μέχρι σήμερα έχουν καταργηθεί. Τα κυριότερα από αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τα Jigs, οι δονούμενες τράπεζες, οι σπειροειδής και κωνικοί συγκεντρωτές, οι οχετοί, καθώς και οι φυγοκεντρικοί βαρυτομετρικοί διαχωριστές.

Παράγοντες που επιδρούν στην αποτελεσματικότητα των μηχανών βαρυτομετρικού διαχωρισμού, εκτός από το μέγεθος και την ταξινόμηση της τροφοδοσίας, όπως έχουν ήδη αναφερθεί, είναι η παρουσία των λεπτών κόκκων (ιλύς, Slimes) και η ισορροπία του νερού στο κύκλωμα.

Τα πολύ λεπτά σωματίδια (slimes) αυξάνουν το ιξώδες του πολφού και μειώνουν την οξύτητα του διαχωρισμού. Τα σωματίδια αυτά, συνήθως μικρότερα των 10μm, απομακρύνονται από την τροφοδοσία στο στάδιο της προετοιμασίας και της ταξινόμησης. Επειδή η απομάκρυνσή τους συνεπάγεται αντίστοιχη απώλεια προϊόντος, επιτυγχάνεται ικανοποιητική αποδέσμευση. Εάν υπάρχει ανάγκη λειοτρίβησης να προτιμάται ο ραβδόμυλος, ενώ η χρήση του σφαιρόμυλου περιορίζεται όπου απαιτείται λεπτομερέστερη λειοτρίβηση, κυρίως στην επεξεργασία ενδιάμεσων προϊόντων (middlings).

Τα λεπτά σωματίδια δημιουργούνται ακόμη και κατά τη ροή του πολφού, ιδίως με άντληση, όπου αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες. Μια συνήθης πρακτική είναι να επιδιώκεται φυσική ροή, χωρίς άντληση και για το λόγο αυτό πολλά εργοστάσια είναι κτισμένα στις κατωφέρειες μικρών λόφων.

Η ισορροπία του νερού έχει επίσης μεγάλη σημασία γιατί επηρεάζει την πυκνότητα των πολφών στα διάφορα στάδια επεξεργασίας. Για το λόγο αυτό, σε πολλά εργοστάσια υπάρχουν ενδιάμεσα στάδια πύκνωσης του πολφού σε κωνικούς υδροταξινομητές ή πυκνωτές. Η χρήση κυκλώνων που απαιτούν άντληση του πολφού αποφεύγεται για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί. Τέλος, είναι πολύ χρήσιμο η

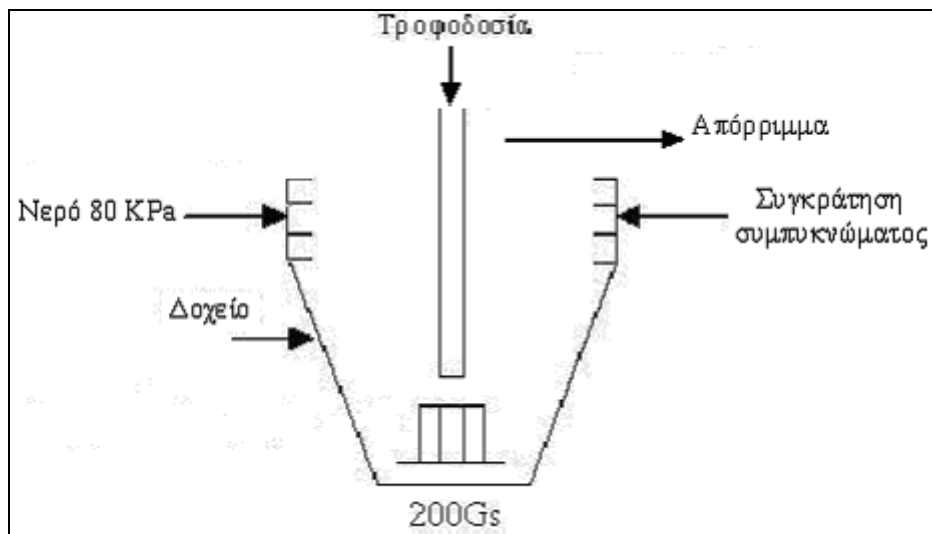
πυκνότητα του πολφού να παρακολουθείται συνεχώς και να διορθώνεται με τα απαραίτητα συστήματα αυτοματισμού.

3.2.3.β Φυγοκεντρικοί Συγκεντρωτές

Τα μηχανήματα αυτά αρχικά σχεδιάστηκαν για τις ανάγκες της ανάκτησης χρυσού και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν και για την ανάκτηση γενικότερα των βαρέων ορυκτών. Ο διαχωρισμός του χρήσιμου βαρέως κλάσματος από το αντίστοιχο ελαφρύ στείρο επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την φυγόκεντρο δύναμη και την ρευστοποίηση.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό αυτό λειτουργεί σύμφωνα με επιτάχυνση μεγαλύτερη από την επιτάχυνση της γήινης βαρύτητας που είναι 1G. Οι συγκεντρωτές αυτοί επιταχύνουν τους κόκκους των ορυκτών της τροφοδοσίας που εισάγονται σε ένα ειδικά διαμορφωμένο κωνικό κύπελλο και έτσι ενισχύουν την διαφορά βαρύτητας που υπάρχει ανάμεσα στα προς διαχωρισμό ορυκτά.

Η αρχή λειτουργίας τέτοιου είδους εξοπλισμού παρουσιάζεται στο σχήμα 3.8. Ο διαχωριστής αποτελείται από ένα δοχείο το οποίο περιστρέφεται γύρω από έναν κάθετο άξονα. Η τροφοδοσία γίνεται από το κέντρο και λόγω των φυγοκεντρικών δυνάμεων το υλικό ανέρχεται στην κορυφή του δοχείου όπου υπάρχουν ραβδώσεις για την συγκράτηση των βαρέων κόκκων ενώ οι ελαφρύτεροι υπερχειλίζουν.



Σχήμα 3.8: Φυγοκεντρικός Διαχωριστής

Το υλικό αρχικά στρωματοποιείται σύμφωνα με την συγκεκριμένη πυκνότητα που έχει και έπειτα εισέρχεται σε μία περιοχή που υπάρχει νερό υπό πίεση, όπου λόγω της ρευστοποίησης υπόκεινται σε άλλου είδους επεξεργασία. Στο στάδιο αυτό εγκλωβίζονται τα βαρύτερα τεμαχίδια και δημιουργούν το συμπύκνωμα, ενώ τα ελαφρύτερα παρασύρονται από την παροχή νερού και απομακρύνονται στο απόρριμμα. Περιοδικά πρέπει να σταματά η τροφοδοσία και να συλλέγεται το συμπύκνωμα που έχει εγκλωβισθεί στις ραβδώσεις του κωνικού κυπέλλου.

Οι βαρυτικές δυνάμεις που δημιουργούνται μπορούν να υπολογιστούν συναρτήσει της συχνότητας περιστροφής (rpm) και της διαμέτρου του δοχείου D (m).

Η ταχύτητα περιστροφής του δοχείου δίνεται από τον τύπο:

$$v = \pi D N, \text{ m/sec}$$

όπου N = συχνότητα σε Hz.

Η επιτάχυνση γ η οποία μπορεί να επιτευχθεί υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\gamma = 2 v^2 / D, \text{ m/sec}^2$$

ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

Για την ομαλή και επιτυχή εξέλιξη των πειραματικών διεργασιών για την ανάκτηση του περιεχομένου χρυσού καθώς και για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι ανάλυσης και κάποιες πειραματικές διεργασίες. Οι μέθοδοι αυτοί καθώς και οι τεχνικές περιγράφονται παρακάτω.

4.1 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-X(XRD)»

Η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD). Το περιθλασίμετρο ακτίνων-X που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου D-500 Siemens (εικ.5.3), του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Το όργανο αυτό αποτελείται από τις εξής βασικές μονάδες:

- ⊗ τη μονάδα παραγωγής υψηλής τάσεως
- ⊗ τη λυχνία των ακτίνων-X
- ⊗ το γωνιόμετρο
- ⊗ τον απαριθμητή των ακτίνων-X
- ⊗ την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων
- ⊗ τη μονάδα του μικροϋπολογιστή, ο οποίος καθοδηγεί το σύστημα και αξιολογεί τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση των δειγμάτων.

Με τη μέθοδο του περιθλασίμετρου ακτίνων-X είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως καθώς και των γωνιών πρόσπτωσης [Κωστάκης, 1999].

Ο πρώτος που χρησιμοποίησε τις ακτίνες-X για κρυσταλλογραφική ανάλυση ήταν ο Bragg το 1913. Η περίθλαση των ακτίνων-X στους κρυστάλλους συμβαίνει όταν

ακτίνες-X προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου (Εικ.4.1). Αν θεωρηθεί 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, την απόσταση d , τότε σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει:

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

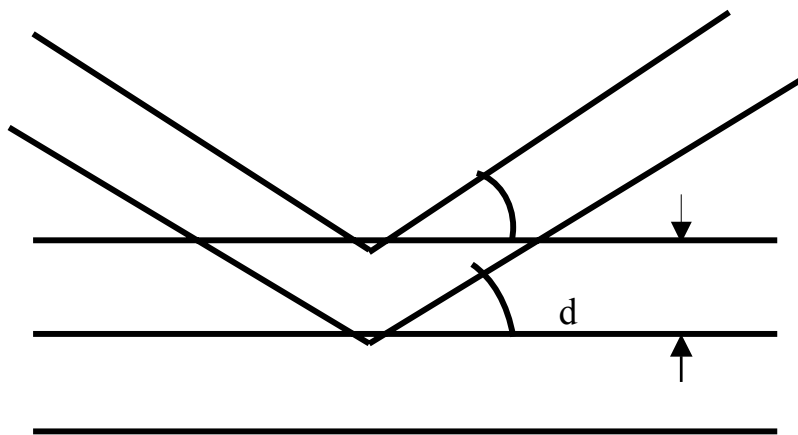
Όπου:

n : τάξη ανάκλασης

λ : μήκος κύματος

d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου

θ : γωνία ανάκλασης



Εικ.4.1 Ανάκλαση των ακτίνων-X σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg

4.2 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑΣ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ»

Έγιναν χημικές αναλύσεις στα δείγματα. Ο προσδιορισμός των χημικών στοιχείων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης (Εικ.4.2).

Η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης ανήκει στις οπτικές μεθόδους ενόργανης ανάλυσης. Η ιδιότητα που μετράται είναι η απορροφούμενη ακτινοβολία από τα ελεύθερα και στη θεμελιώδη κατάσταση βρισκόμενα άτομα του υπό προσδιορισμού στοιχείου. Η μέθοδος θεμελιώθηκε το 1955 (Walsh, 1955) και χρησιμοποιείται ευρέως στον ποσοτικό προσδιορισμό πολλών μεταλλοϊόντων. Κατά τον προσδιορισμό με φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης πραγματοποιούνται δύο διαδικασίες. Αρχικά ατομοποιείται το υπό εξέταση στοιχείο και ακολουθεί διέγερση των παραγόμενων ατόμων. Η διέγερση επιτυγχάνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας, συγκεκριμένου μήκους κύματος που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ενέργεια για ηλεκτρονική μετάπτωση από τη θεμελιώδη κατάσταση σε μια διεγερμένη. Όταν η ακτινοβολία αυτού του μήκους κύματος διέλθει μέσα από τα άτομα του μεταλλοϊόντος μέρος της απορροφάται ενώ τα άτομα διεγείρονται. Η παρατηρούμενη απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του μεταλλοϊόντος και ακολουθεί το νόμο των Lambert-Beer:

$$A = \log P_0/P = - \log T = \epsilon bc$$

Όπου:

A: απορρόφηση

P₀: ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

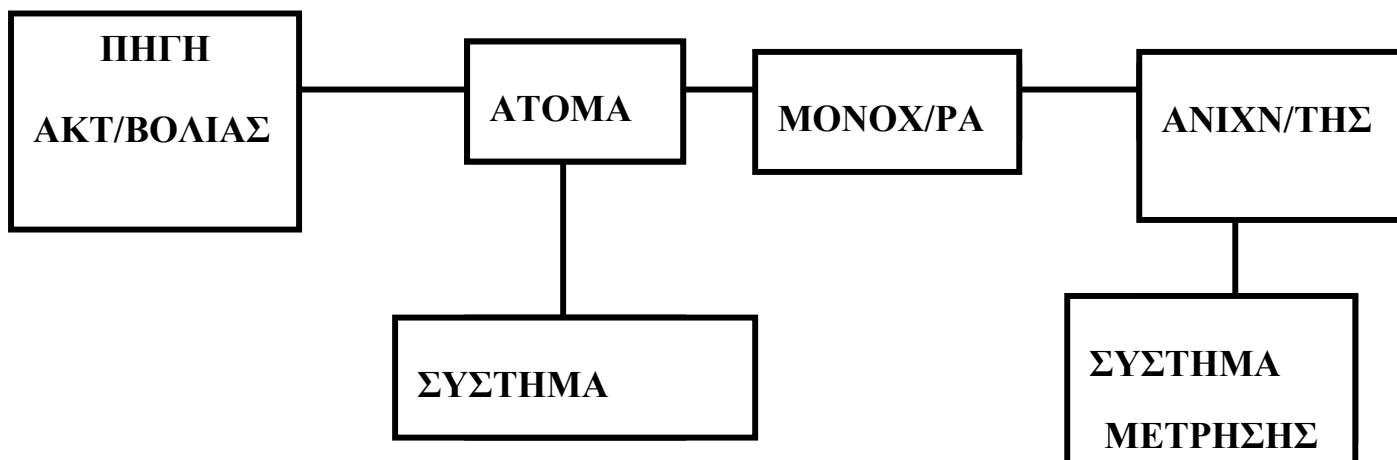
P: ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας

T: διαπερατότητα

b: απόσταση μέσα στο διάλυμα που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας

ε: μοριακή απορροφητικότητα (σταθερά αναλογίας)

c: συγκέντρωση



Εικ.4.2 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης

Το στάδιο της ατομοποίησης είναι το σημαντικότερο και η διαδικασία που ακολουθείται έχει σημαντική επίδραση στην ευαισθησία και στην ακρίβεια της μεθόδου (Guidoboni, 1978). Για τις χημικές αναλύσεις αυτής της εργασίας εφαρμόστηκε η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φλόγα, δηλαδή η ατομοποίηση έγινε με φλόγα.

4.3 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΒΑΡΕΑ ΥΓΡΑ

Η βαρυτομετρική ανάλυση ενός μεταλλεύματος με βαρέα υγρά εφαρμόζεται κυρίως σε μεταλλεύματα που τα ορυκτά που πρέπει να διαχωριστούν να έχουν μια διαφορά ειδικού βάρους τουλάχιστον $0,5 \text{ gr/cm}^3$.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στον διαχωρισμό των ορυκτών του μεταλλεύματος κατά ειδικά βάρη με τη βοήθεια ενός ή σειράς βαρέων υγρών. Με τον τρόπο αυτό το αρχικό δείγμα διαχωρίζεται σε κλάσματα διαφορετικών ειδικών βαρών. Τα κλάσματα αυτά στη συνέχεια ζυγίζονται και αναλύονται για το χρήσιμο ή το στείρο συστατικό τους.

Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν εφαρμόζεται για διαχωρισμό ορυκτών με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από $4,5 \text{ gr/cm}^3$ γιατί περιορίζεται από την αντίστοιχη μέγιστη πυκνότητα βαρέως υγρού. Τα διατιθέμενα βαρέα υγρά δίνονται στον πίνακα 6.1.

Βαρύ υγρό	Ειδικό Βάρος (gr/cm^3)
Τετραχλωράνθρακας	1,58
Βρωμοφόρμιο	2,82
Τετραβρωμοαιθάνιο	2,96
Ιωδιούχο μεθυλένιο	3,33
Διάλυμα Clerici	4,5

Πίνακας 1: Διατιθέμενα Βαρέα Υγρά

Οποιαδήποτε ενδιάμεση τιμή ειδικού βάρους μεταξύ των δύο άκρων λαμβάνεται με αραίωση με κατάλληλο διαλύτη, όπως τετραχλωράνθρακας, βενζόλιο, ακετόνη κ.α. [Φραγκίσκος, 1979].

4.4 ΠΥΡΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΚΤΗΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΥΣΟΥ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κυπέλλωσης (Fire assay) για τον προσδιορισμό των περιεκτικότητων σε χρυσό. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι έντονα αναγωγική τήξη σε θερμοκρασία 950 °C. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Εμπλουτισμού με χρήση κλιβάνου και ειδικών εξαρτημάτων.

Δοκιμές κυπέλλωσης έγιναν στα αρχικά δείγματα, στο προϊόν και στο απόρριμμα των δοκιμών ανάκτησης χρυσού με τη χρήση βαρυτομετρικού διαχωριστή, καθώς και σε δείγματα ενεργού άνθρακα και σε υπολείμματα μεταλλεύματος μετά από τις δοκιμές κύανωσης.

Σαν προσθετικά (συλλιπάσματα) χρησιμοποιήθηκαν ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3), λιθάργυρος (PbO), ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), πυρίτιο (SiO_2), βόρακας ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), αλεύρι και ένα μίγμα αργύρου αποτελούμενο από 10% w/w νιτρικό άργυρο (AgNO_3) σε ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3). Ο υπολογισμός της αναλογίας βαρών για τον καθορισμό του φορτίου της κυπέλλωσης σε καθένα από τα προηγούμενα προσθετικά, στηρίχθηκε στις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3), σε βάρος ίσο με το δείγμα του μεταλλεύματος, με αποκλειστικό σκοπό την ρύθμιση της ευτηκότητας της σκωρίας.
- Λιθάργυρος (PbO), με σκοπό την αύξηση της ρευστότητας της σκωρίας αλλά και την δημιουργία της απαραίτητης μεταλλικής φάσης (χελώνα).
- Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), απαραίτητο για την εξουδετέρωση του βασικού οξειδίου του αργιλίου που τυχόν περιέχει το μέταλλευμα.
- Πυρίτιο (SiO_2), απαραίτητο για την εξουδετέρωση των οξειδίων που περιέχει τόσο το μέταλλευμα όσο και τα προσθετικά.
- Βόρακας ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), σε αναλογία ίση με το ένα τρίτο του απαιτούμενου πυριτίου με σκοπό την αύξηση της ευτηκότητας.
- Αλεύρι σαν αναγωγικό μέσο, απαραίτητο στοιχείο για την παραγωγή της μεταλλικής φάσης στα δείγματα που δεν περιείχαν άνθρακα.

- Μίγμα αργύρου με σκοπό την δημιουργία ικανοποιητικής σε ποσότητα μεταλλικής φάσης ευγενών μετάλλων χρυσού και αργύρου(χάντρα), μετά την οξείδωση του περιεχομένου στη “χελώνα” μολύβδου.

Στα δείγματα του ενεργού άνθρακα έγινε προσθήκη νιτρικού καλίου (KNO_3), σαν οξειδωτικό μέσο, λόγω ότι ο άνθρακας είναι έντονα αναγωγικό μέσο.

Τα δείγματα που παρασκευάστηκαν με τις αντίστοιχες αναλογίες τοποθετήθηκαν στον κλίβανο σε θερμοκρασία $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ για χρονική διάρκεια μίας ώρας, όπου επιτεύχθηκε η τήξη του δείγματος και ο διαχωρισμός των δύο φάσεων, της μεταλλικής και της σκωρίας. Στη συνέχεια με προσεχτική και γρήγορη μεταφορά του τετηγμένου δείγματος από το κύπελλο σε ειδικό κωνικού σχήματος δοχείο (multi cone) επιτεύχθηκε μηχανικός διαχωρισμός βαρύτητας της μεταλλικής φάσης (χελώνας) από τη σκωρία λόγω διαφοράς των ειδικών τους βαρών. Οι χελώνες που δημιουργήθηκαν τοποθετήθηκαν ξανά στον κλίβανο σε θερμοκρασία $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ για χρονικό διάστημα μίας ώρας, οπότε οξειδώθηκε ο περιεχόμενος στη χελώνα μολύβδος και παρέμεινε μόνο η μεταλλική φάση των ευγενών μετάλλων g-Au, γνωστή σαν “χάντρα”.



Εικ. 4.1: Μεταφορά του τετηγμένου δείγματος από το κύπελλο σε ειδικό κωνικού σχήματος δοχείο (multi cone).

Οι χάντρες αυτές ακολούθησαν συγκεκριμένη διαδικασία διαλυτοποίησης με χρήση νιτρικού οξέως (HNO_3) 50 % v/v με σκοπό την διαλυτοποίηση του αργύρου. Στη συνέχεια προστέθηκε πυκνό υδροχλωρικό οξύ (HCl) με σκοπό την απομάκρυνση του διαλελυμένου αργύρου με τη μορφή χλωριούχου αργύρου (AgCl) και την διαλυτοποίηση του περιεχομένου χρυσού.



Εικ. 4.2: Διαχωρισμός βαρύτητας της μεταλλικής φάσης (χελώνας) από τη σκωρία.

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε χρυσό των διαλυμάτων και κατ'έκταση και των δειγμάτων της κυπέλλωσης πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της φασματοσφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης. Το φασματοφωτόμετρο που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στο Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, και είναι τύπου Analyst 100 της εταιρείας Perkin Elmer.

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων παρουσιάζονται στις επιμέρους διαδικασίες εμπλουτισμού που πραγματοποιήθηκαν.

4.5 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΣ FALCON ΜΟΝΤΕΛΟ SB40

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκαν δοκιμές βαρυτομετρικού διαχωρισμού με χρήση φυγοκεντρικού διαχωριστή Falcon μοντέλο SB40, που διαθέτει το εργαστήριο Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης.(εικόνα 4.3)



Εικ 4.3: Φυγοκεντρικός Διαχωριστής Falcon μοντέλο SB40

Η αρχή λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή έχει περιγραφεί στο κεφάλαιο 3.2.3.β.

Στόχος των δοκιμών αυτών ήταν ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του περιεχομένου χρυσού και των βαρέων ορυκτών που περιέχονταν στα δείγματα. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ελεγχθεί η πιθανότητα ανάκτησης του χρυσού με βαρυτομετρικές μεθόδους καθώς και να συγκριθούν με την ανάκτηση του χρυσού μετά από δοκιμές κυάνωσης. Όπως είναι γνωστό, οι βαρυτομετρικές μέθοδοι είναι φιλικές προς το περιβάλλον σε αντίθεση με τις δοκιμές κυάνωσης οι οποίες προκαλούν αντιδράσεις από τις οικολογικές οργανώσεις.

4.5 ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ

Σε μια μέθοδο εμπλουτισμού τα ορυκτά διαχωρίζονται με βάση τη διαφορά που παρουσιάζουν σε κάποια ιδιότητα. Ανάλογα με την ένταση της μεθόδου, μπορούν να διαχωριστούν υλικά που παρουσιάζουν την ίδια ιδιότητα σε διαφορετικό βαθμό. Έτσι από κάθε διαδικασία εμπλουτισμού λαμβάνονται κάποια προϊόντα που το καθένα αντιπροσωπεύει ένα μέρος του βάρους του συνολικού υλικού και έχει μια συγκεκριμένη χημική ανάλυση σε κάποιο συστατικό, το οποίο ενδιαφέρει κάθε φορά.

Για να μπορεί να υπολογιστεί η ανάκτηση στο χρήσιμο στοιχείο και η αντίστοιχη απώλεια καθώς και ο επιτυγχανόμενος βαθμός διαχωρισμού σε κάποια διαδικασία που ακολουθήθηκε, χρησιμοποιείται η έννοια της μεταλλομονάδος. Σαν μεταλλομονάδες κάθε επιμέρους κλάσματος ορίζεται το γινόμενο του επί τοις εκατό βάρους του κλάσματος επί την χημική του ανάλυση, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$\text{Μεταλλομονάδες} = \text{Βάρος (\%)} * \text{Χημική ανάλυση} / 100$$

Το άθροισμα των επιμέρους μεταλλομονάδων δίνει το σύνολο όλων των μεταλλομονάδων του υπό εξέταση στοιχείου που υπάρχει στο συνολικό δείγμα και είναι ίσο εξ' ορισμού με την χημική ανάλυση του αρχικού δείγματος. Επιπλέον η επί τοις εκατό αναγωγή των επιμέρους μεταλλομονάδων δίνει την κατανομή του υπό εξέταση στοιχείου στο σύνολο του δείγματος. Η κατανομή αυτή στα κλάσματα που θεωρούνται ως προϊόντα ταυτίζεται με την έννοια της ανάκτησης, ενώ αντίστοιχα στα κλάσματα που θεωρούνται ως απορρίμματα ταυτίζεται με την έννοια της απώλειας. [Σταμπολιάδης 2001].

4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΚΥΑΝΙΟΥ

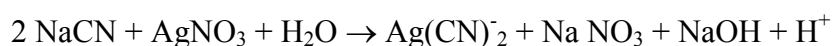
Όπως έχει αναφερθεί έγινε μελέτη του προσδιορισμού της κατανάλωσης κυανίου με τη μορφή κυανιούχου νατρίου. Για το σκοπό αυτό μετά από 6 και 32 ώρες από τη στιγμή που οι φιάλες τίθονταν σε περιστροφή, γινόταν ογκομετρικός προσδιορισμός των κυανιόντων που είχαν παραμείνει στο διάλυμα εκχύλισης, καθώς και

υπολογισμός τυχόν απαιτούμενης ποσότητας κυανιούχου νατρίου που έπρεπε να προστεθεί στον πολφό.

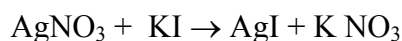
Ο ογκομετρικός προσδιορισμός των κυανιόντων έγινε με τιτλοδότηση διαλύματος νιτρικού αργύρου (AgNO_3) 0.01 N, και χρήση δείκτη ιωδιούχο κάλιο (KI), σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία:

Τη συγκεκριμένη στιγμή του προσδιορισμού, η φιάλη απομακρύνεται από τους ρόλους περιστροφής και αφήνεται για μικρό χρονικό διάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί καθίζηση των στερεών. Μετά την καταβύθιση, διηθείται ποσότητα 20 ml από το υγρό της κυάνωσης και στη συνέχεια λαμβάνεται δείγμα 10 ml από το διήθημα, το οποίο τοποθετείται σε κωνική φιάλη που περιέχει γύρω στα 50 ml νερό. Στο διάλυμα αυτό που περιέχει τα ιόντα κυανίου προστίθεται μικρή ποσότητα του δείκτη KI, και πραγματοποιείται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα AgNO_3 0.01 N.

Όσο στο διάλυμα περιέχονται ιόντα κυανίου αυτά δεσμεύονται από τον νιτρικό άργυρο σύμφωνα με την αντίδραση:



Στη συνέχεια και μετά την κατανάλωση όλων των ιόντων κυανίου που περιέχονται στο διάλυμα, ο επιπλέον νιτρικός άργυρος με το ιωδιούχο κάλιο που έχει προστεθεί σαν δείκτης δίνει ιωδιούχο άργυρο σαν ίζημα, σύμφωνα με την αντίδραση :



Το ίζημα του ιωδιούχου αργύρου που σχηματίζεται αλλάζει τον χρωματισμό του διαλύματος (από διαυγές αρχικά γίνεται ελαφρά λευκό), και δείχνει το τέλος της αντίδρασης.

Με την παραπάνω διαδικασία η ποσότητα όγκου του νιτρικού αργύρου που καταναλώθηκε κατά την τιτλοδότηση αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ποσότητα κυανιούχου νατρίου που παραμένει μέσα στη φιάλη κυάνωσης. Έτσι μπορεί να

υπολογιστεί η ποσότητα κυανιούχου νατρίου που έχει καταναλωθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή από το μετάλλευμα. Σε περίπτωση που η ποσότητα κυανιούχου νατρίου που έχει καταναλωθεί μέσα στη φιάλη είναι μεγάλη, τότε υπολογίζεται το ποσό του απαιτούμενου κυανιούχου νατρίου που πρέπει να προστεθεί επιπλέον.

ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται όλα τα πειράματα και όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για την επίτευξη του στόχου της διπλωματική αυτής εργασίας. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η ανάκτηση του περιεχομένου στα δείγματα χρυσού. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι ανάκτησης, η κυάνωση και ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός. Για την καλύτερη διεξαγωγή των πειραμάτων και για τη λήψη αξιόπιστων αποτελεσμάτων ακολουθήθηκαν κάποιες διεργασίες και τεχνικές στα αρχικά δείγματα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι από δύο διαφορετικές περιοχές, από την περιοχή του Νομού Χανίων και από την περιοχή του Νομού Άρτας. Συγκεκριμένα από την περιοχή της Άρτας είναι ένα δείγμα ενώ από την περιοχή των Χανίων είναι τρία δείγματα το MP 466, το MP 467, το MP 468.

Τα επιμέρους στάδια των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν για την επίτευξη του στόχου περιγράφονται παρακάτω.

5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Αρχικά πραγματοποιήθηκε θραύση των δειγμάτων Άρτας, MP 466, MP 467, MP 468 με χρήση τριβείου περιστρεφόμενων δίσκων σε μέγεθος -1.0 mm. Στη συνέχεια έγινε ανάμειξη και ομογενοποίηση των δειγμάτων MP 466 και MP 467 και δημιουργήθηκε με τον τρόπο αυτό το Σύνθετο δείγμα.

Με τη χρήση υδροκυκλώνα του εργαστηρίου Εμπλουτισμού αφαιρέθηκαν τα ψιλά τεμαχίδια και από το Σύνθετο δείγμα, , το MP 468 και το δείγμα της Άρτας οπότε προέκυψαν τα ακόλουθα κοκκομετρικά κλάσματα U/F και O/F για το καθένα δείγμα. Η κατανομή βάρους για το καθένα από τα τρία δείγματα φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 5.1.1.

Πίνακας 5.1.1: Κατανομή βάρους δειγμάτων

ΔΕΙΓΜΑ	ΣΥΝΘΕΤΟ (MP466+MP467)		MP 468		ΑΡΤΑΣ	
	Βάρος (gr)	Βάρος %	Βάρος (gr)	Βάρος %	Βάρος (gr)	Βάρος %
U/F	11134,4	69,85	2890	48,89	22100	83,71
O/F	4805,4	30,15	3021	51,11	4300	16,29
ΣΥΝΟΛΟ	15939,8	100,00	5911	100,00	26400	100,00

Πραγματοποιήθηκε προσεκτική ομογενοποίηση όπως και συστηματικός διαμερισμός των δειγμάτων με χρήση διαχωριστή Jokes, για την λήψη όσο το δυνατόν καλύτερου αντιπροσωπευτικού δείγματος για κάθε μία από τις παραπέρα διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν.

Στα δύο δείγματα MP 468 και Σύνθετο πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση σε 1000 gr δείγματος. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής φαίνονται στον πίνακα 5.1.2 και 5.1.3 .

Πίνακας 5.1.2: Κοκκομετρική ανάλυση δείγματος MP 468

Δείγμα MP 468		
Κοκκομετρικό κλάσμα	Βάρος (gr)	Βάρος %
1.000	0,00	0,00
+0.053	266,60	27,58
+0.010	302,00	31,25
-0.010	397,90	41,17
Σύνολο	966,50	100,00

Πίνακας 5.1.3: Κοκκομετρική ανάλυση σύνθετου δείγματος

Δείγμα Σύνθετο		
Κοκκομετρικό κλάσμα	Βάρος (gr)	Βάρος %
1.000	20,30	2,10
+0.053	432,40	44,78
+0.010	212,10	21,96
-0.010	300,90	31,16
Σύνολο	965,70	100,00

5.1.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΥΓΡΩΝ ΣΤΟ ΚΛΑΣΜΑ +0.053 ΤΩΝ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στο κοκκομετρικό κλάσμα $-1000 +53 \mu\text{m}$ πραγματοποιήθηκε βαρυτομετρικός διαχωρισμός με τη χρήση βαρέως υγρού πυκνότητας $2,80 \text{ g/ml}$. Το πείραμα αυτό είχε στόχο τον προσδιορισμό των βαρέων ορυκτών από τα οποία αποτελούνται τα αρχικά δείγματα. Το βαρύ υγρό παρασκευάστηκε με ανάμειξη ανάλογων όγκων από δύο άλλα υγρά γνωστής πυκνότητας. Τα υγρά αυτά ήταν τετραβρωμοαιθάνιο, πυκνότητας $2,96 \text{ g/ml}$ και τετραχλωράνθρακας, πυκνότητας $1,59 \text{ g/ml}$. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε στα δύο δείγματα, Σύνθετο και MP468.

Ποσότητα 60 gr από το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε κωνική φιάλη διαχωρισμού που περιείχε βαρύ υγρό πυκνότητας $2,80 \text{ g/ml}$. Μετά από ανάδευση πραγματοποιούνταν καθίζηση των κόκκων εκείνων που είχαν πυκνότητα μεγαλύτερη από $2,80 \text{ g/ml}$ με αντίστοιχη ανοδική κίνηση των κόκκων που είχαν μικρότερη πυκνότητα. Με αυτό τον τρόπο το υλικό χωρίστηκε σε δύο κοκκομετρικά κλάσματα, το SINK $2,80$ (βαρύ) και το FLOAT $2,80$ (ελαφρύ). Η κατανομή βάρους των βαρέων SINK και των ελαφρών FLOAT του βαρυτομετρικού αυτού διαχωρισμού φαίνεται στους πίνακες 5.1.4 και 5.1.5.

Πίνακας 5.1.4 : Κατανομή βάρους βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το δείγμα +53 μm M P468

Προϊόν	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Ανάλυση Au (ppm)	Μονάδες	Κατανομή (%)
FLOAT 2.80	46,60	77,67	0,020	0,02	45,89
SINK 2.80	13,40	22,33	0,082	0,02	54,11
Σύνολο	60,00	100,00	0,040	0,03	100,00

Πίνακας 5.1.5 : Κατανομή βάρους βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το +53 μm Σύνθετο δείγμα

Προϊόν	Βάρος (gr)	Βάρος %	Ανάλυση Au (ppm)	Μονάδες	Κατανομή %
FLOAT 2.80	47,70	75,71	0,013	0,01	31,29
SINK 2.80	15,30	24,29	0,089	0,02	68,71
Τροφή υπολογιζόμενη	63,00	100,00	0,043	0,03	100,00

5.1.2 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD).

Ορυκτολογικές αναλύσεις έγιναν στα δείγματα MP 468 και Σύνθετο και στα επιμέρους κλάσματα +53 μm και -53 μm του U/F, στο O/F καθώς και στο βαρύ κλάσμα που προέκυψε από το διαχωρισμό με βαρέα υγρά.

Μετά από την επεξεργασία των ακτινοδιαγραμμάτων προέκυψε ότι τα δείγματα αυτά αποτελούνται κυρίως από χαλαζία και ασβεστίτη ενώ σε μικρές ποσότητες περιέχεται μοσχοβίτης, αλβίτης, παραγονίτης και κλινόχλωρο.

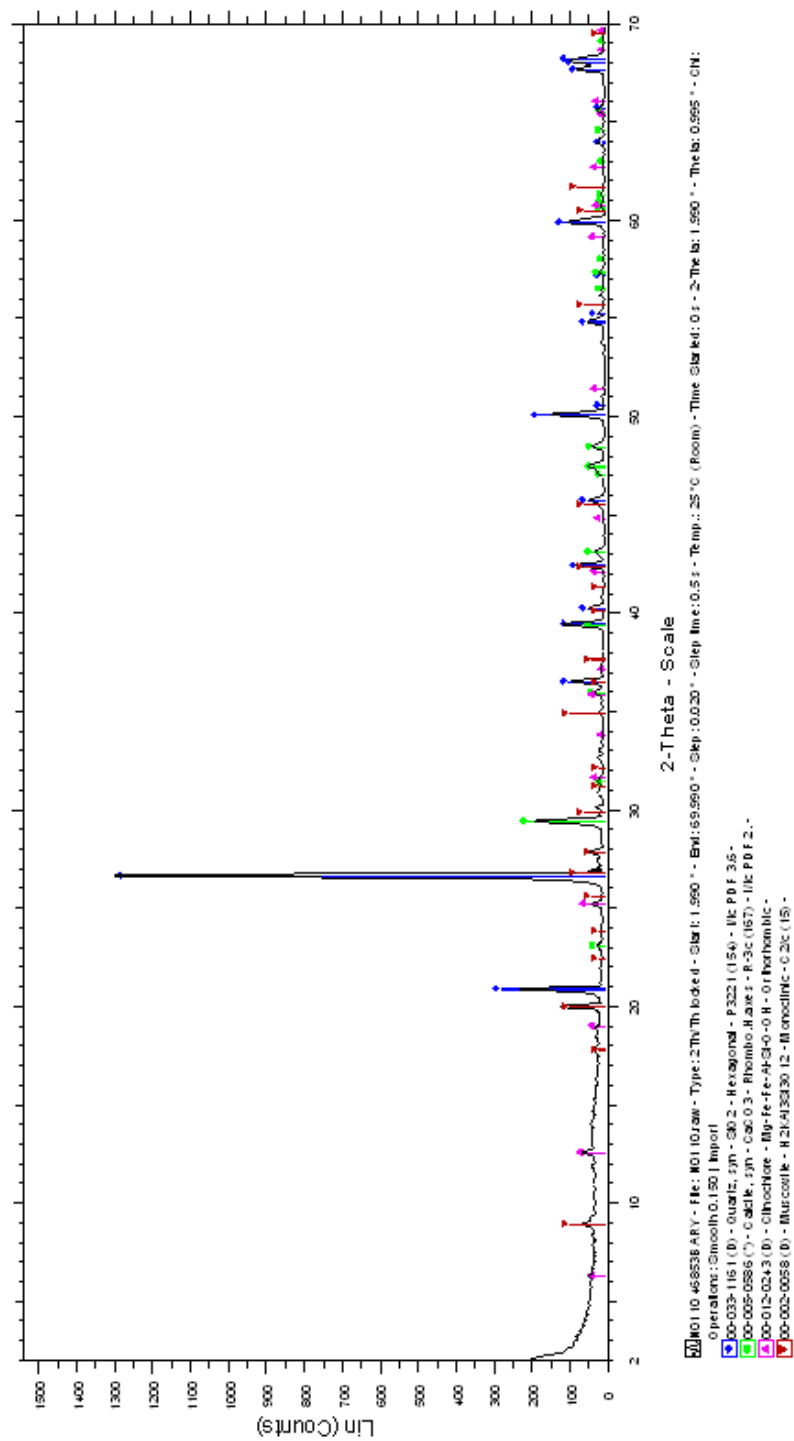
Από τα ακτινοδιαγράμματα αυτά παρατηρείται ότι για το δείγμα MP 468 και για το Σύνθετο δείγμα το U/F προϊόν του υδροκυκλώνα αποτελείται κυρίως από χαλαζία ενώ το O/F προϊόν του υδροκυκλώνα αποτελείται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό από ασβεστίτη.

Επίσης, από τα διαγράμματα 5.1 και 5.5 που αναφέρονται στα βαριά κλάσματα του διαχωρισμού με βαρέα υγρά, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην

ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων αυτών καθώς και δε φαίνεται να περιέχεται σε αυτά κάποιο από τα βαριά μέταλλα. Αυτό οφείλεται, όπως έχει αναφερθεί, στη φύση του χρυσού, ο οποίος βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή και στη χαμηλή περιεκτικότητα των δειγμάτων σε χρυσό.

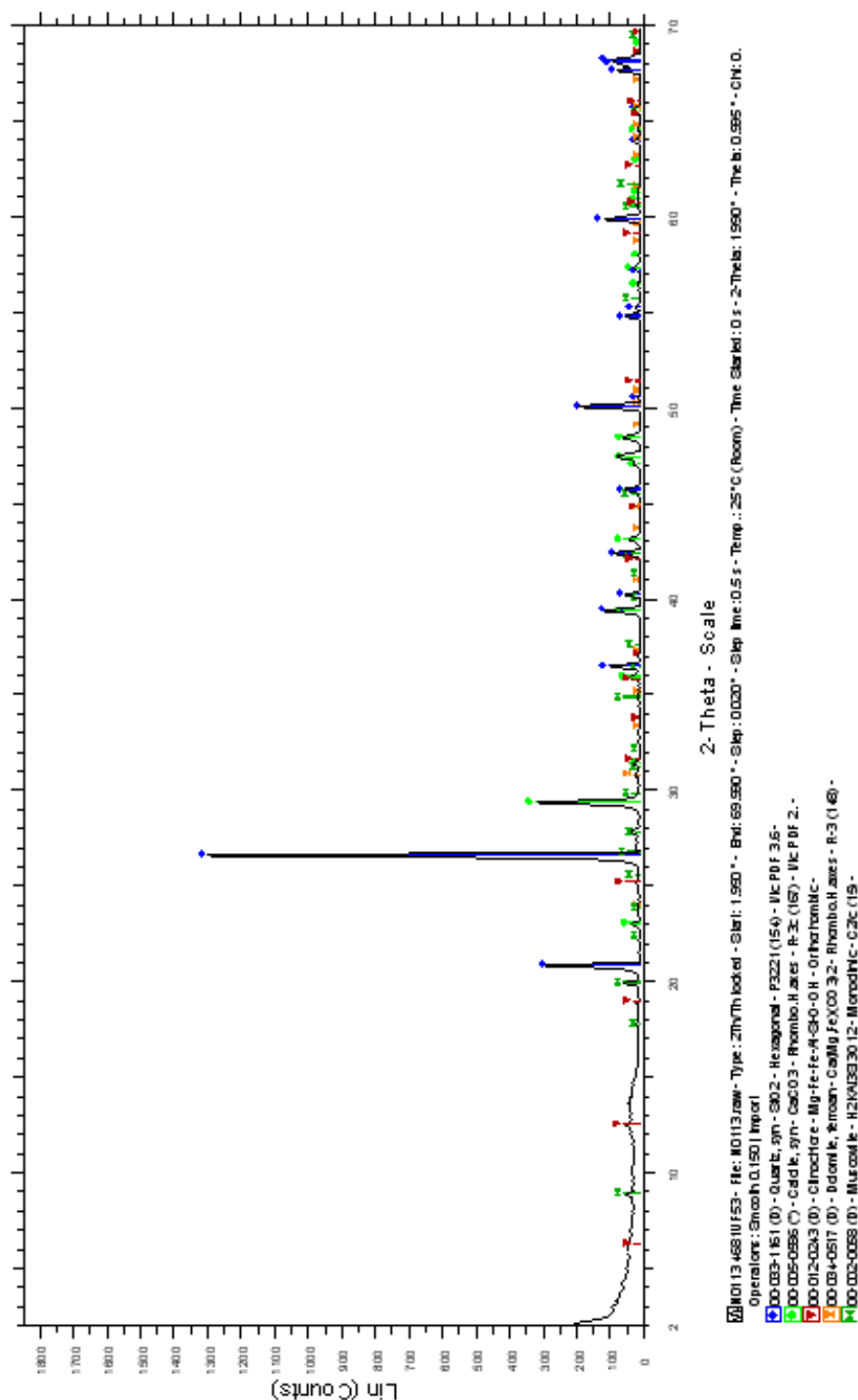
Τα ακτινοδιαγράμματα αυτά φαίνονται στις εικόνες 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8.

N0110 46853BARY



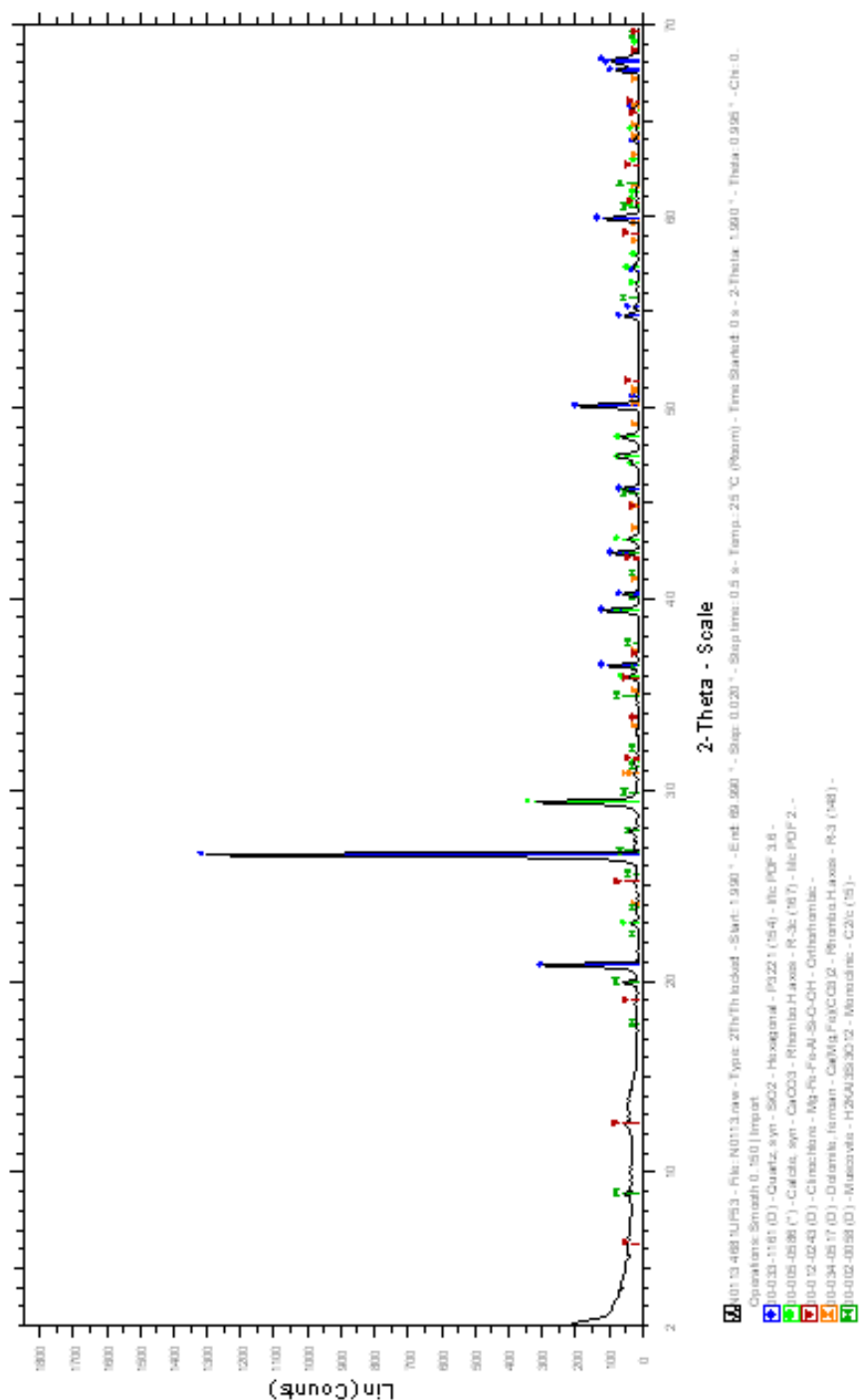
Εικ. 5.1: Ακτινοδιάγραμμα XRD του δείγματος MP 468 BAPY

N0113 4681UF53



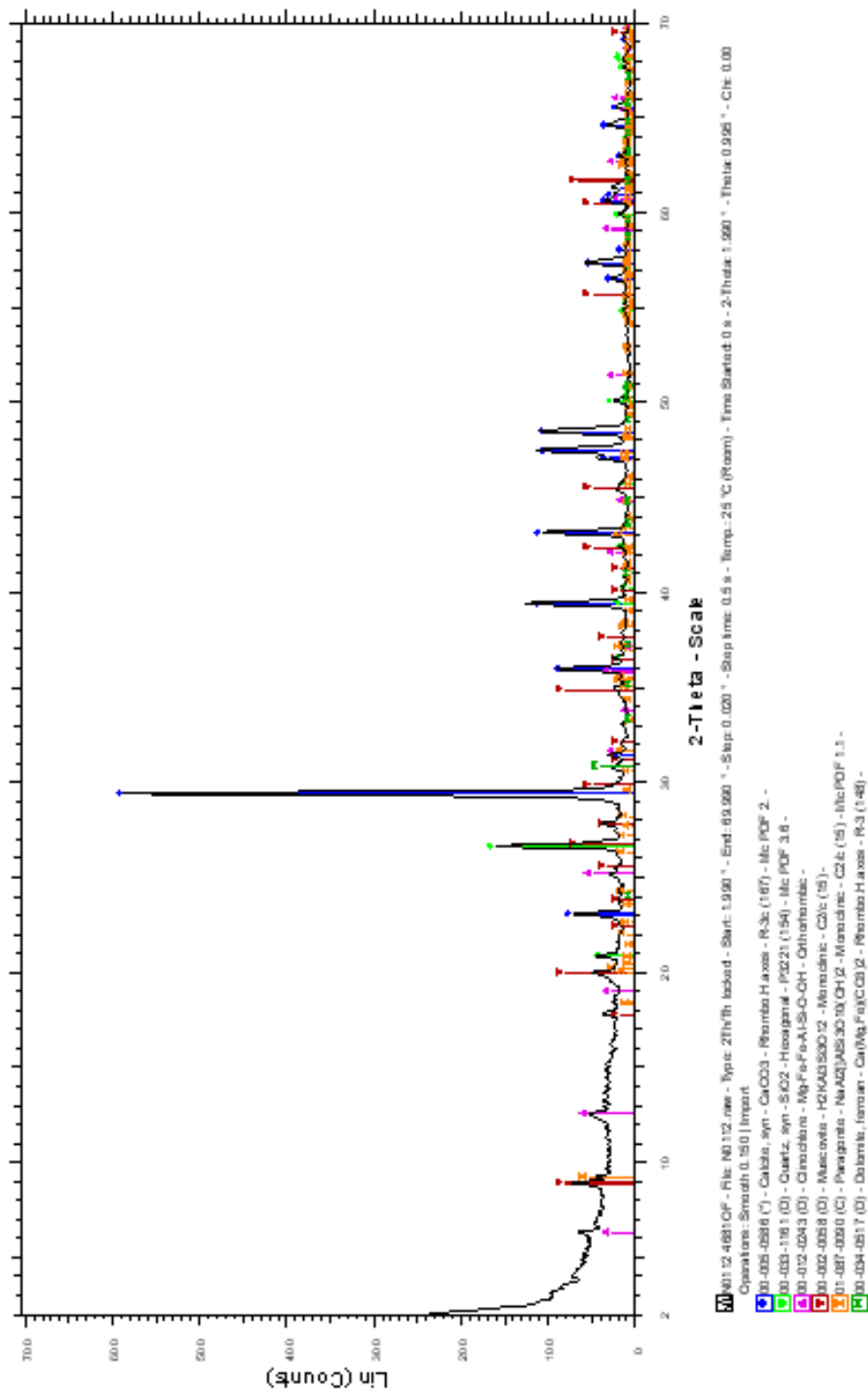
Εικ. 5.2: Ακτινοδιάγραμμα XRD του δείγματος MP 468 U/F +53 μm

N0113 4681UF53



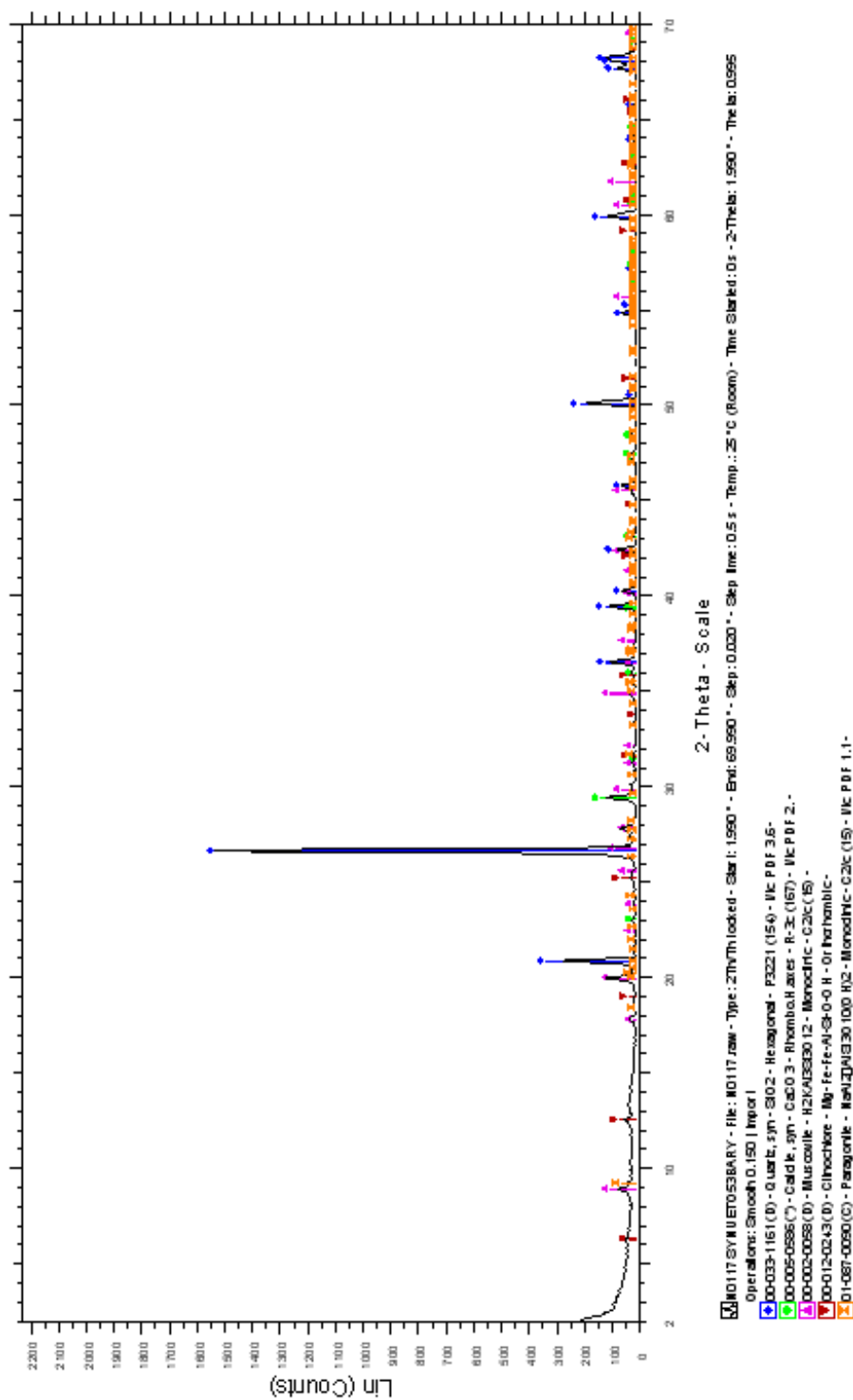
Εικ. 5.3: Ακτινοδιάγραμμα XRD του δείγματος MP 468 U/F -53 μm

N0112 4681OF



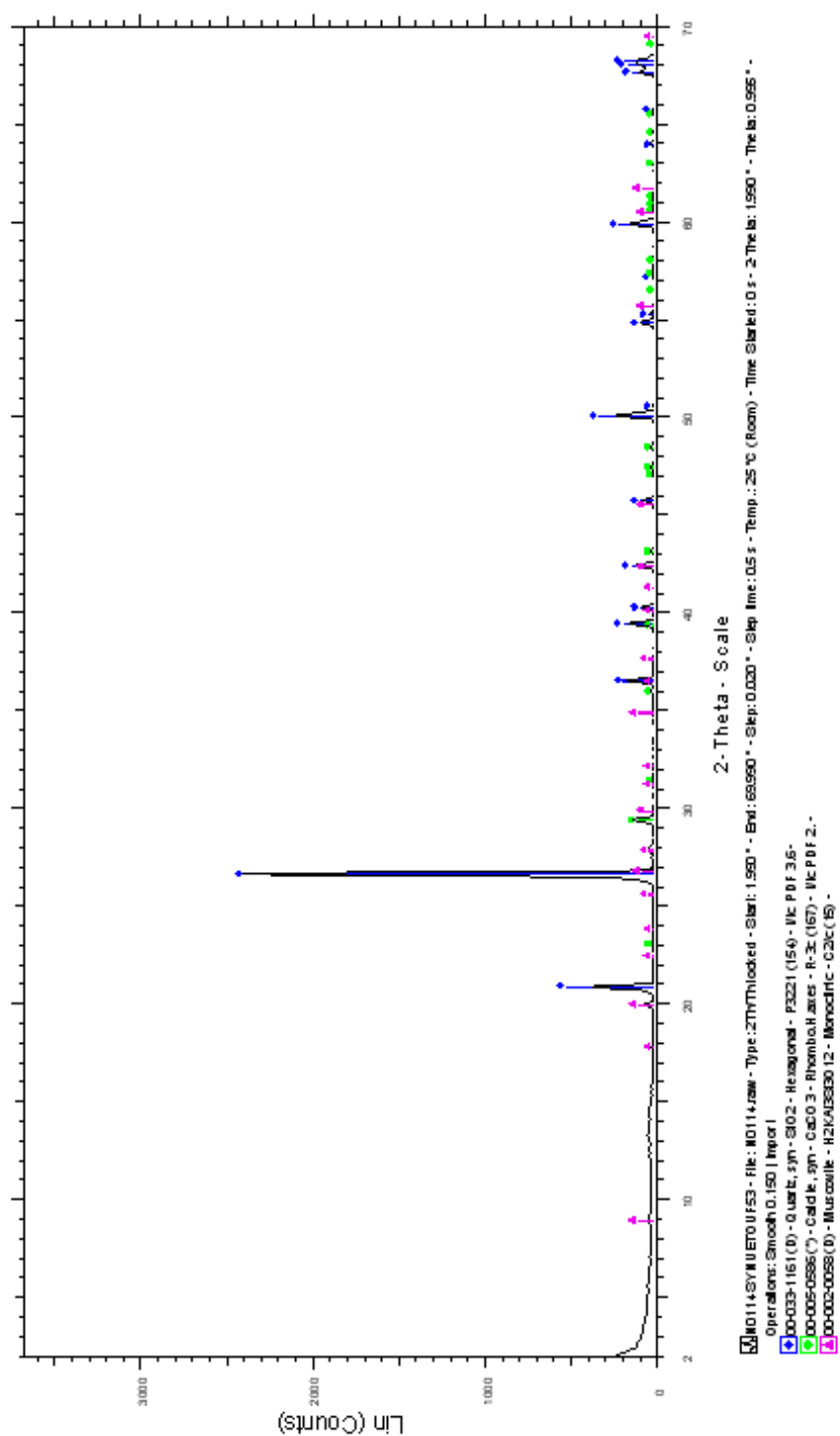
Εκ. 5.4: Ακτινοδιάγραμμα XRD του δείγματος MP 468 O/F

N0117 SYNUETO53BARY



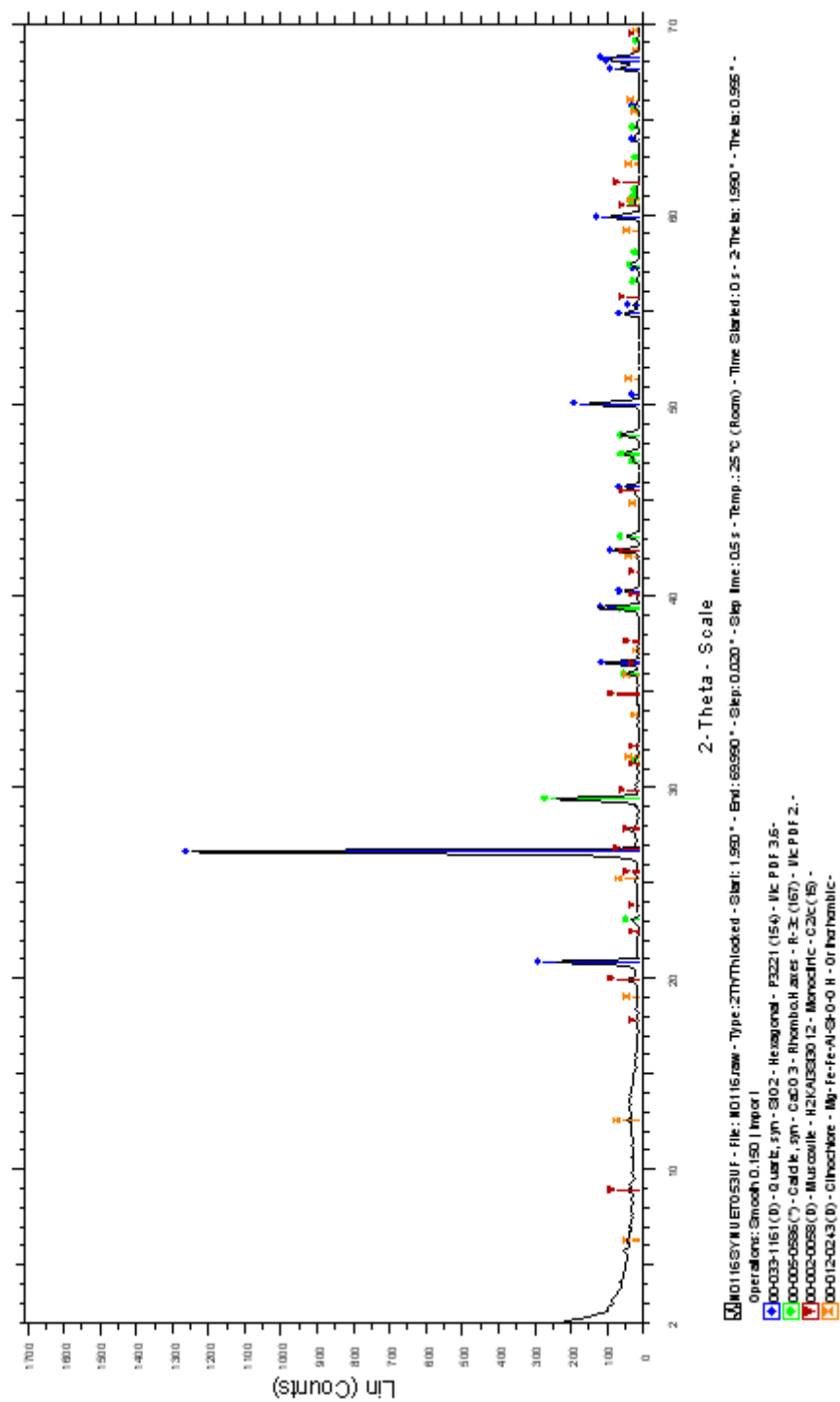
Εκ. 5.5: Ακτινοδιάγραμμα XRD του Σύνθετου δείγματος, BAPY

N0114 SYNUETOUF53



Εικ. 5.6: Ακτινοδιάγραμμα XRD του Σύνθετου δείγματος +53 µm

N0116 SYNUETO53UF



Εικ. 5.7: Ακτινοδιάγραμμα XRD του Σύνθετου δείγματος -53 µm

74

5.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΥΑΝΩΣΗΣ

Πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές κυάνωσης σε τρία δείγματα, μία δοκιμή στο ψιλό κοκκομετρικό κλάσμα (O/F του κυκλώνα) του δείγματος Άρτας, μία δοκιμή στο ψιλό κοκκομετρικό κλάσμα (O/F του κυκλώνα) του δείγματος MP 468, μία δοκιμή στο ψιλό κοκκομετρικό κλάσμα (O/F του κυκλώνα) του Σύνθετου δείγματος. Οι δοκιμές κυάνωσης και στις τρεις περιπτώσεις πραγματοποιήθηκαν με προσθήκη στον πολφό ενεργό άνθρακα με σκοπό την απορρόφηση του διαλυτοποιημένου χρυσού.

Πάρθηκε αντιπροσωπευτική ποσότητα 1000 g από το κάθε δείγμα και προστέθηκε σε τρία λίτρα νερό ώστε η πυκνότητα του πολφού να είναι περίπου 25 %. Στον πολφό που δημιουργήθηκε προστέθηκαν 4,5 g NaCN, που αντιστοιχεί σε συγκέντρωση 1500 ppm NaCN στο διάλυμα εκχύλισης και σε 4,5 kg NaCN ανά τόνο μεταλλεύματος. Σκοπός της αυξημένης αρχικής συγκέντρωσης κυανιούχου νατρίου στους πολφούς κυάνωσης ήταν η αποφυγή ελλείμματος κυανίου εφόσον δεν είχε σχεδιαστεί ο περιοδικός έλεγχος της κατανάλωσής του και πιθανή προσθήκη απαιτούμενης ποσότητας. Στον πολφό προστέθηκαν ακόμη 50 g ενεργού άνθρακα, κοκκομετρίας +1 mm, για την προσρόφηση του εκχυλισθέντος χρυσού. Στο στάδιο των δοκιμών αυτών θεωρήθηκε ότι πραγματοποιείται πλήρης εκχύλιση του περιεχομένου στο δείγμα ελεύθερου χρυσού, καθώς και ταυτόχρονη πλήρης προσρόφηση του εκχυλισθέντος στο διάλυμα χρυσού από τον ενεργό άνθρακα. Ο πολφός τοποθετήθηκε σε κωνική φιάλη η οποία περιστρεφόταν για 32 ώρες.

Μετά το τέλος των 32 ωρών έγινε διήθηση του υπολείμματος της κυάνωσης και συλλογή του περιεχόμενου ενεργού άνθρακα για χημικές αναλύσεις σε χρυσό.

Στις δοκιμές αυτές έγινε και μελέτη του προσδιορισμού της συνολικά απαιτούμενης ποσότητας κυανίου (σε gr NaCN ανά τόνο μεταλλεύματος) για την μέγιστη δυνατή εκχύλιση του περιεχομένου στα δείγματα χρυσού.

Οι δοκιμές κυάνωσης έγιναν με σκοπό τον προσδιορισμό της πραγματικής ανάκτησης του περιεχόμενου στα δείγματα χρυσού. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν χημικές αναλύσεις μετά από τις δοκιμές κυάνωσης τόσο στον ενεργό άνθρακα όσο

και στα υπολείμματα των κυανιώσεων. Χημικές αναλύσεις στα αρχικά δείγματα έχουν προηγηθεί.

5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ NaCN

Στον πίνακα 5.2.1 φαίνονται οι μέσες τιμές κατανάλωσης για το NaCN όπως αυτές μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των δοκιμών κυάνωσης στα τρία δείγματα MP 468, Σύνθετο, Άρτας.

Πίνακας 5.2.1 : Κατανάλωση NaCN στις δοκιμές κυάνωσης

Περιγραφή δείγματος	Κατανάλωση NaCN(Kg/ton)
MP468 O/F	0,905
ΣΥΝ O/F	1,275
ΑΡΤΑΣ O/F	1,29

5.2.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΙΜΟΥ ΧΡΥΣΟΥ

Στις δοκιμές κυάνωσης που πραγματοποιήθηκαν προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα σε χρυσό των δειγμάτων του ενεργού άνθρακα με σκοπό τον υπολογισμό του εκχυλισθέντος χρυσού, καθώς και δειγμάτων από τα υπολείμματα των κυανιώσεων για τον υπολογισμό του χρυσού ο οποίος τυχόν δεν έχει εκχειλιστεί. Η διαδικασία αυτή κρίθηκε απαραίτητη για να μπορέσει να ελεγχθεί αν κάτω από δεδομένες συνθήκες κυάνωσης εκχειλίζετε όλος ο περιεχόμενος στα υπό εξέταση δείγματα χρυσός. Από τις δύο αυτές χημικές αναλύσεις μπορεί να επαληθευθεί η συνολική χημική ανάλυση των αρχικών δειγμάτων.

Οι χημικές αναλύσεις τόσο των ενεργών ανθράκων όσο και των υπολειμμάτων από τις δοκιμές της κυάνωσης για καθένα από τα τρία δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4. Σαν σύνολο υπολογιζόμενο θεωρείται το σύνολο που προκύπτει αριθμητικά ενώ σαν σύνολο μετρούμενο είναι αυτό που πραγματικά μετρήθηκε στο πείραμα. Για το λόγο αυτό υπάρχει και μια απόκλιση στο πειραματικό και στο θεωρητικό αποτέλεσμα.

Πίνακας 5.2.2: Προσδιορισμός ανακτήσεων χρυσού για το δείγμα MP 468 O/F

Προϊόν	Βάρος (gr)	Au (ppm)	Βάρος Au (mg)	Κατανομή Χρυσού (%)
Άνθρακας	52,5	5,345	0,281	71,40
Απόρριμμα	1003,4	0,112	0,112	28,60
Σύνολο Υπολ.	1003,4	0,393	0,393	100,00
Σύνολο Μετρ.	1003,4	0,085	0,085	

Πίνακας 5.2.3: Προσδιορισμός ανακτήσεων χρυσού για το O/F Σύνθετο δείγμα

Προϊόν	Βάρος (gr)	Au (ppm)	Βάρος Au (mg)	Κατανομή Χρυσού (%)
Άνθρακας	51,20	378,25	19,37	99,31
Απόρριμμα	1031,00	0,13	0,13	0,69
Σύνολο Υπολ.	1031,00	19,50	19,50	100,00
Σύνολο Μετρ.	1031,00	0,02	0,02	

Πίνακας 5.2.4: Προσδιορισμός ανακτήσεων χρυσού για το δείγμα Άρτας O/F

Προϊόν	Βάρος (gr)	Au (ppm)	Βάρος Au (mg)	Κατανομή Χρυσού (%)
Άνθρακας	51,5	744,250	38,329	99,77
Απόρριμμα	969	0,090	0,087	0,23
Σύνολο Υπολ.	969	38,416	38,416	100,00
Σύνολο Μετρ.	969	0,020	0,019	

5.2.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από τα αποτελέσματα της κατανομής του χρυσού των δοκιμών κυάνωσης των τριών δειγμάτων μπορούμε να συμπεραίνουμε τα εξής :

- Το ποσοστό του περιεχόμενου χρυσού που ανακτάται είναι αρκετά υψηλό και στα τρία δείγματα.
- Στο δείγμα MP 468 παρατηρούμαι ότι ανακτάται το 72,11 % του περιεχομένου χρυσού σε αντίθεση με τα άλλα δύο δείγματα Σύνθετο, Άρτας όπου το ποσοστό ανάκτησης του περιεχόμενου χρυσού ξεπερνάει το 99 %.
- Το ποσοστό κατανάλωσης NaCN και στις τρεις δοκιμές κυάνωσης είναι σχετικά μικρό. Αυτό είναι θετικό, επειδή η χρήση κυανίου στα μεταλλεία χρυσού επιφέρει δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Υπάρχει σημαντική απόκλιση μεταξύ της υπολογιζόμενης περιεκτικότητας χρυσού στο αρχικό δείγμα από της μετρούμενης. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μορφή του χρυσού και σε ψήγματα. Πλέον αξιόπιστη θεωρείται η υπολογιζόμενη διότι αντιπροσωπεύει δείγμα 1000 g ενώ η μετρούμενη αντιπροσωπεύει δείγμα 30 g μόνο.

5.3 ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ

Σκοπός των δοκιμών αυτών είναι ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης του περιεχόμενου χρυσού και των βαρέων ορυκτών που περιέχονται στα δείγματα. Στις δοκιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω τρία δείγματα:

- MP 468
- Σύνθετο (466 +467)
- Άρτας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί από τα δείγματα αυτά απομακρύνθηκε το λεπτόκκοκο υλικό μετά το πέρασμά τους από τον υδροκυκλώνα. Έτσι για καθένα από τα τρία δείγματα έχουμε δύο κοκκομετρικά κλάσματα :

- U/F cyclone (+10 μm)
- O/F cyclone (-10 μm)

Οι δοκιμές βαρυτομετρικού διαχωρισμού πραγματοποιήθηκαν σε έξι συνολικά δείγματα, στα χονδρά και στα ψιλά κοκκομετρικά κλάσματα καθενός από τα τρία δείγματα.

5.3.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

5.3.1.α Προετοιμασία Δείγματος Χρωμίτη Ασβεστόλιθου

Για τον προσδιορισμό των βέλτιστων συνθηκών του φυγοκεντρικού διαχωριστή κάτω από τις οποίες θα γινόταν ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χρησιμοποιήθηκε δείγμα ασβεστόλιθου και χρωμίτη γνωστής σύστασης και ίδιας κοκκομετρίας με τα προς εξέταση δείγματα. Η επιλογή των υλικών αυτών έγινε με βάση τη διαφορά που έχουν ως προς την πυκνότητά τους. Η αρχική σύσταση του αρχικού δείγματος δίνεται στον πίνακα 5.3.1.

Πίνακας 5.3.1: Σύσταση δείγματος χρωμίτη - ασβεστόλιθου

	Βάρος (Kgr)	Βάρος στο δείγμα (%)
Ασβεστόλιθος	19	95
Χρωμίτης Αφρικής	1	5
Σύνολο	20	100

Το δείγμα θραύτηκε με χρήση τριβείου περιστρεφόμενων δίσκων σε μέγεθος -1.00 μm και στη συνέχεια αφαιρέθηκαν τα ψιλά με τη χρήση του υδροκυκλώνα που υπάρχει στο εργαστήριο Εμπλουτισμού. Η κατανομή βάρους για το δείγμα δίνεται στον πίνακα 5.3.2.

Πίνακας 5.3.2: Κατανομή βάρους δείγματος χρωμίτη - ασβεστόλιθου

	Βάρος (Kgr)	Βάρος στο δείγμα (%)
U/F	13,50	67,50
O/F	6,50	32,50
Σύνολο	20,00	100,00

Στο χονδρό κλάσμα (U/F) του υδροκυκλώνα έγινε κοκκομετρική ανάλυση με χρήση σειράς κόσκινων τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται στον πίνακα 5.3.3.

Πίνακας 5.3.3: Κατανομή βάρους κλάσματος U/F του υδροκυκλώνα

Μέγεθος κόκκων	Βάρος (gr)	Βάρος (%)
+150	64,20	63,20
+75	20,30	20,00
-75	17,10	16,80
Αρχικό δείγμα	101,60	100,00

Στη συνέχεια με τη χρήση μαγνητικού διαχωριστή που υπάρχει στο εργαστήριο Εμπλουτισμού έγινε διαχωρισμός των μαγνητικών και των μη μαγνητικών συστατικών του δείγματος και για τα τρία κοκκομετρικά κλάσματα του χονδρού κλάσματος U/F του υδροκυκλώνα.. Τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού φαίνονται στον πίνακα 5.3..4.

Πίνακας 5.3.4: Αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού του U/F

ΚΛΑΣΜΑ	ΠΡΟΪΟΝ	ΒΑΡΟΣ %	ΒΑΡΟΣ % ΑΡΧΙΚΟΥ
+150	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	13,77	8,70
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	86,23	54,50
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	63,20
+75	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	9,69	1,94
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	90,31	18,06
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	20,00
-75	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	5,85	0,98
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ	94,15	15,82
	ΣΥΝΟΛΟ	100,00	16,80
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ		11,62
	ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ		88,38
	ΣΥΝΟΛΟ		100,00

5.3.1.β Δοκιμές Δείγματος Χρωμίτη- Ασβεστόλιθου στο Φυγοκεντρικό Διαχωριστή

Όπως έχει αναφερθεί το δείγμα Χρωμίτη – Ασβεστολίθου διαχωρίστηκε στο χονδρό κλάσμα του (U/F) και στο λεπτό κλάσμα (O/F), με τη χρήση του υδροκυκλώνα.

Οι δοκιμές βαρυτομετρικού διαχωρισμού πραγματοποιήθηκαν κλάσματα για το χονδρό κλάσμα (U/F). Το λεπτόκοκκο κλάσμα (O/F) δεν ενδείκνυται για τέτοιου είδους διαχωρισμό. Έγιναν συνολικά εννέα δοκιμές χρησιμοποιώντας το ίδιο δείγμα χρωμίτη-ασβεστόλιθου μεταβάλλοντας όμως τις συνθήκες πίεσης και στροφών.

Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού με τη χρήση του φυγοκεντρικού διαχωριστή Falcon.

Αρχικά ρυθμίζονταν η παροχή νερού, η πίεση καθώς και η ταχύτητα περιστροφής του οργάνου. Στη συνέχεια ξεκινούσε η τροφοδοσία ενώ ταυτόχρονα με τη χρήση χρονομέτρου μετριόταν ο ρυθμός τροφοδοσίας κάθε δοκιμής στις συγκεκριμένες συνθήκες. Χρησιμοποιήθηκαν περίπου 500 g δείγματος για κάθε δοκιμή. Μετά το τέλος κάθε διαδικασίας συλλέγονταν το συμπύκνωμα το οποίο είχε συγκεντρωθεί στο μηχάνημα και το απόρριμμα το οποίο είχε υπερχειλίσει.. Στη συνέχεια τα υλικά αυτά τοποθετούνταν σε ξηραντήρα για τις περαιτέρω αναλύσεις.

Λόγω της συνεχούς ροής νερού και επειδή το δείγμα περιείχε και πολύ λεπτόκοκκα υλικά κατά την υπερχείλιση παρατηρήθηκε κάποια απώλεια στο απόρριμμα του διαχωριστή. Για το λόγο αυτό διαχωρίζεται η μετρούμενη και η υπολογιστική τροφή.

Στις τρεις πρώτες δοκιμές η πίεση παρέμενε σταθερή και ίση με 3 psi ενώ μεταβάλλονταν οι στροφές σε 25 Hz, 50 Hz, 70 Hz. Η παροχή νερού ήταν περίπου 1lt/70sec. Στην τέταρτη, πέμπτη, έκτη δοκιμή η πίεση παρέμενε σταθερή και ίση με 6 psi και οι στροφές μεταβάλλονταν και πάλι σε 25 Hz, 50 Hz, 70 Hz. Στις τρεις τελευταίες δοκιμές η πίση ήταν 12 psi ενώ οι στροφές μεταβάλλονταν όπως και στις προηγούμενες δοκιμές.

Οι συνθήκες λειτουργίας της κάθε δοκιμής καθώς και τα αποτελέσματα φαίνονται στους πίνακες 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7, 5.3.8, 5.3.9, 5.3.10, 5.3.11, 5.3.12, 5.3.13.

Στο διάγραμμα 1 φαίνεται το επί τις εκατό ποσοστό του συμπυκνώματος στις διαφορετικές συνθήκες πίεσης και στροφών. Το επί τις εκατό ποσοστό του χρωμίτη στο συμπύκνωμα φαίνεται στο διάγραμμα 2 ενώ η επί τις εκατό ανάκτηση χρωμίτη και στις εννέα δοκιμές φαίνεται στο διάγραμμα 3.

Πίνακας 5.3.5: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 1

Πίεση 3 psi	Στροφές 25 Hz	Παροχή νερού 1lt/71 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 115,3 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	96,90	19,97	42,36	8,46	72,74
Απόρριμμα	388,30	80,03	3,96	3,17	27,26
Υπολογιστική Τροφοδοσία	485,20	100,00	46,32	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	526,40			11,63	

Πίνακας 5.3.6: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 2

Πίεση 3 psi	Στροφές 50 Hz	Παροχή νερού 1lt/69 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 118,2 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	108,40	25,18	23,35	5,88	50,55
Απόρριμμα	322,10	74,82	7,69	5,75	49,45
Υπολογιστική Τροφοδοσία	430,50	100,00	31,04	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	482,60			11,63	

Πίνακας 5.3.7: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 3

Πίεση 3 psi	Στροφές 70 Hz	Παροχή νερού 1lt/69 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 172,4 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	126,00	27,54	17,78	4,90	42,10
Απόρριμμα	331,50	72,46	9,29	6,73	57,90
Υπολογιστική Τροφοδοσία	457,50	100,00	27,07	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	

Πίνακας 5.3.8: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 4

Πίεση 6 psi	Στροφές 25 Hz	Παροχή νερού 1lt/60 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 150,1 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	85,90	19,24	35,33	6,80	58,44
Απόρριμμα	360,60	80,76	5,98	4,83	41,56
Υπολογιστική Τροφοδοσία	446,50	100,00	41,31	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	

Πίνακας 5.3.9: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 5

Πίεση 6 psi	Στροφές 50 Hz	Παροχή νερού 1lt/37 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 174,4 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	97,40	21,98	23,27	5,11	43,97
Απόρριμμα	345,80	78,02	8,35	6,52	56,03
Υπολογιστική Τροφοδοσία	443,20	100,00	31,62	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	

Πίνακας 5.3.10 : Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 6

Πίεση 6 psi	Στροφές 70 Hz	Παροχή νερού 1lt/48 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 157,9 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	108,90	27,66	19,99	5,53	47,54
Απόρριμμα	284,80	72,34	8,43	6,10	52,46
Υπολογιστική Τροφοδοσία	393,70	100,00	28,42	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	

Πίνακας 5.3.11: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 7

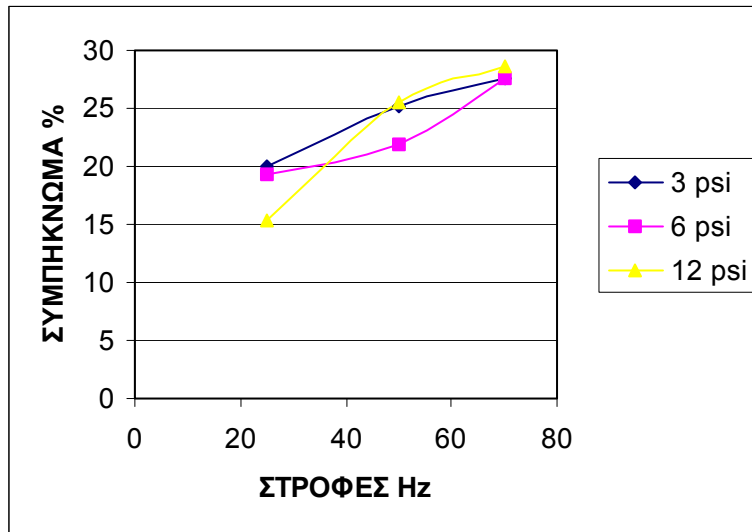
Πίεση 12 psi	Στροφές 25 Hz	Παροχή νερού 1lt/78 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 174,4 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	58,40	15,32	53,68	8,22	70,71
Απόρριμμα	322,80	84,68	4,02	3,41	29,29
Υπολογιστική Τροφοδοσία	381,20	100,00	57,70	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	

Πίνακας 5.3.12: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 8

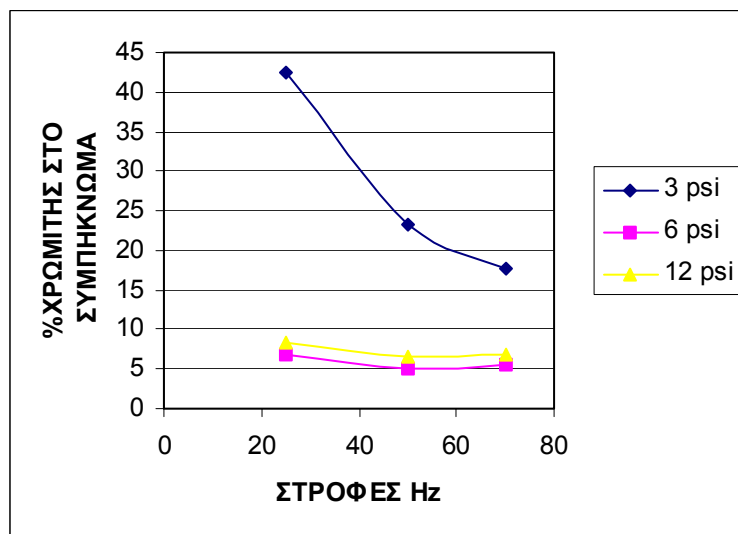
Πίεση 12 psi	Στροφές 50 Hz	Παροχή νερού 1lt/70 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 187,5 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	101,80	25,49	25,57	6,52	56,04
Απόρριμμα	297,60	74,51	6,86	5,11	43,96
Υπολογιστική Τροφοδοσία	399,40	100,00	32,43	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	

Πίνακας 5.3.13: Συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωριστή για τη Δοκιμή 9

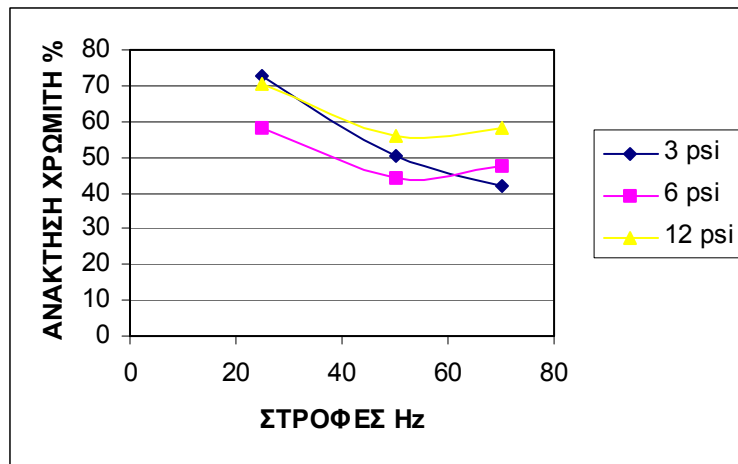
Πίεση 12 psi	Στροφές 70 Hz	Παροχή νερού 1lt/56 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 193,5 gr/min	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό (%)	Μονάδες	Ανάκτηση
Συμπύκνωμα	110,10	28,55	23,70	6,77	58,17
Απόρριμμα	275,60	71,45	6,81	4,86	41,83
Υπολογιστική Τροφοδοσία	385,70	100,00	30,51	11,63	100,00
Μετρούμενη Τροφοδοσία	500,00			11,63	



Διάγραμμα 1: Το % ποσοστό του συμπυκνώματος



Διάγραμμα 2: Το % ποσοστό του χρωμίτη στο συμπύκνωμα



Διάγραμμα 3: Η % ανάκτηση χρωμίτη στις διαφορετικές δοκιμές

Το συμπύκνωμα της κάθε δοκιμής χωρίστηκε σε τρία κοκκομετρικά κλάσματα +150, +75 και -75 με τη χρήση σειράς κοσκίνων, για το λόγο ότι ο μαγνητικός διαχωριστής λειτουργεί καλύτερα με ομοιογενή δείγματα. Στη συνέχεια έγινε προσδιορισμός της περιεκτικότητας χρωμίτη, με χρήση μαγνητικού διαχωριστή (Laboratory model NIH(13)111-5 της εταιρείας Carpro) , σε καθένα από τα κοκκομετρικά κλάσματα στο συμπύκνωμα της κάθε δοκιμής. Τα αποτελέσματα τόσο της κοκκομετρικής ανάλυσης όσο και του μαγνητικού διαχωρισμού φαίνονται στον πίνακα 10.14.

Πίνακας 10.14 : Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης και μαγνητικού διαχωρισμού

Δείγμα	Κοκκομ. Κλάσμα	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Μαγνητικό	Μη Μαγνητικό	Υπολογ.	Περιεκτικ ότητα	Μονάδες
	+150	70,60	73,24	30,10	40,50	70,60	42,63	31,22
Συμπ 1	+75	15,00	15,56	4,30	10,50	14,80	29,05	4,52
	-75	10,80	11,20	6,20	4,30	10,50	59,05	6,62
	Σύνολο	96,40	100,00					42,36
	+150	70,50	65,40	14,10	56,40	70,50	20,00	13,08
Συμπ 2	+75	16,20	15,03	3,20	12,90	16,10	19,88	2,99
	-75	21,10	19,57	7,70	13,00	20,70	37,20	7,28
	Σύνολο	107,80	100,00					23,35
	+150	86,60	68,73	10,00	76,50	86,50	11,56	7,95
Συμπ3	+75	24,90	19,76	3,10	21,70	24,80	12,50	2,47
	-75	14,50	11,51	8,70	4,90	13,60	63,97	7,36
	Σύνολο	126,00	100,00					17,78
	+150	64,20	74,74	21,80	42,20	64,00	34,06	25,46
Συμπ 4	+75	12,70	14,78	3,50	9,10	12,60	27,78	4,11
	-75	9,00	10,48	4,90	4,00	8,90	55,06	5,77
	Σύνολο	85,90	100,00					35,33
	+150	68,70	70,53	13,30	55,30	68,60	19,39	13,67
Συμπ 5	+75	17,70	18,17	3,20	13,80	17,00	18,82	3,42
	-75	11,00	11,29	5,90	4,90	10,80	54,63	6,17
	Σύνολο	97,40	100,00					23,27
	+150	78,60	72,18	9,70	60,70	70,40	13,78	9,94
Συμπ 6	+75	18,40	16,90	3,70	14,70	18,40	20,11	3,40
	-75	11,90	10,93	7,00	4,50	11,50	60,87	6,65
	Σύνολο	108,90	100,00					19,99
	+150	40,40	69,18	22,30	18,10	40,40	55,20	38,18
Συμπ 7	+75	6,10	10,45	2,20	3,90	6,10	36,07	3,77
	-75	11,90	20,38	1,90	1,40	3,30	57,58	11,73
	Σύνολο	58,40	100,00					53,68
	+150	71,60	70,33	15,60	56,10	71,70	21,76	15,30
Συμπ 8	+75	19,10	18,76	4,30	14,80	19,10	22,51	4,22
	-75	11,10	10,90	6,10	4,90	11,00	55,45	6,05
	Σύνολο	101,80	100,00					25,57
	+150	75,40	68,48	12,90	62,30	75,20	17,15	11,75
Συμπ 9	+75	19,60	17,80	4,10	15,50	19,60	20,92	3,72
	-75	15,10	13,71	9,00	6,00	15,00	60,00	8,23
	Σύνολο	110,10	100,00					23,70

Η επί τις εκατό ανάκτηση χρωμίτη σε καθένα κοκκομετρικό κλάσμα και στις εννέα δοκιμές φαίνεται στους πίνακες 5.3.15, 5.3.16, 5.3.17 και παρίσταται γραφικά στα διαγράμματα 4, 5 και 6 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.3.15: Η % ανάκτηση χρωμίου στο κοκκομετρικό κλάσμα +150

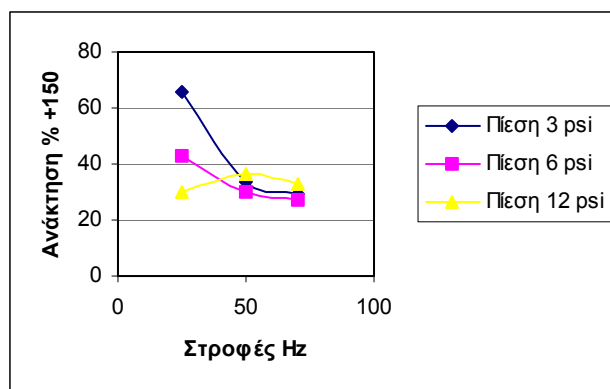
ΠΙΕΣΗ (psi)	ΣΤΡΟΦΕΣ (Hz)	ΑΝΑΚΤΗΣΗ (%) +150
3	25	66.04
3	50	33.76
3	70	28.99
6	25	43.17
6	50	29.82
6	70	27.11
12	25	29.93
12	50	36.45
12	70	32.72

Πίνακας 5.3.16: Η % ανάκτηση χρωμίου στο κοκκομετρικό κλάσμα +75

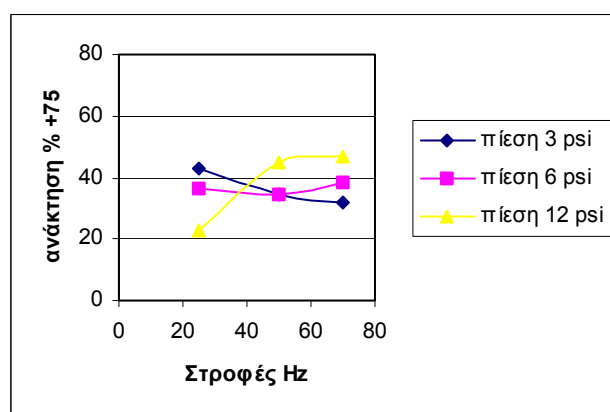
ΠΙΕΣΗ (psi)	ΣΤΡΟΦΕΣ (Hz)	ΑΝΑΚΤΗΣΗ (%) +75
3	25	42.93
3	50	34.63
3	70	32.12
6	25	36.4
6	50	34.37
6	70	38.19
12	25	22.72
12	50	45.17
12	70	46.59

Πίνακας 5.3.17 : Η % ανάκτηση χρωμίου στο κοκκομετρικό κλάσμα +150

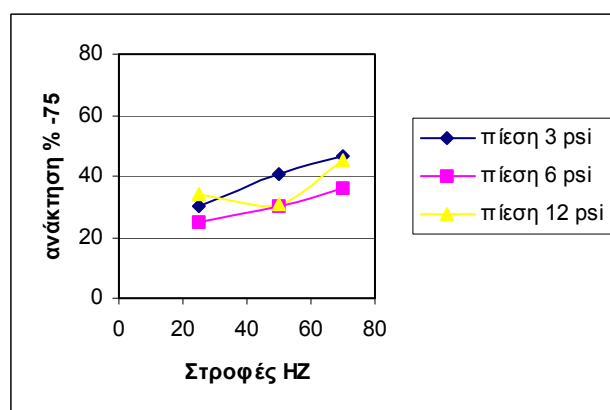
ΠΙΕΣΗ (psi)	ΣΤΡΟΦΕΣ (Hz)	ΑΝΑΚΤΗΣΗ (%) -75
3	25	30.43
3	50	40.865
3	70	46.37
6	25	24.775
6	50	30.025
6	70	36.215
12	25	34.255
12	50	30.755
12	70	45.27



Διάγραμμα 4: Η % ανάκτηση χρωμίτη στο κοκκομετρικό κλάσμα +150



Διάγραμμα 5: Η % ανάκτηση χρωμίτη στο κοκκομετρικό κλάσμα +75

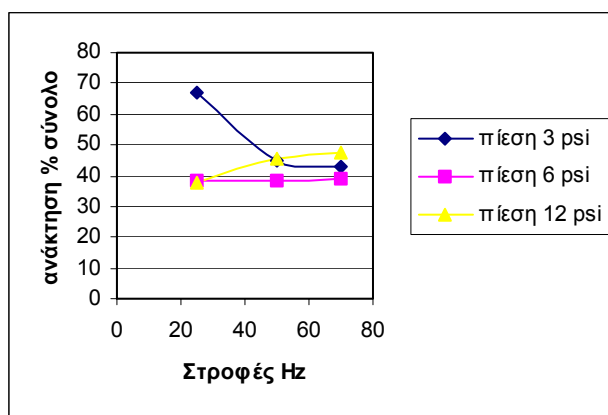


Διάγραμμα 6 : Η % ανάκτηση χρωμίτη στο κοκκομετρικό κλάσμα -75

Η επί τις εκατό ανάκτηση σε χρωμίτη του συνόλου του δείγματος χρωμίτη-ασβεστόλιθου φαίνεται στον πίνακα 5.3.18 και παρίσταται γραφικά στο διάγραμμα 7.

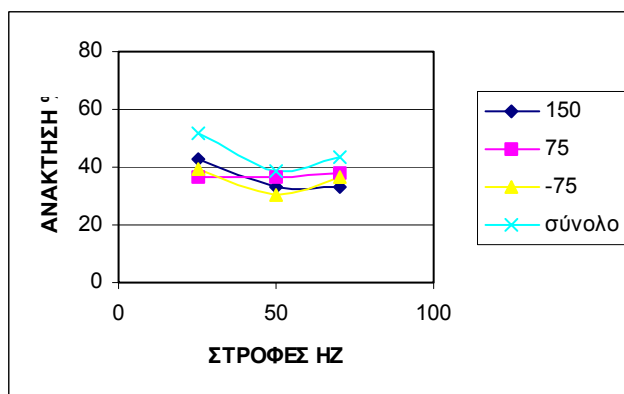
Πίνακας 10.18 : Η % ανάκτηση σε χρωμίτη του συνόλου του δείγματος

ΠΙΕΣΗ (psi)	ΣΤΡΟΦΕΣ (Hz)	ΑΝΑΚΤΗΣΗ (%) ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΟΥ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ
3	25	66.98
3	50	45.01
3	70	42.96
6	25	38.33
6	50	38.33
6	70	39.07
12	25	37.93
12	50	45.34
12	70	47.78



Διάγραμμα 7: Η % ανάκτηση σε χρωμίτη του συνόλου του δείγματος

Συγκεντρωτικά η ανάκτηση χρωμίτη και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα καθώς και στο σύνολο του δείγματος φαίνεται στο διάγραμμα 8.



Διάγραμμα 8: Συνολική ανάκτηση χρωμίτη

5.3.4 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΥΤΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Από το διάγραμμα 4 συμπεραίνεται σχετικά καλή ανάκτηση σε μικρή πίεση και χαμηλές στροφές. Αυτό συμβαίνει για το χονδρό κοκκομετρικό κλάσμα +150 μm . Όσο αυξάνονται οι στροφές τόσο μικρότερη είναι και η ανάκτηση.

Στο διάγραμμα 5, το οποίο χαρακτηρίζει το μεσαίο υλικό, +75 μm , δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές καθώς αλλάζουν οι συνθήκες πίεσης και στροφών.

Για το λεπτόκοκκο υλικό, -75 μm , στο διάγραμμα 6, και πάλι δε παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές όσον αφορά την πίεση. Μικρή διαφορά στην ανάκτηση χρωμίτη παρατηρείται όσο αυξάνονται οι στροφές.

Στο διάγραμμα 7, το οποίο περιγράφει την ανάκτηση χρωμίτη στο σύνολο του δείγματος διαπιστώνεται σταθερή ανάκτηση για πίεση 6 psi στις διάφορες στροφές.

Συγκρίνοντας όλα τα παραπάνω και επειδή ο χρυσός που περιέχεται στα δείγματα αναμένεται να είναι κάτω από +150 μm εκτιμάται ότι οι ιδανικότερες συνθήκες λειτουργίας του βαρυτομετρικού διαχωριστή είναι για το χονδρό κλάσμα 50 και 70 στροφές σε σταθερή πίεση 6 psi ενώ για το λεπτόκοκκο κλάσμα 50 στροφές και πίεση 6 psi.

5.3.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΧΡΥΣΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Σύμφωνα με τις δοκιμές που έγιναν στο δείγμα χρωμίτη-ασβεστόλιθου ορίστηκαν και οι συνθήκες λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή falcon.

Δοκιμές βαρυτομετρικού διαχωρισμού έγιναν στα τρία δείγματα, στο δείγμα MP 468, στο Σύνθετο και στο δείγμα από την περιοχή της Άρτας, τόσο για το χονδρόκοκκο προϊόν U/F όσο και για το λεπτόκοκκο προϊόν O/F του υδροκυκλώνα.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν οκτώ δοκιμές. οι δοκιμές αυτές έγιναν στο Εργαστήριο Εμπολουτισμού με τη χρήση του φυγοκεντρικού διαχωριστή Falcon με τον ίδιο τρόπο που έγιναν και για το δείγμα χρωμίτη-ασβεστόλιθου (κεφάλαιο 5.3.1.β) και με τις συνθήκες που ορίστηκαν.

Έγιναν δύο δοκιμές στο δείγμα MP 468, μία δοκιμή για το U/F προϊόν σε πίεση 6psi και στροφές 50Hz και μία δοκιμή για το O/F προϊόν στις ίδιες συνθήκες πίεσης και στροφών. Για το Σύνθετο δείγμα καθώς και για το δείγμα της Άρτας πραγματοποιήθηκαν έξι συνολικά δοκιμές. Μία δοκιμή στο U/F προϊόν σε πίεση 6psi και στροφές 50Hz, μία δοκιμή στο U/F προϊόν σε πίεση 6psi και στροφές 70Hz και μία δοκιμή στο O/F U/F προϊόν σε πίεση 6psi και στροφές 50Hz για το καθένα.

Οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του διαχωριστή και για τα τρία δείγματα, στις οκτώ συνολικά δοκιμές φαίνονται αναλυτικά στους πίνακες 5.3.19, 5.3.20, 5.3.21.

Πίνακας 5.3.19: Συνθήκες λειτουργίας του διαχωριστή για το δείγμα MP 468

Πίεση 6 psi	Στροφές 50 Hz	Παροχή νερού 1lt/70 sec	Ρυθμός τροφοδοσίας 565 g/min	
	O/F		U/F	
	Βάρος (g)	Βάρος (%)	Βάρος (g)	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	42,40	2,10	73,80	2,55
Απόρριμμα	1073,60	53,12	1783,40	61,71
Απώλεια	905,00	44,78	1032,80	35,74
Βάρος συλλεχθέντων προϊόντων	1116,00		1857,20	
Μετρούμενη Τροφοδοσία	2021,00	100,00	2890,00	100,00

Πίνακας 5.3.20: Συνθήκες λειτουργίας του διαχωριστή για το Σύνθετο δείγμα

Πίεση 6 psi	Παροχή νερού 1lt/37 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 530,5 g/min		Πίεση 6 psi	Παροχή νερού 1lt/37 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 530,5 g/min
Στροφές 50 Hz	O/F		U/F		Στροφές 70 Hz	U/F		
	Βάρος (g)	Βάρ ος %	Βάρος (g)	Βάρος (%)		Βάρος (g)	Βάρος %	
Συμπύκνωμα	42,40	2,10	73,80	2,55		18,2	0,73	
Απόρριμμα	1073,60	53,12	1783,40	61,71		832	33,58	
Απώλεια	905,00	44,78	1032,80	35,74		1627,8	65,69	
Βάρος συλλεχθέντων προϊόντων	1116,00		1857,20			850,20		
Μετρούμενη Τροφοδοσία	2021,00	100,00	2890,00	100,00		2478,00	100,00	

Πίνακας 5.3.21: Συνθήκες λειτουργίας του διαχωριστή για το δείγμα Άρτας

Πίεση 6 psi	Παροχή νερού 1lt/48 sec		Ρυθμός τροφοδοσίας 410,7 g/min		Πίεση 6 psi	Παροχή νερού 1lt/37 sec	Ρυθμός τροφοδοσίας 530,5 g/min
Στροφές 50 Hz	O/F		U/F		Στροφές 70 Hz	U/F	
	Βάρος (g)	Βάρος (%)	Βάρος (g)	Βάρος (%)		Βάρος (g)	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	4	0,12	81,5	1,31		84,4	0,70
Απορρίμμα	152,5	4,71	5183,8	83,09		8134,4	67,79
Απώλεια	3083,5	95,17	973,7	15,61		3781,2	31,51
Βάρος συλλεχθέντων προϊόντων	156,50		5265,30			8218,80	
Μετρούμενη Τροφοδοσία	3240	100,00	6239	100,00		12000	100,00

Στα συμπυκνώματα (conc) και στα απορρίμματα (tail) του βαρυτομετρικού διαχωρισμού έγινε προσδιορισμός της περιεκτικότητάς τους σε χρυσό με την μέθοδο της πυρομεταλλουργίας (fire assay). Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων περιγράφονται αναλυτικά για καθένα από τα τρία δείγματα στους πίνακες 5.3.22, 5.3.23, 5.3.24.

Πίνακας 5.3.22: Κατανομή χρυσού στα προϊόντα του φυγοκεντρικού διαχωρισμού για το δείγμα MP 468

O/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	42,40	2,11	1,08	0,08	0,001	1,40	0,02
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1073,00	53,31	27,25	0,12	0,033	53,70	0,75
ΑΠΩΛΕΙΑ	897,20	44,58	22,78	0,12	0,027	44,90	0,63
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	2012,60	100,00	51,11	0,12	0,061	100,00	1,40
U/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ (%)	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	73,80	2,57	1,26	341,000	4,280	99,96	98,55
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	1783,40	62,04	30,33	0,004	0,001	0,03	0,03
ΑΠΩΛΕΙΑ	1017,30	35,39	17,30	0,004	0,001	0,02	0,02
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	2874,50	100,00	48,89	8,759	4,282	100,00	98,60
ΑΡΧΙΚΗ ΤΡΟΦΗ	4887,10	100,00	100,00	4,343	4,343		100,00

Πίνακας 5.3.23: Κατανομή χρυσού στα προϊόντα του φυγοκεντρικού διαχωρισμού για το Σύνθετο δείγμα

O/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	96,7	2,01	0,61	0,406	0,0025	1,19	1,13
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	3462,8	72,06	21,72	0,690	0,1498	72,66	68,46
ΑΠΩΛΕΙΑ	1245,9	25,93	7,82	0,690	0,0539	26,14	24,63
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	4805,4	100,00	30,15	0,684	0,2062	100,00	94,22
U/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΙΟΝ	155,8	2,45	1,71	0,593	0,0102	80,26	4,64
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	5005,6	78,73	54,99	0,004	0,0020	15,93	0,92
ΑΠΩΛΕΙΑ	1196,8	18,82	13,15	0,004	0,0005	3,81	0,22
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	6358,2	100,00	69,85	0,018	0,0127	100,00	5,78
ΑΡΧΙΚΗ ΤΡΟΦΗ	11163,6		100,00	0,2188	0,2188		100,00
O/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	96,7	2,01	0,61	0,406	0,0025	1,19	0,82
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	3462,8	72,06	21,72	0,690	0,1498	72,66	50,12
ΑΠΩΛΕΙΑ	1245,9	25,93	7,82	0,690	0,0539	26,14	18,03
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	4805,4	100,00	30,15	0,684	0,2062	100,00	68,98
U/F 70 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	135,6	2,84	1,98	1,447	0,0287	30,95	9,60
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	4352,6	91,13	63,66	0,094	0,0601	64,76	20,09
ΑΠΩΛΕΙΑ	288	6,03	4,21	0,094	0,0040	4,29	1,33
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	4776,2	100,00	69,85	0,133	0,0927	100,00	31,02
ΑΡΧΙΚΗ ΤΡΟΦΗ	9581,6		100,00	0,2989	0,2989		100,00

Πίνακας 5.3.24: Κατανομή χρυσού στα προϊόντα του φυγοκεντρικού διαχωρισμού για το δείγμα Άρτας

O/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	4	0,12	0,02	0,09	0,0000	0,22	0,001
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	152,5	4,71	0,77	0,05	0,0004	4,70	0,017
ΑΠΩΛΕΙΑ	3083,5	95,17	15,50	0,05	0,0078	95,08	0,335
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	3240	100,00	16,29	0,0500	0,0082	100,00	0,353
U/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥ ΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι Αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	81,5	1,31	1,09	137,33	1,50	65,20	64,974
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	5183,8	83,09	69,55	0,97	0,67	29,29	29,190
ΑΠΩΛΕΙΑ	973,7	15,61	13,06	0,97	0,13	5,50	5,483
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	6239	100,00	83,71	2,75	2,30	100,00	99,647
ΑΡΧΙΚΗ ΤΡΟΦΗ	9479		100,00	2,3112	2,3112		100,000

O/F 50 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥ ΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	4	0,12	0,02	0,09	0,0000	0,22	0,00
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	152,5	4,71	0,77	0,05	0,0004	4,70	0,01
ΑΠΩΛΕΙΑ	3083,5	95,17	15,50	0,05	0,0078	95,08	0,13
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	3240	100,00	16,29	0,0500	0,0082	100,00	0,14
U/F 70 Hz	ΒΑΡΟΣ (g)	ΒΑΡΟΣ % Κλάσματος	ΒΑΡΟΣ % Αρχικού	ΑΝΑΛΥ ΣΗ Au (ppm)	ΜΟΝΑΔΕΣ επι αρχικού	ΚΑΤΑΝΟΜΗ (%)	ΚΑΤΑΝΟΜΗ % Αρχικού
ΠΡΟΪΟΝ	84,4	0,70	0,59	1008,33	5,94	99,72	99,58
ΑΠΟΡΡΙΜΜΑ	8134,4	67,79	56,74	0,02	0,01	0,19	0,19
ΑΠΩΛΕΙΑ	3781,2	31,51	26,38	0,02	0,01	0,09	0,09
ΤΡΟΦΗ ΥΠΟΛ.	12000	100,00	83,71	7,11	5,95	100,00	99,86
ΑΡΧΙΚΗ ΤΡΟΦΗ	15240		100,00	5,96	5,96		100,00

Στους πίνακες αυτούς παρουσιάζονται οι χημικές αναλύσεις Au των προϊόντων και των απορριμμάτων του βαρυτομετρικού φυγοκεντρικού διαχωριστή, όπως αυτά μετρήθηκαν. Επίσης παρουσιάζονται οι υπολογισμένες τιμές των χημικών αναλύσεων στα δείγματα τροφοδοσίας του διαχωριστή.

Ακόμα φαίνονται οι τιμές κατανομής του χρυσού τόσο στα επιμέρους κλάσματα όσο και στα τρία αρχικά δείγματα. Επιπλέον παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενες αθροιστικά, ανακτήσεις των συμπυκνωμάτων (conc) και των απορριμμάτων (tail) των διαχωρισμών σε χημική ανάλυση και κατανομή βάρους.

5.3.6 ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗ

Στο ψιλό κλάσμα O/F του δείγματος MP 468 δε βρέθηκε χρυσός

Παρατηρείται ότι στο χονδρό κλάσμα U/F του δείγματος MP 468 η χημική ανάλυση έδειξε 341,00 ppm χρυσού. Επιπλέον ανακτήθηκε το 98,39 % του περιεχόμενου χρυσού με πολύ μικρή ανάκτηση βάρους. Επομένως συμπεραίνεται ότι έγινε καλός διαχωρισμός για αυτό το δείγμα.

Στο ψιλό κλάσμα O/F του Σύνθετου δείγματος συμπεραίνεται ότι δεν έγινε σωστός διαχωρισμός λόγω μεγάλης απώλειας δείγματος.

Στο το χονδρό κλάσμα U/F του Σύνθετου δείγματος ανακτήθηκε το 80,36 % του περιεχόμενου χρυσού περνώντας μόλις το 2 % του αρχικού βάρους από το φυγοκεντρικό διαχωριστή σε συνθήκες λειτουργίας πίεσης 6 psi και στροφές 50 Hz.

Για το χονδρό κλάσμα U/F του Σύνθετου δείγματος αλλάζοντας τις στροφές λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή σε 70 Hz παρατηρείται μικρότερη ανάκτηση του περιεχόμενου χρυσού.

Στο ψιλό κλάσμα O/F του δείγματος Άρτας παρατηρείται μεγάλη απώλεια δείγματος με αποτέλεσμα να μη θεωρείται σωστός ο διαχωρισμός, αφού η ανάκτηση του περιεχόμενου χρυσού είναι πολύ μικρή.

Στο χονδρό κλάσμα U/F του δείγματος Άρτας όπου ο φυγοκεντρικός διαχωριστής λειτούργησε σε 50 Hz στροφές παρατηρείται ότι ανακτήθηκε το 64.97 % του περιεχόμενου χρυσού.

Με αλλαγή των συνθηκών λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή από στροφές στα 50 Hz σε στροφές στα 70 Hz διατηρώντας την πίεση σταθερή στα 6 psi παρατηρείται ότι ανακτήθηκε το 99,58 % του περιεχόμενου χρυσού.

Συνολικά συμπεραίνουμε ότι για το δείγμα MP 468 καλύτερη ανάκτηση έγινε στο χονδρό κλάσμα U/F, για το σύνθετο δείγμα καλύτερη ανάκτηση έγινε στο χονδρό δείγμα U/F σε συνθήκες λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή πίεσης 6 psi και στροφές στα 50 Hz, ενώ στο χονδρό δείγμα U/F του δείγματος Άρτας καλύτερη ανάκτηση επετεύχθη σε συνθήκες λειτουργίας του φυγοκεντρικού διαχωριστή πίεσης 6 psi και στροφές στα 70 Hz. Πιθανή εξήγηση αποτελεί η διαφορετική προέλευση των δειγμάτων, χωρικά και υψομετρικά.

5.4 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

5.4.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΥΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΡΥΤΟΜΕΤΡΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ

Στα δείγματα που πραγματοποιήθηκαν η μέθοδος ανάκτησης χρυσού με κυάνωση καθώς και η μέθοδος ανάκτησης χρυσού με τη χρήση βαρυτομετρικού διαχωριστή είναι τρία, το ψιλό κλάσμα O/F του δείγματος MP 468, το ψιλό κλάσμα O/F του Σύνθετου δείγματος και το ψιλό κλάσμα O/F του δείγματος Άρτας. Οι ανακτήσεις της κάθε μία από τις μεθόδους και για τα τρία δείγματα φαίνονται στον πίνακα 5.4.1. Από τον πίνακα 10.25 μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων.

Πίνακας 5.4.1: Σύγκριση ανακτήσεων Au με τη μέθοδο της κυάνωσης και του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Περιγραφή δείγματος	Ανάκτηση με κυάνωση Au (%)	Ανάκτηση με βαρυτομετρικό διαχωρισμό Au (%)
O/F MP468	72.12	1,40
O/F Σύνθετο	99.31	1.19
O/F Άρτας	99.99	0.22

Από τον πίνακα 5.4.1 συμπεραίνεται ότι :

- Με τη μέθοδο της κυάνωσης γενικά υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό ανάκτησης
- Παρατηρείται σημαντική διαφορά στην ανάκτηση με τη μέθοδο της κυάνωσης από την μέθοδο βαρυτομετρικού διαχωρισμού. Η διαφορά αυτή είναι αναμενόμενη επειδή η μέθοδος ανάκτησης Au με τη χρήση βαρυτομετρικού διαχωριστή δεν ενδείκνυται για κλάσματα μικρής κοκκομετρίας.

5.4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΧΡΥΣΟΥ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο χρυσός που ανακτήθηκε από τα δείγματα τόσο από την περιοχή του Νομού Χανίων όσο και από την περιοχή του Νομού Άρτας βρίσκεται σε ελεύθερη μορφή . Επίσης τα δείγματα αυτά έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε χρυσό και για αυτό ήταν αρκετά δύσκολος ο διαχωρισμός του μετάλλου από το στείρο κοίτασμα.

Για την καλύτερη διεξαγωγή των πειραμάτων πραγματοποιήθηκε ομογενοποίηση των δειγμάτων. Τα πειράματα με το μικρότερο όγκο δείγματος παρουσίασαν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Λόγω των χαρακτηριστικών των δειγμάτων χρυσού και από τις δύο περιοχές παρατηρήθηκαν σημαντικές αποκλίσεις στα ισοζύγια μάζας των δοκιμών εμπλουτισμού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Guzman, L., Segarra, M., Chimenos, J.M., Cabot, P.L, Espiell, F., (1999), “Electrochemistry of Conventional Gold Cyanidation”, Barcelona, Spain.
2. Κωστάκης, Γ. (1992), “Κεφάλαια Ακτινοσκοπίας των Κρυστάλλων”, Σημειώσεις για τους σπουδαστές του τμήματος Μηχ.Ο.Π του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
3. Μουντράκης, Δ (1985), Γεωλογία της Ελλάδας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
4. Παπανικολάου, Δ. (1986), “Γεωλογία της Ελλάδος”, Επτάλοφος, Αθήνα.
5. Σκαρπέλης Νίκος, (2002), Εισαγωγή στην Κοιτασματολογία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα.
6. Σκουνάκης Στ. (1993), Κοιτασματολογία , Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Αθήνα.
7. Σταμπολιάδης, Η., (2001), “Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων”, Σημειώσεις για τους σπουδαστές του τμήματος Μηχ.Ο.Π του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
8. Σταμπολιάδης Η., Παντελάκη Ο., Μανούτσογλου Ε.,” Environmentally Friendly Methods for Gold Recovery”, Proccedings of the Int. Conf., Protection and Restoration of the Environment VI, Skiathos, Jul.1-5, 2002
9. Σταμπολιάδης Η., Μανούτσογλου Ε., Παντελάκη Ο., “ Developments in Gold Recovery Equipment and Their Use in Greece” , Proccedings of the Int. Conf., SDIMI 2003, 21-23 May 2003, Milos Island, Greece, editor Milos Conference Center
10. Yannopoulos, J.C. (1990), The Extractive Metallurgy of Gold. Van Nostrand Renhold, New York.
11. Foster, R. P. (1993), Gold Metallogeny and Exploration.
12. Φραγκίσκος, Α & Σ. Κατράκης, (1979), “Εισαγωγή στον εμπλουτισμό των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.

Ιστοσελίδες :

1. www.onlygold.com
2. www.kitco.com