

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



**«ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΦΑΛΕΡΙΤΗ ΑΠΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ
ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ
ΠΡΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗ ΧΡΗΣΗΣ ΚΥΑΝΙΟΥΧΟΥ ΝΑΤΡΙΟΥ >>**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΡΩΞΑΝΗ Ι. ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ :

Σταμπολιάδης Ηλίας, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Κομνίτσας Κωνσταντίνος, Καθηγητής

Πεντάρη Δέσποινα, Λέκτορας

Χανιά

Σεπτέμβρης 2016

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

*«ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΦΑΛΕΡΙΤΗ ΑΠΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ
ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ
ΠΡΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗ ΧΡΗΣΗΣ ΚΥΑΝΙΟΥΧΟΥ ΝΑΤΡΙΟΥ >>*

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΡΩΞΑΝΗ Ι. ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗ

Χανιά
Σεπτέμβρης 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σήμερα για την εκμετάλλευση των μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων χρησιμοποιείται η μέθοδος της επίπλευσης . Στην Ελλάδα μεικτά θειούχα εκμεταλλεύονται στην εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ, στο Στρατώνι της Χαλκιδικής . Πρόκειται για μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδο και κατάλληλη για την εκμετάλλευση των συγκεκριμένων μεταλλευμάτων . Κατά τη διαδικασία της επίπλευσης γίνεται χρήση διαφόρων αντιδραστηρίων-ενώσεων . Οι ενώσεις αυτές δύναται να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές στο περιβάλλον, αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας . Χαρακτηριστικό παράδειγμα ουσίας, η οποία θεωρείται πολύ επικίνδυνη για το περιβάλλον και τη ζωή, είναι το Κυανόυχο Νάτριο (NaCN) . Στην εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ αυτή τη στιγμή εφαρμόζονται μέθοδοι και τεχνικές εξουδετέρωσης όλων εκείνων των παραγόντων που θα μπορούσαν να βλάψουν το περιβάλλον . Η χρήση Κυανιούχου Νάτριου όμως, εξακολουθεί να προκαλεί μεγάλες κοινωνικές αντιδράσεις και διαμαρτυρίες απο σωματεία, οργανώσεις και ομάδες ανθρώπων .

Μέσω της παρούσας εργασίας θα προσπαθήσουμε να προτείνουμε μέθοδο εκμετάλλευσης μεικτών θειούχων, στην οποία δεν θα γίνεται χρήση καθόλου Κυανιούχου Νατρίου . Συγκεκριμένα θα ασχοληθούμε με τον σφαλερίτη όπου αποτελεί ένα πολύ σημαντικό ορυκτό και ανήκει στα θειούχα ορυκτά . Θα μας απασχολήσει η ανάκτηση σφαλερίτη απο τα υπόλοιπα ορυκτά όπου ευρήσκονται μέσα στο μέταλλευμα μεικτών θειούχων . Η μέθοδος εμπλουτισμού που θα χρησιμοποιήσουμε, είναι εκείνη του ηλεκτρομαγνητικού διαχωρισμού . Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου, βασιστήκαμε στην συγκεκριμένη ποιότητα του σφαλερίτη όπου εμπεριέχει αρκετό Fe . Έτσι ο σφαλερίτης αποκτάει μαγνητική ιδιότητα και επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του απο τα άλλα ορυκτά του μεταλλεύματος .

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστίσω τον κ. Σταμπολιάδη Ηλία όπου ανέλαβε την διπλωματική μου εργασία, για το πολύ ενδιαφέρον θέμα που μου ανέθεσε αλλά και την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη του . Επιπλέον ευχαριστώ τον κ Αλεβίζο Γεώργιο-Καθηγητή, την κ. Παντελάκη Όλγα και τον κ. Πετράκη Βαγγέλη, για τη βοήθεια τους . Ακόμα ευχαριστώ την εξεταστική επιτροπή, κ. Σταμπολιάδη Ηλία-Καθηγητή, κ. Κομνίτσα Γεώργιο-Καθηγητή και κ Πεντάρη Δέσποινα-Λέκτορα . Τέλος οφείλω να αναφέρω ακόμα ότι στη διεκπεραίωση της εργασίας μου συνέβαλαν, ο κ. Στρατάκη Αντώνης, ο κ. Αποστολάκη Αντώνης και η κ. Πεντάρη Δέσποινα και τους ευχαριστώ επίσης .

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας με τίτλο,

ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΦΑΛΕΡΙΤΗ ΑΠΟ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ ΜΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΜΕ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ ΠΡΟΣ ΑΠΟΦΥΓΗ ΧΡΗΣΗΣ ΚΥΑΝΙΟΥΧΟΥ ΝΑΤΡΙΟΥ

προκειμένου να ξεχωρίσουμε τον σφαλερίτη από πυρίτες (σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη) και γαληνίτη, κατά την διαδικασία εμπλουτισμού μικτών θειούχων, χρησιμοποιήθηκε μαγνητικός διαχωρισμός αντί της επίπλευσης με σκοπό την αποφυγή χρήσης κυανιούχου νατρίου.

Το δείγμα που χρησιμοποιήσαμε προερχόταν από την εταιρεία **Ελληνικός Χρυσός** και συγκεκριμένα από το μεταλλείο **Μαύρων Πετρών** στο Στρατώνι Χαλκιδικής. Σήμερα για να επιτευχθεί η ανάκτηση του σφαλερίτη, χρησιμοποιείται η διαδικασία της επίπλευσης και γίνεται χρήση κυανιούχου νατρίου. Το κυανιούχο νάτριο μπορεί να έχει πολύ σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παρόλο που υπάρχουν μέθοδοι εξουδετέρωσης του και δεν υπάρχει κίνδυνος για το περιβάλλον εξακολουθούν να υπάρχουν κοινωνικές αντιδράσεις από τη χρήση του.

Για να πετύχουμε το σκοπό μας, χρησιμοποιήσαμε μαγνητικό διαχωρισμό αντί της επίπλευσης. Εκμεταλλευτήκαμε το γεγονός ότι ο αρσеноπυρίτης (FeAsS), ο σιδηροπυρίτης (FeS) και ο γαληνίτης (PbS) δεν έλκονται σχεδόν καθόλου από τον μαγνήτη ενώ ο σφαλερίτης (ZnFeS) έλκεται από αυτόν. Η μαγνητική επιδεκτικότητα του σφαλερίτη στο συγκεκριμένο μεταλλεύμα οφείλεται στο ότι ένα μέρος του Zn στο κρυσταλλικό του πλέγμα έχει αντικατασταθεί με δισθενή Fe σε ποσοστά μέχρι 30%.

Επιπλέον δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες που δύνανται να επηρεάσουν το αποτέλεσμα, είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου και η κοκκομετρία του υλικού καθόσον αυτή επηρεάζει την αποδέσμευση των ορυκτών μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να επιτευχθεί μαγνητικός διαχωρισμός του σφαλερίτη, για τον οποίο ενδιαφερόμαστε.

Συγκεκριμένα έγιναν δοκιμές με εργαστηριακό ηλεκτρομαγνήτη υψηλής έντασης, σε διάφορες εντάσεις ρεύματος και ανάλογα μαγνητικά πεδία, σύμφωνα με το νόμο του Gauss. Το περιβάλλον λειτουργίας του μαγνήτη ήταν υγρό και το δείγμα τροφοδοτείτο σε μορφή πολφού. Τέλος έγιναν δοκιμές και σε διαφορετικές κοκκομετρίες καθώς είναι απαραίτητο να υπάρξει η κατάλληλη αποδέσμευση ώστε να έχουμε τα βέλτιστα δυνατά προϊόντα.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πράγματι ότι υπάρχει διαχωρισμός του σφαλερίτη από τα άλλα ορυκτά, αλλά τόσο η ποιότητα του προϊόντος όσο και η ανάκτηση του δεν μπορούν να συγκριθούν ακόμη με αυτά της επίπλευσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|--------------------|
| 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | σελ 6-20 |
| 2.ΜΕΡΟΣ Α -ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ..... | σελ 21-56 |
| <u>A.1)ΠΡΟΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ-ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ.....</u> | <u>σελ..21-44</u> |
| A.1.α)Θραύση..... | σελ..22 |
| A.1.β)Λειοτρίβηση..... | σελ..26 |
| A.1.γ)Ταξινόμηση μεγέθους..... | σελ..31 |
| A.1.δ)Μαγνητικός διαχωρισμός..... | σελ..35 |
| <u>A.2)ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ</u> | <u>σελ..44-52</u> |
| A.2.α)Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης..... | σελ..46 |
| A.2.β)Διαλυτοποίηση..... | σελ..48 |
| <u>A.3)ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ</u> | <u>σελ..53-56</u> |
| A.3.α)Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD)..... | σελ 53 |
| A.3.β) Παρασκευή στιλπνών τομών | σελ..54 |
| 3.ΜΕΡΟΣ Β -ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ..... | σελ..57-113 |
| <u>B.1) ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....</u> | <u>σελ 57</u> |
| B.1.α) Κοκκομετρία υλικού..... | σελ..57 |
| B.1.β) Ορυκτολογία υλικού..... | σελ..59 |
| B.1.γ) Χημική σύσταση υλικού..... | σελ..61 |
| <u>B.2). ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ.....</u> | <u>σελ..62-112</u> |
| B.2.α)Διερεύνηση βέλτιστων συνθηκών (α φάση). | σελ..63 |
| B.2.β)Αρχική εκτίμηση βέλτιστων συνθηκών (βφάση)..... | σελ..71 |
| B.2.γ) Δοκιμές βελτίωσης αρχικών αποτελεσμάτων μαγνητικού διαχωρισμού (γ και δ φάση)..... | σελ..84 |
| <u>B3) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....</u> | <u>σελ 106-113</u> |
| 4.ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ..... | σελ..114 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θειούχα ορυκτά είναι μια σημαντική ομάδα ορυκτών που περιλαμβάνει τα περισσότερα από τα μεταλλοφόρα εκμεταλλεύσιμα ορυκτά . Ταξινομούνται σε σουλφίδια, βουλφοάλατα και αρσενίδια . Ο γενικός τύπος των θειούχων ορυκτών είναι $Xm\Pn$, όπου X (Pb, Zn, Fe, Cu, κ.α) είναι το μεταλλικό χημικό στοιχείο και Ψ (S, As, κ.α) το αμέταλλο . Στην παρούσα εργασία γίνεται λόγος για πέντε ορυκτά . Αυτά είναι : γαληνίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης, αρσενοπυρίτης και χαλκοπυρίτης .

Γαληνίτη : Ο γαληνίτης (PbS) κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα . Η κρυσταλλική μορφή είναι εξαεδρική ή σύνθετη εξαεδρική και οκταεδρική . Εμφανίζει διδυμία κατά (111) και σχισμό τέλειο κατά (100) . Η σκληρότητα του είναι 2,5 στην κλίμακα του Mohs, ενώ η πυκνότητά του από 7,4 gr/cm³ έως 7,6 gr/cm³ . Το χρώμα του είναι κυανότεφο και μολυβδότεφο .

Η χημική σύσταση του καθαρού γαληνίτη είναι 86,6 % Pb και 13,4 % S . Μικρές ποσότητες ψευδαργύρου (Zn), καδμίου (Cd), αντιμονίου(Sb), αρσενίου(As) και βισμούθιου (Bi) ίσως υπάρχουν εντός του γαληνίτη . Στο κοίτασμα Χαλκιδικής ο γαληνίτης περιέχει Ag, περίπου 2000g/tn .

Ο γαληνίτης είναι πολύ διαδεδομένο ορυκτό του μολύβδου . Απαντά σε υδροθερμικές φλέβες μαζί με σφαλερίτη, χαλκοπυρίτη, σιδηροπυρίτη, μαρκασίτη, κερουσίτη, αγγλεσίτη, δολομίτη, ασβεσίτη, χαλαζία, βαρύτη και φθορίτη . Επίσης βρίσκεται σε ιζηματογενή πετρώματα και σε πηγματίτες.

Στην Ελλάδα απαντά γαληνίτης στο Λαύριο, στη Χαλκιδική, το Κιλκίς, τη Δράμα, την Αλεξανδρούπολη κ.λ.π

Σφαλερίτης : Ο σφαλερίτης (ZnS - (Zn Fe)S) κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα . Η κρυσταλλική μορφή είναι εξαεδρική, ρομβικού δωδεκαέδρου και τετραεδρική . Ο σχισμός είναι τέλειος κατά (011) . Η σκληρότητα του είναι από 3,5 , έως 4 στην κλίμακα του Mohs, ενώ η πυκνότητά του είναι από 3,9 gr/cm³ έως 4,1 gr /cm³ . Το χρώμα του είναι άχρωμο όταν είναι καθαρός, πράσινο, κίτρινο, καστανό, κόκκινο και μαύρο . Η ποσότητα του σιδήρου που υπάρχει στο σφαλερίτη επηρεάζει το χρώμα του προς το σκούρο .

Η χημική σύσταση του καθαρού σφαλερίτη είναι 67,07 % Zn και 33% S . Οξειδώνεται προς σμιθονίτη . Η περιεκτικότητά του σιδήρου στο σφαλερίτη εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη γεωχημική σύσταση του περιβάλλοντος . Αν ο σίδηρος είναι σε μεγάλη ποσότητα τότε σχηματίζεται ο μαγνητοπυρίτης ο οποίος μπορεί να φθάσει μέχρι 50 % εντός του σφαλερίτη . Η ποσότητα του σιδήρου στο σφαλερίτη και μαγνητοπυρίτη αποτελεί ένδειξη της θερμοκρασίας σχηματισμού . Ο σφαλερίτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γεωλογικό θερμόμετρο . Τα κατιόντα του δισθενούς μαγγανίου και καδμίου αντικαθιστούν τα κατιόντα του ψευδαργύρου. Ο σφαλερίτης είναι χαμηλής θερμοκρασίας σχηματισμού.

Ο σφαλερίτης είναι το σπουδαιότερο ορυκτό του ψευδαργύρου . Η γένεση του είναι όμοια με εκείνη του γαληνίτη με τον οποίο απαντούν σχεδόν πάντοτε . Ομοίως απαντούν με σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, μαρκασίτη, γκρηνοκίτη, σμιθονίτη, ροδοχρωσίτη, σιδηρίτη, χαλαζία κ.α

Στην Ελλάδα απαντά στο Λαύριο, στη Χαλκιδική, στο Κιλκίς, στη Μήλο, στην Αλεξανδρούπολη κ . α

Σιδηροπυρίτης : Ο σιδηροπυρίτης (FeS_2) κρυσταλλώνεται στην παρημιεδρία του κυβικού συστήματος . Οι κρύσταλλοι εμφανίζονται με μορφή εξαεδρική, οκταεδρική και πενταγωνική δωδεκαέδρου . Τα εξάεδρα και τα πενταγωνικά δωδεκάεδρα εμφανίζονται συχνά με γραμμώσεις που καλούνται ποκίλσεις . Εμφανίζει διδυμία κατά (110) συνδιαβλαστώνουσα, γνωστή ως διδυμία του σιδερένιου σταυρού . Ο σχισμός είναι ασαφής κατά (100) . Η σκληρότητα του είναι από 6 έως 6,5 στη κλίμακα του Mohs, ενώ η πυκνότητα του από $5,02 \text{ gr/cm}^3$. Η λάμψη του είναι στιλπνή, μεταλλική . Το χρώμα του είναι ανοικτό ορείχαλκο, κίτρινο έως χρυσοκίτρινο.

Η χημική σύσταση του σιδηροπυρίτη είναι 46,6% Fe και 53,4 %S . Συχνά βρίσκονται πολύ μικρές ποσότητες χρυσού και χαλκού . Υπάρχουν δυο μορφές, του σιδηροπυρίτη και του μαρκασίτη.

Ο σιδηροπυρίτης είναι το περισσότερο διαδεδομένο ορυκτό των σουλφιδίων . Στα όξινα και βασικά πυριγενή πετρώματα απαντά ως επουσιώδες ορυκτό . Επίσης απαντά στα ιζηματογενή και μεταμορφωμένα πετρώματα . Πολύ σπάνια απαντά σε πηγματίτες . Βρίσκεται συβυθος στις υδροθερμικές φλέβες των σουλφιδίων και στα κοιτάσματα μεταμόρφωσης από επαφή . Ο σιδηροπυρίτης σχηματίζεται σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες . Συνυπάρχει με τα ορυκτά γαληνίτη, σφαλερίτη, χαλκοπυρίτη, σιδηρίτη, ασβεσίτη και χαλαζία .

Στην Ελλάδα απαντά στα μικτά θειούχα της Χαλκιδικής, στο Λαύριο, στο Κιλκίς, στην Ξάνθη, στη Νάξο, στη Σέριφο, στην Ερμιόνη, στο λουτράκι Αριδαίας κλπ

Αρσеноπυρίτης : Ο αρσеноπυρίτης (FeAsS) κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Η κρυσταλλική μορφή είναι πρισματική . Εμφανίζεται διδυμία επαφής ή συνδιαβλαστώνοντες κατά (110) . Οι δίδυμοι κατά (100) και (001) έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ψευδορομβικών κρυστάλων . Ο σχισμός του αρσеноπυρίτη είναι ασαφής κατά (101) . Η σκληρότητα του είναι από 5,5 έως 6 στην κλίμακα του Mosh, ενώ η πυκνότητα του $6,07 \text{ gr/cm}^3$. Η λάμψη είναι μεταλλική και το χρώμα του από ασημόλευκο έως χαλυβδότεφρο.

Η χημική σύσταση του αρσеноπυρίτη παρουσιάζει μια διακύμανση στην περιεκτικότητα του αρσενικού και του θείου .

Από τα ορυκτά του αρσενικού ο αρσеноπυρίτης είναι το περισσότερο διαδεδομένο στη φύση . Εμφανίζεται σε υψηλή θερμοκρασίας υδροθερμικές φλέβες μαζί με κοίτασμα κασιτέρου και βολφραμίου . Συνυπάρχει με το ορυκτό γαληνίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης και χαλκοπυρίτης . Συχνά συνυπάρχει με το χρυσό . Ελάχιστα βρίσκεται σε πηγματίτες σε κοιτάσματα μεταμορφωμένα από επαφή και σε κρυσταλικούς ασβεστόλιθους . Ο αρσеноπυρίτης εγκλωβίζει χρυσό υπό μορφή στερεού διαλύματος και είναι εκμεταλλεύσιμο στη περιοχή της Ολυμπιάδος, 30gr/tn.

Χαλκοπυρίτης: Ο χαλκοπυρίτης (CuFeS_2) κρυσταλλώνεται στο τετραγωνικό σύστημα . Η κρυσταλλική μορφή είναι σφηνοεδρική και ψευδοτετραεδρική . Η διδυμία είναι επαφής κατά (112) . Ο σχισμός είναι ατελής κατά (011) . Η σκληρότητα του χαλκοπυρίτη είναι απο 3,5 έως 4 στην κλίμακα του Mohs, ενώ η πυκνότητα του απο $4,1 \text{ gr/cm}^3$ έως $4,3 \text{ gr/cm}^3$. Η λάμψη του είναι μεταλλική και το χρώμα του ορείχαλκο κίτρινο .

Η χημική σύσταση του χαλκοπυρίτη είναι 34,6% χαλκός, 30,4% σίδηρος και 35,0% θείο . Αλλοιώνεται προς μαλαχίτη ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), αζουρίτη ($\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$), σιδηροπυρίτη, χαλκοσίνη (Cu_2S), κοβελίνη (CuS) και χρυσόκολλα ($\text{CuSiO}_3\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) .

Ο χαλκοπυρίτης είναι πολύ διαδεδομένο ορυκτό του χαλκού . Απαντά σε όλα τα κοιτάσματα των σουλφιδίων και ιδιαίτερα στις υδροθερμικές φλέβες . Επίσης εμφανίζεται στα κοιτάσματα που προέρχονται απο την μεταμόρφωση απο επαφή .

Στην Ελλάδα απαντά στη Στρατονίκη της Χαλκιδικής, στην Ξάνθη, στο όρος Όρθυς, στη Σκύρο, στη Σύρο, στην Εύβοια, στο Λαύριο, στην Κρήτη, κ.ά..

ΣΤΕΡΓΙΟΣ Σ. ΘΕΟΔΩΡΙΚΑΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2002)

Α) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕΙΚΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ

Η παραγωγή των μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων ξεκίνησε απο τους αρχαίους Έλληνες, συνεχίστηκε τα χρόνια της Τουρκοκρατίας και αργότερα απο τον Μποδοσάκη . Η TVX HELLAS ανέλαβε τα μεταλλεία Κασσάνδρας, στην περιοχή Στρατωνικής Χαλκιδικής το 2002 . Ενώ σήμερα ανήκουν στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε (απο εκεί προέρχεται και το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα μας) . Το κοιτάσμα βρίσκεται μέσα σε μάρμαρα και σχιστόλιθους με την δημιουργία φλεβών και έχει υδροθερμική προέλευση . Επίσης άλλες περιοχές που υπάρχουν παρόμοια μεταλλεύματα είναι η Θάσος, το Λαύριο, οι Σέρρες , η Αλεξανδρούπολη, η Δράμα κ.ά . Τα συνολικά αποθέματα ανέρχονται περίπου σε 15 εκατομμύρια τόνους . Επιγραμματικά αναφέρεται η συγκέντρωση διαφόρων μεταλλείων στον παρακάτω πίνακα .

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Συγκεντρώσεις- Μεικτών Θειούχων-Ελλάδα

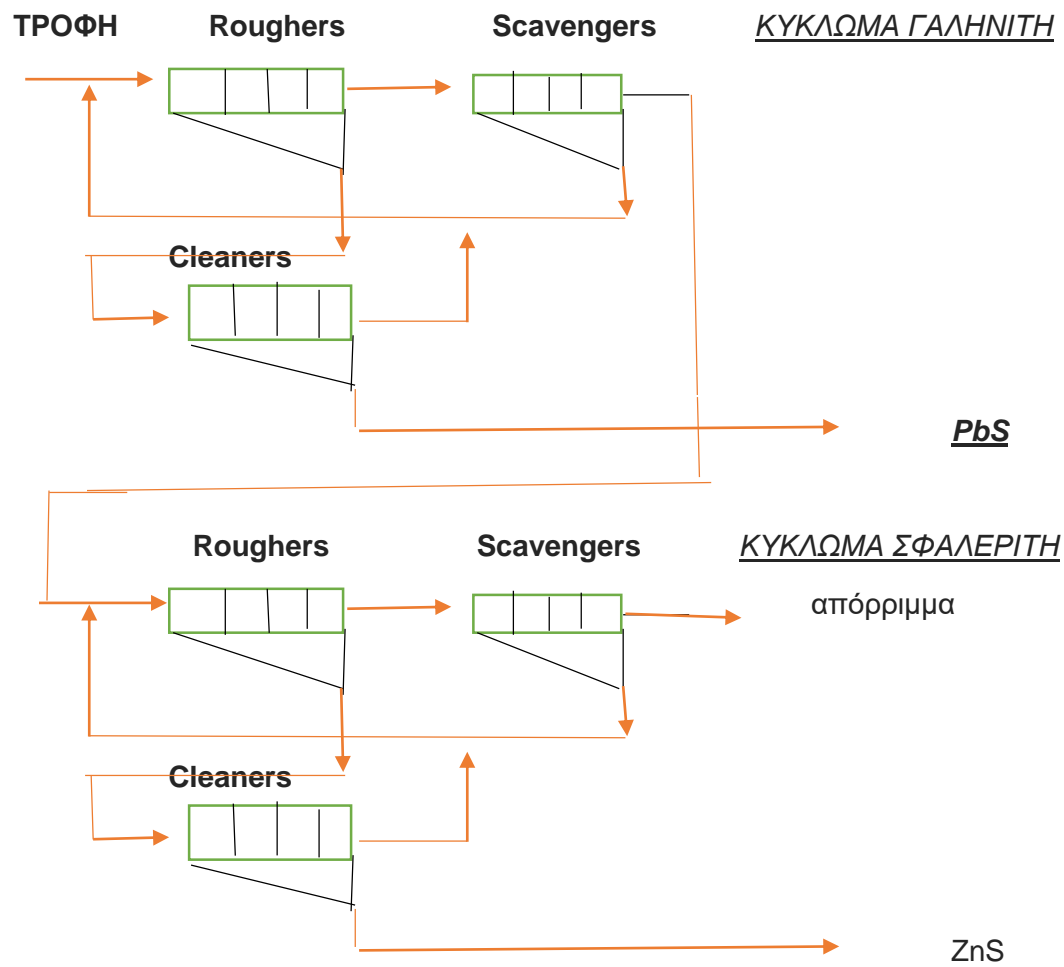
| | |
|------------------|---|
| Μεταλλείο Κίρκης | Pb+Zn 6% |
| Δράμα | Pb+Zn+Cu 5-6% |
| Θάσος | Zn 19-40 % Pb 1-26% Fe 2-5% BaSO4 0.7-13 % |
| Χαλκιδική | Pb 3.5% Zn 5.5% |
| Λαύριο | Pb+Zn 3-15% |
| | |

Β)ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ

Στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε, τα προϊόντα που εκμεταλλεύονται, είναι ο γαληνίτης και ο σφαλερίτης και στο μέλλον ο χρυσός . Το κοίτασμα εμπλουτίζεται με επίπλευση στο εργοστάσιο εμπλουτισμού . Πέρνουμε δυο συμπυκνώματα, το ένα περιέχει γαληνίτη (PbS) και το άλλο σφαλερίτη (ZnS) . Το απόρριμμα έχει σιδηροπυρίτη (FeS₂) και αρσενοπυρίτη (FeAsS) . Από τον γαληνίτη θέλουμε τον μόλυβδο που χρησιμοποιείται στις μπαταρίες και σαν πρόσθετο στα καύσιμα αλλά και την μικρή ποσότητα που έχει σε ασήμι (ίση αξία με το μόλυβδο). Ενώ από τον σφαλερίτη θέλουμε τον ψευδάργυρο (τσίγκο) .

Σχετικά με τη μέθοδο της επίπλευσης που χρησιμοποιείται . Το κύκλωμα αποτελείται απο δυο επιπλεύσεις . Απο την πρώτη παίρνουμε το συμπύκνωμα γαληνίτη με σουλφιδριλικούς συλλέκτες (ξανθογονικό άλας) και απο τη δεύτερη επίπλευση παίρνουμε τον σφαλερίτη . Ως τροφοδοσία στην δεύτερη επίπλευση, χρησιμοποιούμε το απόρριμμα της πρώτης, με θειικό χαλκό(CuSO₄) που αντιδρά με το ξανθογονικό άλας . Ο θειικός χαλκός επικάθεται στην επιφάνεια του σφαλερίτη και έτσι αυτός γίνεται υδρόφοβος ($ZnS_s + Cu^{2+}_{aq} \rightarrow Zn^{2+}_{aq} + CuS_s$) . Τα ιόντα του δισθενούς χαλκού αντιδρούν με τον σφαλερίτη και στην επιφάνεια των κόκκων του ορυκτού δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα θειούχου χαλκού . Ο θειούχος χαλκός αντιδράει εύκολα με υδρόφοβες οργανικές ενώσεις όπως οι ξανθάτες, και έτσι ο κόκκος γίνεται υδρόφοβος.

Ειδικότερα, το υλικό μπαίνει στα κελιά roughers και απο εκεί το προϊόν πάει στα κελιά cleaners και το απόρριμμα στα κελιά scavengers . Απο τα cleaners παίρνουμε το τελικό συμπύκνωμα του γαληνίτη, ενώ όσο δεν έχει καθαρίσει καλά ξαναπηγαίνει στη τροφοδοσία . Στα κελιά scavengers, το απόρριμμα είναι η τροφοδοσία της δεύτερης επίπλευσης ώστε να πάρουμε το συμπύκνωμα σφαλερίτη, ενώ όσο υλικό έχει ποσότητα γαληνίτη ξαναπηγαίνει στη τροφοδοσία . Στα μεικτά θειούχα του Στρατωνίου (Ελληνικός Χρυσός Α . Ε) το μέγεθος κόκκου που προκύπτει είναι μικρότερο από περίπου 0,2 mm .



(Εικόνα 1) Σχηματική απεικόνιση κυκλώματος εμπλουτισμού, στον Ελληνικό Χρυσό Α.Ε, στο Στρατώνι.

Γ)ΕΠΙΠΛΕΥΣΗ

Η επίπλευση χρησιμοποιείται ως μέθοδος εμπλουτισμού μεταλλευμάτων από τις αρχές του 20ου αιώνα και ανακαλύφθηκε τυχαία . Με τη συνεχώς αυξανόμενη κατανόηση των φαινομένων και των παραγόντων που επηρεάζουν την επίπλευση των διαφόρων ορυκτών, η μέθοδος αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα αντικαθιστώντας τις βαρυτομετρικές μεθόδους.

Σήμερα, αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο με την οποία εμπλουτίζεται ο μεγαλύτερος όγκος των παραγόμενων ορυκτών . Για μερικά μάλιστα, είδη μεταλλευμάτων, όπως τα μεικτά θειούχα αποτελεί σχεδόν τη μοναδική μέθοδο εμπλουτισμού τους . Αυτό οφείλεται κυρίως στη εκλεκτικότητα που παρουσιάζει η επίπλευση στο διαχωρισμό ορυκτών της ίδιας κατηγορίας .

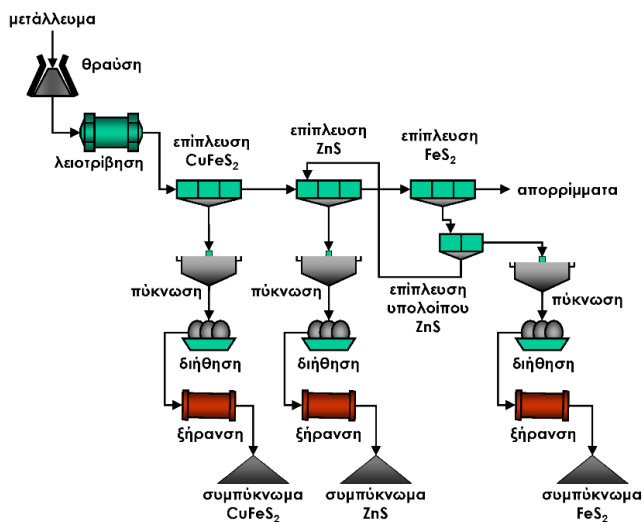
Η επίπλευση έδωσε λύση σε πολλές περιπτώσεις που η αποδέσμευση του χρήσιμου ορυκτού γίνεται σε πολύ μικρά μεγέθη, τα οποία οι άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να επεξεργασθούν . Το μέγεθος του προς επίπλευση μεταλλεύματος είναι συνήθως μικρότερο των 3,5 mm και κατά κανόνα προέρχεται από υγρή λειοτρίβηση της τροφοδοσίας .

Ο πολφός του μεταλλεύματος μετά τη λειοτρίβηση και τη σχετική προετοιμασία με κατάλληλα αντιδραστήρια εισέρχεται στην κυψέλη της επίπλευσης, εντός της οποίας υπάρχει ένας αναδευτήρας για να κρατά τα στερεά σε αιώρηση . Με κατάλληλο σχεδιασμό του άξονα και του αναδευτήρα αναρροφάται από το περιβάλλον ατμοσφαιρικός αέρας, ο οποίος διαχέεται μέσα στο πολφό υπό μορφή μικρών φυσαλίδων .

Οι κόκκοι του ορυκτού που η επιφάνειά τους έχει καταστεί υδρόφοβη, προσκολλώνται στις φυσαλίδες και ανέρχονται στη επιφάνεια υπό την επίδραση της άνωσης . Εκεί, δημιουργείται αφρός που περιέχει το ορυκτό που επιπλέει και απομακρύνεται με υπερχείλιση ή με τη βοήθεια κατάλληλων πτερυγίων.

Με τον τρόπο αυτό γίνεται διαχωρισμός των χρήσιμων ορυκτών απ'τα συνυπάρχοντα άχρηστα που παραμένουν στην κυψέλη . Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται επίπλευση των άχρηστων ορυκτών και στη κυψέλη παραμένει το χρήσιμο μέταλλευμα . Η επίπλευση αυτή ονομάζεται αναστροφή.

Για να μπορεί κανείς να ελέγχει τη μέθοδο της επίπλευσης πρέπει να γνωρίζει το μηχανισμό με τον οποίο οι επιφάνειες των διαφόρων ορυκτών γίνονται υδρόφοβες, ώστε να προσκολλώνται στις φυσαλίδες και να διαχωρίζονται από τα υπόλοιπα ορυκτά, των οποίων η επιφάνεια παραμένει υδρόφιλη



(εικόνα2) Παράδειγμα

εμπλουτισμού μεικτού θειούχου μεταλλεύματος χαλκοπυρίτη (CuFeS_2) – σφαλερίτη (ZnS) – σιδηροπυρίτη (FeS_2) **με την μέθοδο της επίπλευσης** (μεταλλείο Πυχασάλμι (Pyhäsalmi), Φινλανδία, 1976)

Δ) ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΠΛΕΥΣΗΣ

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται στην επίπλευση χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, συλλέκτες, αφριστικά και ρυθμιστικά .

Οι συλλέκτες είναι κατά κανόνα, επιφανειακά ενεργές ουσίες και χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν σε υδρόφοβες τις επιφάνειες των ορυκτών που θέλουμε να επιπλεύσουν . Χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το πολικό τμήμα του μορίου τους .

1.Μη Ιονιζόμενοι Συλλέκτες : Είναι συνήθως υγροί υδρογονάνθρακες, όπως το πετρέλαιο diesel ή διάφορα έλαια που δε διασπώνται στο νερό και χρησιμοποιούνται ως ενισχυτικά στην επίπλευση φυσικώς υδρόφοβων ορυκτών (όπως το θείο, ο γραφίτης, ο άνθρακας, ο μολυβδαινίτης κλπ) ή σε συνδυασμό με συνήθεις συλλέκτες στην επίπλευση διαφόρων άλλων ορυκτών .

2.Ιονιζόμενοι συλλέκτες : Είναι επιφανειακά ενεργές ουσίες και αποτελούν τον συνήθη τύπο συλλεκτών . Αποτελούνται από ένα οργανικό τμήμα και ένα πολικό . Ανάλογα με τον ιονισμό του πολικού τμήματος στο νερό, χωρίζονται σε κατιονικούς, ανιονικούς και επαμφοτερίζοντες .

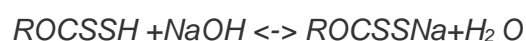
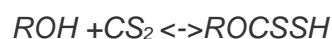
2α κατιονικοί συλλέκτες : Είναι αυτοί που στα υδατικά τους διαλύματα ιονίζονται και λαμβάνουν θετικό φορτίο (κατιόν) . Τέτοιοι συλλέκτες είναι οι αμίνες που θεωρούνται παράγωγα του αμμωνιακού ιόντος, όπου τα υδρογόνα έχουν αντικατασταθεί με αλκύλια ή αρωματικούς δακτύλιους . Συνήθως, διατίθεται υπο μορφή αλατων .

2β ανιοντικοί συλλέκτες : Είναι αυτοί που στα υδατικά τους διαλύματα ιονίζονται και λαμβάνουν αρνητικό φορτίο (ανιόν) . Χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες : α) τους οξυδρυλικούς συλλέκτες, στους οποίους το δραστικό άτομο του πολικού τους μέρους είναι το οξυγόνο και β) τους σουλφιδρυλικούς συλλέκτες, στους οποίους το δραστικό άτομο του πολικού τους μέρους είναι το θείο . Τα δυο είδη ανιονικών συλλεκτών διατίθεται συνήθως υπο μορφή αλάτων του νατρίου .

2β1 οξυδρυλικοί συλλέκτες : Το πολικό μέρος των ουσιών αυτών είναι αντιστοίχως παράγωγο των διαφόρων ανόργανων οξέων, καρβοξυλικού (οξικό οξύ), θειικού, σουλφονικού και φωσφορικού

2β2 σουλφυδρυλικοί συλλέκτες : Είναι ο ευρύτερα διαδεδομένος τύπος ανιονικών συλλεκτών και χρησιμοποιούνται κυρίως στην επίπλευση των θειούχων μεταλευμάτων . Διατίθενται συνήθως υπο μορφή αλάτων του νατρίου και τα περισσότερο διαδεδομένα είναι τα ξανθογονικά και τα διθειοφωσφορικά.

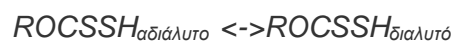
Ως παράδειγμα της συμπεριφοράς τους στο νερό θα θεωρήσουμε τα ξανθογονικά άλατα που προέρχονται απο την αντίδραση της αντίστοιχης αλκυλικής αλκοόλης ROH με διθειάνθρακα CS₂ και την εξουδετέρωση του παραγόμενου οξέος με NaOH κατά τις αντιδράσεις :



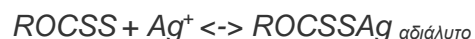
Έχουμε διάσταση του άλατος στο νερό : $ROCSSNa \leftrightarrow ROCSS + Na^+$

Το ανιόν βρίσκεται σε ισορροπία με το αντίστοιχο οξύ, μέσω της αντίδρασης ιονισμού του οξέος: $ROCSSH \leftrightarrow ROCSS^- + H^+$

Επίσης, το διαλυτό οξύ ευρίσκεται σε ισορροπία με το αδιάλυτο υγρό οξύ :



Όσο μεγαλύτερο είναι το αλκύλιο, τόσο πιο αδιάλυτο είναι το οξύ στο νερό . Και εδώ έχουμε την αντίδραση του ανιόντος με μέταλλα, που είναι η κύρια αιτία της απορρόφησης του συλλέκτη στην επιφάνεια των ορυκτών :



Σε μία ομόλογο σειρά ξανθογονικών ενώσεων, αυτές με μεγαλύτερο αριθμό ανθράκων στο αλκύλιο, σχηματίζουν περισσότερο αδιάλυτες ενώσεις με το ίδιο μέταλλο.

Η σταθερότητα του αντίστοιχου μεταλλικού άλατος εξαρτάται, από το είδος του μετάλλου, διότι άλλα έχουν μεγαλύτερη χημική συγγένεια με το ξανθογονικό ανιόν και άλλα μικρότερη : $Pb > Zn > Fe$

Σημασία στη δημιουργία των μεταλλικών αλάτων έχει το pH . Σε υψηλό pH, έχουμε διαθεσιμότητα του ανιόντος $ROCSS^-$, αλλά η συγκέντρωση του μετάλλου μειώνεται λόγω της δημιουργίας του αντίστοιχου υδροξειδίου . Σε χαμηλό pH, το μεταλλικό κατιόν είναι διαθέσιμο, αλλά το ξανθογονικό ιόν δημιουργεί το αντίστοιχο οξύ και δεν είναι διαθέσιμο για να ενωθεί με το μέταλλο.

Επομένως και εδώ, λόγω της χημικής απορρόφησης του συλλέκτη στην επιφάνεια του ορυκτού, ο αριθμός ανθράκων στο αλκύλιο της ένωσης, η συγκέντρωση της ένωσης, το pH και το είδος του μετάλλου παίζουν σημαντικό ρόλο.

Με κατάλληλο συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων, μπορούμε να δημιουργήσουμε συνθήκες που το ξανθογονικό άλας ενός μετάλλου να είναι αδιάλυτο, ενώ τα υπόλοιπα να είναι διαλυτά και με τον τρόπο αυτό, να πετύχουμε εκλεκτική επίπλευση ενός ορυκτού.

Αυτό εφαρμόζεται κυρίως στην επίπλευση των μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων. Με την επιλογή του κατάλληλου συλλέκτη και του pH επιτυγχάνουμε εκλεκτική επίπλευση των διαφόρων ορυκτών.

Οι ξανθογονικοί συλλέκτες και όχι τόσο οι διθειοφωσφορικοί, είναι πολύ ευαίσθητοι στο νερό και υπό ορισμένες συνθήκες καταστρέφονται, λόγω διάσπασης ή οξειδωσης.

Σε όξινο pH έχουμε την αντίδραση διάσπασης:



Επίσης οξειδώνονται από το οξυγόνο ή τα πολυασθενή μεταλλικά ιόντα :



Αποτέλεσμα της οξείδωσης είναι η δημιουργία της αδρανούς διξανθογονικής ένωσης $(\text{ROCSS})_2$, που κατά κανόνα δε βοηθάει στην επίπλευση .

2β3επαμφοτερίζοντες συλλεκτες : Οι ενώσεις αυτές, ανάλογα με το pH του υδατικού διαλύματος άλλοτε ιονίζονται σε κατιόν και άλλοτε σε ανιόν . Οι συνηθέστερες από τις ενώσεις αυτές είναι οι πρωτεΐνες, που έχουν ένα καρβοξυλικό κι ένα αμωνιακό τμήμα και συμπεριφέρονται ανάλογα με το pH . Οι ενώσεις αυτές δεν έχουν τύχει βιομηχανικής εφαρμογής .

Τα αφριστικά αντιδραστήρια είναι επιφανειακά ενεργές ουσίες και ο ρόλος τους στην επίπλευση είναι να βοηθήσουν στη δημιουργία αφρού, ώστε να συγκρατούνται οι ανερχόμενες φορτωμένες με το μέταλλο φυσαλίδες και να μην σκάζουν αμέσως μόλις έρθουν στην επιφάνεια του πολφού .

Τα ρυθμιστικά αντιδραστήρια χρησιμοποιούνται στη επίπλευση για πολλούς και διαφόρους λόγους, το καθένα ανάλογα με τις ιδιότητες τους . Είναι κυρίως ανόργανες αλλά και οργανικές ουσίες που βοηθούν στην καλύτερη επίπλευση και χωρίζονται σε κατηγορίες .

α.ενεργοποιητικά : Βοηθούν στην καλύτερη απορρόφηση του συλλέκτη στην επιφάνεια του ορυκτού και την ενίσχυση της υδροφοβίας της επιφάνειας αυτής .

β.καταβυθιστικά ή ανασταλτικά : Τα αντιδραστήρια αυτά βοηθούν στη διατήρηση της υδροφιλίας των επιφανειών των ορυκτών που δε θέλουμε να επιπλεύσουν . Άλλα πάλι βοηθούν στη διασπορά των κόκκων του πολφού, ώστε να μην παρατηρείται το φαινόμενο της προσκόλλησης κυρίως μικρών κόκκων του στείρου στις επιφάνειες των προς επίπλευσης ορυκτών, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν την επίπλευση ή να μειώνουν την ποιότητα του επιπλεύοντος ορυκτού .

γ.ρυθμιστικά του pH : Η δράση των συλλεκτών επηρεάζεται απο το pH του διαλύματος, διότι μεταβάλλεται η συγκέντρωση του ενεργού ιόντος . Επίσης, θα δούμε παρακάτω ότι και η επιφάνεια των ορυκτών μεταβάλλεται απο το pH και έτσι η ρύθμιση του παίζει σημαντικό ρόλο στην επίπλευση . Για τη ρύθμιση του pH τα κυριότερα αντιδραστήρια είναι ανόργανες βάσεις και οξέα .

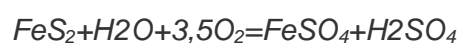
ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ ΗΛΙΑΣ, ΧΑΝΙΑ-2008

Ε)ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Ε1.Όξινη απορροή

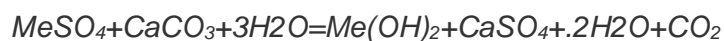
Στην φύση όσα θειούχα κοιτάσματα, χρυσοφόρα ή μη ευρέθησαν στη επιφάνεια της γης υπέστησαν την επίδραση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, του νερού και των βακτηριδίων και οξειδώθηκαν . Σε πολλές περιπτώσεις η οξείδωση αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα και έχει σαν αποτέλεσμα την λεγόμενη όξινη απορροή . Το φαινόμενο αυτό μελετήθηκε απο τους επιστήμονες και οδήγησε αφ'ενός μεν σε ασφαλείς τρόπους αντιμετώπισης του ,αφ'ετέρου δε στην μέθοδο βιολογικής οξείδωσης όπου υπό απολύτως ελεγχόμενες συνθήκες γίνεται κάτι που έτσι και αλλιώς συμβαίνει ανεξέλεγκτα στην φύση.

Όπως φαίνεται απο τις κυριότερες αντιδράσεις που διέπουν το φαινόμενο, παράγεται θειικό οξύ και βαρέα μέταλλα υπο μορφή ευδιάλυτων αλάτων .



Αποτέλεσμα αυτής της δράσης είναι το γεγονός ότι σε πολλά σημεία της Θράκης και της Χαλκιδικής, όπου υπάρχουν εμφανίσεις θειούχων ορυκτών κοντά στην επιφάνεια, τα νερά ορισμένων ποταμών και γεωτρήσεων να είναι εκ φύσεως όξινα .

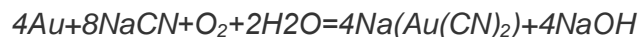
Όξινη απορροή μπορεί να δημιουργηθεί και απο την ανεξέλεγκτη μεταλλευτική δραστηριότητα και για το λόγο αυτό υπάρχει πάντοτε η πρόνοια εξουδετέρωσης του δυναμικού όξινης απορροής με ασβεστόλιθο και τη δημιουργία σταθερών αδιάλυτων ενώσεων όπως η γύψος και τα υδροξείδια των μετάλλων .



Με αυτή την πρόνοια σήμερα η μεταλλευτική δραστηριότητα όχι μόνο δεν δημιουργεί όξινη απορροή αλλά εξασφαλίζει την εξουδετέρωση εδαφών που είναι απο τη φύση τους όξινα . Εξακολουθούν όμως να υπάρχουν προβλήματα απο τη χρήση αντιδραστηρίων (ξανθογονικών αλάτων) κατά την εφαρμογή της μεθόδου της επίπλευση κατά τον εμπλουτισμό μεταλλευμάτων.

Ε2.Κυανιούχο Νάτριο

Το κυάνιο είναι μια τοξική ένωση του άνθρακα με το άζωτο που ενώνονται με ένα τριπλό δεσμό και δίνουν ένα ανιόν CN⁻ που μαζί με το νάτριο Na⁺ δίδει το άλας του κυανιούχου νατρίου NaCN (ευδιάλυτο στο νερό). Η χρησιμότητα του κυανίου έγκειται στο ότι κάνει την επιφάνεια υδρόφιλη .



Το κυάνιο σε εμπορική μορφή, ως κυανιούχο νάτριο εφαρμόζεται στη μεταλλευτική τεχνολογία σε δύο περιπτώσεις οι οποίες από περιβαλλοντική άποψη ενδιαφέρουν στην Ελλάδα . Στον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων και στην υδρο-μεταλλουργία του χρυσού . Και οι δύο εφαρμογές εκμεταλλεύονται την ιδιότητα του κυανιούχου νατρίου όταν βρίσκεται σε υδατικά διαλύματα να διαλύεται πολύ εύκολα στο νερό και να προσροφάται στην επιφάνεια των κόκκων των πετρωμάτων . Όταν αναμιχθεί ένα λειοτριβημένο πέτρωμα σε υδατικό διάλυμα κυανιούχου νατρίου οι κόκκοι του γίνονται γρήγορα φορείς προσροφημένων κυανιόντων . Η ενέργεια προσρόφησης δεν είναι σταθερή οπότε η εκρόφησή τους είναι θέμα χρόνου μη προσδιορίσιμου .

Η πρώτη εφαρμογή του κυανίου στον εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων αποτελεί διεργασία η οποία εφαρμόζεται εδώ και περισσότερο από 10 χρόνια στο Στρατώνι, Μαύρες Πέτρες, κάτω από τη Στρατονίκη . Γίνεται εξόρυξη του πετρώματος (γαληνίτης, σφαλερίτης, σιδηρο/αρσενοπυρίτης και στείρα), λειοτρίβηση και εμπλουτισμός για να ξεχωρίσει ο γαληνίτης και ο σφαλερίτης, τα συμπυκνώματα προς πώληση . Κατά την διαδικασία του εμπλουτισμού, για να ξεχωρίσουν τα προϊόντα που αναφέρθηκαν, γίνεται προσθήκη ξανθογονικών αλάτων, ξανθάτες και κυανιούχου νατρίου . Και τα δύο δύναται να προκαλέσουν βαριά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Οι ξανθάτες προτιμητέα προσροφώνται στους κόκκους γαληνίτη και σφαλερίτη, τους καθιστούν υδρόφοβους και με εμφύσηση αέρα οι κόκκοι αυτοί κολλημένοι στην επιφάνεια των φυσαλίδων αέρα επιπλέουν στην επιφάνεια και απομακρύνονται προς πώληση . Μαζί τους, θεωρητικά τουλάχιστον και οι ξανθάτες .

Το κυανιούχο νάτριο είναι καταβυθιστικό αντιδραστήριο, δηλαδή προτιμητέα προσροφάται στους κόκκους του σιδηρο-αρσενο-πυρίτη και τους καθιστά υδρόφιλους, κατά τη διάρκεια της διεργασίας . Μέχρι να απομακρυνθούν ο γαληνίτης και ο σφαλερίτης από την επιφάνεια, τους κρατά εσωτερικά μαζί με τα όποια στείρα υπάρχουν και αποτελούν τα απόβλητα της διεργασίας .

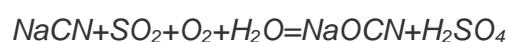
Η περιβαλλοντική δράση του κυανίου ξεκινάει απο τη στιγμή που παραμένει προσροφημένο στις επιφάνειες των κόκκων . Μετά από κάποιο χρόνο, πλήρως απροσδιόριστο και ισχυρά εξαρτώμενο από το περιβάλλον όπου βρίσκονται οι κόκκοι, θα προκαλέσει εκχύλιση . Εκλυση μετάλλων στα νερά και ιδιαίτερα του αρσενικού αλλά και του καδμίου . Αυτός είναι ένας λόγος ,ο οποίος προκαλεί θύελλα αντιδράσεων απο ομάδες ανθρώπων, οργανισμούς και σωματία για την προστασία του περιβάλλοντος και της ζωής .

ΣΤ)ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

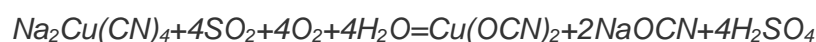
ΣΤ1.Καταστροφή των κυανιόντων

Μετά την όλη διαδικασία (είτε εμπλουτισμό των μεταλλευμάτων, είτε στην υδρο-μεταλλουργία του χρυσού) τα στερεά του πολφού δεν χρειάζονται πλέον και πρέπει να απορριφθούν . Για τον σκοπό αυτό ο πολφός οδηγείται σε μια διαδικασία καταστροφής και εξουδετέρωσης των κυανιόντων που υπάρχουν διαλυμένα στο νερό . Η διαδικασία αυτή απομακρύνει συγχρόνως και τα βαρέα μέταλλα που τυχόν υπάρχουν στο διάλυμα .

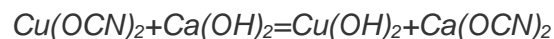
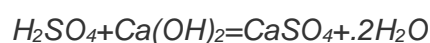
...Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την καταστροφή των κυανιόντων αλλά η πλέον διαδεδομένη είναι η μέθοδος INCO που στηρίζεται στην οξειδωση των κυανιόντων (NaCN) σε κυανικά (NaOCN) με διοξείδιο του θείου και οξυγόνο, παρουσία ιόντων χαλκού, σύμφωνα με την αντίδραση :



Συγχρόνως διασπώνται και τα ευδιάλυτα σύμπλοκα των βαρέων μετάλλων όπως χαλκού-Cu, νικελίου-Ni, ψευδαργύρου-Zn κλπ, εκτός απο σύμπλοκα του σιδήρου Fe, σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



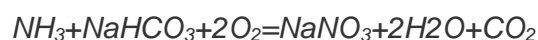
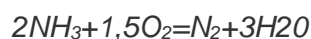
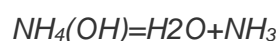
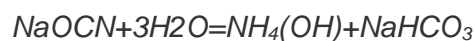
Το παραγόμενο θειικό οξύ και τα ευδιάλυτα κυανικά άλατα των βαρέων μετάλλων εξουδετερώνονται με υδράσβεστο και καθιζάνουν σαν γύψος και υδροξείδια αντίστοιχα :



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



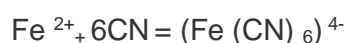
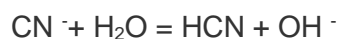
Τα παραμένοντα στο διάλυμα κυανικά άλατα του νατρίου και του ασβεστίου είναι λιγότερο τοξικά απο τα αντίστοιχα κυανιούχα . Το διάλυμα του νερού πλέον μετά την καθίζηση των στερεών δεν απορρίπτεται στο περιβάλλον αλλά ανακυκλώνεται στο εργοστάσιο που χρειάζεται νερό . Ακόμη όμως και στην περίπτωση που το νερό αυτό για κάποιο απρόβλεπτο λόγο απορριφθεί στο περιβάλλον δεν είναι τοξικό για τα ζώα αλλά μόνο για τα ψάρια . Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα κυανικά άλατα με τον χρόνο υδρολύονται απο μόνα τους και δίδουν άλατα του αμμωνίου που στη συνέχεια οξειδώνονται σε άζωτο και νιτρικά ανάλογα με το υπάρχον οξυγόνο.



Μακροπρόθεσμα επομένως η τοξικότητα καταστρέφεται τελείως και παραμένουν ανόργανα άλατα του νατρίου (όξινα ανθρακικά, νιτρικά) . Το νερό αυτό δεν είναι πόσιμο λόγω της αγωγιμότητάς του, θα μπορούσε όμως και να αποτεθεί σε κάποιο φυσικό αποδέκτη . Αυτό βέβαια δεν θα γίνεται λόγω των απαιτήσεων σε νερό του εργοστασίου. Όμως οι τυχόν διαρροές κατά την διάρκεια της λειτουργίας ή και αργότερα από τη φυσική υγρασία των απορριμάτων δεν θα αποτελούν τοξικό κίνδυνο για το περιβάλλον .

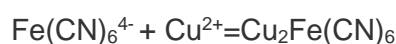
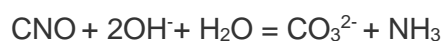
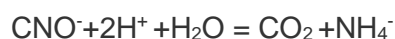
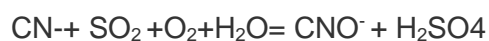
Γενικά για τη καταστροφή των κυανιόντων ισχύουν τα παρακάτω :

ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΥΑΝΙΟΥ ΣΤΟ ΝΕΡΟ

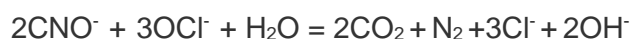
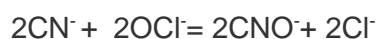


ΕΞΟΥΔΕΤΕΡΩΣΗ ΚΥΑΝΙΟΥ..

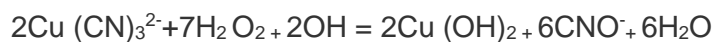
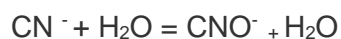
INCO PROCESS



CLORINE PROCESS



DEGUSSA PROCESS



ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ ΗΛΙΑΣ, ΧΑΝΙΑ

Z) ΠΡΟΤΑΣΗ

Αν και υπάρχουν μέθοδοι αρκετά αξιόπιστες για την καταστροφή του κυανιούχου νατρίου, θα προσπαθήσουμε να γίνει αποφυγή παντελώς της χρήσης του, μέσω της παρούσας εργασίας . Αυτό σημαίνει ότι θα απομακρυνθούμε από τη μέθοδο της επίλευσης και θα εστιάσουμε στο διαχωρισμό του σφαλερίτη με μαγνητικό διαχωριστή . Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε εργαστηριακό ηλεκτρομαγνήτη υψηλής έντασης και θα ακολουθήσουμε σειρά πειραμάτων 4 βασικών φάσεων. Βασιστήκαμε στην ιδέα της ύπαρξης αρκετού σιδήρου στη συγκεκριμένη ποιότητα σφαλερίτη . Συγκεκριμένα υπάρχει αντικατάσταση του Zn από τον Fe ως και 30% μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του σφαλερίτη(αν 50% Fe και 50 % Zn - μαγνητοπυρίτης) . Επίσης, βασιστήκαμε στην ιδιότητα του σιδηροπυρίτη και του αρσενοπυρίτη να πηγαίνουν στα μη μαγνητικά όπως και ο γαληνίτης, που είναι μη μαγνητικό ορυκτό . Υπολογίζουμε, στην όσο είναι δυνατόν καλύτερη ανάκτηση σφαλερίτη (μαγνητικά) από αρσενοπυρίτη, σιδηροπυρίτη και γαληνίτη (μη μαγνητικά), ώστε να είναι δυνατόν να προταθεί αντικατάσταση της μεθόδου της επίπλευσης με μαγνητικό διαχωρισμό.

2 .ΜΕΡΟΣ Α : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Α.1)ΠΡΟΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ-ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Στον όρο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων περιλαμβάνονται όλες εκείνες οι κατεργασίες που εφαρμόζονται στο εξορυσσόμενο μέταλλευμα με στόχο την αύξηση της περιεκτικότητάς του στο χρήσιμο ή τα χρήσιμα συστατικά που περιέχει . Η αύξηση της περιεκτικότητας πετυχαίνεται με απομάκρυνση μέρους του άχρηστου («στείρου» όπως ονομάζεται) υλικού το οποίο πάντα συνυπάρχει στο μέταλλευμα που εξορύσσεται . Από το αρχικό υλικό παραλαμβάνονται συνήθως δύο ή περισσότερα προϊόντα μικρότερης μάζας . Ένα από τα προϊόντα έχει αυξημένη περιεκτικότητα στο χρήσιμο ή τα χρήσιμα συστατικά (συμπύκνωμα) και επίσης προκύπτει ένα υλικό το οποίο καλείται απόρριμμα με μειωμένη περιεκτικότητα στο χρήσιμο συστατικό σε σχέση με την αρχική τροφοδοσία .

Η ανάγκη εφαρμογής των κατεργασιών του εμπλουτισμού επιβάλλεται για λόγους καλύτερης εμπορευσιμότητας των προϊόντων, μείωσης του κόστους μεταφοράς στη μεταλλουργία, μείωσης του κόστους της μεταλλουργικής κατεργασίας, μείωσης των απωλειών σε χρήσιμο συστατικό στη σκουριά (απόρριμμα της μεταλλουργικής κατεργασίας) ή από τις προδιαγραφές που θέτει η μεταλλουργία, η οποία θα κατεργαστεί το πλούσιο υλικό και θα παράξει το τελικό προϊόν (μέταλλο) .Επομένως ο εμπλουτισμός των μεταλλευμάτων αποτελεί το προηγούμενο αναγκαίο στάδιο κατεργασίας του εξορυγμένου μεταλλεύματος πριν την εφαρμογή της μεταλλουργικής κατεργασίας (εξαγωγική μεταλλουργία) για την εξαγωγή του μετάλλου(ή των μετάλλων) .

Κατά το στάδιο του εμπλουτισμού ένα εξορυγμένο μέταλλευμα διαχωρίζεται, με φυσικοχημικές μεθόδους, σε συγκεντρώσεις ορυκτών με οικονομικό ενδιαφέρον (συμπύκνωμα) και σε προϊόντα με μικρό ή κανένα οικονομικό ενδιαφέρον (απόρριμμα) . Η διεργασία του εμπλουτισμού των μεταλλευμάτων, λόγω μη ύπαρξης υψηλών θερμοκρασιών κατά την «εμπλουτιστική» κατεργασία, δεν μεταβάλλει τη φυσικοχημική δομή των ορυκτών που περιέχει το μέταλλευμα . Επομένως τα ορυκτά που συνθέτουν το αρχικό υλικό εμφανίζονται χωρίς ορυκτολογικές μεταβολές στα προϊόντα μετά την κατεργασία . Απλώς κατά τον εμπλουτισμό διαφοροποιείται η ποσοστιαία % συγκέντρωσή τους στα προϊόντα του εμπλουτισμού .

Το υλικό που εξορύσσεται, πριν από την εφαρμογή του φυσικοχημικού διαχωρισμού των ορυκτών, πρέπει να προετοιμαστεί κατάλληλα με κατάτμηση (ελάττωση μεγέθους τεμαχίων του αρχικού υλικού) για την επίτευξη αποδέσμευσης (απελευθέρωση ή αποχωρισμός) των μεταλλοφόρων ή των άλλων χρήσιμων ορυκτών από τη μάζα του στείρου . Ένας δεύτερος λόγος για τη μηχανική προπαρασκευή των μεταλλευμάτων είναι ότι οι πυρομεταλλουργικές ή υδρομεταλλουργικές διεργασίες, συχνά απαιτούν τα μεταλλεύματα (ή τα συμπυκνώματα μεταλλευμάτων) να έχουν ορισμένη κοκκομετρία (ελάχιστο μέγεθος τεμαχίων), οπότε εφαρμόζονται κατάλληλες μέθοδοι μορφοποίησης (π.χ. συσσωμάτωση) των τεμαχίων του συμπυκνώματος . Η διεργασία της κατάτμησης συνήθως αποκαλείται μηχανική προπαρασκευή ή μηχανική ελάττωση μεγέθους (προετοιμασία του μεταλλεύματος, προεμπλουτισμός), ενώ η διεργασία του διαχωρισμού των αποδεσμευμένων ορυκτών αποτελεί τον καθαυτό εμπλουτισμό.

Σκοπός της μηχανικής προπαρασκευής (προεμπλουτισμού) είναι να μειωθεί το μέγεθος των τεμαχίων του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος τόσο, ώστε τα ορυκτά με οικονομικό ενδιαφέρον να απελευθερωθούν από τη μάζα των στείρων που τα περιβάλλουν (αποδέσμευση) και να είναι πιο εύκολος και πιο οικονομικός ο διαχωρισμός τους από το στείρο . Οι διεργασίες της μηχανικής προπαρασκευής περιλαμβάνουν τη θραύση, τη λειοτρίβηση και την ταξινόμηση κατά μέγεθος των θραυσμένων τεμαχίων . Στη συνέχεια, στα προϊόντα της κατάτμησης διεξάγεται ο κυρίως εμπλουτισμός (διαχωρισμός χρήσιμοι συστατικού και στείρου) με φυσικοχημικές μεθόδους, βαρυτομετρικό διαχωρισμό, ηλεκτροστατικό διαχωρισμό, μαγνητικό διαχωρισμό, επίπλευση, οπτικό διαχωρισμό , χειροδιαλογή με οπτικό διαχωρισμό και κατόπιν ακολουθεί η μεταλλουργική κατεργασία με την χημική εξαγωγή χρήσιμου στοιχείου απο το ορυκτό . Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε μόνο ηλεκτρομαγνητικός διαχωρισμός.

A.1.α)Θραύση.

Η θραύση αποτελεί το πρώτο στάδιο της μηχανικής προπαρασκευής υλικού (ελάττωσης του μεγέθους του υλικού που εξορύσσεται από ένα μεταλλείο) με σκοπό την αποδέσμευση των ορυκτών του μεταλλεύματος . Τα μεγάλα τεμάχια του εξορυγμένου μεταλλεύματος, θραύονται σε διαδοχικά στάδια σε τεμάχια μεγέθους 20 έως 0.5 mm περίπου . Η θραύση διενεργείται με τη βοήθεια μεγάλων θραυστήρων που μπορεί να είναι γυροσκοπικοί, σιαγονωτοί, κωνικοί, περιστροφικοί–κρουστικοί, κυλίνδρων κ.ά. Η θραύση όπως προαναφέρθηκε, γίνεται σε ένα ή πολλά στάδια (πρωτογενής, δευτερογενής, τριτογενής θραύση), σε ανοικτά κυκλώματα ή σε κλειστά κυκλώματα με ενδιάμεση ταξινόμηση (κοσκίνιση) του θραυσμένου υλικού .

Γενικά υπάρχουν τα παρακάτω είδη δυνάμεων που μπορούν να προκαλέσουν Θραύση :

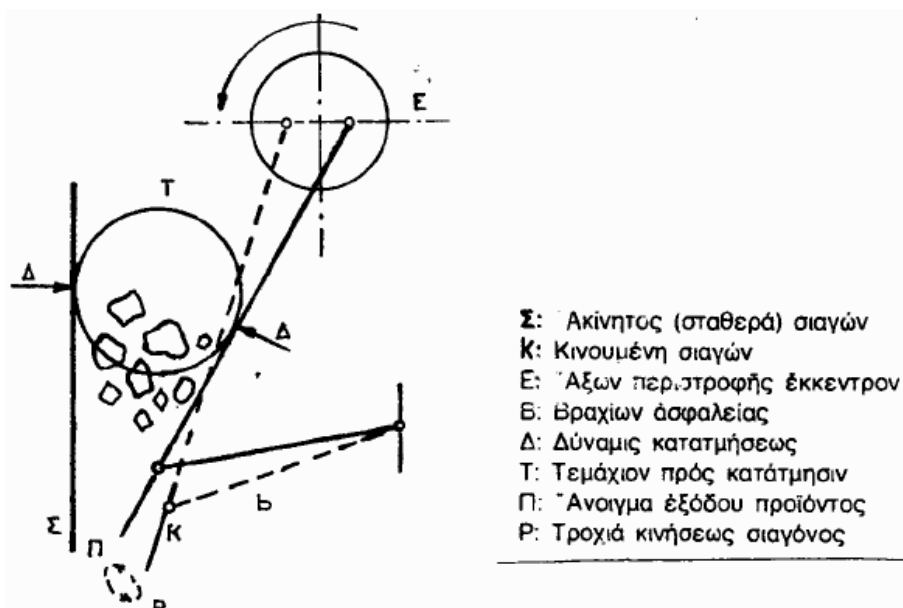
□□**Θλίψη** : Οι θλιπτικές δυνάμεις είναι το αποτέλεσμα συμπίεσης ενός τεμαχιδίου μεταξύ δύο επιφανειών . Τα μηχανήματα όπου εφαρμόζονται τέτοιου είδους δυνάμεις είναι ο σιαγονωτός σπαστήρας, ο γυροσκοπικός και ο κωνικός σπαστήρας .

□□**Κρούση** : Οι κρουστικές δυνάμεις εξασκούνται όταν ένα τεμαχίδιο προσκρούει σε κινούμενη επιφάνεια ή αντιστρόφως . Οι σπαστήρες που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία είναι οι σφυρόμυλοι, οι ραβδόμυλοι, οι σφαιρόμυλοι και οι μύλοι αυτογενούς λειοτρίβησης .

□□**Τριβή** : Η τριβή εμφανίζεται όταν το υλικό βρίσκεται μεταξύ δύο παράλληλων και αντιθέτως κινούμενων επιφανειών . Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν ο σφυρόμυλος, ο ραβδόμυλος και ο σφαιρόμυλος .

□□**Διάτμηση** : Πρόκειται για μια εφελκυστική δύναμη και έχει εφαρμογή στους σφυρόμυλους και οδοντωτούς κυλινδρόμυλους .

Για την εκτέλεση της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε Εργαστηριακός σιαγονωτός σπαστήρας



(εικόνα 3) **Σχηματική διάταξη σιαγονωτού σπαστήρα**

Ο σιαγονωτός σπαστήρας του εργαστηρίου Εμπλουτισμού είναι τύπου FRITSCH PULVERISETTE . Αποτελείται από δύο επιφάνειες, μία κατακόρυφη που παραμένει πάντα ακίνητη και μία κινούμενη που βρίσκεται απέναντι από την πρώτη και έχει ορισμένη κλίση . Η κίνηση της σιαγόνας επιτυγχάνεται από το κάτω σημείο της επιφάνειάς της, με αποτέλεσμα το μέγεθος των προϊόντων να μεταβάλλεται. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χειροκίνητη αυξομείωση του χώρου αποκένωσης με έναν λεβιέ που μπορεί να μετακινηθεί σε πέντε διαφορετικές θέσεις και συγκεκριμένα από τη θέση 1 στη θέση 5 . Στη θέση 1- δημιουργούνται τα πιο λεπτόκοκκα τεμαχίδια που μπορεί να προκύψουν από θραύση υλικού . Όσο αυξάνεται ο αριθμός τόσο αυξάνεται και το μέγεθος των προϊόντων θραύσης, με τη θέση 5 να αποτελεί τη θέση στην οποία το σπασμένο υλικό έχει το μεγαλύτερο δυνατό μέγεθος.

Πίνακας 2 :

Κοκκομετρία υλικού δ που αποκενώνεται στις διαφορετικές θέσεις

| Θέση | δmin(mm) | δmax(mm) | δavg (mm) |
|------|----------|----------|-----------|
| 1 | 1 | 3 | 2 |
| 2 | 2 | 5 | 3,5 |
| 3 | 4 | 9 | 6,5 |
| 4 | 6 | 12 | 9 |
| 5 | 9 | 15 | 12 |

Τα υλικά κατασκευής των επιφανειών του σπαστήρα, είναι μαγγανιούχος χάλυβας ή κράματα από Fe-Cr-Ni . Η τροφοδοσία του με υλικό γίνεται χειροκίνητα ακριβώς πάνω από το χώρο θραύσης . Κάθε κόκκος που έχει μέγεθος μεγαλύτερο από το άνοιγμα του πάνω μέρους των σιαγόνων δέχεται θλιπτικές δυνάμεις και θραύεται σε μικρότερους, οι οποίοι απελευθερώνονται κατά την απομάκρυνση των σιαγόνων και συλλέγονται σε συρτάρι στο κάτω μέρος του σπαστήρα.

ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ ΗΛΙΑΣ, ΧΑΝΙΑ 2008



(εικόνα 4) *Εργαστηριακός σιαγονωτός σπαστήρας*

Προκειμένου να γίνει η ομοιογενοποίηση της αρχική ποσότητας 16 kg δείγματος και να χωριστεί σε 16 ισομεγέθοι και ομοιογενοποιημένα δείγματα του 1 kg, χρησιμοποιήθηκε σχάρα ομογενοποίησης .



(εικόνα 5)**Σχάρα ομογενοποίησης**



(Εικόνα 6)**Δείγματα που προέκυψαν μετά απο ομογενοποίηση**

A.1.β)Λειοτριβηση

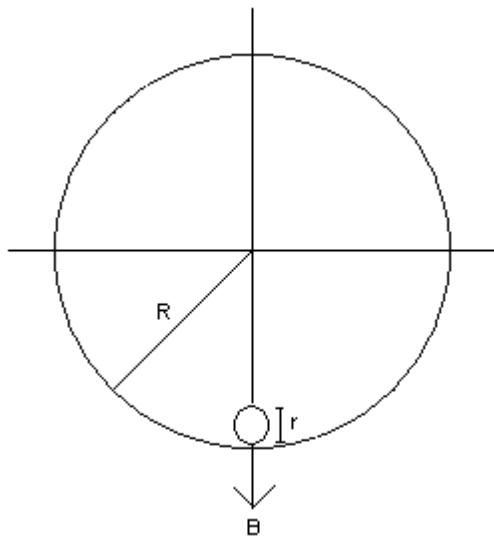
Μετά τη θραύση, συνήθως ακολουθεί και λειοτριβηση, προκειμένου το μέγεθος των τεμαχιδίων που θα προκύψουν να κυμαίνεται από 300 έως 10 μm . Η λειοτριβηση είναι το δεύτερο στάδιο κατάρτισης όπου οδηγείται το υλικό της πρωτογενούς θραύσης, το οποίο λειοτριβείται είτε για να αποκτήσει μια συγκεκριμένη κοκκομετρία είτε για να εμπλουτιστεί . Η λειοτριβηση-άλεση γίνεται εν ξηρώ ή εν υγρώ (σε πολφό) μέσα σε περιστρεφόμενους μύλους σχήματος κυλινδρικού τυμπάνου . Αναλόγως του μέσου λειοτριβησης που περιέχουν, οι μύλοι μπορεί να είναι σφαιρόμυλοι (με μέσο θραύσης των τεμαχίων χαλύβδινες σφαίρες), ραβδόμυλοι (με μέσο θραύσης χαλύβδινες ράβδους) ή αυτογενείς μύλοι με μέσο θραύσης το ίδιο το μέταλλευμα, διεργασία η οποία πολλές φορές ενισχύεται με προσθήκη χαλύβδινων σφαιρών ή τεχνητών σφαιρών (π.χ. πορσελάνης ή ασβεστολιθικές κροκάλες) . Οι δυνάμεις που προκαλούν τη θραύση στους μύλους είναι η κρούση, η συμπίεση, η τριβή, η απόξεση μαζί με τη δυναμική ενέργεια (βαρύτητα) στους αυτογενείς μύλους . Σήμερα χρησιμοποιούνται επίσης και μύλοι απόξεσης (attrition mills) ή κατακόρυφοι μύλοι περιστρεφόμενων κυλινδρικών τροχών για ξηρή λειοτριβηση-άλεση (κλίνκερ τσιμέντου) .Η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια εργαστηριακής μελέτης και χρησιμοποιήθηκε μόνο εργαστηριακός ραβδόμυλος.

Εργαστηριακός ραβδόμυλος

Ο μύλος του εργαστηρίου Εμπλουτισμού είναι μία μηχανή λειοτριβησης τύπου SEPOR . Έχει κυλινδρικό σχήμα και στο εσωτερικό του τοποθετούνται κυλινδρικές ράβδοι (ραβδόμυλος) ή σφαίρες (σφαιρόμυλος) καθώς και το προς λειοτριβηση υλικό . Ο μύλος τοποθετείται πάνω σε ένα σύστημα με τρεις περιστρεφόμενους κυλίνδρους αλλά η κίνηση δίνεται μόνο στο μεσαίο κύλινδρο . Αυτός με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση στο μύλο με αποτέλεσμα να περιστρέφεται και αυτός γύρω από τον άξονά του . Η περιστροφή του μύλου προκαλεί την ανύψωση των μέσων λειοτριβησης, τα οποία αρχικά ακολουθούν την κυκλική τροχιά των τοιχωμάτων του μύλου αλλά από ένα σημείο και μετά πέφτουν ελεύθερα .

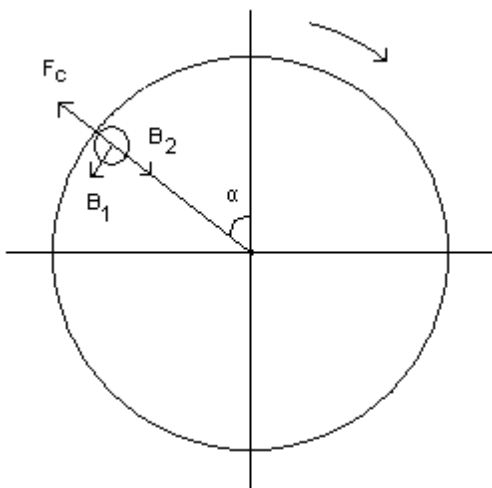
Αυτό το φαινόμενο εξηγείται ως εξής : Αρχικά αφού ο μύλος, ακτίνας R , τοποθετηθεί στη σωστή θέση πάνω στο σύστημα των περιστρεφόμενων κυλίνδρων και δε βρίσκεται σε λειτουργία, τα μέσα λειοτριβησης με ακτίνα διατομής r , βρίσκονται όλα μαζί στο κάτω σημείο του μύλου. Αυτό συμβαίνει καθώς η μόνη δύναμη που ασκείται σε αυτά είναι το βάρος B το οποίο εξαρτάται από τη μάζα του και την επιτάχυνση της βαρύτητας.

$$B = m \cdot g$$



(Εικόνα 7) Σχηματική απεικόνιση θέσης μέσου λειοτρίβησης σε ακίνητο μύλο

Με το που ο μύλος αρχίζει να περιστρέφεται, σε κάθε μέσο λειοτρίβησης εκτός από τη δύναμη του βάρους ασκείται και μία φυγόκεντρος δύναμη F_c η οποία είναι συνάρτηση της μάζας, της περιφερειακής ταχύτητας V και της απόστασης του κέντρου της διατομής του μέσου λειοτρίβησης από το κέντρο του μύλου με βάση την εξίσωση : $F_c = m \cdot v^2 / (R - r)$. Επειδή η φυγόκεντρος δύναμη έχει διεύθυνση από το κέντρο του μύλου προς τα τοιχώματά του, τραβά τη ράβδο ή τη σφαίρα προς αυτά . Όμως σε κάθε μέσο εξακολουθεί να ασκείται και η δύναμη του βάρους η οποία, για τυχαία θέση που σχηματίζει γωνία α με την κατακόρυφο, αναλύεται σε δύο συνιστώσες, τις B_1 και B_2 ($B_1 = m \cdot g \cdot \sin \alpha$ και $B_2 = m \cdot g \cdot \cos \alpha$) . Η συνιστώσα B_1 είναι κάθετη στη φυγόκεντρο δύναμη και με φορά προς τα κάτω, ενώ η συνιστώσα B_2 έχει την ίδια διεύθυνση με τη φυγόκεντρο δύναμη αλλά αντίθετη φορά



(Εικόνα 8) Σχηματική απεικόνιση μέσου λειοτρίβησης σε τυχαία θέση στο κινούμενο μύλο

Σε περίπτωση που η ταχύτητα περιστροφής του μύλου είναι μικρή τα μέσα λειοτριβήσης θα ανυψωθούν μέχρι κάποιο σημείο . Ακολούθως λόγω ύπαρξης της κατακόρυφης συνιστώσας του βάρους κυλίνουν προς τα κάτω με αποτέλεσμα ένα μέρος του υλικού να λειοτριβείται καθώς σε αυτό ασκούνται δυνάμεις τριβής . Σε περίπτωση που η ταχύτητα περιστροφής του μύλου είναι τέτοια ώστε η φυγόκεντρος δύναμη να είναι μεγαλύτερη από την οριζόντια συνιστώσα του βάρους, το μέσο λειοτριβήσης παραμένει προσκολλημένο στα τοιχώματα του μύλου . Όσο ανεβαίνει το μέσο λειοτριβήσης τόσο η οριζόντια συνιστώσα του βάρους αυξάνεται λόγω του ότι η γωνία α μικραίνει . Σε κάποιο σημείο λοιπόν η φυγόκεντρος δύναμη θα εξισωθεί με την οριζόντια συνιστώσα του βάρους με αποτέλεσμα το μέσο λειοτριβήσης να αποκολληθεί από τα τοιχώματα και να εκτελέσει ελεύθερη πτώση προς τα κάτω . Το παραπάνω φαινόμενο εκφράζεται μαθηματικώς με βάση την εξίσωση :

$(m \cdot V^2)/(R-r) = m \cdot g \cdot \cos \alpha$. Επειδή $R \gg r$ θεωρείται ότι $R-r = R = D/2$ m . Επίσης ισχύει ότι: $V = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot N = \pi \cdot D \cdot N$ (m/min) = $\pi \cdot D \cdot N/60$ (m/sec) Έτσι η παραπάνω εξίσωση δίνει :

$$(m \cdot (\pi \cdot D \cdot N/60)^2 / R) = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$(\pi \cdot D \cdot N/60)^2 / R = g \cdot \cos \alpha$$

$$(\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2) / 3600 + R = g \cdot \cos \alpha$$

$$N^2 = (3600 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot R) / \pi^2 \cdot D^2$$

$$N^2 = (3600 \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot D) / 2 \cdot \pi^2 \cdot D^2$$

$$N^2 = (3600 \cdot g \cdot \cos \alpha) / 2 \cdot \pi^2 \cdot D$$

Για $\alpha = 0 \Rightarrow \cos \alpha = 1$ έχουμε το υψηλότερο σημείο στο οποίο μπορεί να φθάσει το μέσο λειοτριβήσης . Σε αυτό το σημείο μέσω της εξίσωσης ισχύει:

$$N^2 = (3600 \cdot g \cdot 1) / (2 \cdot \pi^2 \cdot D)$$

$$N^2 = (3600 \cdot 9,81 \cdot 1) / (2 \cdot 3,14^2 \cdot D)$$

$$N^2 = 35316 / (19,72 \cdot D)$$

$$N^2 = 1790,87 / D$$

$$N = N_c = 42,3 / D$$

Από την παραπάνω εξίσωση συμπεραίνεται ότι όταν ο μύλος περιστρέφεται με συχνότητα μεγαλύτερη από N_c το μέσο λειοτριβήσης θα παραμένει συνέχεια προσκολλημένο στα τοιχώματα του μύλου και δε θα πέφτει ποτέ.



(εικόνες 9) Εργαστηριακός μύλος (ραβδόμυλος)

Καμπύλη ενέργειας

Για την περίπτωση του ραβδόμυλου κατασκευάστηκε η καμπύλη ενέργειας αφού ταυτοποιήθηκε η κοκκομετρία που αντιστοιχούσε κάθε φορά (αναλόγως το χρόνο λειοτρίβησης) μέσω της συσκευής laser, λαμβάνοντας υπόψη το d80 της κοκκομετρίας του υλικού . Ισχύει :

$e = E/M$ (kJ/kg) , για την ειδική ενέργεια

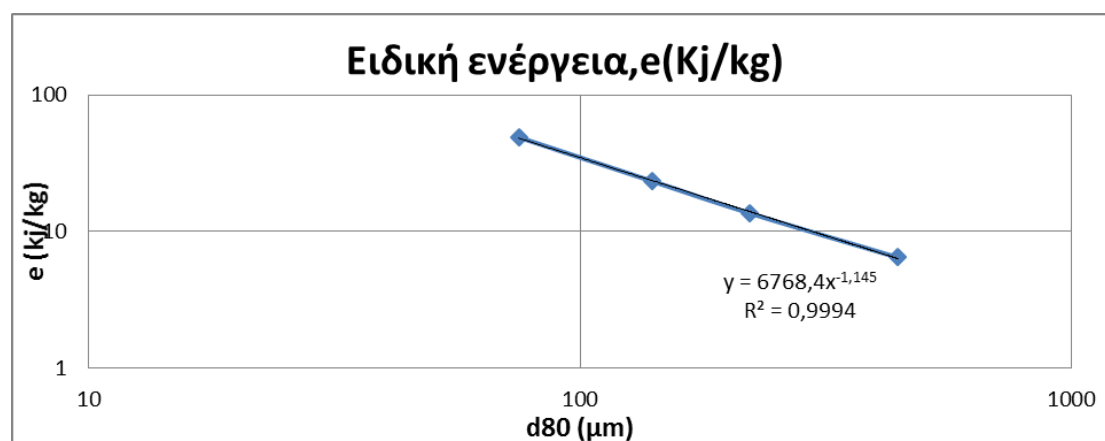
E (joule) = P (watt) * t (sec), για την ενέργεια

P (Hertz) = $9.9 * M$ (kg) * N (στροφές/sec) * D (m) , για την ισχύ

Όπου $M = (7.81 \text{ (μάζα ραβδών)} + m_{\text{υλικού}})$ kg

$D = 0.2$ m (διάμετρος μύλου)

$N = 66$ στροφές/min



(Εικόνα 10) Καμπύλη Ενέργειας, e (kj/kg)

Με βάση τη παραπάνω καμπύλη κοκκομετρίας γίνεται ευκόλως αντιληπτό ότι όσο πιο μικρό το μέγεθος του υλικού, το οποίο θα προκύψει μετά τη λειοτρίβηση, τόσο περισσότερη ενέργεια καταναλώνεται . Ο παραπάνω πίνακας είναι ενδεικτικός της μορφής που θα έχει η καμπύλη ενέργειας και προέκυψε με βάση το παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

| <u>Χρόνος λειτουργίσης ,tλ(min)</u> | <u>Μέγεθος, d80(μm)</u> | <u>Μάζα,m (kg)</u> | <u>Ισχύς, P(Watt)</u> | <u>Ενέργεια, E(kjoule)</u> | <u>Ειδική ενέργεια, e(Kj/kg)</u> |
|---|-----------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| <u>0</u> | <u>4000</u> | <u>0,7</u> | <u>18,5</u> | <u>0,0</u> | <u>0</u> |
| <u>5</u> | <u>443</u> | <u>0,88</u> | <u>18,9</u> | <u>5,7</u> | <u>6,5</u> |
| <u>10</u> | <u>222</u> | <u>0,83</u> | <u>18,8</u> | <u>11,3</u> | <u>13,6</u> |
| <u>20</u> | <u>140</u> | <u>0,98</u> | <u>19,1</u> | <u>23,0</u> | <u>23,4</u> |
| <u>40</u> | <u>75</u> | <u>0,93</u> | <u>19,0</u> | <u>45,7</u> | <u>49,1</u> |

A.1.γ) Ταξινόμηση μεγέθους

Συνήθως μετά από κάθε στάδιο θραύσης και λειτουργίσης, ακολουθεί ένα στάδιο ταξινόμησης κατά μέγεθος του προϊόντος (θραυσμένα τεμαχίδια) . Η ταξινόμηση του πιο χονδρόκοκκου θραυσμένου υλικού γίνεται με κόσκινα (δονούμενα, περιστροφικά ή στατικά κ.ά.), και με κοχλιοφόρους υδροταξινομητές ή με υδροκυκλώνες, μετά από υγρή λειτουργίση, ενώ με αεροκυκλώνες μετά από ξηρή λειτουργίση ή άλεση . Συχνά το ταξινομημένο χονδρομερές υλικό υποβάλλεται και σε έκπλυση ή υδροαυτοκαθαρισμό (scrubbing), προκειμένου να καθαριστεί από επιφανειακές επικολλήσεις λεπτόκοκκων υλικών (ιλύς) που αλλοιώνουν τις επιφανειακές ιδιότητες των κόκκων του θραυσμένου υλικού.

Εργαστηριακός δονητής κοσκίνων

Για την κατανομή ενός υλικού σε διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα χρησιμοποιήθηκε ο εργαστηριακός δονητής κοσκίνων τύπου RETSCH VE 1000 . Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν προδιαγραφών ASTM και είχαν άνοιγμα βρόγχου 4 mm(4000 μm), 2 mm (2000 μm), 1 mm (1000μm),0.5 mm (500μm), 0.25 mm (250μm) . Στο δονητή τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα κάτω από το άλλο, από το κόσκινο με το μεγαλύτερο άνοιγμα βρόγχου προς το κόσκινο με το μικρότερο άνοιγμα βρόγχου. Κάτω από το τελευταίο κόσκινο τοποθετείται ένα ταψάκι ώστε να συλλέγεται το διερχόμενο υλικό του τελευταίου κόσκινου.

Γενικά στον εργαστηριακό δονητή κοσκίνων υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του χρόνου διάρκειας της δόνησης, ο οποίος κυμαίνεται από 1-99 λεπτά .Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ της συνεχόμενης και της διακοπτόμενης λειτουργίας της μηχανής . Από αυτές τις δύο επιλογές, χρησιμοποιήθηκε η συνεχόμενη λειτουργία . Τέλος μία επιπλέον ρύθμιση που μπορεί να γίνει στη μηχανή είναι το εύρος της δόνησης των κοσκίνων, η οποία κυμαίνεται 0,2-3 mm αλλά χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,78 mm . Στην παρούσα εργασία η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα έγινε μόνο στο αρχικό δείγμα, όχι στα δείγματα μετά τη λειτουργίση και διήρκτησε επτά λεπτά .



(Εικόνα 11) *Εργαστηριακός δονητής κοσκίνων*

| |
|---|
| Πίνακας 4: |
| <u>Τεχνικά Χαρακτηριστικά</u> |
| <u>Εργαστηριακού Δονητή Κοσκίνων</u> |
| Τάση 220 V |
| Συχνότητα 50 Hz |
| Ισχύς 430 W |
| Ύψος μηχανής 755 mm |
| Μήκος μηχανής 420 mm |
| Πλάτος μηχανής 300 mm |

Κοκκομετρία- Lazer

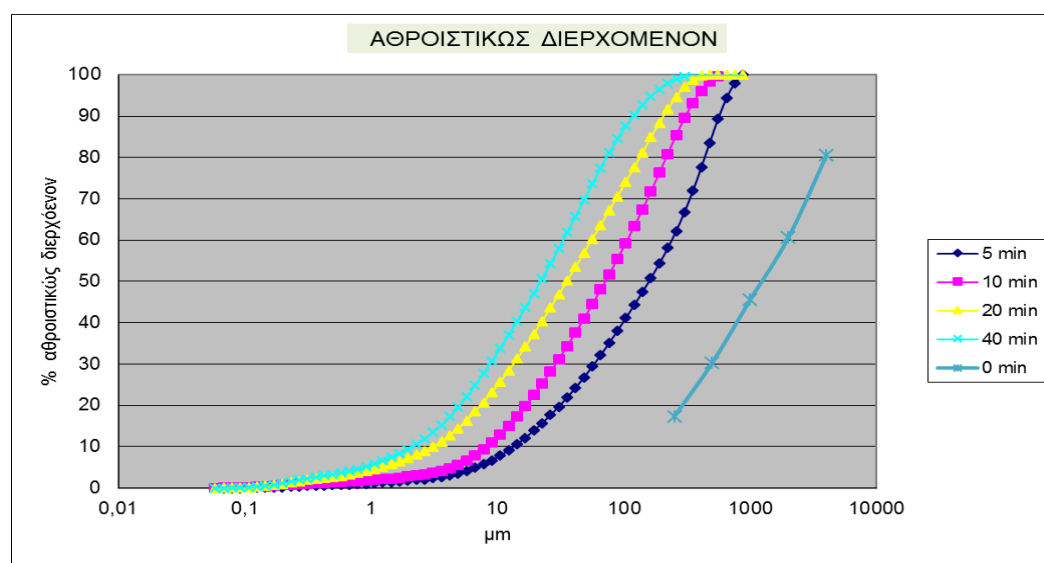
Εργαστηριακή μέθοδος ελέγχου κοκκομετρίας που στηρίζεται στην σκέδαση του φωτός . Λειτουργεί με ακτίνες laser, οι οποίες σκεδάζονται με διαφορετική γωνία ανάλογα το μέγεθος του κόκκου . Στην συνέχεια μέσω ενός υπολογιστικού συστήματος προκύπτουν τα αποτελέσματα για την κοκκομετρία των δειγμάτων τα οποία υποβλήθηκαν σε μέτρηση . Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε για τα δείγματα στους διάφορους χρόνους λειοτρίβησης στο ραβδόμυλο.



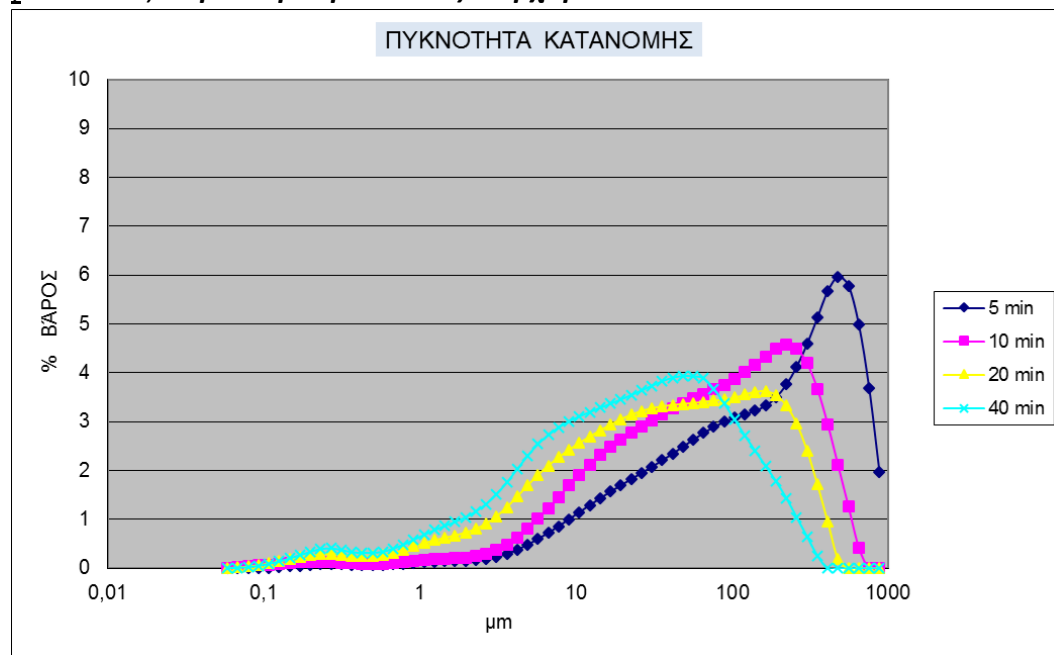
(εικόνα 12) Μηχάνημα για κοκκομετρία laser

Καμπύλες κοκκομετρίας

Με βάση τη κοκκομετρική ταξινόμηση του αρχικού μη λειοτριβημένου υλικού με σειρά κοσκίνων αλλά και τη κοκκομετρική ταξινόμηση του λειοτριβημένου υλικού στους διάφορους χρόνους, προέκυψε καμπύλη του αθροιστικώς διερχόμενου κλάσματος. Συγκεκριμένα παρατηρώντας τις καμπύλες στο πρώτο πίνακα βλέπουμε ότι σε όσο πιο μικρή κοκκομετρία αντιστοιχεί το κάθε δείγμα, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υλικού διέρχεται από συγκεκριμένο μέγεθος. Έγιναν καμπύλες αθροιστικώς διερχόμενου για υλικό σε τέσσερις διαφορετικούς χρόνους λειοσίβησης και στο αρχικό δείγμα (το οποίο δεν είχε λειοτριβηθεί). Επίσης και η πυκνότητα κατανομής για τους διάφορους χρόνους του λειοτριβημένου υλικού, το οποίο κινείται αντίστοιχα.



(Εικόνα 13) Καμπύλη Αθροιστικώς Διερχομένων



(Εικόνα 14) Καμπύλη Πυκνότητα Κατανομής

A.1.δ) Μαγνητικός διαχωρισμός

Ο μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού που εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών . Εφαρμόζεται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από τα στείρα μη μαγνητικά . Ο μαγνητικός διαχωρισμός επιτυγχάνεται με έλξη των μαγνητικών τεμαχίων από το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη και συγχρόνως την πρακτικά ανεπηρέαστη διέλευση των μη μαγνητικών διαμέσου του πεδίου αυτού . Τα υλικά διακρίνονται, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους σε ένα μαγνητικό πεδίο, στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Σιδηρομαγνητικά** : η δύναμη έλξης αυτών των υλικών από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη . Είναι πολύ επιδεκτικά στις ελκτικές δυνάμεις και πολλά από αυτά παραμένουν μαγνητισμένα, όταν απομακρύνονται από το μαγνητικό πεδίο . Εμπλουτίζονται εύκολα με μαγνητικούς διαχωριστές χαμηλής έντασης
- **Παραμαγνητικά** : είναι υλικά που έλκονται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου αυξάνει. Μπορούν να εμπλουτιστούν με μαγνητικούς διαχωριστές υψηλής έντασης.
- **Διαμαγνητικά**: είναι υλικά που απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί . Οι ασκούμενες δυνάμεις είναι κατά κανόνα πολύ μικρές και πρακτικά δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό διαχωρισμό . Ο σίδηρος και το νικέλιο συγκαταλέγονται στα σιδηρομαγνητικά υλικά . Μαγνητική συμπεριφορά στο μετάλλευμά μας εμφανίζουν τα ορυκτά που περιέχουν σίδηρο, όπως ο αιματίτης (Fe_2O_3), ο γκαιτίτης (FeO-OH) και ο χρωμίτης (FeCr_2O_4). Στα μη μαγνητικά συγκαταλέγονται ο σερπεντίνης ($\text{Mg}_6(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$), ο χαλαζίας (SiO_2) και ο ασβεστίτης (CaCO_3).

Μαγνητικά πεδία

Τα μαγνητικά πεδία που χρησιμοποιουν οι μαγνητικοί διαχωριστές προέρχονται από ηλεκτρομαγνήτες ή από μόνιμους μαγνήτες. Όπως είναι γνωστό, η ροή ηλεκτρικού ρεύματος, έντασης I , μέσω ενός αγωγού δημιουργεί γύρω από αυτόν μαγνητικό πεδίο . Η ένταση (H) του μαγνητικού πεδίου (μαγνητίζον πεδίο), σε απόσταση r από τον αγωγό, δίνεται από τον τύπο του Ampere :

$$H = I / 2\pi r$$

(μονάδα H : Amp/m)

Στην περίπτωση ενός πηνίου μήκους L με N αριθμό περιελίξεων, η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι :

$$H = (N \cdot I) / L = n \cdot I, \quad n = N / L$$

Σε τοροειδές : $H = (I \cdot N) / 2\pi R$

Η μαγνητική επαγωγή ή πυκνότητα μαγνητικής ροής ορίζεται από την εξίσωση : $B = \mu \cdot H$ ($\mu = W_b / m\text{Amp}$)

Όπου μ η μαγνητική διαπερατότητα του μέσου, δια του οποίου διέρχονται οι μαγνητικές γραμμές και για το κενό είναι $4\pi \cdot 10^{-7}$ και συμβολίζεται με μ_0 . Όλα τα υλικά όταν βρεθούν σε μαγνητικό πεδίο επηρεάζονται, λόγω επίδρασης του πεδίου στις τροχιές των ηλεκτρονίων τους, και δημιουργούνται δίπολα του υλικού με συγκεκριμένο προσανατολισμό . Ο προσανατολισμός αυτός των μορίων του υλικού δημιουργεί μια ενδογενή μαγνητική επαγωγή ή μαγνητική πολικότητα Ψ που προστίθεται στην μαγνητική επαγωγή B που δημιουργεί το πεδίο H :

$$B = \mu_0 \cdot H + \Psi$$

Η ενδογενή μαγνητική επαγωγή συνδέεται με την ονομαζόμενη μαγνήτιση M με τη σχέση : $\Psi = \mu_0 \cdot M$

Απο τις εξισώσεις παραπάνω προκύπτει :

$$B = \mu_0 (H + M)$$

Η μαγνήτιση M έχει τις ίδιες μονάδες με το H (Amp/m)

Το μέγεθος : $\chi = M / H$, το οποίο δείχνει την ευκολία με την οποία μαγνητίζεται ένα υλικό όταν βρεθεί σε μαγνητικό πεδίο, ονομάζεται μαγνητική επιδεκτικότητα και είναι καθαρός αριθμός . Από πιο πάνω εξίσωση προκύπτει ότι :

$$M = \chi * H$$

Τελικά προκύπτει ότι:

$$B = \mu_0 * (1 + \chi) * H$$

$$\text{ή για } \mu_0 (1 + \chi) = \mu$$

$$B = \mu * H = \mu * (N * I) / L$$

Ηλεκτρομαγνητικά Κυκλώματα

Ένα πηνίο με N στροφές διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως I και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο εντός ενός πυρήνα αγωγού συνολικού μήκους L .

Η μαγνητεγερτική δύναμη, η οποία δημιουργεί το πεδίο είναι :

$$F_m = N * I$$

Μαγνητική ροή Φ μέσα στον πυρήνα, ονομάζεται το γινόμενο της μαγνητικής επαγωγής B επί τη διατομή S του πυρήνα :

$\Phi = B * S$ (Φ σε weber) και δείχνει το σύνολο της ροής των μαγνητικών γραμμών που διέρχονται απο το κύκλωμα .

Απο τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει :

$$\Phi = \mu * F_m * S / L = \mu * N * I * (S / L)$$

Η αντίσταση $R_m = F_m / \Phi$ κατά αναλογία προς την ηλεκτρική αντίσταση.

Αντικαθιστώντας τις τιμές των F_m και Φ από τις αντίστοιχες εξισώσεις υπολογίζεται ότι : $R_m = L / (\mu * S)$

Με σύγκριση προκύπτει ότι η μαγνητική διαπερατότητα μ είναι ανάλογη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα . Όταν υπάρχει διάκενο αέρα στο μαγνητικό κύκλωμα ή αντίσταση ροή των γραμμών μέσω αυτού πρέπει να προστεθεί στην αντίσταση πυρήνα . Εάν η διατομή του πυρήνα είναι ορθογώνια, διαστάσεων $a * b$ και το διάκενο έχει μήκος l , τότε η αντίσταση του διακένου στη ροή είναι : $R_\delta = l / (\mu_0 (a + l) (b + l))$ ή για κυκλική διατομή διαμέτρου d .

$$R_\delta = 4 * l / (\pi * \mu_0 (d + l)^2)$$

ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ ΗΛΙΑΣ, ΧΑΝΙΑ 2008

Εργαστηριακός ηλεκτρομαγνήτης

Ο μαγνήτης στον οποίο πραγματοποιήθηκε ο μαγνητικός διαχωρισμός στην παρούσα εργασία είναι ένας εργαστηριακός ηλεκτρομαγνήτης υψηλής έντασης και το δείγμα ήταν σε μορφή πολφού . Επίσης η εισαγωγή του γίνονταν, μέσω ειδικής χωνοειδούς εισόδου, σε μικρές ποσότητες και σταδιακά ώστε να αποφευχθεί ο συνωστισμός των κόκκων που σαν αποτέλεσμα θα είχε το μη σωστό διαχωρισμό . Αποτελείται απο δυο βασικά κομμάτια, απο την κυρίως συσκευή, η οποία εκτελεί την λειτουργία που επιθυμούμε και απο ένα τετράγωνο κουτί απο το οποίο ρυθμίζουμε την ένταση του ρεύματος (ampere) και αυτομάτως και την τάση του ρεύματος (volt) .

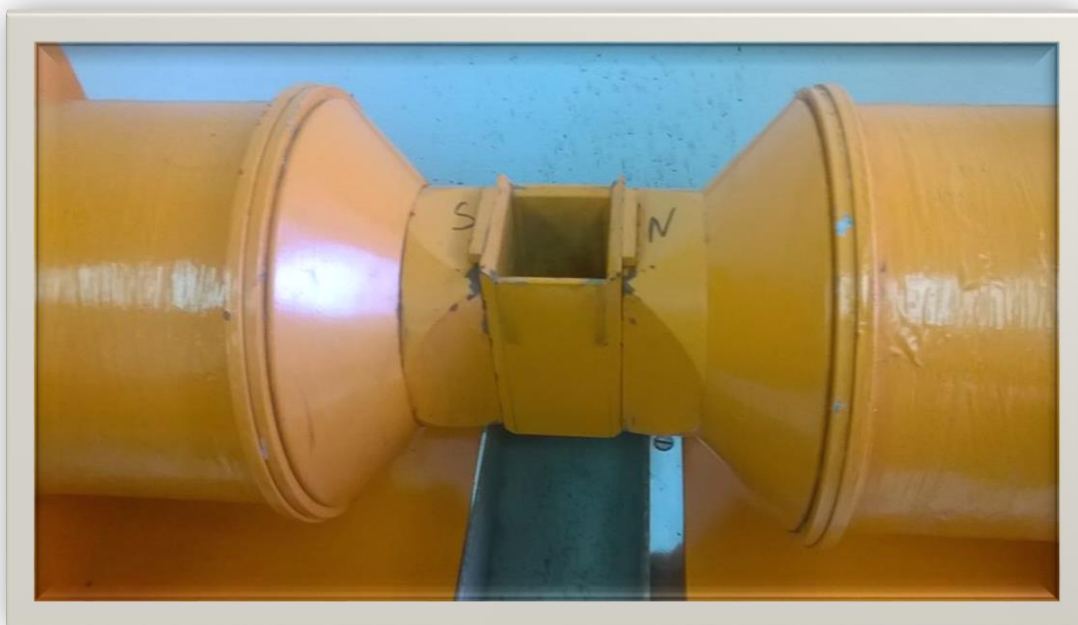


(Εικόνα 15) **Μαγνητικός Διαχωριστής**



(Εικόνα 16) **Κουτί Ρυθμίσεων**

Το κυρίως μέρος του μηχανήματος αποτελείται από δυο πηνία, και αναλόγως από την ένταση του ρεύματος που έχω ρυθμίσει θα δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο (από μαγνητική επαγωγή) . Θα δημιουργηθούν δηλαδή μαγνήτες με κατεύθυνση βοράς νότος . Αυτό το μαγνητικό πεδίο θα είναι ανάλογο του ηλεκτρικού και θα ισχύει ο νόμος του Gauss . **Σύμφωνα με το νόμο του Gauss : << Ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρικών γραμμών που περνούν από μια επιφάνεια (ηλεκτρική ροή) είναι ανάλογη με το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο που είναι εγκλωβισμένο από την επιφάνεια >>.**



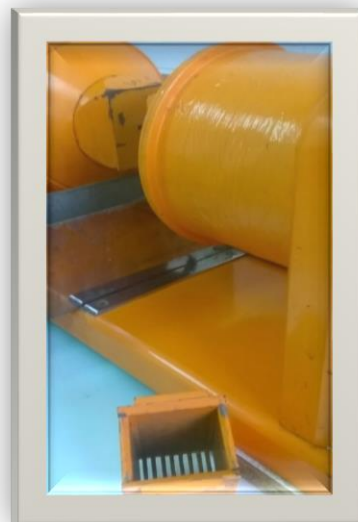
(Εικόνα 17) **Πηνία-δημιουργία μαγνητικού πεδίου**

Επομένως το υλικό περνάει μέσα από μία διάταξη στην οποία δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο . Στο σημείο της διάταξης αυτής όπου εισέρχεται το υλικό υπάρχει μία δευτερεύουσα διάταξη-κάνιστρο, το οποίο είναι πληρωμένο με μεταλλικές σφαίρες (3 μεγεθών, 22 mm, 11.8mm, 8.5 mm) . Στο κάτω μέρος του κανίστρου υπάρχει μία σχάρα, η οποία εμποδίζει την διαφυγή των σφαιρών αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει την έξοδο του υλικού . Οι μεταλλικές σφαίρες μαγνητίζονται από τον ηλεκτρομαγνήτη και αυτές με την σειρά τους συγκρατούν τους μαγνητικούς κόκκους του υλικού . Επίσης οι κόκκοι του υλικού, που δεν συγκρατήθηκαν από το μαγνητικό πεδίο συλλέγονται σε ειδικό ταψάκι στο κάτω μέρος του μηχανήματος . Τέλος το μαγνητικό υλικό συλλέγεται από τις μεταλλικές σφαίρες μετά από έκπλυση αυτών με νερό,σε άλλο ταψάκι.

Συνοψίζοντας η λειτουργία του μηχανήματος στηρίζεται στην παρακάτω αρχή . Όσο έχουμε ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτρικό πεδίο) να περνάει απο το πηνίο, έχουμε μαγνητικό πεδίο . Όταν λοιπόν ρίξουμε το υλικό θα συγκρατηθεί αυτό που έχει μεγαλύτερη μαγνητική επιδεκτικότητα (το μαγνητικό), ενώ στο ταψάκι θα μαζευτεί το μη μαγνητικό . Ενώ όταν κλείσουμε το ηλεκτρικό πεδίο, μηδενίζεται και το μαγνητικό πεδίο και μαζεύουμε στο ταψάκι και το μαγνητικό.Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες ακόμα φωτογραφίες απο τη διαδικασία μαγνητικού διαχωρισμού (μορφή υλικού που χρησιμοποιήθηκε, κάνιστρο, τρία μεγέθοι σφαιρών) . Τέλος εφόσον έγιναν τα πειράματα, τα δείγματα οδηγήθηκαν σε συσκευή διήθησης και στη συνέχεια στο ξυραντήριο πριν γίνουν οι χημικές αναλύσεις, ώστε να πάρουμε τα αποτελέσματα και να βγάλουμε τα συμπεράσματά μας .



(Εικόνα18)Υλικό με μορφή πολφού



(Εικόνα 19)Κάνιστρο με ράβδους(μήτρα ράβδων)



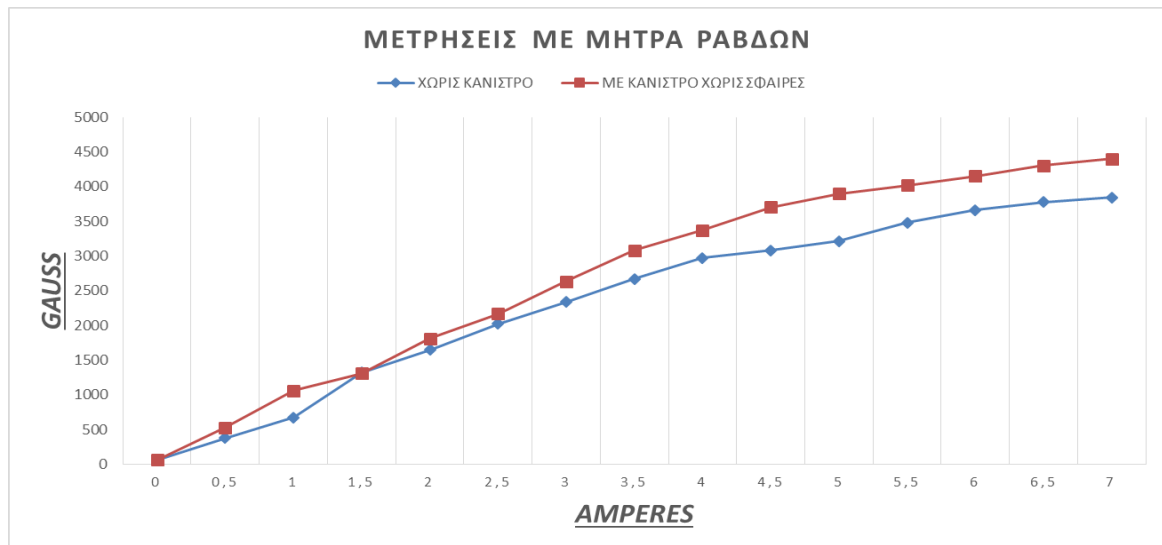
(εικόνα 20) 3 μεγέθοι σφαιρών (22 mm, 11.8 mm, 8.5mm)

Οι δοκιμές που έγιναν είναι:

A) Με ένα gaussmeter μετρήθηκαν οι τιμές του μαγνητικού πεδίου στις διάφορες τιμές ρεύματος (0 amperes έως 7 amperes, με και χωρίς κάνιστρο, με και χωρίς σφαίρες) . Με σκοπό να προσδιοριστεί το μέγεθος του μαγνητικού πεδίου ανάλογα με τις τιμές του ηλεκτρικού . Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες και τα αντίστοιχα δεδομένα, με τις μετρήσεις με gaussmeter .

Μετρήσεις με gaussmeter

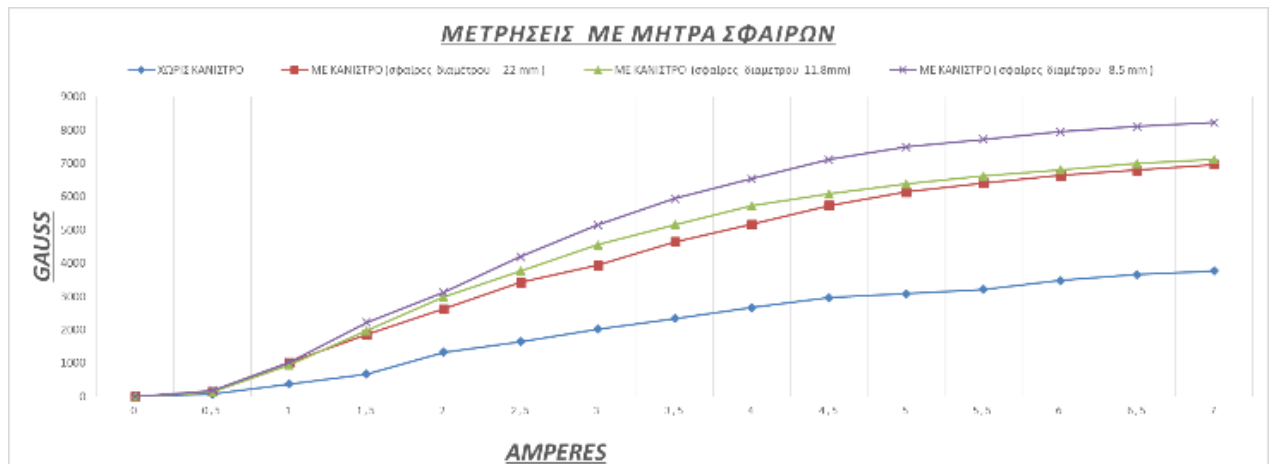
Συγκεκριμένα παρακάτω παρατίθενται κάποιοι πίνακες (καμπύλες-δεδομένα) . Για να προκύψει ο πρώτος πίνακας έγιναν μετρήσεις του μαγνητικού πεδίου με κατάλληλο όργανο σε συγκεκριμένες τιμές του ηλεκτρικού πεδίου (0 amperes, 0.5 amperes, 1 amperes, 1.5 amperes, 2 amperes, 2.5 amperes, 3 amperes, 3.5 amperes, 4 amperes, 4.5 amperes, 5 amperes, 5.5 amperes, 6 amperes, 6.5 amperes, 7 amperes) . Πρώτα έγιναν μετρήσεις χωρίς κάνιστρο, μετά με κάνιστρο χωρίς σφαίρες . Επομένως προέκυψαν 2 καμπύλες . Παρατηρούμε ότι το μαγνητικό πεδίο με κάνιστρο αυξάνεται συγκριτικά με χωρίς το κάνιστρο . Ακριβώς κάτω από το πρώτο διάγραμμα παρουσιάζονται τα δεδομένα που του αντιστοιχούν αναλυτικά σε ένα πίνακα . Για τις καμπύλες παρακάτω σε επόμενο διάγραμμα, χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι μετρήσεις χωρίς κάνιστρο αλλά αυτή τη φορά στις μετρήσεις με κάνιστρο τοποθετήθηκαν και τα 3 μεγέθη σφαιρών, ένα κάθε φορά . Τελικά προέκυψαν 4 καμπύλες . Παρατηρούμε ότι το μαγνητικό πεδίο όσο πιο μικρό είναι το μέγεθος σφαιρών τόσο πιο δυνατό είναι . Επίσης ακριβώς από κάτω σε ένα ακόμα πίνακα, βρίσκονται αναλυτικά όλα τα δεδομένα που αντιστοιχούν στο πίνακα με τις 4 καμπύλες . Στους πίνακες με δεδομένα έχουν επισημανθεί οι τιμές ηλεκτρικού μαγνητικού πεδίου, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των τριών φάσεων, τα οποία ακολούθησαν .



(εικόνα 21) : Μεταβολή ηλεκτρικού-μαγνητικού πεδίου, απουσία κανίστρου και παρουσία κενού κανίστρου

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ-ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ, ΑΠΟΥΣΙΑ ΚΑΝΙΣΤΡΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΚΕΝΟΥ ΚΑΝΙΣΤΡΟΥ

| | <u>ΧΩΡΙΣ ΚΑΝΙΣΤΡΟ</u> | <u>ΜΕ ΚΑΝΙΣΤΡΟ</u> |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| | | <u>ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΙΡΕΣ</u> |
| <u>AMPERES</u> | <u>GAUSS</u> | <u>GAUSS</u> |
| <u>0</u> | <u>63</u> | <u>61</u> |
| <u>0.5</u> | <u>378</u> | <u>531</u> |
| <u>1</u> | <u>675</u> | <u>1061</u> |
| <u>1.5</u> | <u>1323</u> | <u>1311</u> |
| <u>2</u> | <u>1648</u> | <u>1811</u> |
| <u>2.5</u> | <u>2020</u> | <u>2170</u> |
| <u>3</u> | <u>2340</u> | <u>2634</u> |
| <u>3.5</u> | <u>2669</u> | <u>3081</u> |
| <u>4</u> | <u>2970</u> | <u>3370</u> |
| <u>4.5</u> | <u>3080</u> | <u>3704</u> |
| <u>5</u> | <u>3215</u> | <u>3900</u> |
| <u>5.5</u> | <u>3480</u> | <u>4020</u> |
| <u>6</u> | <u>3660</u> | <u>4150</u> |
| <u>6.5</u> | <u>3774</u> | <u>4300</u> |
| <u>7</u> | <u>3845</u> | <u>4400</u> |



(εικόνα 22): Μεταβολή ηλεκτρικού-μαγνητικού πεδίου για κάθε μέγεθος σφαιρών στο κάνιστρο και απουσία κανίστρου

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ-ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΓΕΘΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝ ΣΤΟ ΚΑΝΙΣΤΡΟ ΚΑΙ ΑΠΟΥΣΙΑ ΚΑΝΙΣΤΡΟΥ

| | <u>ΧΩΡΙΣ ΚΑΝΙΣΤΡΟ</u> | <u>ΜΕ ΚΑΝΙΣΤΡΟ</u> | <u>ΜΕ ΚΑΝΙΣΤΡΟ</u> | <u>ΜΕ ΚΑΝΙΣΤΡΟ</u> |
|----------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | (σφαίρες διαμέτρου 22mm) | (σφαίρες διαμέτρου 11.8mm) | (σφαίρες διαμέτρου 8.5 mm) |
| <u>AMPERES</u> | <u>GAUSS</u> | <u>GAUSS</u> | <u>GAUSS</u> | <u>GAUSS</u> |
| <u>0</u> | <u>63</u> | <u>140</u> | <u>133</u> | <u>180</u> |
| <u>0,5</u> | <u>378</u> | <u>1023</u> | <u>942</u> | <u>1029</u> |
| <u>1</u> | <u>675</u> | <u>1849</u> | <u>1969</u> | <u>2218</u> |
| <u>1,5</u> | <u>1323</u> | <u>2626</u> | <u>2984</u> | <u>3123</u> |
| <u>2</u> | <u>1648</u> | <u>3422</u> | <u>3772</u> | <u>4192</u> |
| <u>2,5</u> | <u>2020</u> | <u>3938</u> | <u>4550</u> | <u>5148</u> |
| <u>3</u> | <u>2340</u> | <u>4639</u> | <u>5159</u> | <u>5948</u> |
| <u>3,5</u> | <u>2669</u> | <u>5171</u> | <u>5729</u> | <u>6538</u> |
| <u>4</u> | <u>2970</u> | <u>5734</u> | <u>6087</u> | <u>7118</u> |
| <u>4,5</u> | <u>3080</u> | <u>6137</u> | <u>6378</u> | <u>7488</u> |
| <u>5</u> | <u>3215</u> | <u>6405</u> | <u>6620</u> | <u>7718</u> |
| <u>5,5</u> | <u>3480</u> | <u>6640</u> | <u>6810</u> | <u>7950</u> |
| <u>6</u> | <u>3660</u> | <u>6800</u> | <u>6998</u> | <u>8108</u> |
| <u>6,5</u> | <u>3774</u> | <u>6966</u> | <u>7117</u> | <u>8228</u> |
| <u>7</u> | <u>3845</u> | <u>7079</u> | <u>7205</u> | <u>8420</u> |

B) (Α φάσης) Έγιναν 9 πειράματα σε 3 διαφορετικές εντάσεις ρεύματος και με 3 διαφορετικά μεγέθοι σφαιρών . Σκοπό ήταν να φανούν τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωριστή κάτω απο διαφορετικές συνθήκες (διαφορετικές εντάσεις πεδίων και μεγέθη σφαιρών) . Συγκεκριμένα οι εντάσεις ήταν 2.5 amperes, 5 amperes, 7 amperes και η κοκκομετρία που χρησιμοποιήθηκε είναι των 20 min λειοτριβημένου υλικού (140 μm).



Δ) (Γ φάσης) Ακολουθήθηκε το ίδιο σύνθετο σχεδιάγραμμα πειραμάτων της Β φάσης, αλλάζοντας κοκκομετρία υλικού μόνο (Β φάσης- 140 μm-20 min λειοτρ, Γ φάσης- 75μm -40min λειοτρ) . Δυο φορές έγιναν πειράματα με μικρές αλλαγές στις εντάσεις του πεδίου . Σκοπός μας η βελτίωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στην Β φάση .

A.2)ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης

Στις χημικές αναλύσεις η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε, ήταν φασματομετρία ατομικής απορρόφησης με φλόγα όπου η ατομοποίηση γίνεται με φλόγα . Η ιδιότητα που μετράται είναι η απορρόφηση ακτινοβολίας από τα ελεύθερα και στη θεμελιώδη κατάσταση βρισκόμενα άτομα του υπο προσδιορισμού στοιχείου . Η μέθοδος θεμελιώθηκε το 1955 και χρησιμοποιείται ευρέως στον ποσοτικό προσδιορισμό πολλών μεταλλοιδόντων .

Κατά τον προσδιορισμό με Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης πραγματοποιούνται δυο διαδικασίες . **Αρχικά ατομοποιείται το υπο εξέταση στοιχείο και ακολουθεί διέγερση των παραγόμενων ατόμων . Η διέγερση επιτυγχάνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας συγκεκριμένου μήκους κύματος που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ενέργεια για μια ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μια διεγερμένη .** (Όλα τα άτομα μπορούν να απορροφούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία . Όταν συμβαίνει αυτό, τα ηλεκτρόνια τους από τη θεμελιώδη κατάσταση που βρίσκονται προσλαμβάνουν ενέργεια και διεγείρονται σε υψηλότερες ενεργειακές τροχιές). **Όταν ακτινοβολία αυτού του μήκους κύματος διέλθει μέσα από τα άτομα του μεταλλοιδόντος μέρος της απορροφάται ενώ τα άτομα διεγείρονται** (Το μήκος κύματος στο οποίο απορροφάται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι χαρακτηριστικό για κάθε χημικό στοιχείο.) . **Η παρατηρούμενη απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης του μεταλλοιδόντος** (απορροφούμενου ιόντος) **και ακολουθεί τον νόμο των Lambert-Beer** (νόμος της απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας)

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

Όπου :

A= η απορρόφηση

P₀= η ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

P= Η ισχύ της εξερχόμενης ακτινοβολίας

T= η διαπερατότητα

b= η απόσταση, μέσα στο διάλυμα, που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας

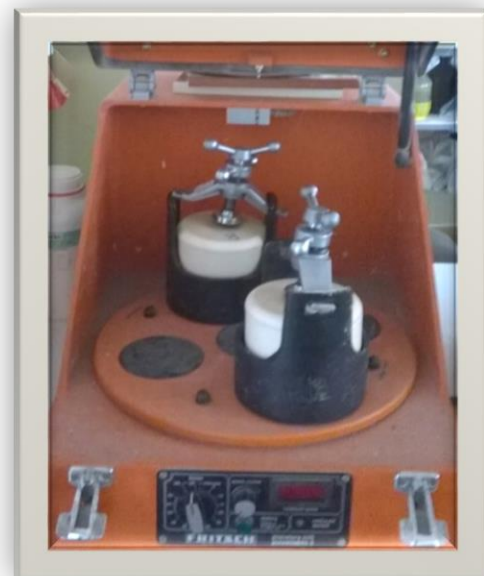
ε= μοριακή απορροφητικότητα(σταθερά αναλογίας)

c= συγκέντρωση σε moles/l

Πλανητικός μύλος-

Συνήθως πριν τις χημικές αναλύσεις το υλικό περνάει από το πλανητικό μύλο . Ο πλανητικός μύλος του εργαστηρίου Εμπλουτισμού είναι μία μηχανή λειοτρίβησης τύπου FRITSCH PULVERISETTE 5 . Αποτελείται από έναν οριζόντιο δίσκο πάνω στον οποίο υπάρχουν δύο βάσεις υποδοχής δοχείων . Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του μύλου ο δίσκος περιστρέφεται με αποτέλεσμα τα δοχεία να περιστρέφονται γύρω από το κέντρο του δίσκου αλλά και γύρω από τον άξονά τους . Ο τρόπος λειτουργίας αυτού του μύλου είναι παρόμοιος με την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο αλλά και γύρω από τον εαυτό τους . Η λειοτρίβηση επιτυγχάνεται χάρη σε σφαίρες λειοτρίβησης, οι οποίες ασκούν στο υλικό δυνάμεις κρούσεις και τριβής . Ο μύλος διαθέτει χρονοδιακόπτη για τη ρύθμιση του χρόνου λειοτρίβησης και διακόπτη ρύθμισης των στροφών . Ορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά του μύλου παρουσιάζονται παρακάτω

| <u>Πίνακας 9: Τεχνικά χαρακτηριστικά πλανητικού μύλου</u> |
|--|
| Τάση (V) 200-240 |
| Συχνότητα (Hz) 50-60 |
| Ισχύς (Watt) 1300-1600 |
| Βάρος (kg) 100 |
| Διαστάσεις (ΠxΜxΥ) (cm) 58x67x57 |
| Μέγιστη ποσότητα υλικού (ml) 450 |
| Ελάχιστη ποσότητα υλικού (ml) 10 |
| Στροφές δίσκου (rpm) 50-400 |
| Υλικό λειοτρίβησης σφαίρες |

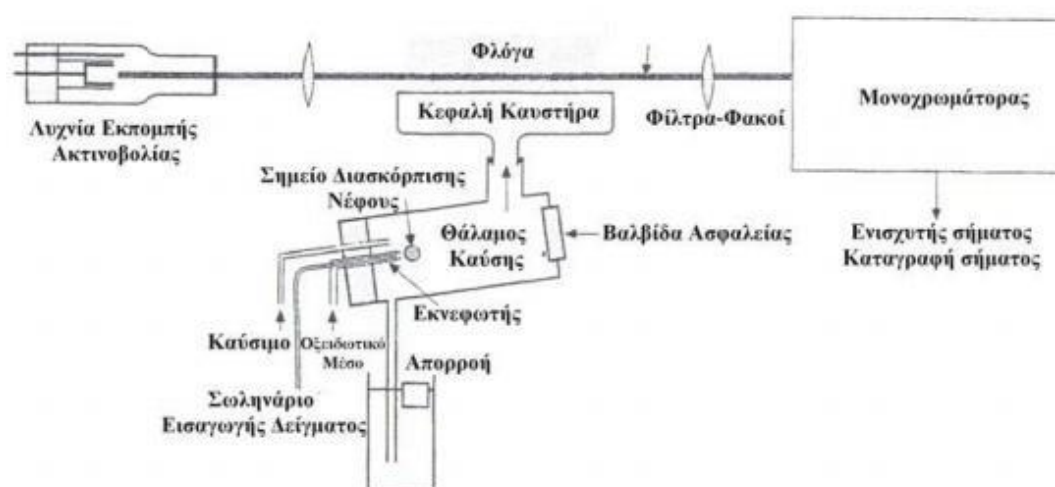


εικόνα 24)Εργαστηριακός πλανητικός μύλος

Α.2.α) Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (

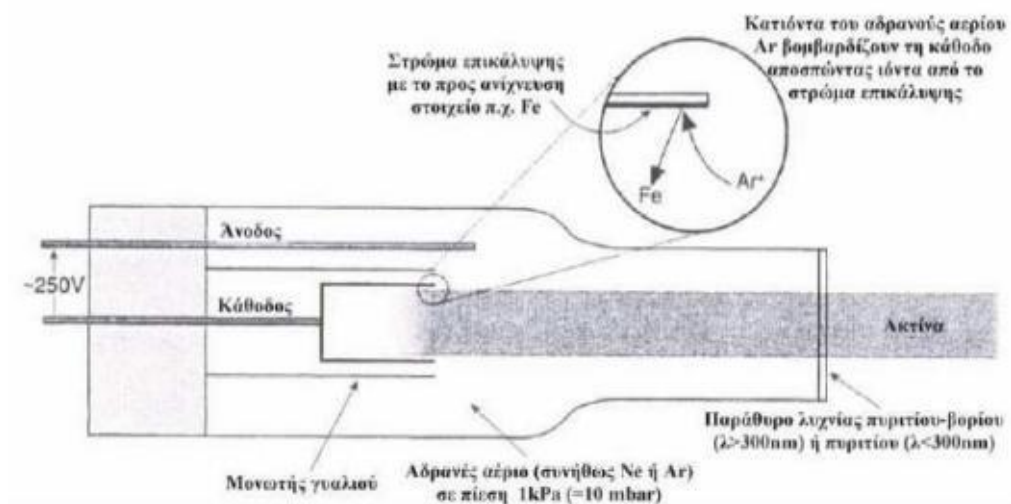
Η μέθοδος φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης βασίζεται στην απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τα άτομα χημικών στοιχείων που απαντώνται σε ένα γεωυλικό. Το όργανο όπου γίνονται αυτές οι μετρήσεις ονομάζεται φασματοφωτόμετρο και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. **Μία πηγή ακτινοβολίας** (εκπομπής χαρακτηριστικής καμπύλης)
2. **Ένα σύστημα ατομοποίησης του δείγματος** (για δημιουργία ελεύθερων ατόμων, φλόγα)
3. **Έναν ανιχνευτή μονοχρωμάτορα** (για επιλογή και απομόνωση μιας στενής περιοχής από την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, συνήθως της γραμμής συντονισμού του στοιχείου που εξετάζεται.)
4. **Ένας ανιχνευτής μέτρησης** (του ποσοστού ακτινοβολίας και μετατροπή του σε ηλεκτρικό σήμα, σχεδόν πάντα είναι κάποιος τύπος φωτοπολλαπλασιαστή)
5. **Ένα ηλεκτρονικό όργανο** (επεξεργασίας, ψηφιοποίησης και αποθήκευσης του σήματος)

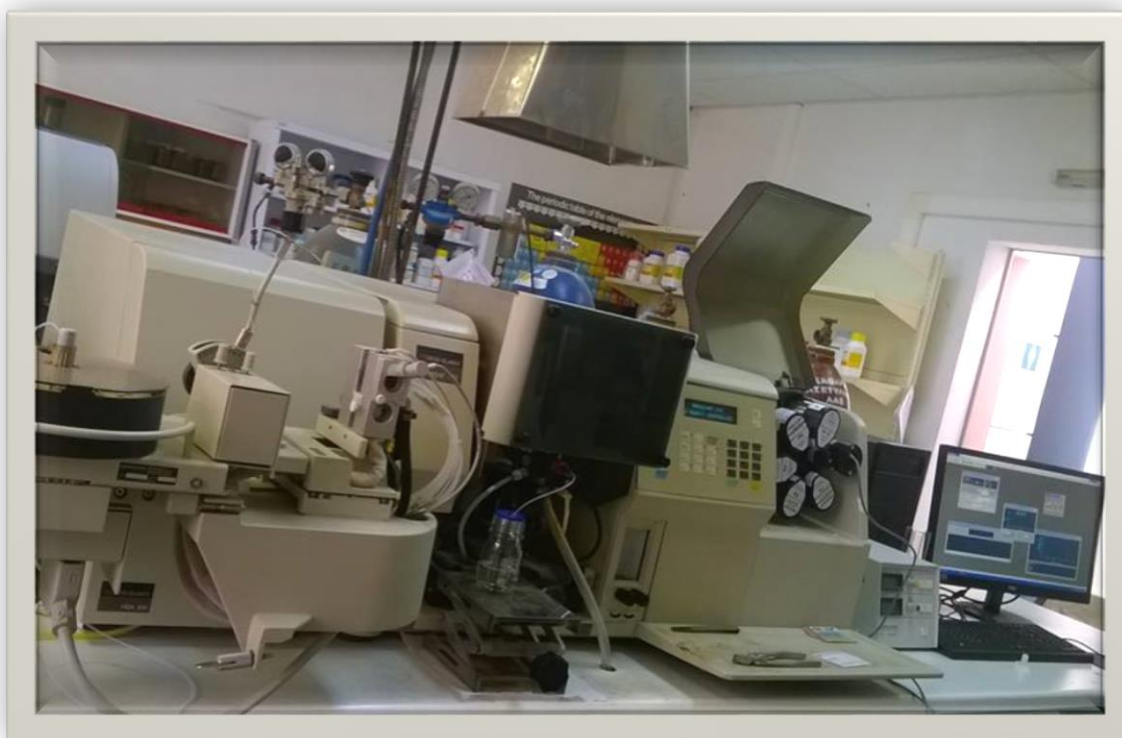


(εικόνα 25) *σχηματική απεικόνιση φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης*

Η πηγή ακτινοβολίας αποτελείται από μία κυλινδρική λυχνία, η κάθοδος της οποίας είναι επικαλυμμένη με το προς προσδιορισμό χημικό στοιχείο. Σημειώνεται ότι για κάθε στοιχείο υπάρχει διαφορετική λυχνία. Ακόμη στο εσωτερικό της λυχνίας υπάρχει αδρανές αέριο (Ne ή Ar). Στη λυχνία εφαρμόζεται τάση και τα ιονιζόμενα άτομα του αερίου συγκρούονται με άτομα του υπό προσδιορισμού χημικού στοιχείου. Τα τελευταία απομακρύνονται και εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή οδηγείται προς τον καυστήρα όπου γίνεται η ατομοποίηση των ατόμων των χημικών στοιχείων του γεωυλικού που βρίσκεται υπό μορφή διαλύματος. Έτσι τα ατομοποιημένα του υπό προσδιορισμού στοιχείου άτομα είναι τα μοναδικά άτομα που απορροφούν τμήμα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας η οποία εξέρχεται με μειωμένη ισχύ. Η απορρόφηση περιγράφεται μαθηματικώς από το νόμο των Lambert-Beer. Η **εξερχόμενη ακτινοβολία ανιχνεύεται από το μονοχρωμάτορα**. Με τη μέθοδο της φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης στην παρούσα εργασία, έγινε προσδιορισμός της συγκέντρωσης των δειγμάτων στα χημικά στοιχεία, **As, Cu, Fe, Pb, Zn**



(Εικόνα 26) Πηγή ακτινοβολίας φασματομέτρου ατομικής απορρόφησης



(Εικόνα 27) Όργανο ατομικής απορρόφησης (φασματοφωτόμετρο)

A.2.β) Διαλυτοποίηση

Μια αναλυτική διαδικασία απαιτεί κατά αρχήν διαλυτοποίηση του δείγματος με σύντηξη ή με επίδραση οξέων . Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μιας μεθόδου διαλυτοποίησης είναι το είδος του δείγματος, οι απαιτούμενοι προσδιορισμοί και το είδος των μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν στα επόμενα στάδια της ανάλυσης, τα παρεμποδίζοντα ιόντα, η πτητικότητα των στοιχείων που πρόκειται να προσδιοριστούν, ο χρόνος και το κόστος . Επίσης πολλές φορές δεν χρειάζεται να επιτευχθεί πλήρης διαλυτοποίηση.

Για την διαλυτοποίηση ενός δείγματος με επίδραση οξέων χρησιμοποιείται συνήθως και ανάλογα με το δείγμα μείγμα οξέων . **Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε HCL και HNO₃ (ισχυρά οξέα) .** Συγκεκριμένα αρχικά χρησιμοποιήθηκαν 20ml HCL και 10ml HNO₃ για 0,250 gr απο κάθε δείγμα, και αφού θερμάνθηκαν επι ξηρό, προστέθηκαν πάλι ποσότητες απο τα ισχυρά οξέα . Αυτή τη φορά 5 ml HCL και 5 ml HNO₃, επίσης θερμάνθηκαν και στη συνέχεια έγινε διήθηση και η τοποθέτηση σε ογκομετρικές φυάλες των 50 ml κυρίως.

Για τη λειτουργία του μηχανήματος ατομικής απορόφησης απαιτείται η δημιουργία προτύπων διαλυμάτων, προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκριση με κάθε διάλυμα προς μέτρηση . Επίσης είναι απαραίτητο σε κάθε μέτρηση να υπάρχει η κατάλληλη αραιώση . Επομένως απαιτείται ο συνδιασμός προτύπων και αραιώσεων κάθε φορά . Πάντα ισχύει ο **νόμος της αραιώσης του Ostwald** : $C_1V_1 = C_2V_2$.

Όπου : **C_1 =συγκέντρωση του διαλύματος, το οποίο χρησιμοποιούμε (M = mol/lit), V_1 =ποσότητα απο το διάλυμα το οποίο χρησιμοποιούμε (ml), C_2 =συγκέντρωση του διαλύματος που θέλουμε να φτιάξουμε (M = mol/lit) , V_2 =όγκος του διαλύματος που θέλουμε να φτιάξουμε (ml)**

Αρχικά τα δείγματα ήταν 18, τα οποία προέκυψαν απο τη πρώτη φάση πειραμάτων . Χρειάστηκαν να αραιωθούν 3 φορές, για τα 4 στοιχεία (σύμφωνα με τον νομο της αραιώσης, $C_1V_1 = C_2V_2$) . **Ετσι 54 ήταν τα αραιωμένα της πρώτης σειράς πειραμάτων** . Απο την δεύτερη σειρά πειραμάτων, ακολουθήθηκε συγκεκριμένο σχεδιάγραμμα και προέκυψαν ακόμα 9 δείγματα, στα οποία έγιναν δυο φορές διαλυτοποιήσεις . Αρα για την δεύτερη μέτρηση 18 διαλύματα . Επίσης αραιώθηκαν 3 φορές, **άρα 54 τα αραιωμένα και της δεύτερης φάσης** . **Ενω τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 14 στο σύνολο, για τα 4 στοιχεία και για τις δυο πρώτες φάσεις** .

Αργότερα έγινε και μια τρίτη σειρά πειραμάτων (γ και δ φαση), όπου ακολουθήθηκε το ίδιο σχεδιάγραμμα που έγινε και στη δεύτερη φάση με διαφορετική κοκκομετρία και έγινε δυο φορές με μικρές διαφορές στις εντάσεις του πεδίου . Αυτη τη φορά σε όλα τα διαλύματα η διαλυτοποίηση έγινε μια φορά . Άρα προέκυψαν 18 δείγματα . Έγιναν 3 διαφορετικές αραιώσεις, **άρα 54 συνολικά ήταν τα αραιωμένα διαλύματα που προέκυψαν απο τη τρίτη και τέταρτη φάση** . **Ενω τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 17 στο σύνολο τους και για τα πέντε στοιχεία** . Άρα συνολικά για όλες τις φάσεις προέκυψαν 52 διαλύματα, μετά τις διαλυτοποιήσεις και 162 τα αραιωμένα που χρειάστηκαν να γίνουν . Ενώ τα πρότυπα που χρειάστηκε να φτιάχτούν ήταν συνολικά 31 . Επομένως στο τελικό σύνολο τουλάχιστον 245 διαλύματα .

για Α και Β φάση

Τα στοιχεία των οποίων έγινε ανίχνευση είναι : **As, Fe, Zn, Pb**. Τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

Για το As, 1ppm As με 50 ppm Fe, 30 ppm As με 50 ppm Fe, 50 ppm As με 50 ppm Fe, (για αντιστάθμιση)

και το τυφλό με 50 ppm Fe και νερό (**με 5 φορές αραιώση** του αρχικού δείγματος)

Για το Fe, 1.5 ppm Fe, 3 ppm Fe, 4.5 ppm Fe, 15 ppm Fe (με 100 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)

Για το Zn, 0.5 ppm Zn, 2 ppm Zn, 1 ppm Zn, 5 ppm Zn (με 1000 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)

Για Pb, 10 ppm Pb, 30 ppm Pb, 50 ppm Pb (με 5 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)

για Γ φάση και Δ φάση

Τα στοιχεία των οποίων έγινε ανίχνευση είναι **As, Fe, Zn, Pb, Cu** . Τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

Για το As, 1ppm As με 50 ppm Fe, 30 ppm As με 50 ppm Fe, 50 ppm As με 50 ppm Fe,

και το τυφλό με 50 ppm Fe και νερό (**με 5 φορές αραιώση** του αρχικού δείγματος)

Για το Fe , 5 ppm Fe, 3 ppm Fe , 4,5 ppm Fe ,15 ppm Fe (με 100 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)

Για το Zn, 0.5 ppm Zn, 1 ppm Zn, 2 ppm Zn, 5 ppm Zn (με 1000 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)

Για Pb, 5 ppm Pb, 10 ppm Pb, 30 ppm Pb (με 5 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)

Για Cu, 1ppm Cu, 5 ppm Cu, 10 ppm Cu (με 5 φορές αραιώση του αρχικού δείγματος)



(Εικόνα 28) Διαδικασία διαλυτοποίησης με ισχυρά οξέα(HCl , HNO_3)



(Εικόνες 29) Δείγματα (36 σε αριθμό) μεικτών θειούχων μετα τη διαλυτοποίηση (απο A+Bφάση), αραιώσεις (108) που χρειάστηκαν να γίνουν, και τα πρότυπα (14) που χρησιμοποιήθηκαν για τις μέτρησεις με το φασματοφωτόμετρο, για τις δυο πρώτες φάσεις .



(Εικόνες 30) Δείγματα (18 σε αριθμό) μεικτών θειούχων μετα τη διαλυτοποίηση (απο Γ και Δ φάση), αραιώσεις (54) που χρειάστηκαν να γίνουν, και τα πρότυπα (17) που χρησιμοποιήθηκαν για τις μέτρησεις με το φασματοφωτόμετρο, για τη Γ και Δ φάση.

A.3) ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Τέλος έγινε ανάλυση και για τις ορυκτολογικές φάσεις, των δειγμάτων . Συγκεκριμένα με τη μέθοδο XRD έγινε ταυτοποίηση των ορυκτών . Επίσης έγινε και μελέτη με πολωτικό μικροσκόπιο (σε ανακλώμενο φως, // Nic) σπλιτνών τομών που παρασκευάστηκαν .

A.3.α) Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Οι ακτίνες X αποτελούν το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με μήκος κύματος μεταξύ 0,01-10 nm . Ανακαλύφθηκαν από τον Wilhelm Röntgen (1895) και η πρώτη εφαρμογή σε στερεά κρυσταλλικά σώματα έγινε από τον Max von Laue (1912) . Παράγονται σε ειδικές συσκευές όπου ένα νήμα βολφραμίου πυρακτώνεται με χρήση ηλεκτρικού ρεύματος με αποτέλεσμα να απομακρύνονται ηλεκτρόνια . Αυτά επιταχύνονται στη συνέχεια μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου και βομβαρδίζουν άτομα ενός τεμαχιδίου μετάλλου που βρίσκεται απέναντι από το νήμα. **Οι ακτίνες X συμπεριφέρονται σαν κύμα και σαν σωματίδια . Στην ορυκτολογία ενδιαφέρει η κυματική τους φύση καθώς γίνεται εντοπισμός των ορυκτών που υπάρχουν σε ένα γεωυλικό .** Μία κυματική ιδιότητα είναι η περίθλαση σύμφωνα με την οποία οι ακτίνες X αλληλεπιδρούν με τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου . Τα ηλεκτρόνια ταλαντώνονται και παράγουν ακτίνες X ίδιας συχνότητας με την προσπίπτουσα ακτινοβολία . **Η περιθλασιμετρία ακτίνων X είναι μια μέθοδος προσδιορισμού των γωνιών και των εντάσεων των ανακλάσεων ακτίνων X που προσπίπτουν σε κρυστάλλους που βρίσκονται σε ένα γεωυλικό .** Το φαινόμενο αυτό εκφράζεται μαθηματικώς από τον **νόμο Bragg** σύμφωνα με τον οποίο :

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

n = η τάξη ανάκλασης

λ = το μήκος κύματος των ακτίνων

θ = η γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων επί των κρυσταλλικών πλεγμάτων

d = η απόσταση των πλεγμάτων ενός κρυστάλλου που είναι χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε κρυστάλλου.

Από την μέτρηση των γωνιών θ και την εφαρμογή της εξίσωσης Bragg, προσδιορίζεται η πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου (d) που είναι μονο σήμαντη για κάθε κρύσταλλο . Τα αποτελέσματα μιας ακτινοσκόπησης παρουσιάζονται σαν πολλαπλές κορυφές που αντιστοιχούν σε ανακλάσεις . Στον άξονα των x παριστάνεται η γωνία 2θ ενώ στον άξονα y παριστάνεται η ένταση της ανακλώμενης ακτινοβολίας.

Γ. ΚΩΣΤΑΚΗΣ, ΧΑΝΙΑ-2005

A.3.β) Παρασκευή στιλπνών τομών

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μελέτη ενός μεταλλεύματος είναι η παρασκευή μιας καλά στιλβώμενης τομής, η επιφάνεια της οποίας κατά τη μικροσκοπική παρατήρηση πρέπει να είναι ελεύθερη χαραγών και άλλων ανωμαλιών . Σε αντίθετη περίπτωση οι οπτικές ιδιότητες των ορυκτών είναι δύσκολο να προσδιοριστούν με ακρίβεια και σε μερικές περιπτώσεις γίνεται αδύνατη η καταγραφή τους . Υπάρχουν τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη προετοιμασία στιλπνών τομών, όμως προηγείται η προετοιμασία των δειγμάτων και η λείανση παρασκευάσματος .

Προετοιμασία των δειγμάτων:

Το προς στίλβωση υλικό πρέπει να εμποτιστεί σε ειδική τεχνητή ρητίνη εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στη στίλβωση η μέθοδος Rehwald ή εάν πρόκειται για υλικά ψαθυρά, πορώδης, γαιώδης ή μεμονωμένους κρυστάλλους, προσανατολισμένα παρασκευάσματα ή υλικά προσχωματικών κοιτασμάτων.

Το δείγμα τοποθετείται σε ειδικές φόρμες διαμέτρου μεταξύ 2 και 4 cm στις οποίες χύνεται ποσότητα του υγρού υλικού εγκλίσεως . Στην περίπτωση παρασκευασμάτων με μεμονωμένους κόκκους η διαδικασία είναι εντελώς αντίστροφη . Πορώδη, ψαθυρά και γαιώδη υλικά πρέπει να εμποτίζονται σε κενό, έτσι ώστε να απομακρύνεται ο αέρας των πόρων του δείγματος, καθώς επίσης και ο αέρας που είναι εγκλωβισμένος μέσα στη ρητίνη, ο οποίος σε διαφορετική περίπτωση κατά τη θέρμανση και σκλήρυνση του υλικού θα δημιουργούσε φυσαλίδες με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η στίλβωση της τομής.

Λείανση του παρασκευάσματος :

Σαν λειαντικό μέσο χρησιμοποιείται καρβίδιο του πυριτίου ή του βολφραμίου διαφόρων κοκκομετριών . Για τη λείανση του παρασκευάσματος ακολουθούνται τρία στάδια με διαφορετικές κοκκομετρίες των λειαντικών μέσων . Το παρασκεύασμα λειαίνεται επάνω σε έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό δίσκο ή με το χέρι επάνω σε γυάλινη πλάκα με τις κοκκομετρίες των λειαντικών μέσων του πρώτου σταδίου . Η λείανση του παρασκευάσματος γίνεται πάντοτε παρουσία νερού.

Η κοκκομετρία του λειαντικού μέσου, που θα χρησιμοποιηθεί κατά το στάδιο της προλείανσης, εξαρτάται απ την ποιότητα της προς λείανσης επιφάνειας . Εάν κατά την κοπή του δείγματος χρησιμοποιήθηκε αδαμαντοφόρος κοπτικός δίσκος, τότε μπορεί να αρχίσει η προλείανση με κοκκομετρία 400 ή και 600 .

Κατά το δεύτερο και τρίτο στάδιο η λείανση του παρασκευάσματος γίνεται με το χέρι επάνω σε γυάλινη πλάκα με τη σειρά των κοκκομετριών 600, 800, 1000 και 1200 . Η λείανση γίνεται μέσω περιστροφικών κινήσεων του χεριού επάνω στη συνολική επιφάνεια της γυάλινης πλάκας, όπου η θέση του παρασκευάσματος μεταξύ των δακτύλων οφείλει να αλλάξει περιοδικά . Η διάρκεια της λείανσης εξαρτάται από το είδος του υλικού και κυμαίνεται μεταξύ 5 και 10 λεπτών .

Μέθοδος στίλβωσης κατά Schneiderhohn :

Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενοι δίσκοι καλυμμένοι με πανί (τσόχα μπιλιάρδου) και νερό σαν λιπαντικό . Στον πρώτο δίσκο χρησιμοποιείται SiC1200, με την ίδια ακριβώς κοκκομετρία που έγινε η προστίλβωση του παρασκευάσματος επάνω στη γυάλλινη πλάκα . Στο δεύτερο δίσκο χρησιμοποιείται Cr₂O₃ και στον τρίτο MgO, στον οποίο γίνεται η τελική στίλβωση . Οι εκάστοτε χρόνοι στίλβωσης είναι σχετικά σύντομοι και ανέρχονται μεταξύ 10 και 15 λεπτών .

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για ορυκτά αντίστοιχης σκληρότητας, καθώς επίσης για εύθρυπτα ορυκτά (σφαλερίτης, γαληνίτης, νικελίνης, πυρροτίνης κ.α) με την προϋπόθεση, ότι δεν πρόκειται για σκληρά ορυκτά . Σκληρά ορυκτά, όπως οξειδία, σιδηροπυρίτης, αρσενοπυρίτης στιλβώνονται με μεγάλη δυσκολία . Η διαφορά σκληρότητας των μεμονωμένων ορυκτών γίνεται αντιληπτή κατά τη στίλβωση με το σχηματισμό ενός έντονου αναγλύφου . Η μέθοδος αυτή έχει μέχρι και σήμερα μεγάλη σημασία:

Μέθοδος στίλβωσης κατά Winterdiaplast :

Κατά τη μέθοδο αυτή σαν μέσο στίλβωσης χρησιμοποιούνται αδαμανταλοιφές, οι οποίες είναι διαλυτές σε νερό, αλκοόλ και λάδι . Η στίλβωση γίνεται με περιστρεφόμενους δίσκους καλυμμένους με πανί απο Perlon ή από συνθετικές μεβράνες . Σαν λιπαντικό μέσο χρησιμοποιείται ανάλογα με το είδος της αδαμανταλοιφής νερό, αλκοόλ ή λάδι . Η διάρκεια της στίλβωσης εξαρτάται από το είδος του υλικού και απο το εάν γίνεται μηχανικώς ή με το χέρι . Η διαδικασία στίλβωσης με το χέρι διαρκεί περίπου 20 λεπτά, ενώ μηχανικώς μειώνεται στο μισό.

Μέθοδος στίλβωσης κατά Vanderwilt-Rehwald :

Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται η συσκευή Rehwald, η οποία είναι σε θέση να στιλβώσει συγχρόνως 6 στιλπνές τομές διαμέτρου 2, 4 ή 6 cm . Τα εμποτισμένα σε τεχνητή ρητίνη δείγματα προστιλβώνονται με το χέρι με SiC1200 και εν συνεχεία στιλβώνονται με τη μέθοδο Rehwald . Η προστίλβωση θα μπορούσε να γίνει επίσης με τη συσκευή Rehwald με χρήση περιστρεφόμενων δίσκων απο χαλκό, SiC1000 και σαν λιπαντικό μέσο ένα μείγμα από παραφινέλαιο και πετρέλαιο .

Κατά το κύριο στάδιο της στίλβωσης μπορεί να γίνει επιλογή από διάφορες σειρές μέσων στίλβωσης, όπως αλοιφών-Rehwald, αδαμανταλοιφών, καθώς και καρβιδίου του βορίου με εγχύλισμα πίσσας διαφόρων κοκκομετριών . Σαν λιπαντικό μέσο χρησιμοποιείται ένα μείγμα απο παραφινέλαιο, πετρέλαιο και εγχύλισμα πίσσας . Κατά το τελικό στάδιο της στίλβωσης χρησιμοποιούνται αλοιφή Rehwald μεγέθους κόκκων 2-2,05 μm, αδαμανταλοιφή 3-1μm ή πολύ λεπτόκοκκο καρβίδιο του βορίου ,3 μm.

Οι χρόνοι στίλβωσης για αλοιφές με μεγέθη κόκκων 7 και 3 μm ανέρχονται γενικά απο 20 έως 30 min και 30 min έως 1 h . Η διαδικασία στίλβωσης με αλοιφές κοκκομετρίας 1 μm απαιτεί τουλάχιστον μια ώρα . Η ποιότητα της στίλβωσης εξαρτάται τόσο απο τη διάρκεια της στίλβωσης, όσο και απο τη χρήση αλοιφής MgO κατά το τελικό στάδιο της στίλβωσης . Η μέθοδος Rehwalder είναι η μοναδική μέθοδος στίλβωσης, με την οποία παρασκευάζονται στιλπνές τομές ελεύθερες από ανάγλυφο και χαραγές.

Κατά τη διαδικασία στίλβωσης στην επιφάνεια του παρασκευάσματος σχηματίζεται ένα λεπτό στρώμα, το οποίο οφείλεται στη μετατόπιση των επιφανειακών μορίων και καλύπτει με μορφή επιδερμίδας πάχους 0,5-1 μm , μικροανωμαλίες της επιφάνειας, όπως λεπτές χαραγές που δημιουργήθηκαν κατά τη λείανση του παρασκευάσματος .

Γ.ΑΛΕΒΙΖΟΣ,ΧΑΝΙΑ



(Εικόνα 31) Φωτογραφία στιλπνων τομών

3 .ΜΕΡΟΣ Β : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

B.1)ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι δείγμα μεικτών θειούχων και προέρχεται από την εταιρία <<Ελληνικός Χρυσός>> στο Στρατώνι της Χαλκιδικής και συγκεκριμένα από το μεταλλείο << Μαύρων Πετρών>> . Πριν γίνουν οι δοκιμές εμπλουτισμού, στα πλαίσια του προεμπλουτισμού, όλο το δείγμα (16 κιλά) το περάσαμε από εργαστηριακό σιαγωνοτό σπαστήρα, ώστε να σπάσει το υλικό σε μικρότερο μέγεθος από 4mm . Στη συνέχεια από σχάρα ομογενοποίησης και το χωρίσαμε σε 16 ισομεγέθοι δείγματα, του 1kg το καθένα . Τέλος προκειμένου να γίνει ο προεμπλουτισμός, το υλικό περνάει από το μύλο λειοτρίβησης-ραβδόμυλο . Έτσι θα επιτευχθούν οι κατάλληλες κοκκομετρίες για τα πειράματα που θα ακολουθήσουν στη φάση του εμπλουτισμού-μαγνητικό διαχωρισμού, προκειμένου να πετύχουμε την αποδέσμευση σφαλερίτη (ZnS-ZnFeS) στον μέγιστο δυνατό βαθμό.

B.1.α)Κοκκομετρία υλικού

Η κοκκομετρία του υλικού που χρησιμοποιήθηκε ήταν 140 μm (20 λεπτά λειοτρίβησης), για τα πειράματα πρώτης και δεύτερης φάσης . Ενώ ήταν στα 75 μm (40 λεπτά λειοτρίβησης) για τα πειράματα τρίτης και τέταρτης φάσης . Η κοκκομετρία αυτή προέκυψε με βάση το d80 (80 % της διαμέτρου των κόκκων στο κάθε κλάσμα να είναι κάτω από το συγκεκριμένο μέγεθος χαρακτηρισμού) . Όσο πιο ψιλή η κοκκομετρία, τόσο μεγαλώνουν οι πιθανότητες καλύτερης αποδέσμευσης χρήσιμου ορυκτού (καλύτερο εμπλουτισμό) . Βέβαια μέχρι το σημείο εκείνο όπου δεν θα υφίσταται το πρόβλημα να παρασυρθούν οι κόκκοι από το νερό, καθώς το περιβάλλον εργασίας του μαγνήτη είναι υγρό . Παρακάτω απεικονίζονται αναλυτικά στοιχεία για την κοκκομετρία τόσο του αρχικού δείγματος, όσο και των δειγμάτων που προέκυψαν μετά από λειοτρίβηση .

ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ-ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΩΝ (4 ΧΡΟΝΟΙ ΛΕΙΟΤΡΙΒΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ)

| <u>(μεγέθοι κόκων,μm)</u> | <u>ΑΘΡΟΙΣΤ ΔΙΕΡΧΜ %(D80,80 %)</u> |
|---------------------------|-----------------------------------|
| <u>65.51μm</u> | <u>77,53%</u> |
| <u>76.32μm</u> | <u>81,20%</u> |
| <u>75μm</u> | <u>80%(40 min-λειτουργ)</u> |
| <u>120.67μm</u> | <u>77,66%</u> |
| <u>140.58μm</u> | <u>81,28%</u> |
| <u>140μm</u> | <u>80%(20 min-λειτουργ)</u> |
| <u>190.8μm</u> | <u>76,32%</u> |
| <u>222.28μm</u> | <u>80,89%</u> |
| <u>222μm</u> | <u>80% (10 min-λειτουργ)</u> |
| <u>409.45μm</u> | <u>77,60%</u> |
| <u>477.01μm</u> | <u>83,56%</u> |
| <u>443μm</u> | <u>80%(5 min-λειτουργ)</u> |
| <u>4000μm</u> | <u>80,05%</u> |
| <u>4000μm</u> | <u>80% (0 min-λειτουργ)</u> |

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ-ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΩΝ (ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΓΙΑ ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ)

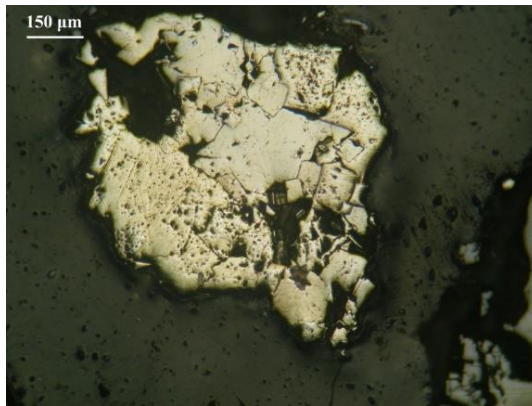
| <u>ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ -ΚΟΣΚΙΝΑ</u> | |
|--------------------------------|--------------|
| <u>ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΩΣ ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟΝ</u> | |
| <u>(μm)</u> | <u>%</u> |
| <u>*SIZES*</u> | <u>0 min</u> |
| <u>4000</u> | <u>80,5</u> |
| <u>2000</u> | <u>60,6</u> |
| <u>1000</u> | <u>45,6</u> |
| <u>500</u> | <u>30,3</u> |
| <u>250</u> | <u>17,3</u> |

B.1.β) Ορυκτολογία υλικού

Στο αρχικό δείγμα έγινε και κοκκομετρική ανάλυση, κατασκευάστηκαν στιλπνές τομές και παρατηρήθηκαν στο μικροσκόπιο . Επίσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος XRD, με την οποία ταυτοποιήθηκαν οι ορυκτολογικές φάσεις . Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζονται οι μορφές των διαφόρων ορυκτών, στα μεικτά θειούχα μέσω ενός πολωτικού μικροσκοπίου με ανακλώμενο φως και παράλληλα Nicols . Τα διακρίνουμε με βάση τα χαρακτηριστικά τους.



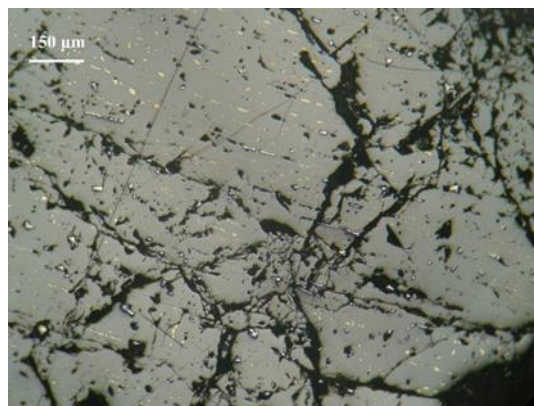
Κόκκος σιδηροπυρίτη καθαρός



Κόκκος σιδηροπυρίτη με αρσеноπυρίτη



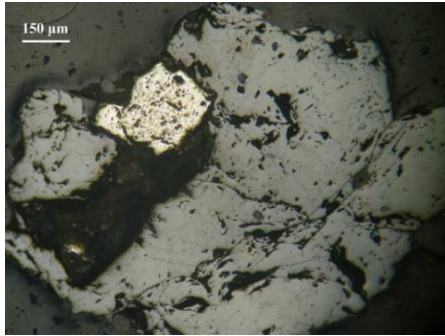
Κόκκος γαληνίτη



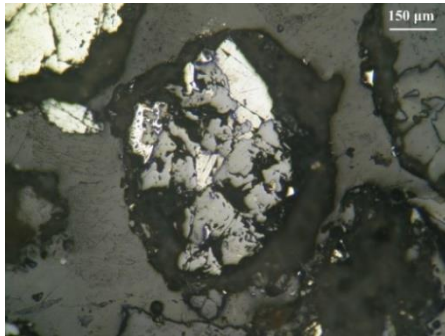
Σφαλερίτης με χαλκοπυρίτη

(ΕΙΚΟΝΕΣ 32) Μορφές βασικών ορυκτών του μεταλλεύματος, μέσα απο μικροσκόπιο (γαληνήτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης, αρσеноπυρίτης, χαλκοπυρίτης)

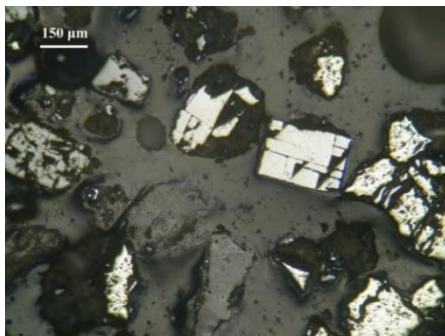
Επίσης παρακάτω πρσιτίθονται ορισμένες ακόμα φωτογραφίες μέσα απο το πολωτικό μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός με παράλληλα Nicols.



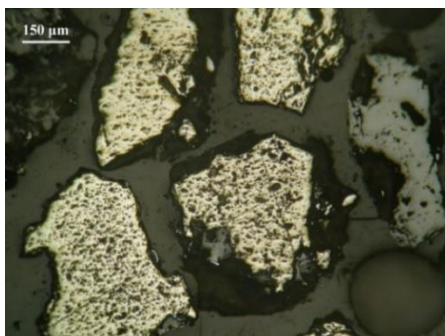
Σφαλερίτης με σιδηροπυρίτη



Κόκος σφαλερίτη με γαληνήτη



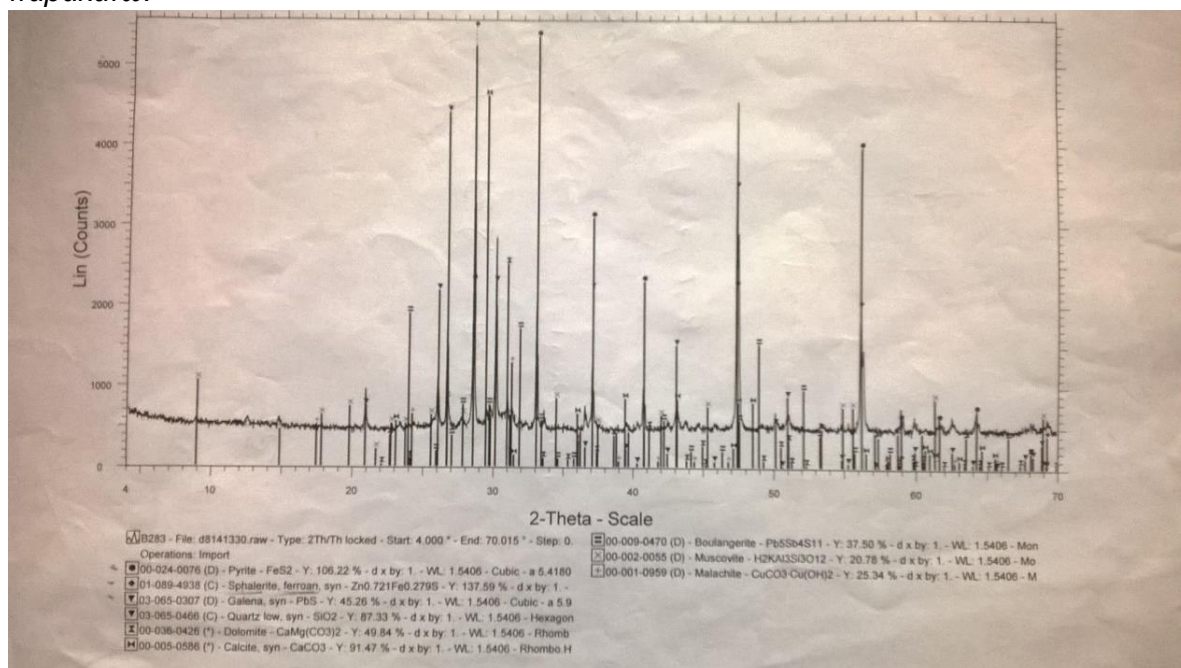
Κόκοι,γαληνήτη,σιδηροπυρίτη,σφαλερίτη,Σύνδρομου



Μεμονομένος κρύσταλος σιδηροπυρίτη και δεξιά κόκος σφαλερίτη

(Εικόνες 33) Μετάλλευμα μεικτών θειούχων, μέσα απο πολωτικό μικροσκόπιο-ανακλώμενου φωτός και παράλληλα NICOLS

Ακόμα στα πλαίσια της ορυκτολογικής ανάλυσης, έγινε μελέτη XRD και παρουσιάζεται παρακάτω.



(εικόνα 34) Απεικόνιση ορυκτολογικών φάσεων(XRD)

Συμπερασματικά προκύπτει ότι τα ορυκτά που βρίσκονται στο συγκεκριμένο μεταλλευμα μикτών θειούχων είναι κυρίως α) πυρίτες (σιδηροπυρίτη-FeS, αρσеноπυρίτη-FeAsS, χαλκοπυρίτης-CuFeS₂), β) σφαλερίτης (με περιεκτικότητα σε σίδηρο έως και 30 % και 70 % περιεκτικότητα σε Zn, (Zn-Fe)S) και γ) γαληνίτης (PbS) . Επίσης περιλαμβάνονται και άλλα ορυκτά με μικρότερο ενδιαφέρον όπως χαλαζίας (SiO₂), δολομίτης (CaMg(CO₃)₂), ασβεστίτης (CaCO₃), βουλανζερίτης (Pb₅Sb₄S₁₁), μοσχοβίτης (KAl₂(AlSi₃)O₁₀(OH)₂) και μαλαχίτης (Cu₂(OH)₂CO₃) .

B.1.γ) Χημική σύσταση υλικού

Για την αξιολόγηση των δειγμάτων που θα προκύψουν χρησιμοποιείται η μέθοδος ατομικής απορρόφησης ώστε να γίνει χημική ανάλυση για τα στοιχεία Zn, Pb, Fe, As, Cu . Μετά τις χημικές αναλύσεις που έγιναν στο αρχικό δείγμα (0 λεπτά λειοτρίβηση) προέκυψαν τιμές, οι οποίες απεικονίζονται στο παρακάτω πίνακα .

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΩΣΕΩΝ (ΣΤΟ ΑΡΧΙΚΟ ΔΕΙΓΜΑ)

| | Fe% | FeS ₂ % | As% | FeAsS % | Zn% | ZnS % | Pb% | PbS% |
|------------------------------|--------------|--------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| 1η μέτρηση αρχικού δείγματος | 24.4 | 46.78 | 2.95 | 6.42 | 8.24 | 12.27 | 4.95 | 5.72 |
| 2η μέτρηση αρχικού δείγματος | 18.76 | 34.72 | 2.64 | 5.73 | 9.29 | 13.83 | 5.69 | 6.57 |
| M.O | 21.58 | 40.75 | 2.8 | 6.08 | 8.77 | 12.83 | 5.32 | 6.15 |

(πληροφορία από site της Ελληνικός Χρυσός: 8,3% ψευδάργυρος, 6,0% μόλυβδος -μεταλλείο Μαύρων Πετρώων)

B.2)ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Αρχικά ορίσαμε 4 διαφορετικούς χρόνους λειοτρίβησης, 5 λεπτά, 10 λεπτά, 20 λεπτά και 40 λεπτά για 4 ομογενοποιημένα δείγματα του 1 kg . Στην συνέχεια με μέθοδο κοκκομετρικής ανάλυσης, μέσω laser (μέθοδος που στηρίζεται στη σκέδαση του φωτός) ταυτοποιήθηκε η κοκκομετρία των δειγμάτων μετά τη λειοτρίβηση για τα δείγματα, στους συγκεκριμένους χρόνους . Η κοκκομετρία καθορίστηκε αφού έγινε η καμπύλη αθροιστικώς διερχομένων και με βάση το d80 (αν υποθέσουμε συγκεκριμένο μέγεθος ανοίγματος βρόγχου, το d80 είναι εκείνο το μέγεθος της διαμέτρου των κόκκων δείγματος που κατά 80% διέρχεται μέσα από το συγκεκριμένο άνοιγμα) . Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν τα 5 λεπτά αντιστοιχούσαν σε 443 μm (0.44 mm), τα 10 λεπτά σε 222 μm (0.22 mm), τα 20 λεπτά σε 140 μm(0.14 mm) και τα 40 λεπτά σε 75 μm(0.08 mm) . Επίσης σε αρχικό δείγμα, χωρίς να γίνει λειοτρίβηση (0 λεπτά λειοτρίβησης) έγινε κοκκομετρική ανάλυση με σειρά κοσκίνων και με βάση το d80 προέκυψε ότι αντιστοιχούσε στα 4000 μm(4 mm) .

Τα βασικά πειράματα εμπλουτισμού περιλαμβάνουν τέσσερις φάσεις . Μια φάση αρχικών δοκιμών και άλλες τρεις για βελτίωση των αποτελεσμάτων (κάθε μία απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα ροής), ώστε να πάρουμε τη μέγιστη ανάκτηση σφαλερίτη στα συμπυκνώματα . Για την α φάση (δοκιμαστική), παρατίθεται ένας πίνακας από την επεξεργασία των μετρήσεων, και περιλαμβάνει αναλύσεις και κατανομές ορυκτών . Σε όλες τις φάσεις για βελτίωση αποτελεσμάτων (β, γ, δ) ,αφού έγιναν οι μετρήσεις, εκφράστηκαν τα αποτελέσματα σε τρεις διαφορετικές μορφές πινάκων . Αυτές οι μορφές είναι <<Συγκεντρωτικώς>>,<<Συγκεντρωτικώς επί αρχικού >> και<< Επί μέρους διαχωρισμοί>> . Για να προκύψουν τα αρχικά μας συμπεράσματα, κυρίως χρησιμοποιήθηκε η μορφή <<Συγκεντρωτικώς>> . Σε κάθε μια από τις τέσσερις φάσεις πειραμάτων, κατασκευάστηκαν διαγράμματα με βάση τις χημικές αναλύσεις στοιχείων στα διάφορα δείγματα, όπως προέκυψαν μετά από μετρήσεις . Επίσης για την α φάση κατασκευάστηκε και διάγραμμα για την επίδραση μεγέθους των σφαιρών, ανάλογα με το ποσοστό του βάρους μαγνητικού υλικού που συγκεντρώσε κάθε μέγεθος (σε καθένα από τα εννέα πειράματα, τα οποία έγιναν δοκιμαστικά με διερευνητικό χαρακτήρα) .

Τέλος ισχύει : **ΜΟΝΑΔΕΣ = (ΒΑΡΟΣ % *ΑΝΑΛΥΣΗ) / 100**

ΚΑΤΑΝΟΜΗ= (ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ/ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ) *100

B.2.α) Διερεύνηση βέλτιστων συνθηκών (α φάση)

Κατά τη πρώτη φάση πειραμάτων έγιναν 9 πειράματα . Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τρία μεγέθη σφαιρών (8.5 mm, 11.8mm, 22mm) και επιλέχθηκαν τρεις εντάσεις ηλεκτρικού-μαγνητικού πεδίου (2.5amperes -3938gauss-4550gauss-5148gauss ,5amperes-6405 gauss-6620 gauss -7718 gauss,7 amperes-7079gauss-7205gauss- 8420 gauss) . Κάθε φορά χρησιμοποιούσαμε 50 gr υλικού, για καλύτερη λειτουργία και απόδοση του μηχανήματος (αποφυγή φρακαρίσματος) . Χρησιμοποιήθηκε κοκκομετρία 140 μm (20 λεπτά λειοτριβημένο υλικό) . **Σκοπός η μεγιστη δυνατή ανάκτηση σφαλερίτη, ταυτοποίηση χαρακτηριστικών μαγνήτη με αποτελέσματα διαχωρισμού και επιλογή κατάλληλων συνθηκών για τα πειράματα που θα ακολουθήσουν παρακάτω .**

Για την επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, καταγράφηκε το βάρος απο κάθε διαχωρισμό στα κλάσματα που προέκυψαν (μαγνητικό και μη μαγνητικό), στη συνέχεια πήραμε 0.250 gr και κάναμε χημική ανάλυση (μέθοδος ατομικής απορρόφησης, προηγήθηκε διαλυτοποίηση) . Τέλος αφού πήραμε τα αποτελέσματα απο τις χημικές αναλύσεις και έγιναν οι αναγωγές απο στοιχεία σε ενώσεις, υπολογίστηκαν οι μονάδες(μεταλλομονάδες) και η κατανομή των συγκεκριμένων ενώσεων στα διάφορα κλάσματα.

Αναλυτικότερα για ένα συγκεκριμένο παράδειγμα (μικρές σφαίρες-διαμ. 8.8 mm ,7 amperes, ZnS-σφαλερίτης) θα ισχύει :

ΜΟΝΑΔΕΣ = (ΒΑΡΟΣ % *ΑΝΑΛΥΣΗ) /100= $(35.5 * 21.72) /100 = 7.71$ είναι οι μονάδες (μεταλλομονάδες) σφαλερίτη,που κατανέμονται στο μαγνητικό κλάσμα

ΚΑΤΑΝΟΜΗ=(ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ/ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΡΧΙΚΟΥ)*100= $(64.5 *7.33) /100 = 4.73$ είναι οι μονάδες(μεταλλομονάδες)σφαλερίτη, που κατανέμονται στο μη μαγνητικό κλάσμα

Οι συνολικές μονάδες σφαλερίτη για το συγκεκριμένο διαχωρισμό είναι : **$7.71 + 4.73 = 12.44$**

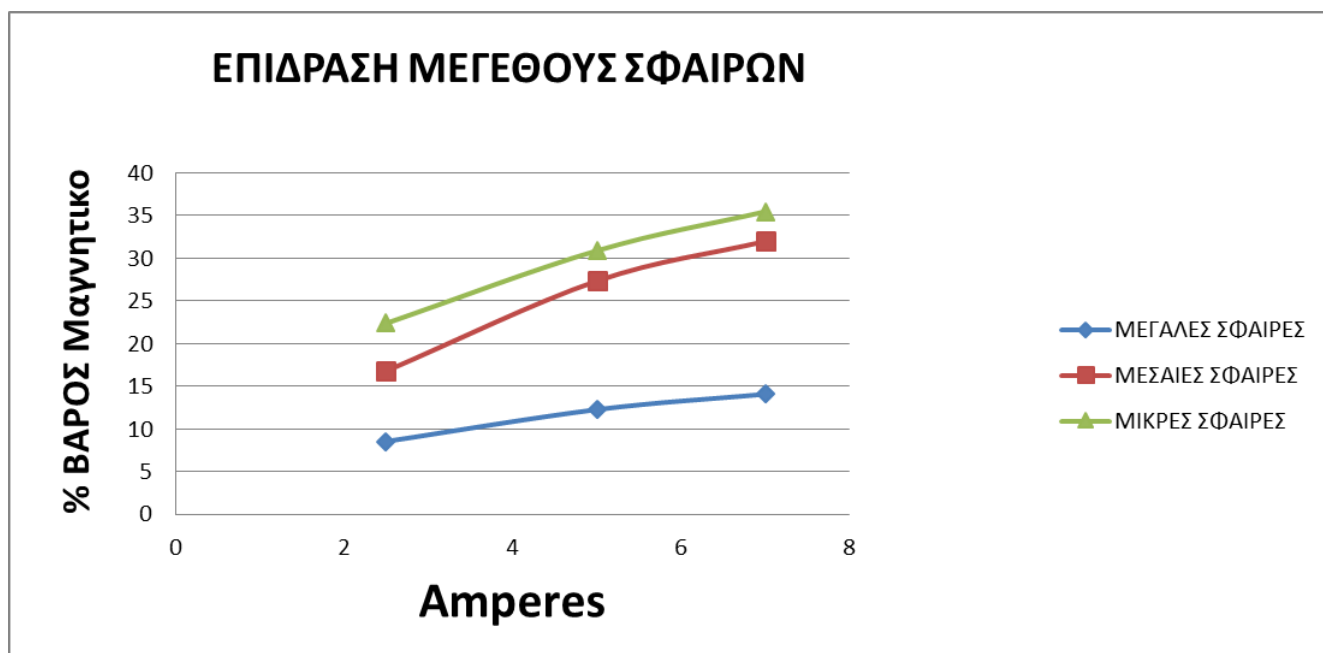
Μετά απο αναγωγή % θα προκύψει η κατανομή του σφαλερίτη στο μαγνητικό και στο μη μαγνητικό κλάσμα . Ειδικότερα ισχύει : **$(100 *7.71) /12.44 =61.98 \%$** του σφαλερίτη κατανέμεται στα μαγνητικά **$(100 * 4.73) /12.44=38.02 \%$** του σφαλερίτη κατανέμεται στα μη μαγνητικά

ΠΙΝΑΚΑΣ 10 : ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ (Α ΦΑΣΗ)

| 2,5 Amperes | | | | | | | | | | |
|---|-------------|--------------|--------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Αναλύσεις | | | | | Κατανομή | | | | | |
| ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 22mm) | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 8,57 | 23,3 | 17,61 | 2,54 | 5,25 | 14,84 | 2,98 | 3,56 | 6,50 | |
| Μη Μαγν. | 91,43 | 12,54 | 53,72 | 6,45 | 7,08 | 85,16 | 97,02 | 96,44 | 93,50 | |
| Σύνολο | 100 | 13,46 | 50,62 | 6,11 | 6,92 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ διαμέτρου 11.8mm | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 16,81 | 20,95 | 21,58 | 3,29 | 5,76 | 26,84 | 7,02 | 9,04 | 14,08 | |
| Μη Μαγν. | 83,19 | 11,54 | 57,75 | 6,69 | 7,1 | 73,16 | 92,98 | 90,96 | 85,92 | |
| Σύνολο | 100 | 13,12 | 51,67 | 6,12 | 6,87 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| ΜΙΚΡΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 8.5mm) | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 22,42 | 23,08 | 21,86 | 3,28 | 5,55 | 39,82 | 10,28 | 12,03 | 18,17 | |
| Μη Μαγν. | 77,58 | 10,08 | 55,1 | 6,93 | 7,22 | 60,18 | 89,72 | 87,97 | 81,83 | |
| Σύνολο | 100 | 12,99 | 47,65 | 6,11 | 6,85 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| 5 Amperes | | | | | | | | | | |
| Αναλύσεις | | | | | Κατανομή | | | | | |
| ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 22mm) | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 12,29 | 21,59 | 18,01 | 3,45 | 6,22 | 19,28 | 5,28 | 6,64 | 10,56 | |
| Μη Μαγν. | 87,71 | 12,66 | 45,27 | 6,8 | 7,38 | 80,72 | 94,72 | 93,36 | 89,44 | |
| Σύνολο | 100 | 13,76 | 41,92 | 6,39 | 7,24 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ διαμέτρου 11.8mm | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 27,35 | 23,61 | 23,19 | 3,56 | 6,81 | 49,83 | 12,22 | 14,17 | 24,36 | |
| Μη Μαγν. | 72,65 | 8,95 | 62,72 | 8,12 | 7,96 | 50,17 | 87,78 | 85,83 | 75,64 | |
| Σύνολο | 100 | 12,96 | 51,91 | 6,87 | 7,65 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| ΜΙΚΡΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 8.5mm) | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 30,09 | 22,99 | 23,87 | 3,47 | 6,3 | 52,62 | 13,91 | 17,52 | 26,79 | |
| Μη Μαγν. | 69,91 | 8,91 | 63,6 | 7,03 | 7,41 | 47,38 | 86,09 | 82,48 | 73,21 | |
| Σύνολο | 100 | 13,15 | 51,65 | 5,96 | 7,08 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| 7 Amperes | | | | | | | | | | |
| Αναλύσεις | | | | | Κατανομή | | | | | |
| ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 22mm) | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 13,98 | 24,51 | 20,58 | 2,66 | 5,79 | 26,30 | 5,44 | 6,00 | 11,23 | |
| Μη Μαγν. | 86,02 | 11,16 | 58,13 | 6,77 | 7,44 | 73,70 | 94,56 | 94,00 | 88,77 | |
| Σύνολο | 100 | 13,03 | 52,88 | 6,20 | 7,21 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ διαμέτρου 11.8mm | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 32 | 20,08 | 31,2 | 4,34 | 5,04 | 49,74 | 20,32 | 22,24 | 24,10 | |
| Μη Μαγν. | 68 | 9,55 | 57,59 | 7,14 | 7,47 | 50,26 | 79,68 | 77,76 | 75,90 | |
| Σύνολο | 100 | 12,92 | 49,15 | 6,24 | 6,69 | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | | | | | | | | | | |
| ΜΙΚΡΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 8.5mm) | B(%) | ZnS % | FeS2% | PbS% | FeAsS% | ZnS | FeS2 | PbS | FeAsS | |
| Μαγν. | 35,48 | 21,72 | 29,34 | 3,99 | 5,54 | 61,97 | 19,84 | 23,66 | 27,75 | |
| Μη Μαγν. | 64,52 | 7,33 | 65,18 | 7,08 | 7,93 | 38,03 | 80,16 | 76,34 | 72,25 | |
| Σύνολο | 100 | 12,44 | 52,47 | 5,98 | 7,08 | 100 | 100 | 100 | 100 | |

Απο τους παραπάνω πίνακες συμπεραίνουμε ότι ο καλύτερος διαχωρισμός σφαλερίτη (ZnS) γίνεται με μικρές σφαίρες. Παρατηρώντας την κατανομή στις δεδομένες συνθήκες απο τους πίνακες, βλέπουμε 61.97 % σφαλερίτη (ZnS) να πηγαίνει στα μαγνητικά ενώ το 38,03 % αυτού στα μη μαγνητικά, όντως υπάρχει κάποιος διαχωρισμός στους κόκκους σφαλερίτη (ZnS) απο σιδηροπυρίτη(FeS₂), αρσеноπυρίτη(FeAsS) και γαληνήτη (PbS) . Επίσης βλέπουμε 80,16% του σιδηροπυρίτη (FeS₂) να πηγαίνει στα μη μαγνητικά και 19.84% αυτού στα μαγνητικά, 76.34 % του γαληνήτη (PbS) πηγαίνει στα μη μαγνητικά και 23.66 % αυτού στα μαγνητικά και 72.25% του αρσеноπυρίτη (FeAsS) να πηγαίνει στα μη μαγνητικά και το 27.75 % αυτού στα μαγνητικά . **Επομένως δύναται στα μαγνητικά να συγκεντρώνεται ο σφαλερίτης (ZnS), ενώ στα μη μαγνητικά οι υπόλοιπες ενώσεις. Όμως τα ποσοστά κατανομής τουλάχιστον για το σφαλερίτη δεν είναι αρκετά ικανοποιητικά . Θα προσπαθήσουμε στη συνέχεια μέσα από μια σειρά δοκιμές να πετύχουμε τη βελτίωση τους .**

Παρακάτω κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζεται το αποτέλεσμα διαχωρισμού του μαγνητικού διαχωριστή, ανάλογα με τη χρήση συγκεκριμένου μεγέθους σφαιρών στο κάνιστρο όπου θα τοποθετηθεί το υλικό . Βασιστήκαμε στα 9 πειράματα τα οποία περιγράφηκαν παραπάνω, στις 3 διαφορετικές εντάσεις ηλεκτρικού πεδίου (2.5 amperes, 5 amperes, 7 amperes) όπου ρυθμίστηκαν . Ανάλογα με το ποσοστό του μαγνητικού κλασματος που συγκρατείται κάθε φορά συμπεραίνουμε ότι στις μικρές σφαίρες έχουμε μεγαλύτερη συγκράτηση βάρους του υλικού, ακολουθούν οι μεσαίες και αρκετά μειωμένος είναι ο βαθμός διαχωρισμού στις μεγάλες σφαίρες . Τα δεδομένα βάση των οποίων προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα, βρίσκονται συγκεντρωμένα σε πίνακες κάτω ακριβώς απο το διάγραμμα .



(Εικόνα 35) Επίδραση μεγέθους σφαιρών (α φάση)

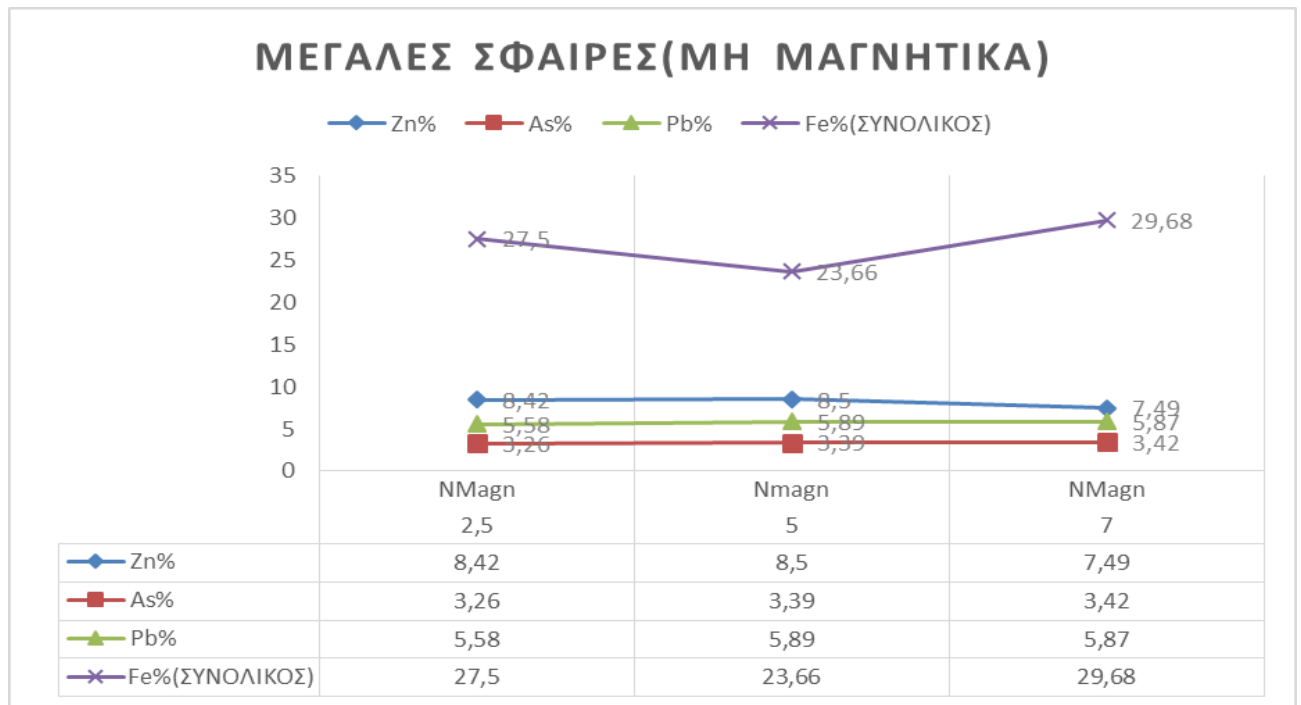
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ (Α ΦΑΣΗ)

| | ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 22 mm) | ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 22 mm) | ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 11.8 mm) | ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 11.8 mm) | ΜΙΚΡΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ (διαμέτρου 8.5 mm) | ΜΙΚΡΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ(διαμέτρου 8.5 mm) |
|---------|--|--|--|--|--|--|
| AMPERES | ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ(gr) | ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ(gr) | ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ(gr) | ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ(gr) | ΜΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ(gr) | ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ(gr) |
| 2,5 | 41,6 | 3,9 | 38,6 | 7,8 | 35,3 | 10,2 |
| 5 | 41,4 | 5,8 | 34 | 12,8 | 31,6 | 13,6 |
| 7 | 40 | 5 | 34 | 16 | 29,1 | 16 |

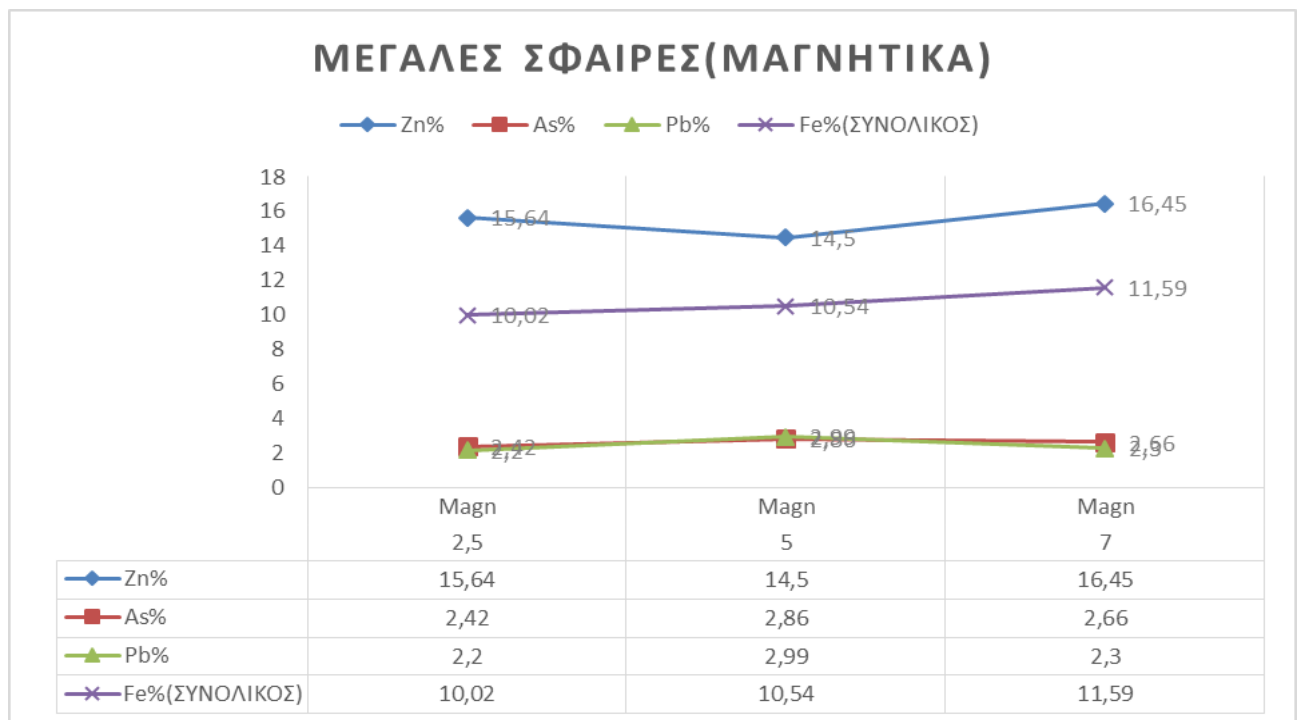
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 : ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ (Α ΦΑΣΗ)

| | | 2,5 amperes | 5 amperes | 7 amperes |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|
| | | % Βάρος Μαγνητικού | | |
| ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ | (διαμετρου 22 mm) | 8,57 | 12,29 | 14,1 |
| ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ | (διαμετρου 11.8mm) | 16,81 | 27,35 | 32 |
| ΜΙΚΡΕΣ ΣΦΑΙΡΕΣ | (διαμετρου 8.5mm) | 22,4 | 30,9 | 35,48 |

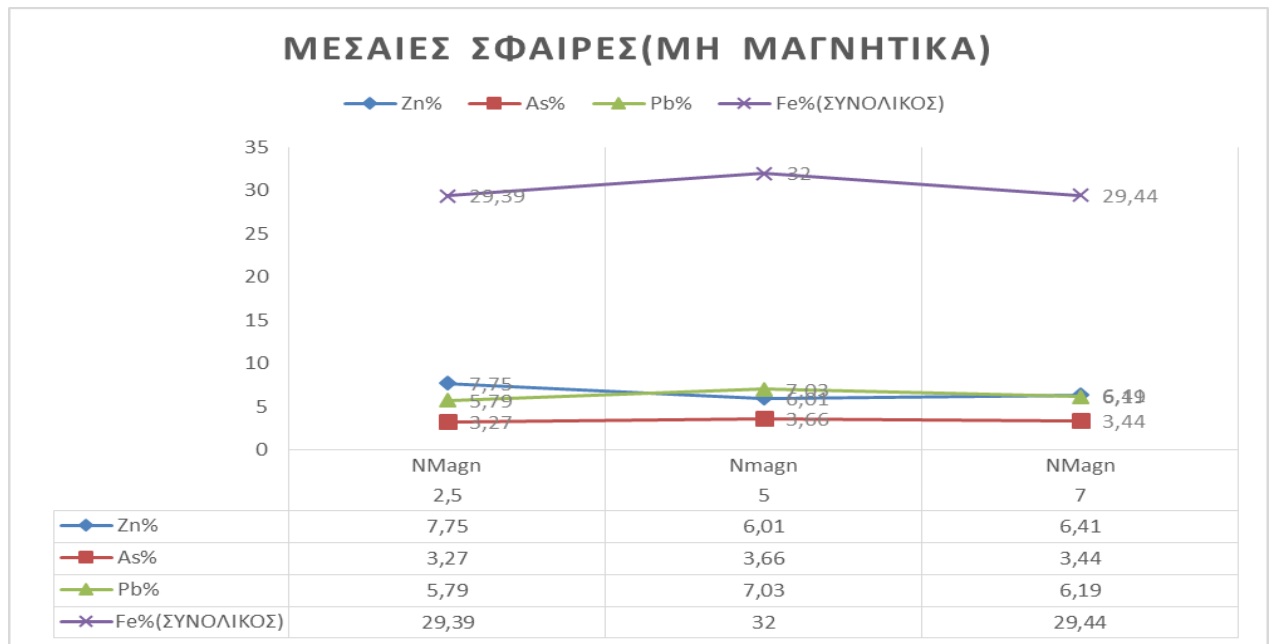
Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά σε διαγράμματα οι συγκεντρώσεις στα διάφορα στοιχεία, από τις χημικές αναλύσεις για μαγνητικά και μη μαγνητικά, στα διάφορα μεγέθοι σφαιρών . Κάτω από κάθε πίνακα ακολουθούν και τα δεδομένα που του αντιστοιχούν . Τα στοιχεία που γενικά έχουν τάση να μαζεύονται στα μη μαγνητικά είναι Pb, Fe, As ενώ Zn πηγαίνει στα μαγνητικά . Αντίστοιχα προκύπτουν συμπεράσματα για τα ορυκτά γαληνίτη (PbS), αρσеноπυρίτη (FeAsS), σιδηροπυρίτη (FeS) και σφαλερίτη (ZnS) . Συγκεκριμένα στα διαγράμματα, τα οποία απεικονίζονται στις εικόνες 36 και 37 παίρνουμε πληροφορίες για τα πειράματα που έγιναν με μεγάλες σφαίρες, στις τρεις εντάσεις ρεύματος, για τις τιμές χημικών αναλύσεων (% κάθε δείγματος) και για τα τέσσερα στοιχεία . Αντίστοιχα στις εικόνες 38 και 39 για τις μεσαίες σφαίρες και στις εικόνες 40 και 41 για τις μικρές σφαίρες .



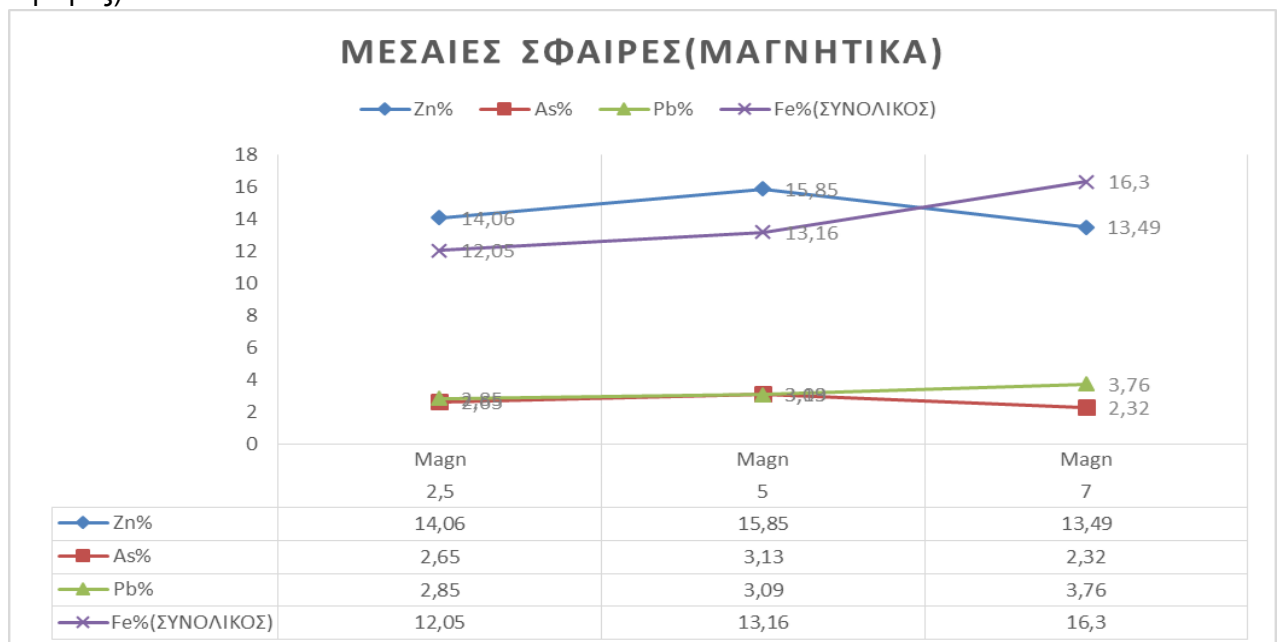
(Εικόνα 36) Αναλύσεις τεσσάρων στοιχείων (Zn, As, Pb, Fe), μη μαγνητικά, μεγάλες σφαίρες



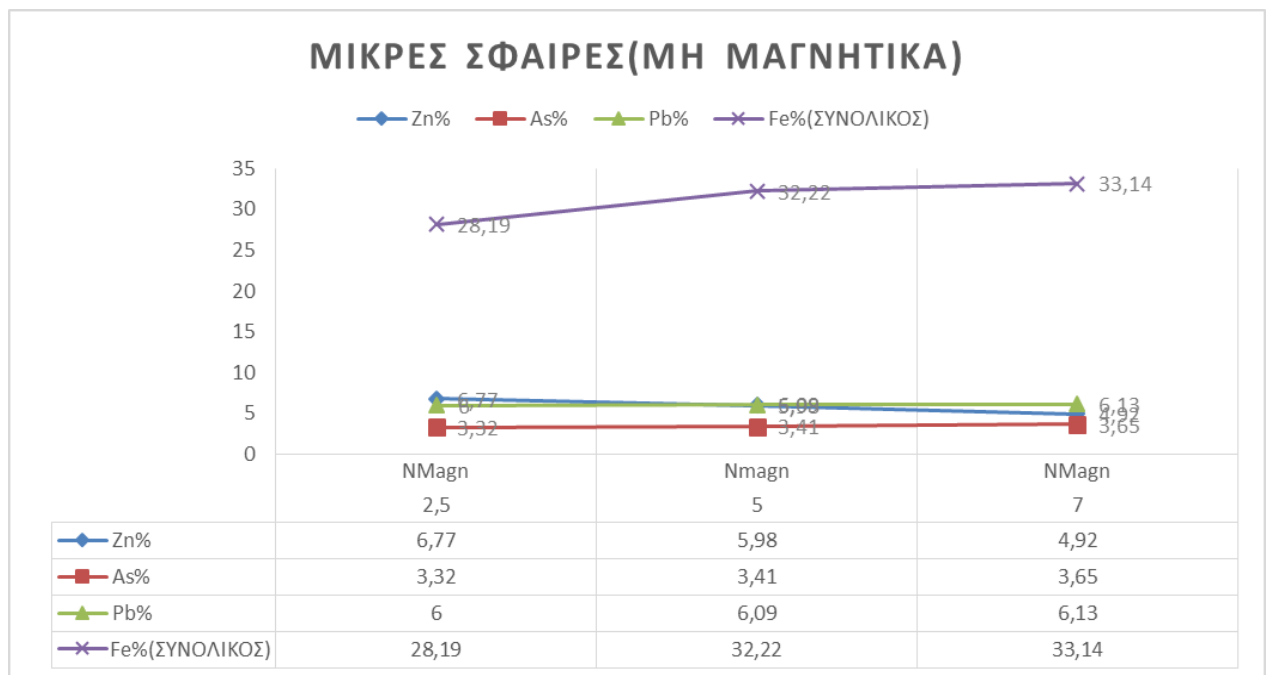
(Εικόνα 37) Αναλύσεις τεσσάρων στοιχείων (Zn, As, Pb, Fe), μαγνητικά, μεγάλες σφαίρες



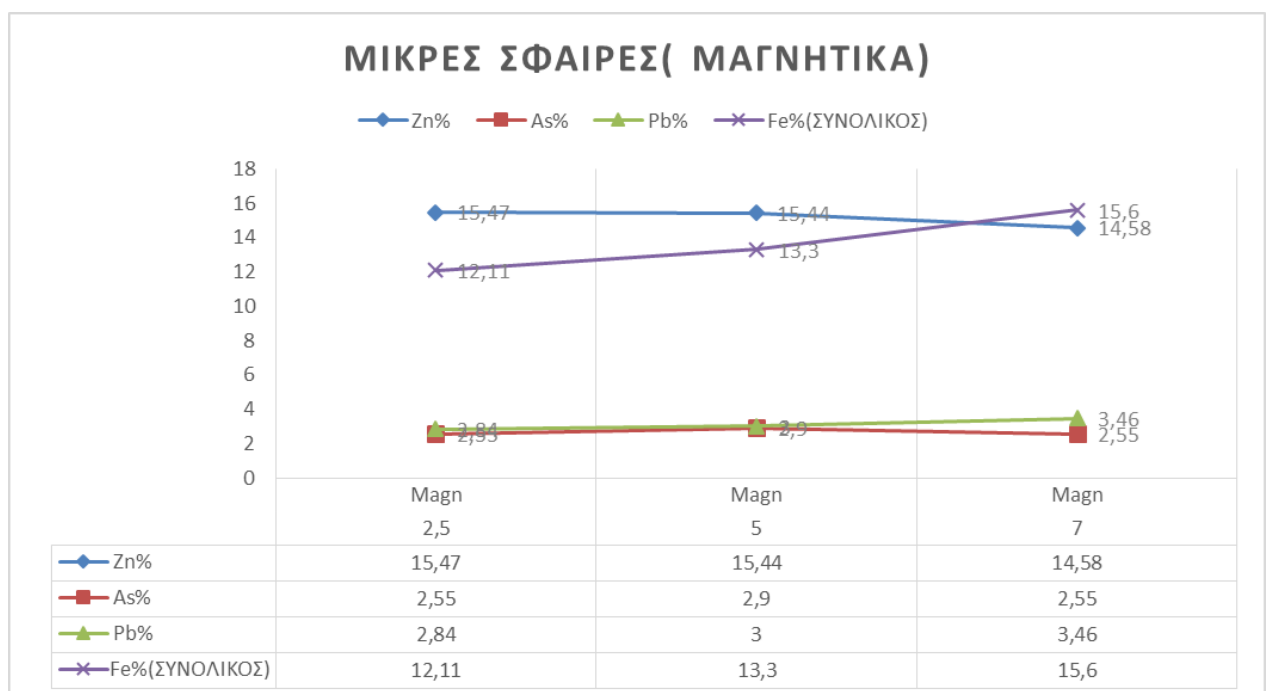
(Εικόνα 38) Αναλύσεις τεσσάρων στοιχείων (Zn, As, Pb, Fe), μη μαγνητικά, μεσαίες σφαίρες) .



(Εικόνα 39) Αναλύσεις τεσσάρων στοιχείων (Zn, As, Pb, Fe), μαγνητικά, μεσαίες σφαίρες



(Εικόνα 40)Αναλύσεις τεσσάρων στοιχείων(Zn,As,Pb,Fe) , μη μαγνητικά, μικρές σφαίρες



(Εικόνα 41)Αναλύσεις τεσσάρων στοιχείων(Zn,As,Pb,Fe), μαγνητικά, μικρές σφαίρες

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν αρχικά, παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα για την **κατανομή των στοιχείων** είναι :

i) Παρατηρούμε **για το στοιχείο Fe** ότι έχει τη τάση να πλεονάζει στα μη μαγνητικά κλάσματα . Αυτό αρχικά προκαλεί εντύπωση καθώς συνηθίζεται να συσχετίζεται η παρουσία Fe με υλικό μαγνητικό . Όμως οι πυρίτες (αρσеноπυρίτης-σιδηροπυρίτης) που επίσης περιέχουν Fe (και μάλιστα τον περισσότερο) είναι υλικά ελαφρώς μαγνητικά-παραμαγνητικά (πηγαίνουν μαγνητικά-μη μαγνητικά ανάλογα τη περιεκτικότητα τους σε Fe) . Επομένως ο Fe που πηγαίνει στα μαγνητικά ανήκει κυρίως στον σφαλερίτη (ανήκει σε ποιότητα που περιέχει αρκετό Fe) . Ο σφαλερίτης είναι διαμαγνητικό υλικό, όμως στη προκειμένη λόγω του Fe που περιέχει υπάρχει διαφοροποίηση . Τέλος ο Fe, ο οποίος περιέχεται στο σιδηροπυρίτη, είναι πολύ περισσότερος από ότι στον αρσеноπυρίτη . Άρα ο Fe στα μη μαγνητικά ανήκει κυρίως στον σιδηροπυρίτη, ενώ για τον αρσеноπυρίτη αποτελεί ένδειξη το αρσενικό (As).

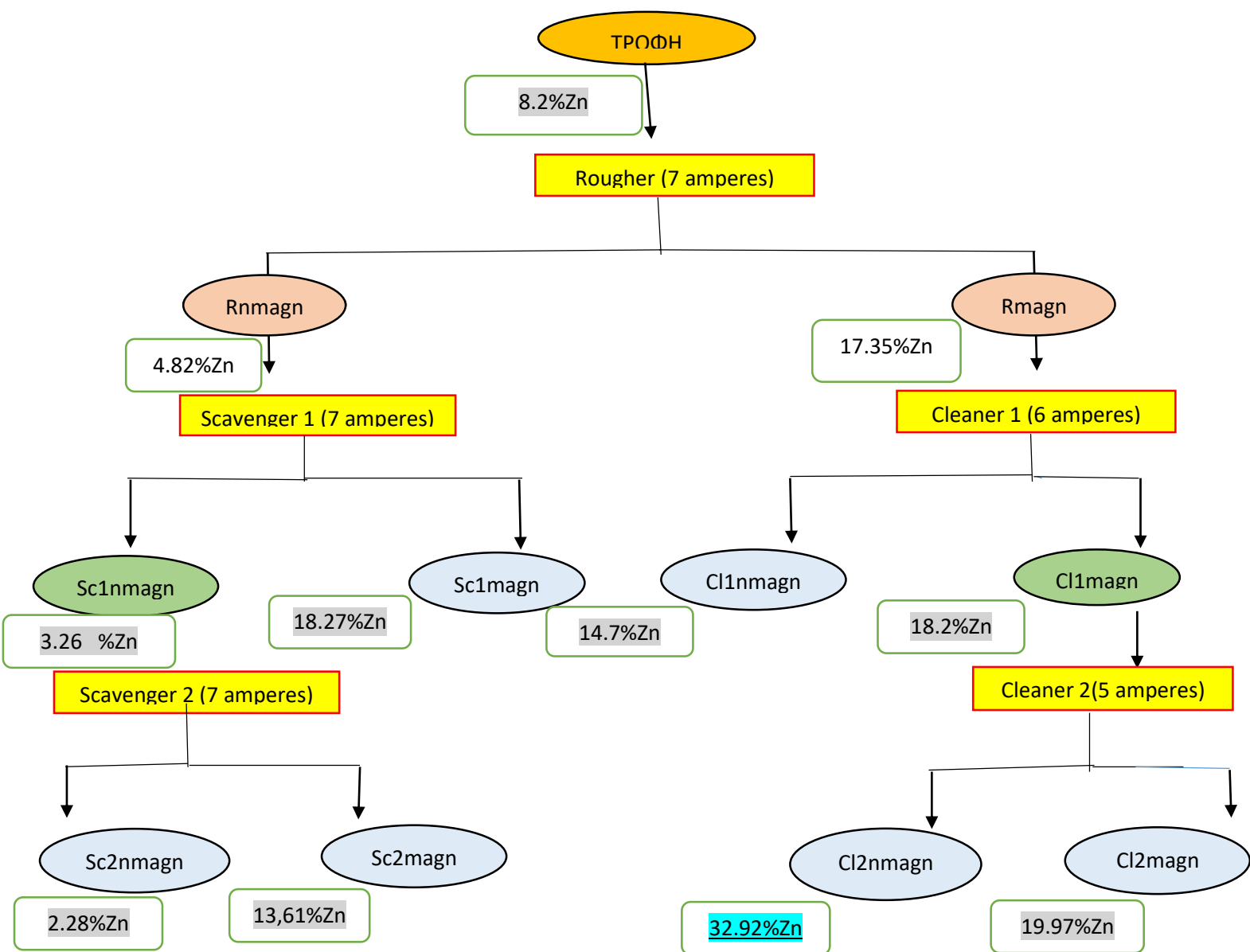
ii) Παρατηρούμε **για το στοιχείο Zn** ότι πλεονάζει στα μαγνητικά κλάσματα έναντι των μη μαγνητικών . Αυτό είναι θετικό, καθώς αποτελεί ένδειξη για τη παρουσία σφαλερίτη . Επομένως υπάρχει σίγουρα κάποια αποδέσμευση των κόκκων σφαλερίτη .

iii) Παρατηρούμε **για το στοιχείο Pb**, το οποίο αποτελεί ένδειξη του γαληνίτη ότι πλεονάζει στα μη μαγνητικά (ο γαληνίτης ανήκει στα διαμαγνητικά υλικά)

Συμπερασματικά προκύπτει ότι ο σκοπός όλων των παραπάνω είναι η ταυτοποίηση συνθηκών λειτουργίας και αποτελεσμάτων λειτουργίας του μαγνητικού διαχωριστή, αλλά και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών για τα παρακάτω πειράματα . Για όλα τα πειράματα επιλέχθηκαν οι σφαίρες με τη μικρότερη διάμετρο (8.8mm) .

B.2.β) Αρχική εκτίμηση βέλτιστων συνθηκών (β φάση)

Μέσα από τα πειράματα της πρώτης φάσης επιλέχθηκαν μικρές σφαίρες για το κάνιστρο του μαγνητικού διαχωριστή (είχαμε τα καλύτερα αποτελέσματα) και προτάθηκε συγκεκριμένο σχέδιο για την σειρά πειραμάτων, όπως παρουσιάζεται παρακάτω . Επίσης στο σχήμα που ακολουθεί έχουν συμπληρωθεί τα αποτελέσματα σε συμπυκνώματα και απορρίματα από χημικές αναλύσεις Zn % . Η κοκκομετρία που επιλέχτηκε ήταν 140 μm (20 λεπτά λειοτρίβηση) . Στο συμπύκνωμα και στο απόρριμα των rougher δεν έγιναν μετρήσεις, μόνο υπολογισμοί .



(εικόνα 42) Διάγραμμα ροής β φάσης, κατά το μαγνητικό διαχωρισμό

Αναλυτικότερα, για την επίτευξη των παραπάνω πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε 250 gr απο το δείγμα, χωρισμένο ανά 50 gr . Ρυθμίστηκε ο μαγνήτης στα 7 amperes (8420 gauss, 0.84 Tesla) και τέθηκε σε λειτουργία 5 φορές . Αρχικά απομακρύνθηκε το μη μαγνητικό κλάσμα και στη συνέχεια αφού μηδενίστηκε η ένταση του μαγνητικού πεδίου και το μαγνητικό . Στην συνέχεια αφού αναμίξαμε τα μαγνητικά μεταξύ τους και τα μη μαγνητικά κλάσματα αντίστοιχα, ακολουθήσαμε την παραπάνω ροή του σχεδιαγράματος . Το μη μαγνητικό κλάσμα το περάσαμε απο δυο διαχωρισμούς στην μέγιστη ένταση ηλεκτρικού-μαγνητικού πεδίου (7 amperes - 8420 gauss) για την ανάκτηση όσο γίνεται μεγαλύτερης ποσότητας σφαλερίτη . Ενώ το μαγνητικό το περάσαμε επίσης απο δυο διαχωρισμούς, τον πρώτο στα 6 amperes (8018 gauss, 0.81 Tesla) και τον δευτερο στα 5 amperes (7718 gauss, 0.77 Tesla) . Τελικά θα προκύψουν 3 συμπυκνώματα (μαγνητικά) και 3 απορρίματα (μη μαγνητικά) .

Στα πλαίσια της εργασίας θεωρούμε ένα τελικό συμπύκνωμα (το μαγνητικό ,το οποίο προκύπτει απο τα cleaner2) και ένα τελικό απόρριμα (το μη μαγνητικό ,το οποίο προκύπτει απο τα scavenger 2) .Στη πράξη, υπο φυσιολογικές συνθήκες θα υπήρχε κανονικά ανακύκλωση των συμπυκνωμάτων των scavengers και των απορριμάτων των cleaners .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Β ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ)

Παρακάτω σε πίνακες (πρώτη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της δεύτερης φάσης . Οι υπολογισμοί έχουν γίνει συγκεντρωτικά, με βάση τον κάθε διαχωρισμό την κάθε φορά και όχι επι του αρχικού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ Β ΦΑΣΗΣ

| ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% |
|------------------|----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------------|
| Rougher | RMagn | 28,1 | 17,69 | 25,83 | 2,02 | 4,02 |
| | RNMagn | 71,9 | 64,21 | 7,18 | 7,04 | 7,87 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 51,14 | 12,42 | 5,63 | 6,79 |
| | Μετρ Σύνολο | | 46,78 | 12,27 | 5,72 | 6,42 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 75,6 | 9,59 | 27,1 | 1,19 | 3,05 |
| | CL1 NMagn | 24,4 | 42,78 | 21,89 | 4,60 | 7,01 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 17,69 | 25,83 | 2,02 | 4,02 |
| | Μετρ Συν.CL1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| Scavanger | SC1 Magn | 10,4 | 29,3 | 27,21 | 4,41 | 5,54 |
| | SC1 NMagn | 89,6 | 68,26 | 4,86 | 7,35 | 8,14 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 64,21 | 7,18 | 7,04 | 7,87 |
| | Μετρ Συν.SC1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 78,22 | 8,68 | 29,73 | 1,02 | 2,82 |
| | CL2 NMagn | 21,77 | 29,98 | 31,53 | 2,95 | 5,64 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 99,99 | 13,32 | 30,12 | 1,44 | 3,43 |
| | Μετρ Συν.CL2 | | 9,59 | 27,1 | 1,19 | 3,05 |
| Scavanger | SC2 Magn | 8,19 | 33,69 | 20,27 | 5,33 | 7 |
| | SC2 NMagn | 91,8 | 66,78 | 3,4 | 7,91 | 10,09 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 99,99 | 64,06 | 4,78 | 7,70 | 9,84 |
| | Μετρ Συν.SC2 | | 68,26 | 4,86 | 7,35 | 8,14 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 14 :ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ Β ΦΑΣΗΣ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ

| | | B (%) | FeS ₂ | ZnS | PbS | FeAsS |
|-----------|---------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| Rougher | RMagn | 28,1 | 9,72 | 58,42 | 10,09 | 16,63 |
| | RNMagn | 71,9 | 90,28 | 41,58 | 89,91 | 83,37 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 75,6 | 40,99 | 79,32 | 44,49 | 57,41 |
| | CL1 NMagn | 24,4 | 59,01 | 20,68 | 55,51 | 42,59 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | sC1 Magn | 10,4 | 4,75 | 39,39 | 6,51 | 7,32 |
| | sC1 NMagn | 89,6 | 95,25 | 60,61 | 93,49 | 92,68 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 78,22 | 50,99 | 77,21 | 55,40 | 64,24 |
| | CL2 NMagn | 21,77 | 49,01 | 22,79 | 44,60 | 35,76 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 99,99 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC2 Magn | 8,19 | 4,31 | 34,72 | 5,67 | 5,83 |
| | SC2 NMagn | 91,8 | 95,69 | 65,28 | 94,33 | 94,17 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 99,99 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Το συμπέρασμα που απορρέει (παρατηρώντας τις κατανομές των ενώσεων) απο τα παραπάνω αποτελέσματα, σε ότι αφορά την ανάκτηση σφαλερίτη δεν είναι και τόσο ικανοποιητικό, καθώς μετά το δευτερο διαχωρισμό του μαγνητικού που προέκυψε απο τα rougher, μόνο το 77,21 % πάει στα μαγνητικά ενώ το 22,79% στα μη μαγνητικά . Επίσης το ίδιο παρατηρούμε να συμβαίνει και μετά το πρώτο διαχωρισμό του μαγνητικού κλάσματος που προέκυψε απο τα rougher . Στα μαγνητικά πηγαίνει το 79,32 % του σφαλερίτη ενώ στα μη μαγνητικά το 20,68 % . Αντιθέτως ο διαχωρισμός στα υπόλοιπα στοιχεία, γαληνίτης, σιδηροπυρίτης, αρσеноπυρίτης φαίνεται να είναι ικανοποιητικότερος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Β ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ)

Παρακάτω σε πίνακες (δεύτερη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της δεύτερης φάσης.Οι υπολογισμοί έχουν γίνει συγκεντρωτικά επι του αρχικού, με βάση συνολικά τα αποτελέσματα σε κάθε μια απο τις τρεις φάσεις της νοητής πυραμίδας που προκύπτει απο το σχέδιο της σειράς πειραμάτων .

ΠΙΝΑΚΑΣ 15 :ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ Β ΦΑΣΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

B (%) επί αρχικού FeS2% ZnS% PbS% FeAsS%

| | | | | | | |
|-------------|----------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Rougher | RMagn | 28,10 | 17,69 | 25,83 | 2,02 | 4,02 |
| | RNMagn | 71,90 | 64,21 | 7,18 | 7,04 | 7,87 |
| | Υπολ Συνολο | 100 | 51,14 | 12,42 | 5,63 | 6,79 |
| | Μετρ Συνολο | | 46,78 | 12,27 | 5,72 | 6,42 |
| CLEANER 1 | CL 1Magn | 21,24 | 9,59 | 27,1 | 1,19 | 3,05 |
| | CL 1 NMagn | 6,86 | 42,78 | 21,89 | 4,6 | 7,01 |
| | υπολ Συν. CL1 | 28,10 | 17,69 | 25,83 | 2,02 | 4,02 |
| | μετρ Συν. CL1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| SCAVENGER 1 | SC 1 Magn | 7,48 | 29,3 | 27,21 | 4,41 | 5,54 |
| | SC 1 NMagn | 64,42 | 68,26 | 4,86 | 7,35 | 8,14 |
| | υπολ Συν. SC1 | 71,90 | 64,21 | 7,18 | 7,04 | 7,87 |
| | μετρ Συν. SC1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| CLEANER 2 | CL 2 Magn | 16,62 | 8,68 | 29,73 | 1,02 | 2,82 |
| | CL 2 NMagn | 4,62 | 27,98 | 31,53 | 2,95 | 5,64 |
| | υπολ Συν. CL 2 | 21,24 | 12,88 | 30,12 | 1,44 | 3,43 |
| | μετρ Συν. CL 2 | | 9,59 | 27,1 | 1,19 | 3,05 |
| SCAVENGER 2 | CL1 NMagn | 6,86 | 42,78 | 21,89 | 4,60 | 7,01 |
| | SC1Magn | 7,48 | 29,3 | 27,21 | 4,41 | 5,54 |
| | SC2 Magn | 5,28 | 33,69 | 20,27 | 5,33 | 7,00 |
| | SC2 NMagn | 59,14 | 66,78 | 3,40 | 7,91 | 10,09 |
| | υπολ Συν. SC2 | 64,42 | 64,07 | 4,78 | 7,70 | 9,84 |
| | μετρ Συν. sc 2 | | 68,26 | 4,86 | 7,35 | 8,14 |
| | | | | | | |

ΠΙΝΑΚΑΣ 16 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ Β ΦΑΣΗΣ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ

| | | | B (%) επι αρχικού | | | |
|-------------|--------------|--|-------------------|-------|-------|-------|
| | | | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| Rougher | RMagn | | 28,10 | 9,72 | 58,42 | 10,09 |
| | RNMagn | | 71,90 | 90,28 | 41,58 | 89,91 |
| | Υπολ Συνολο | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CLEANER 1 | CL1Magn | | 21,24 | 3,98 | 46,34 | 4,49 |
| | CL1 NMagn | | 6,86 | 5,74 | 12,08 | 5,60 |
| SCAVENGER 1 | SC1Magn | | 7,48 | 4,28 | 16,38 | 5,85 |
| | SC1NMagn | | 64,42 | 86,00 | 25,20 | 84,06 |
| | ΟΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CLENER 2 | CL 2 Magn | | 16,62 | 2,94 | 37,96 | 2,87 |
| | CL 2 NMagn | | 4,62 | 2,63 | 11,20 | 2,31 |
| | CL1NMagn | | 6,86 | 5,97 | 11,53 | 5,34 |
| | SC1 Magn | | 7,48 | 4,46 | 15,63 | 5,58 |
| SCAVENGER 2 | SC2 Magn | | 5,28 | 3,62 | 8,22 | 4,76 |
| | SC2N Magn | | 59,14 | 80,38 | 15,45 | 79,15 |
| | ΟΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | | 99,99 | 100 | 100 | 100 |

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Β ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ(ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ)

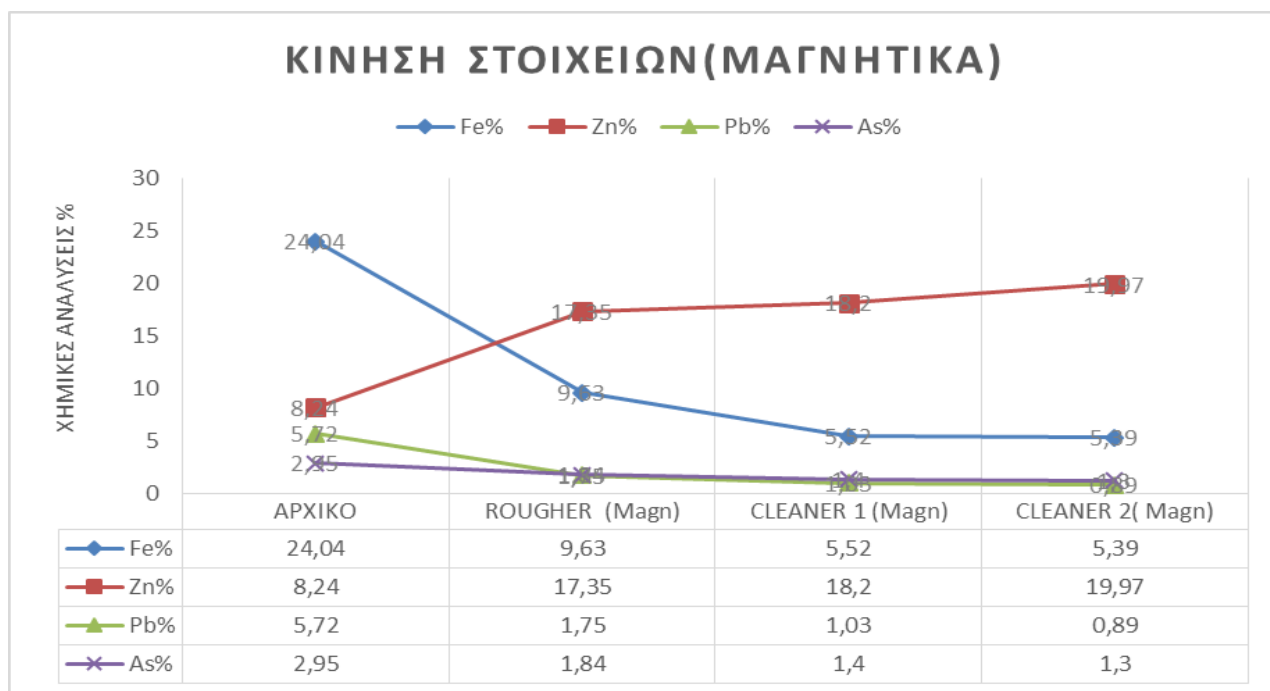
Παρακάτω σε πίνακες (τρίτη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων) ,παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της δεύτερης φάσης, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι επιμέρους διαχωρισμοί .

ΠΙΝΑΚΑΣ 17 :ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ Β ΦΑΣΗ

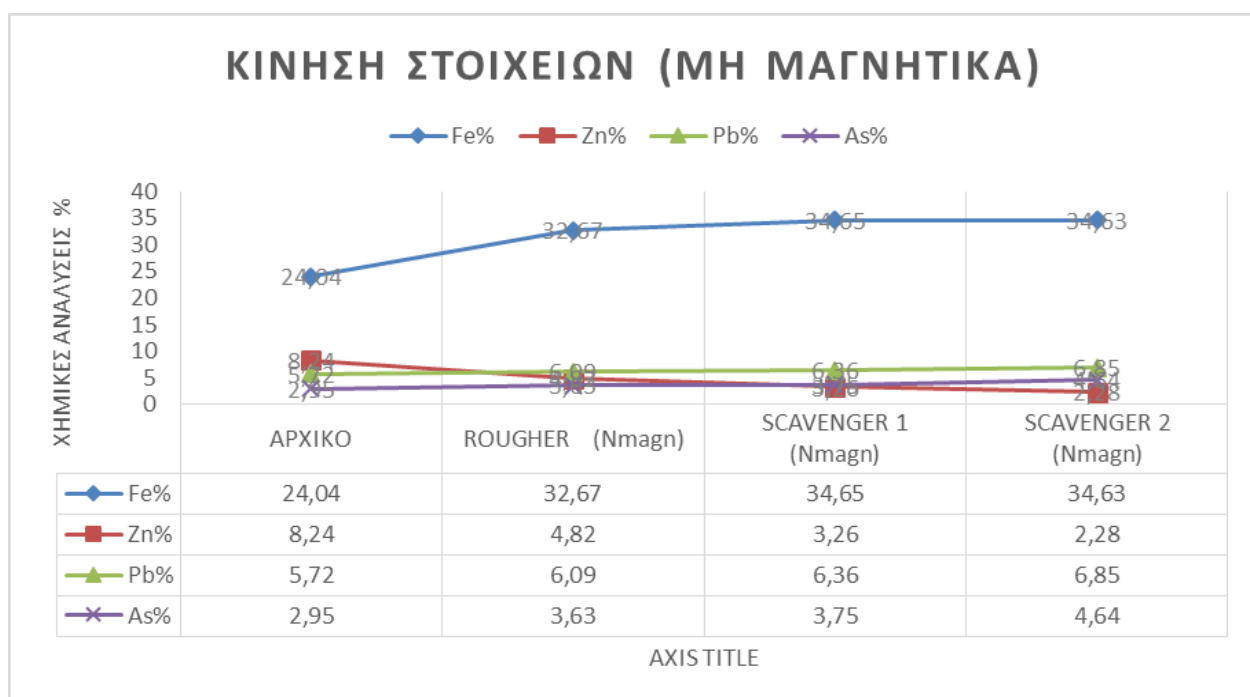
| | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------|----------|------------------|----------|----------|----------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Rougher | Τροφή: | Αρχικό | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | RMagn | 28,14 | 17,68 | 25,83 | 2,02 | 4,01 | 9,73 | 58,45 | 10,10 | 16,63 |
| | RNMagn | 71,86 | 64,2 | 7,19 | 7,04 | 7,87 | 90,27 | 41,55 | 89,90 | 83,37 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 51,11 | 12,43 | 5,63 | 6,78 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | 46,78 | 12,27 | 5,72 | 6,42 | | | | |
| Cleaner 1 | Τροφή: | RMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | CL1Magn | 75,63 | 9,59 | 27,1 | 1,19 | 3,05 | 41,03 | 79,35 | 44,54 | 57,46 |
| | CL1NMagn | 24,37 | 42,78 | 21,89 | 4,6 | 7,01 | 58,97 | 20,65 | 55,46 | 42,54 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 17,68 | 25,83 | 2,02 | 4,01 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | | | | |
| Scavanger 1 | Τροφή: | RNMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | SC1Magn | 10,42 | 29,3 | 27,21 | 4,41 | 5,54 | 4,76 | 39,44 | 6,52 | 7,34 |
| | SC1NMagn | 89,58 | 68,26 | 4,86 | 7,35 | 8,14 | 95,24 | 60,56 | 93,48 | 92,66 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 64,20 | 7,19 | 7,04 | 7,87 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | | | | |
| Cleaner 2 | Τροφή: | CL1Magn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | CL2Magn | 78,23 | 8,68 | 31,53 | 1,02 | 2,82 | 52,71 | 79,21 | 55,41 | 64,24 |
| | CL2NMagn | 21,77 | 27,98 | 29,73 | 2,95 | 5,64 | 47,29 | 20,79 | 44,59 | 35,76 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 12,88 | 31,14 | 1,44 | 3,43 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | 9,59 | 27,1 | 1,19 | 3,05 | | | | |
| Scavanger 2 | Τροφή: | SC1NMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | SC2Magn | 8,20 | 33,69 | 20,27 | 5,33 | 7 | 4,31 | 34,73 | 5,67 | 5,83 |
| | SC2NMagn | 91,80 | 66,78 | 3,4 | 7,91 | 10,09 | 95,69 | 65,27 | 94,33 | 94,17 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 64,07 | 4,78 | 7,70 | 9,84 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | 68,26 | 4,86 | 7,35 | 8,14 | | | | |

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΔΕΥΤΕΡΗ ΦΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

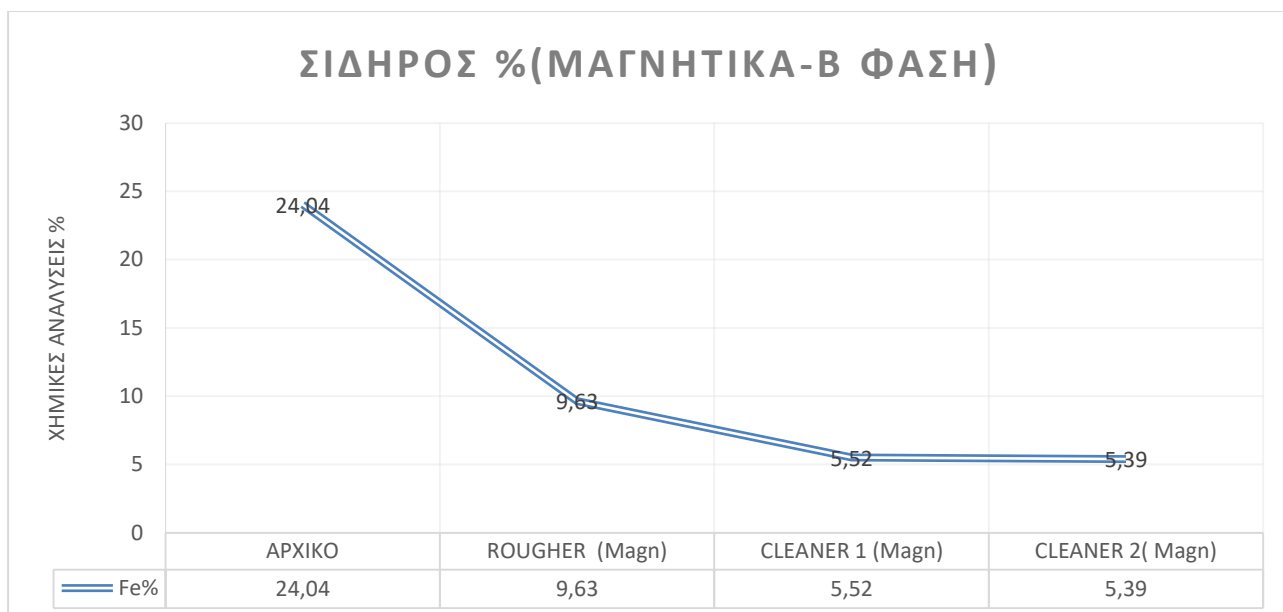
Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα με βάση τις χημικές αναλύσεις στοιχείων από όπου προέκυψαν και τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων . Βλέπουμε πως κινούνται τα στοιχεία στα μαγνητικά και μη μαγνητικά κλάσματα . Αρχικά γίνεται αναφορά σε συνολικά όλα τα στοιχεία και στη συνέχεια υπάρχουν πίνακες για κάθε στοιχείο ξεχωριστά .



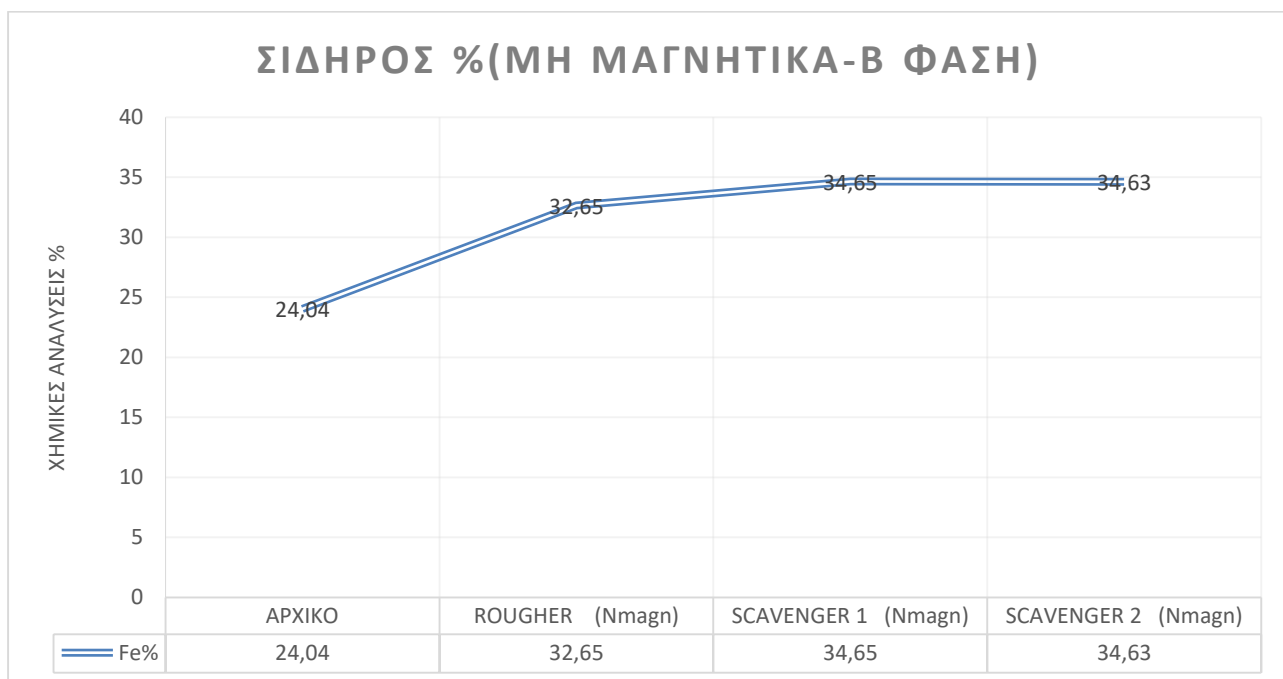
(Εικόνα 43) Κίνηση σιδήρου, ψευδαργύρου, μολύβδου, αρσενικού (Fe, Zn, Pb, As) στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα ,β φάσης.



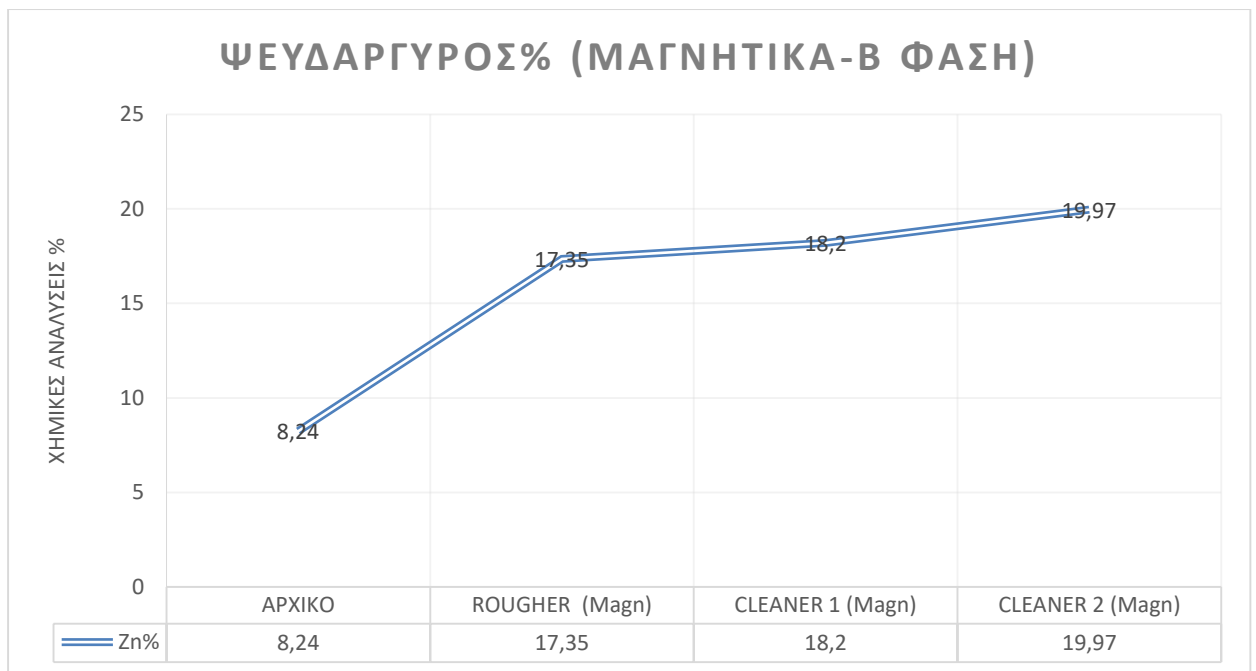
(Εικόνα 44) Κίνηση σιδήρου, ψευδαργύρου, μολύβδου, αρσενικού (Fe, Zn, Pb, As) στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα ,β φάσης.



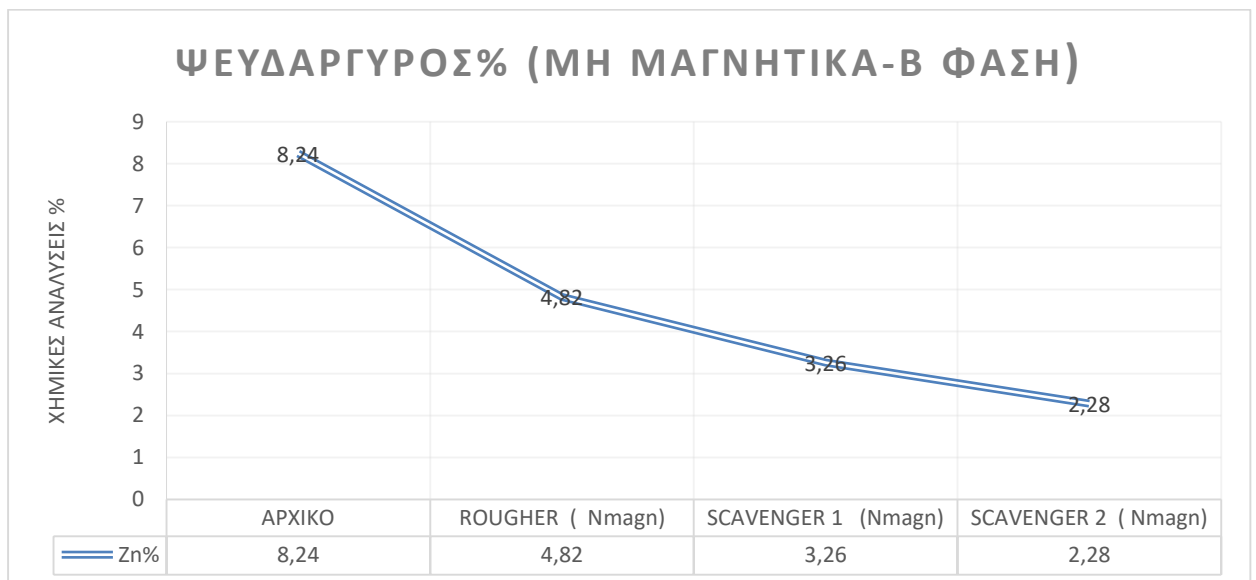
(Εικόνα 45) Κίνηση σιδήρου(Fe)στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα.



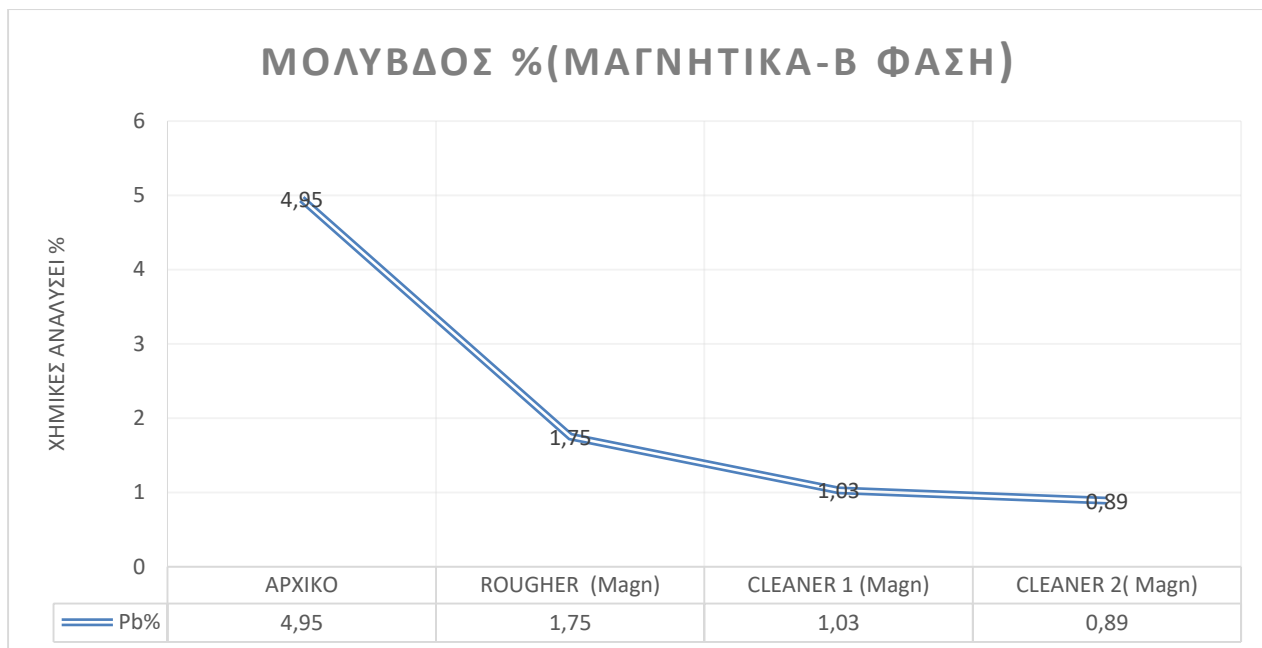
(Εικόνα 46) Κίνηση σιδήρου (Fe) στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα.



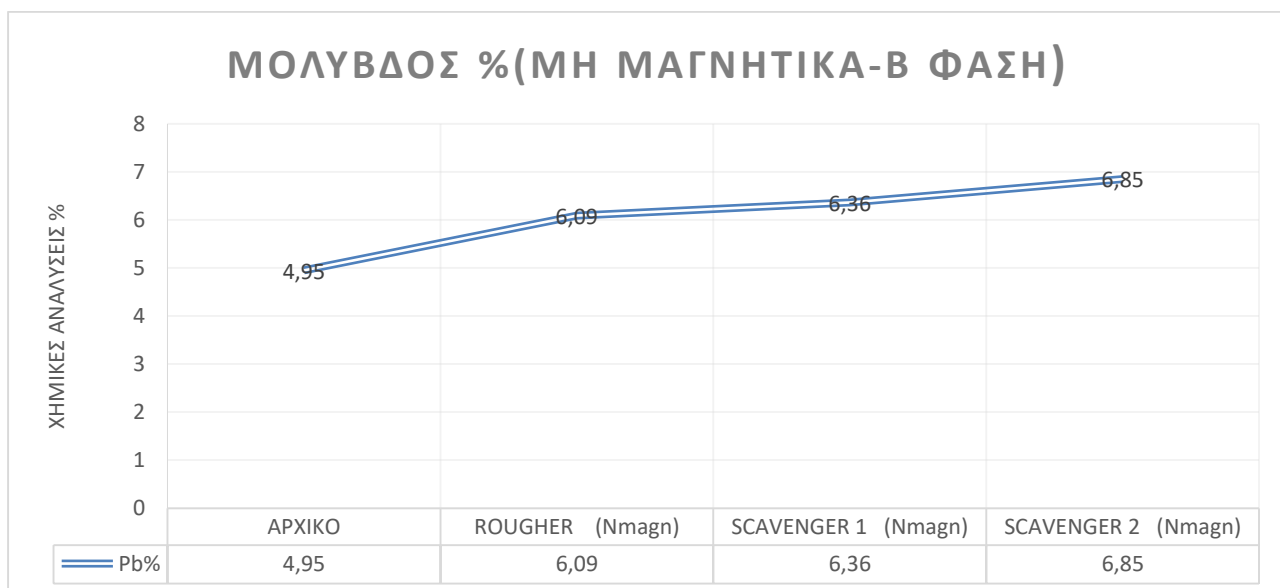
(Εικόνα 47) Κίνηση μολύβδου(Zn)στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα.



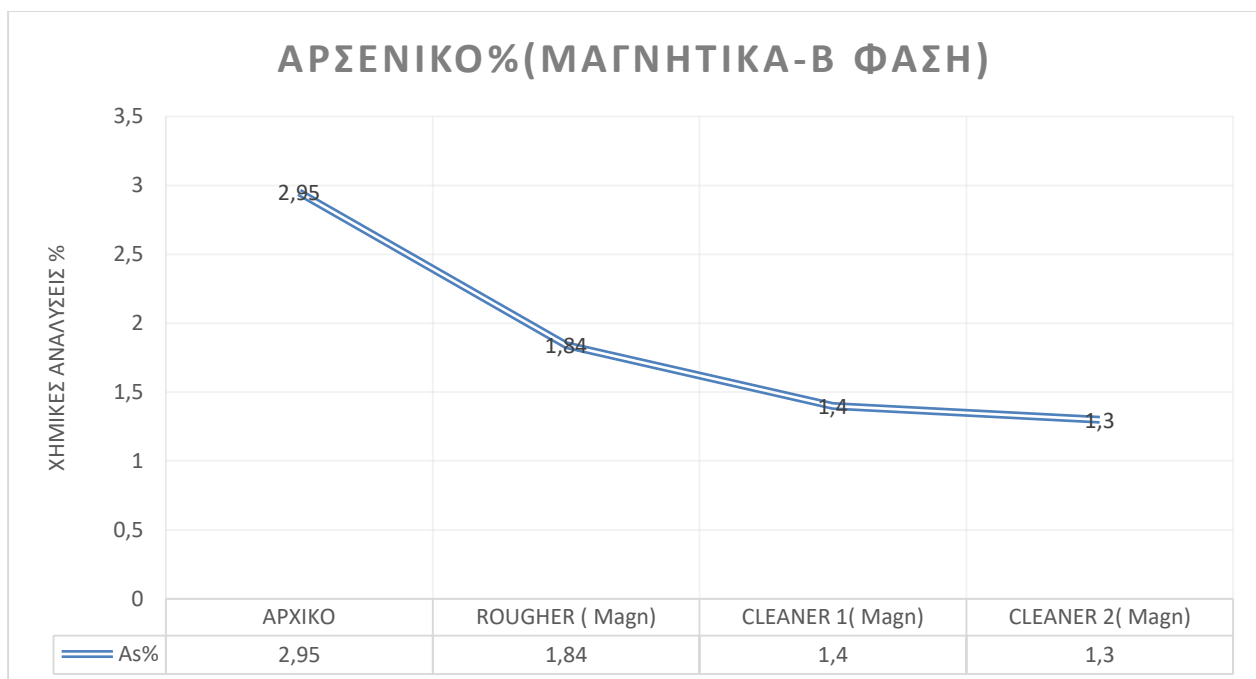
(Εικόνα 48) Κίνηση μολύβδου (Zn) στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα.



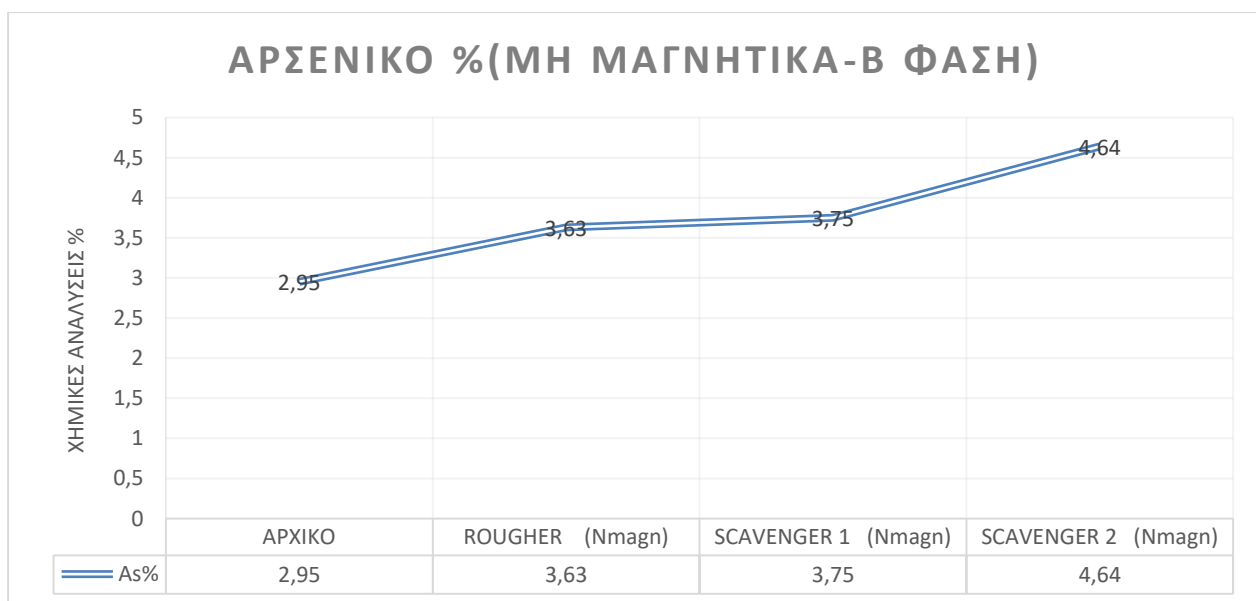
(Εικόνα 49) Κίνηση μολύβδου (Pb) στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα.



(Εικόνα 50) Κίνηση μολύβδου (Pb) στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα.



(Εικόνα 51) Κίνηση αρσενικού (As) στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



(Εικόνα 52) Κίνηση αρσενικού (As) στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα

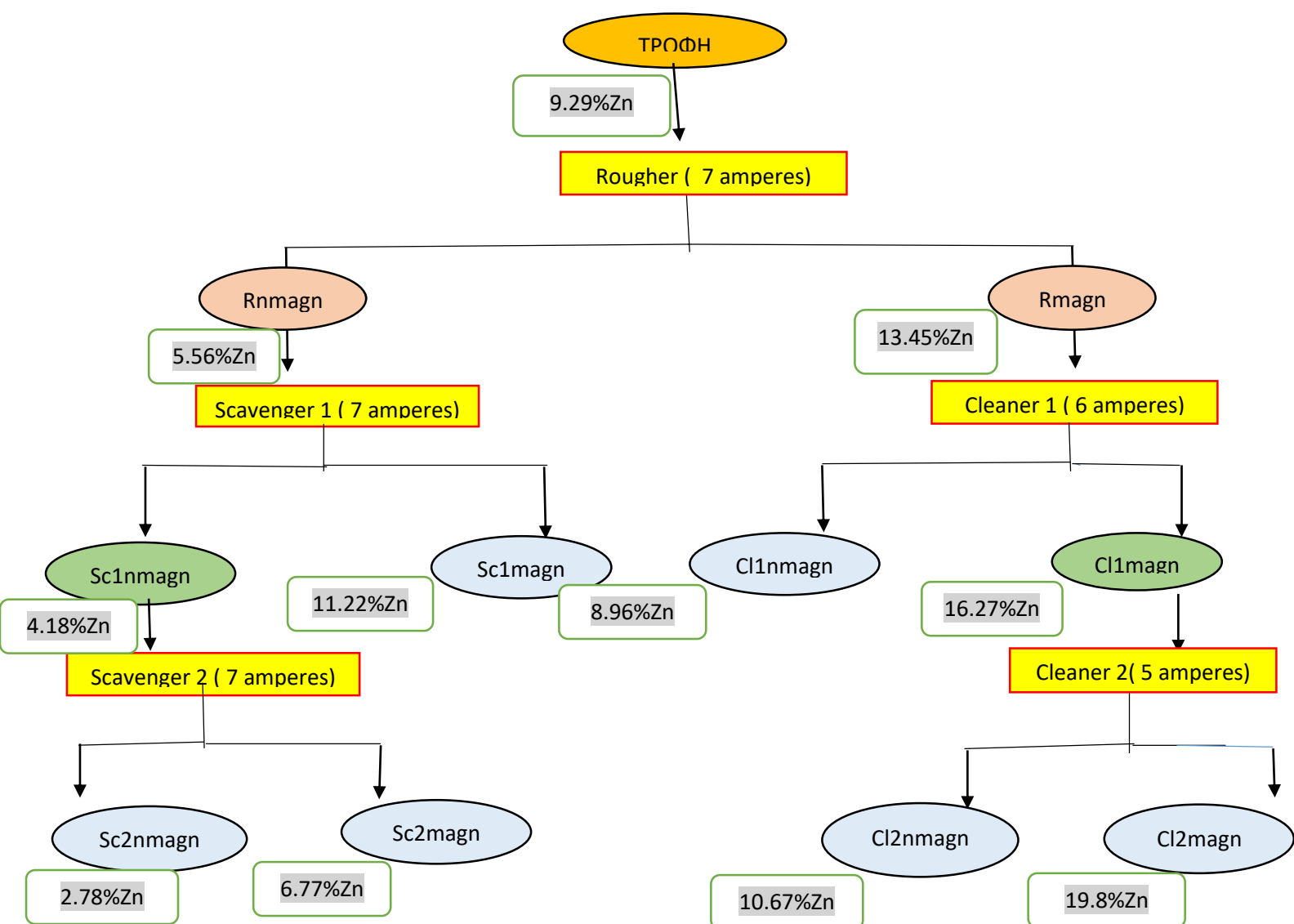
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ (Β ΦΑΣΗ) : Συμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα (τιμές απο χημικές αναλύσεις στα διάφορα δείγματα) για το Zn, προέκυψαν **8.24%**(αρχικό), **17.35%**(rougher magn), **18.2%**(cleaner 1 magn), **19.97%**(cleaner 2 magn) . Επίσης **4.82%**(rougher nmagn), **3.26%** (cleaner 1 nmagn), **2.82%** (cleaner 2 nmagn) . Τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά, δύο παράγοντες οι οποίοι δύναται να επηρεάσουν τα αποτελέσματα είναι η κοκκομετρία και η ένταση του μαγνητικού πεδίου . Στη συνέχεια θα ακολουθήσει σειρά πειραμάτων με ψιλότερη κοκκομετρία.

Β.2.γ) Δοκιμές βελτίωσης αρχικών αποτελεσμάτων μαγνητικού διαχωρισμού (γ και δ φάση)

Για την βελτίωση των αποτελεσμάτων (ανάκτηση σφαλερίτη), τα οποία προέκυψαν στην δεύτερη φάση, εκτελέστηκαν επιπλέον πειράματα . Πειράματα στα οποία υπήρξε διαφοροποίηση στην κοκκομετρία (γ φάση) και πειράματα με διαφοροποίηση στην ένταση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (δ φάσης) . Ακολουθήθηκε ακριβώς το ίδιο σχεδιάγραμμα μαγνητικού διαχωρισμού της β και γ φάσης αλλά με διαφορετική κοκκομετρία, 40 λεπτά λειοτριβημένο υλικό, στα 75 μm διάμετρο κόκκου . Στην δ φάση αλλάξαμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου σε κάποιους διαχωρισμούς, με την ίδια κοκκομετρία *ακριβώς όπως και στη γ φάση* . Τέλος στη φάση γ στο απόρριμα και συμπύκνωμα των rougher, έγιναν κανονικά οι μετρήσεις, ενώ για τη δ φάση στο απόρριμα και συμπύκνωμα των rougher δεν έγιναν μερήσεις, μόνο υπολογισμοί .

Επίδραση Κοκκομετρίας (γ φάση)

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα, το οποίο ακολουθήθηκε κατά την γ φάση πειραμάτων, αναγράφονται τα αποτελέσματα μετά απο αναλύσεις στο ποσοστό % Zn στο αρχικό δείγμα και στα συμπυκνώματα και απορρίματα που θα προκύψουν .



(εικόνα 53) Σχεδιαγραμματική απεικόνιση διαγράμματος ροής γ φάσης

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Γ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ)

_ Παρακάτω σε πίνακες (πρώτη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) από τα πειράματα της Γ φάσης . Οι υπολογισμοί έχουν γίνει συγκεντρωτικά, με βάση τον κάθε διαχωρισμό την κάθε φορά και όχι επί του αρχικού . Ομοίως με β φάση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 18 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ Γ ΦΑΣΗΣ

| ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% |
|------------------|----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|---------------|
| Rougher | RMagn | 42 | 27,41 | 20,04 | 4,71 | 4,38 |
| | RNMagn | 58 | 41,86 | 8,27 | 8,79 | 6,25 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 35,79 | 13,21 | 7,08 | 5,46 |
| | Μετρ Σύνολο | | 36,48 | 13,83 | 6,57 | 5,73 |
| | | | | | | |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 64,8 | 18,5 | 24,23 | 3,23 | 3,05 |
| | CL1 NMagn | 35,2 | 38,57 | 13,35 | 8,3 | 6,21 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 25,56 | 20,40 | 5,01 | 4,16 |
| | Μετρ Συν.CL1 | | 27,41 | 20,04 | 4,71 | 4,38 |
| Scavanger | SC1 Magn | 20,03 | 34,7 | 16,71 | 6,11 | 5,85 |
| | SC1 NMagn | 79,97 | 46,52 | 6,23 | 9,05 | 6,41 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 44,15 | 8,33 | 8,46 | 6,30 |
| | Μετρ Συν.SC1 | | 41,86 | 8,27 | 8,79 | 6,25 |
| | | | | | | |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 82 | 19,07 | 29,49 | 2,99 | 3,91 |
| | CL2 NMagn | 18 | 36,03 | 15,89 | 6,53 | 5,23 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 100 | 22,12 | 27,04 | 3,63 | 4,15 |
| | Μετρ Συν.CL2 | | 18,5 | 24,23 | 3,23 | 3,05 |
| Scavanger | SC2 Magn | 16 | 44,34 | 10,09 | 6,81 | 6,3 |
| | SC2 NMagn | 84 | 52,5 | 4,75 | 9,89 | 3,44 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 100 | 51,19 | 5,60 | 9,40 | 3,90 |
| | Μετρ Συν.SC2 | | 46,52 | 4,86 | 9,05 | 6,41 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 19 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ Γ ΦΑΣΗΣ

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | B (%) | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
|------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Rougher | RMagn | 42 | 32,17 | 63,70 | 27,95 | 33,66 |
| | RNMagn | 58 | 67,83 | 36,30 | 72,05 | 66,34 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 64,8 | 46,89 | 76,96 | 41,74 | 47,48 |
| | CL1 NMagn | 35,2 | 53,11 | 23,04 | 58,26 | 52,52 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC1 Magn | 20,03 | 15,74 | 40,18 | 14,46 | 18,61 |
| | sC1 NMagn | 79,97 | 84,26 | 59,82 | 85,54 | 81,39 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 82 | 70,68 | 89,42 | 67,59 | 77,30 |
| | CL2 NMagn | 18 | 29,32 | 10,58 | 32,41 | 22,70 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC2 Magn | 16 | 13,86 | 28,81 | 11,59 | 25,86 |
| | SC2 NMagn | 84 | 86,14 | 71,19 | 88,41 | 74,14 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Απο τους παραπάνω πίνακες της γ φάσης παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα ανάκτησης σφαλερίτη έχουν βελτιωθεί σε σχέση με τη β φάση, όμως δεν είναι ικανοποιητικά για το σκοπό της παρούσας εργασίας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Γ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ)

Παρακάτω σε πίνακες (δεύτερη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της γ φάσης . Οι υπολογισμοί έχουν γίνει συγκεντρωτικά επι του αρχικού, με βάση συνολικά τα αποτελέσματα σε κάθε ένα απο τα τρία στάδια, της νοητής πυραμίδας που προκύπτει απο το σχέδιο της σειράς πειραμάτων . Ομοίως με β φάση

ΠΙΝΑΚΑΣ 20 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ Γ ΦΑΣΗ (ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ)

| ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | B (%) επί αρχικού FeS2% ZnS% PbS% FeAsS% | | | | |
|--------------------|-----------------------|---|-------|-------|------|------|
| Rougher | RMagn | 42 | 27,41 | 20,04 | 4,71 | 4,38 |
| | RNMagn | 58 | 41,86 | 8,27 | 8,79 | 6,25 |
| | Υπολ Συνολο | 100 | 35,79 | 13,21 | 7,08 | 5,46 |
| | Μετρ Συνολο | | 34,72 | 13,83 | 6,57 | 5,73 |
| CLEANER 1 | CL 1Magn | 14,76 | 18,5 | 24,23 | 3,2 | 3,05 |
| | CL 1 NMagn | 27,16 | 38,57 | 13,35 | 8,3 | 6,21 |
| | υπολ Συν. CL1 | 41,92 | 31,50 | 17,18 | 6,50 | 5,10 |
| | μετρ Συν. CL1 | | 27,41 | 20,04 | 4,71 | 4,38 |
| SCAVENGER 1 | SC 1 Magn | 11,63 | 34,7 | 16,71 | 6,11 | 5,85 |
| | SC 1 NMagn | 46,45 | 46,52 | 6,23 | 9,05 | 6,41 |
| | υπολ Συν. SC1 | 58,08 | 44,15 | 8,33 | 8,46 | 6,30 |
| | μετρ Συν. SC1 | | 41,86 | 8,27 | 8,79 | 6,25 |
| CLEANER 2 | CL 2 Magn | 21,55 | 19,07 | 29,49 | 2,99 | 3,91 |
| | CL 2 NMagn | 4,72 | 36,03 | 15,89 | 6,53 | 5,23 |
| | υπολ Συν. CL 2 | 26,27 | 22,12 | 27,05 | 3,63 | 4,15 |
| | μετρ Συν. CL 2 | | 18,50 | 27,1 | 3,23 | 3,05 |
| SCAVENGER 2 | CL1 NMagn | 15,38 | 38,57 | 13,35 | 8,3 | 6,21 |
| | SC1Magn | 12,13 | 34,7 | 16,71 | 6,11 | 5,85 |
| | SC2 Magn | 7,4 | 44,34 | 10,09 | 6,81 | 6,3 |
| | SC2 NMagn | 38,82 | 52,5 | 4,75 | 9,89 | 3,44 |
| | υπολ Συν. SC2 | 46,22 | 51,19 | 5,60 | 9,40 | 3,90 |
| | μετρ Συν.sc 2 | | 46,52 | 4,86 | 8,3 | 6,41 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 21:ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ Γ ΦΑΣΗΣ(ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ)

ΚΑΤΑΝΟΜΗ

B (%) επί αρχικού FeS₂ ZnS PbS FeAsS

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rougher | RMagn | 42 | 32,17 | 63,70 | 27,95 | 33,66 |
| | RNMagn | 58 | 67,83 | 36,30 | 72,05 | 66,34 |
| | Υπολ Συνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CLEANER 1 | CL1Magn | 14,76 | 7,03 | 29,71 | 6,18 | 7,77 |
| | CL1 NMagn | 27,16 | 26,96 | 30,12 | 29,50 | 29,11 |
| SCAVENGER 1 | SC1Magn | 11,63 | 10,39 | 16,14 | 9,30 | 11,74 |
| | SC1NMagn | 46,45 | 55,62 | 24,04 | 55,02 | 51,38 |
| | ΟΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CLEANER 2 | CL 2 Magn | 21,55 | 10,37 | 46,13 | 8,81 | 18,50 |
| | CL 2 NMagn | 4,72 | 4,29 | 5,44 | 4,21 | 5,42 |
| | CL1NMagn | 15,38 | 14,98 | 14,90 | 17,45 | 20,96 |
| | SC1 Magn | 12,13 | 10,63 | 14,71 | 10,13 | 15,58 |
| SCAVENGER 2 | SC2 Magn | 7,40 | 8,28 | 5,42 | 6,89 | 10,23 |
| | SC2NM agn | 38,82 | 51,45 | 13,39 | 52,50 | 29,31 |
| | ΟΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Γ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ)

Παρακάτω σε πίνακες (τρίτη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων) παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της γ φάσης, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι επιμέρους διαχωρισμοί . Ομοίως με β φάση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22 : ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ Γ ΦΑΣΗ (ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ)

| Rougher | Τροφή: | Αρχικό | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | | |
|---------|-------------|--------|-----------|-------|------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS | |
| | RMagn | 41,84 | 27,41 | 20,04 | 4,71 | 4,38 | 0,30 | 32,02 | 63,54 | 27,82 | 33,52 | |
| | RNMagn | 58,16 | 41,86 | 8,27 | 8,79 | 6,25 | 0,18 | 67,98 | 36,46 | 72,18 | 66,48 | |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 35,81 | 13,19 | 7,08 | 5,47 | | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Μετρ.Σύνολο | | 34,72 | 13,83 | 6,57 | 5,73 | 0,22 | | | | | |

| Cleaner 1 | Τροφή: | RMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | | |
|-----------|-------------|-------|-----------|-------|------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS | |
| | CL1Magn | 64,79 | 18,5 | 24,23 | 3,23 | 3,05 | 0,324 | 46,89 | 76,96 | 41,73 | 47,48 | |
| | CL1NMagn | 35,21 | 38,57 | 13,35 | 8,3 | 6,21 | 0,23 | 53,11 | 23,04 | 58,27 | 52,52 | |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 25,57 | 20,40 | 5,01 | 4,16 | | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Μετρ.Σύνολο | | 27,41 | 20,04 | 4,71 | 4,38 | | | | | | |

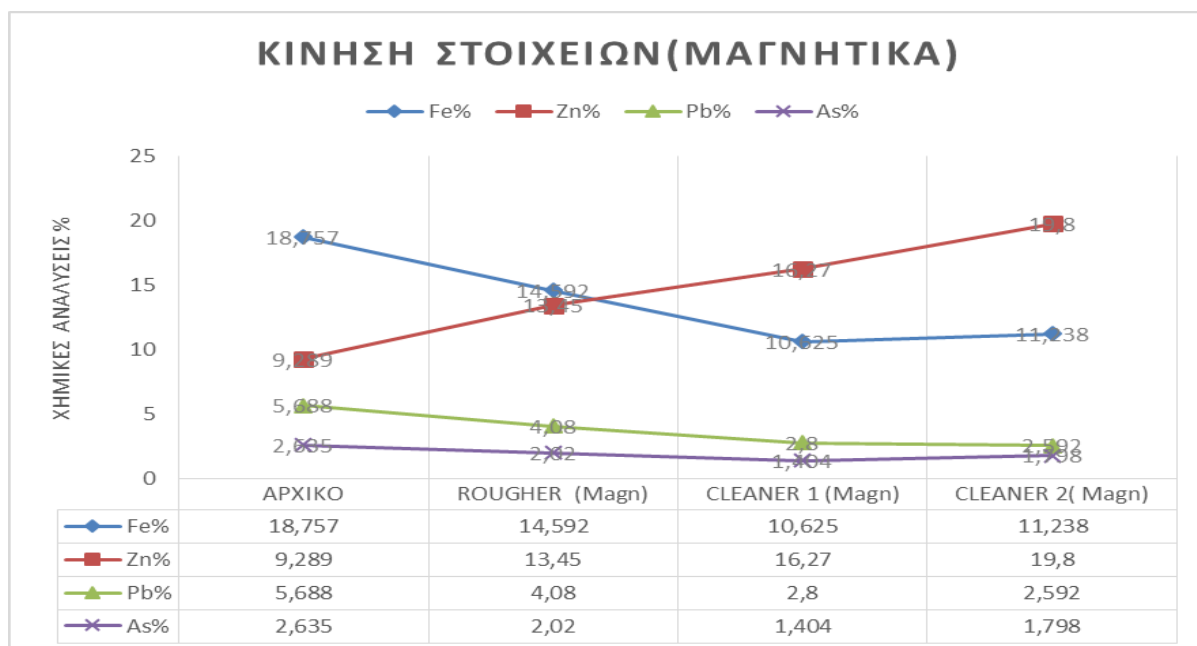
| Scavanger 1 | Τροφή: | RNMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | | |
|-------------|-------------|--------|-----------|-------|------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS | |
| | SC1Magn | 20,03 | 34,7 | 16,71 | 6,23 | 5,85 | 0,276 | 15,74 | 40,19 | 14,71 | 18,61 | |
| | SC1NMagn | 79,97 | 46,52 | 6,23 | 9,05 | 6,41 | 0,147 | 84,26 | 59,81 | 85,29 | 81,39 | |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 44,15 | 8,33 | 8,49 | 6,30 | | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Μετρ.Σύνολο | | 41,86 | 8,27 | 8,79 | 6,25 | | | | | | |

| Cleaner 2 | Τροφή: | CL1Magn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | | |
|-----------|-------------|---------|-----------|-------|------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS | |
| | CL2Magn | 82,02 | 19,07 | 29,49 | 2,99 | 3,91 | 0,376 | 70,72 | 89,44 | 67,63 | 77,33 | |
| | CL2NMagn | 17,98 | 36,03 | 15,89 | 6,53 | 5,23 | 0,263 | 29,28 | 10,56 | 32,37 | 22,67 | |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 22,12 | 27,05 | 3,63 | 4,15 | | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Μετρ.Σύνολο | | 18,5 | 24,23 | 3,23 | 3,05 | | | | | | |

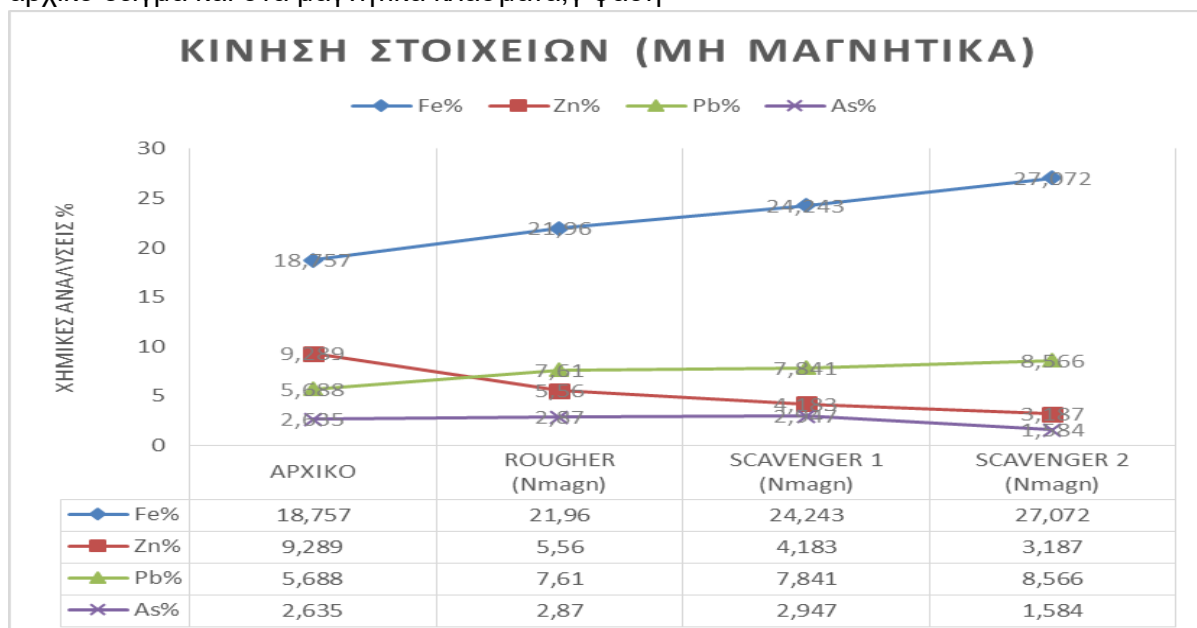
| Scavanger 2 | Τροφή: | SC1NMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | | |
|-------------|-------------|----------|-----------|-------|------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS | |
| | SC2Magn | 16,02 | 44,34 | 10,09 | 6,81 | 6,30 | 0,20 | 13,87 | 28,83 | 11,61 | 25,89 | |
| | SC2NMagn | 83,98 | 52,5 | 4,75 | 9,89 | 3,44 | 0,14 | 86,13 | 71,17 | 88,39 | 74,11 | |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 51,19 | 5,61 | 9,40 | 3,90 | | 100 | 100 | 100 | 100 | |
| | Μετρ.Σύνολο | | 46,52 | 6,23 | 9,05 | 6,25 | | | | | | |

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΤΡΙΤΗ ΦΑΣΗ (Γ) ΠΕΙΡΑΜΜΑΤΩΝ

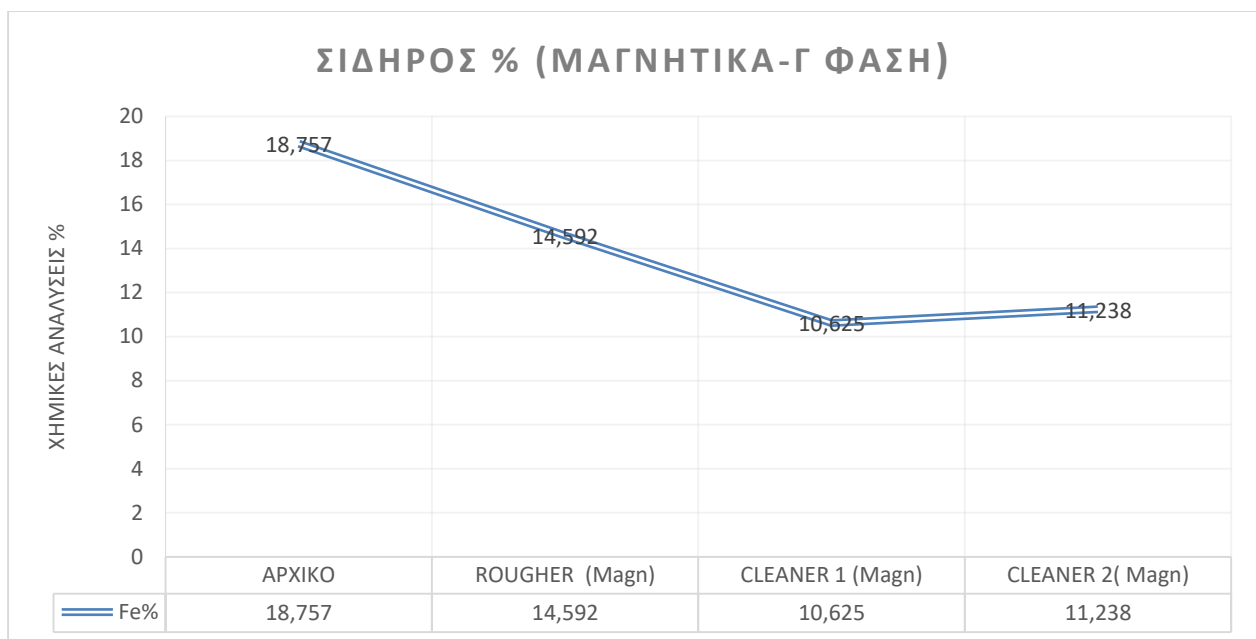
Παρακάτω παρουσιάζεται σε διαγράμματα η κίνηση των στοιχείων στα μαγνητικά και στα μη μαγνητικά, με βάση τις χημικές αναλύσεις . Ομοίως με τη β φάση αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα .



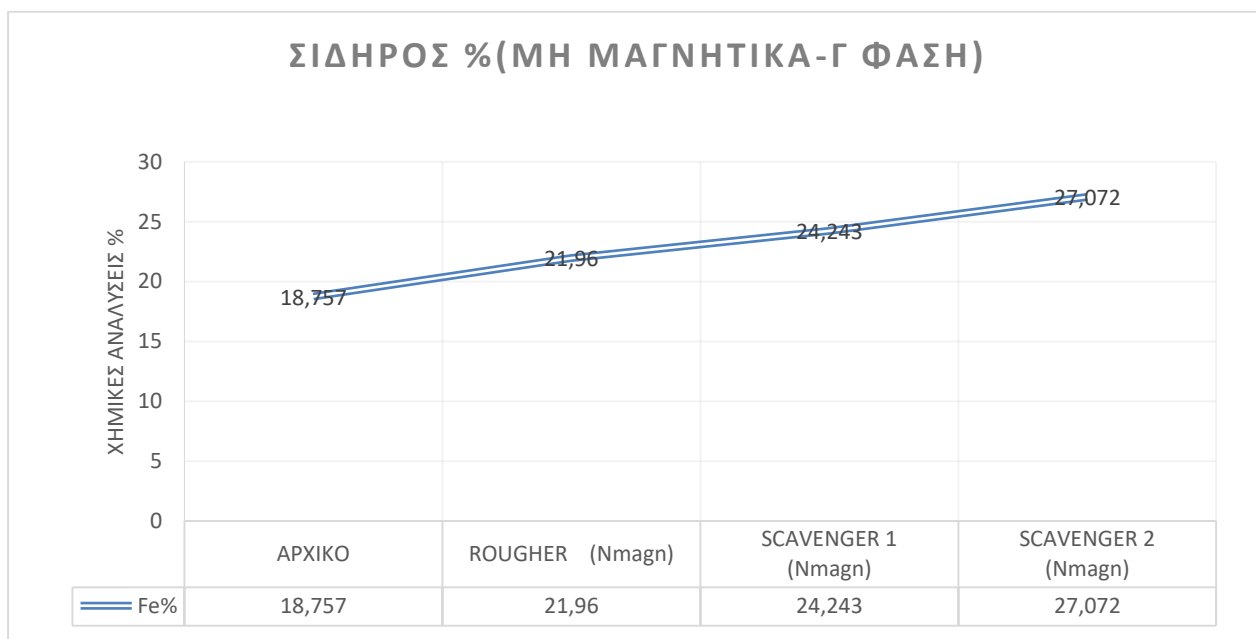
(Εικόνα 54) Κίνηση σιδήρου,ψευδαργύρου,μολύβδου,αρσενικού(Fe,Zn,Pb,As),στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα,γ φάση



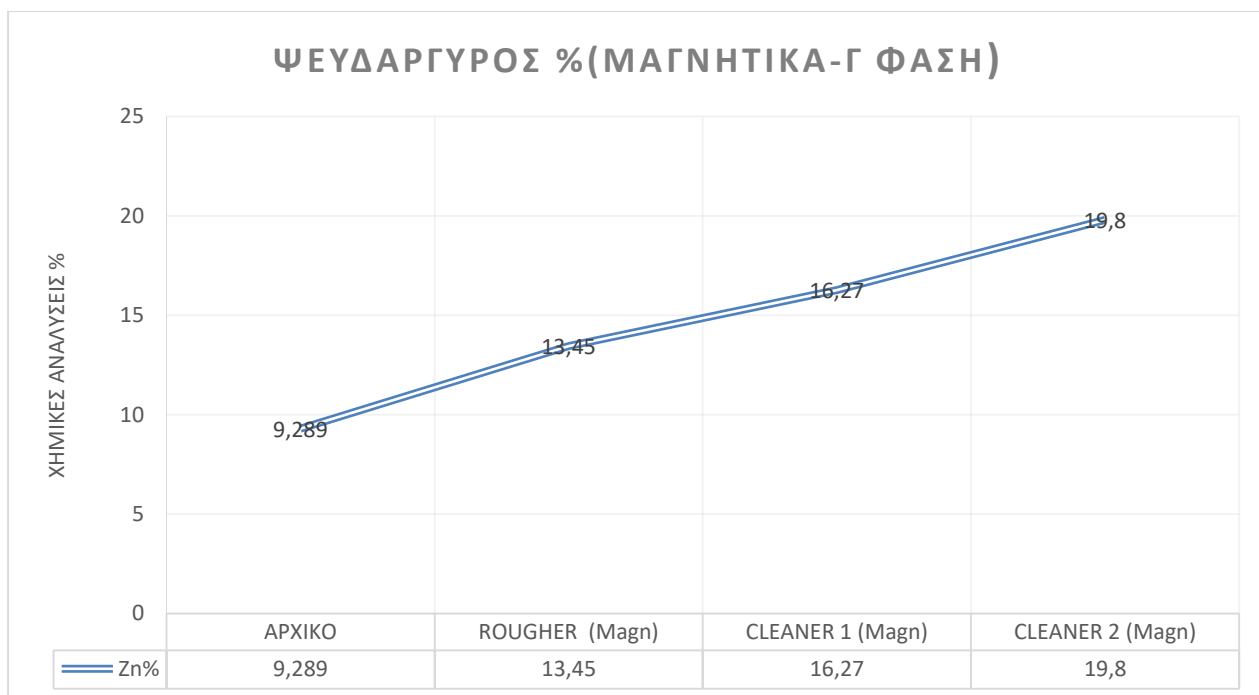
(Εικόνα 55) Κίνηση σιδήρου, ψευδαργύρου, μολύβδου, αρσενικού (Fe, Zn, Pb, As), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα,γ φάση



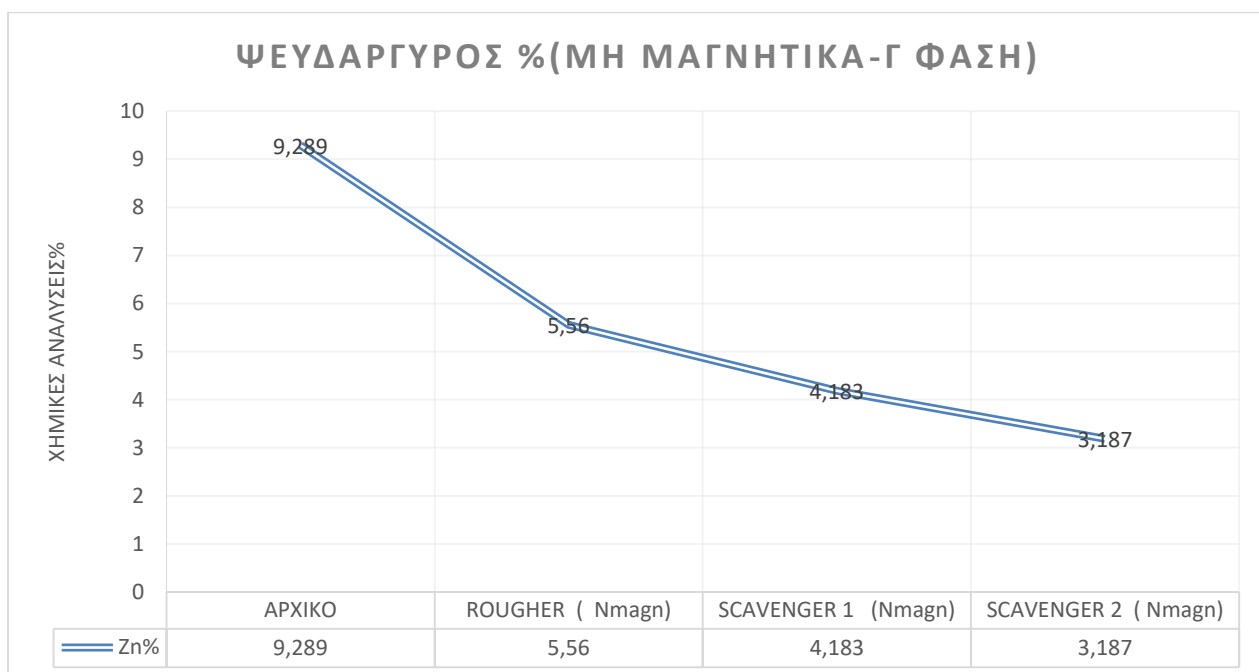
(Εικόνα 56) Κίνηση σιδήρου (Fe), στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



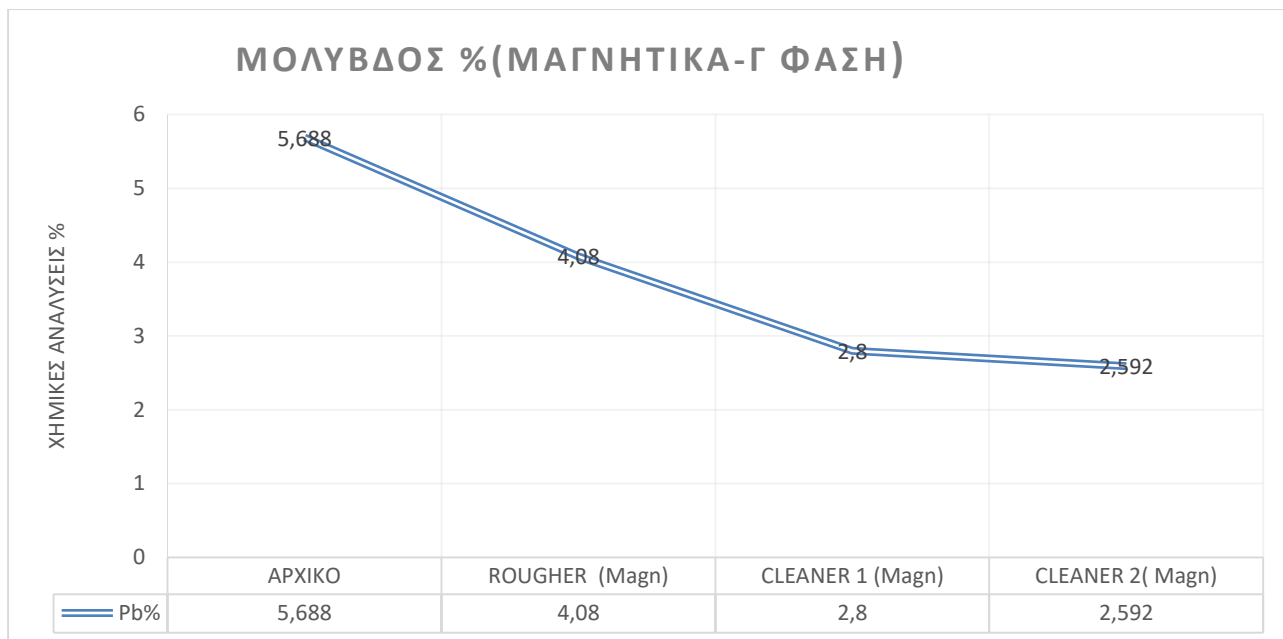
(Εικόνα 57) Κίνηση σιδήρου(Fe), αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα



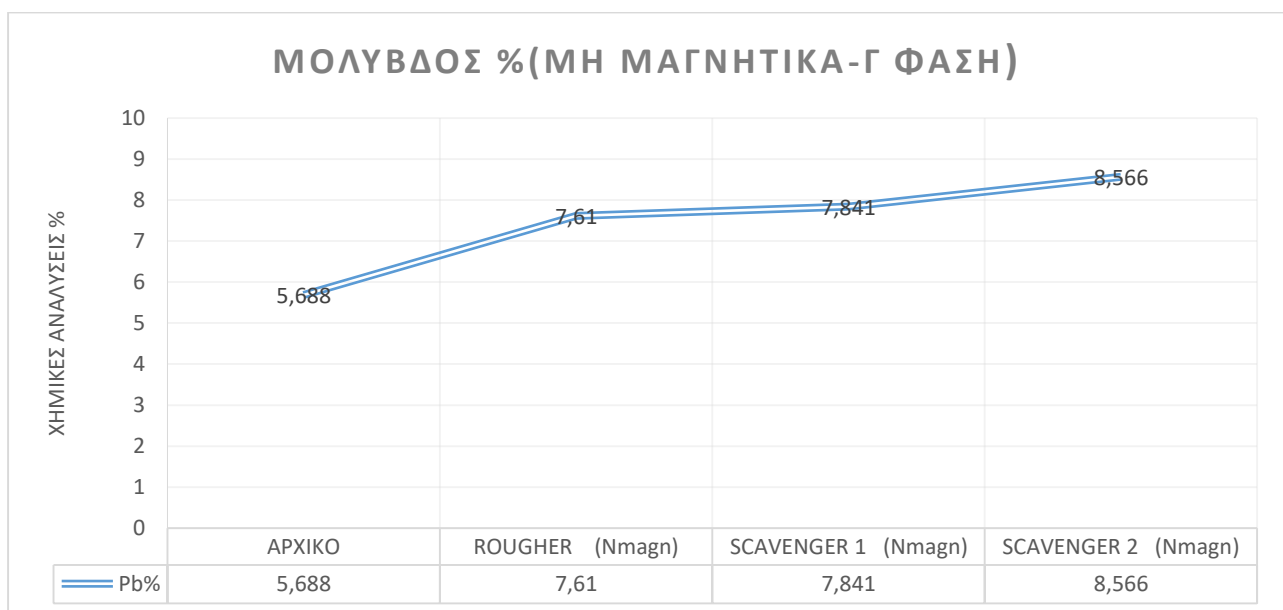
(Εικόνα 58) Κίνηση ψευδαργύρου(Zn),στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



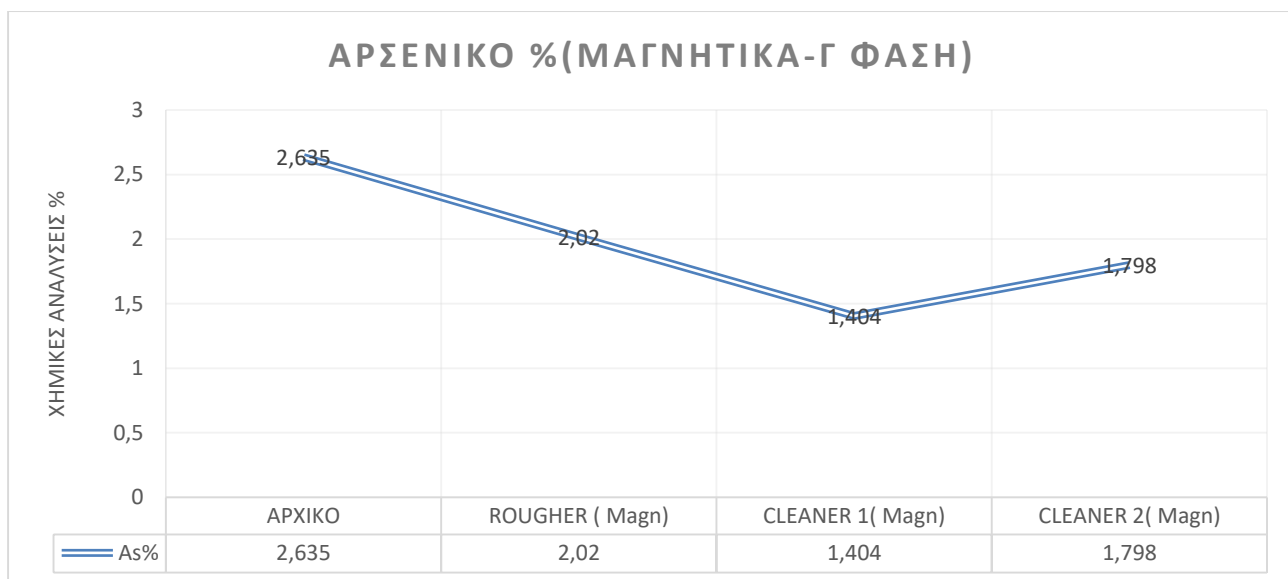
(Εικόνα 59) Κίνηση ψευδαργύρου (Zn), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα



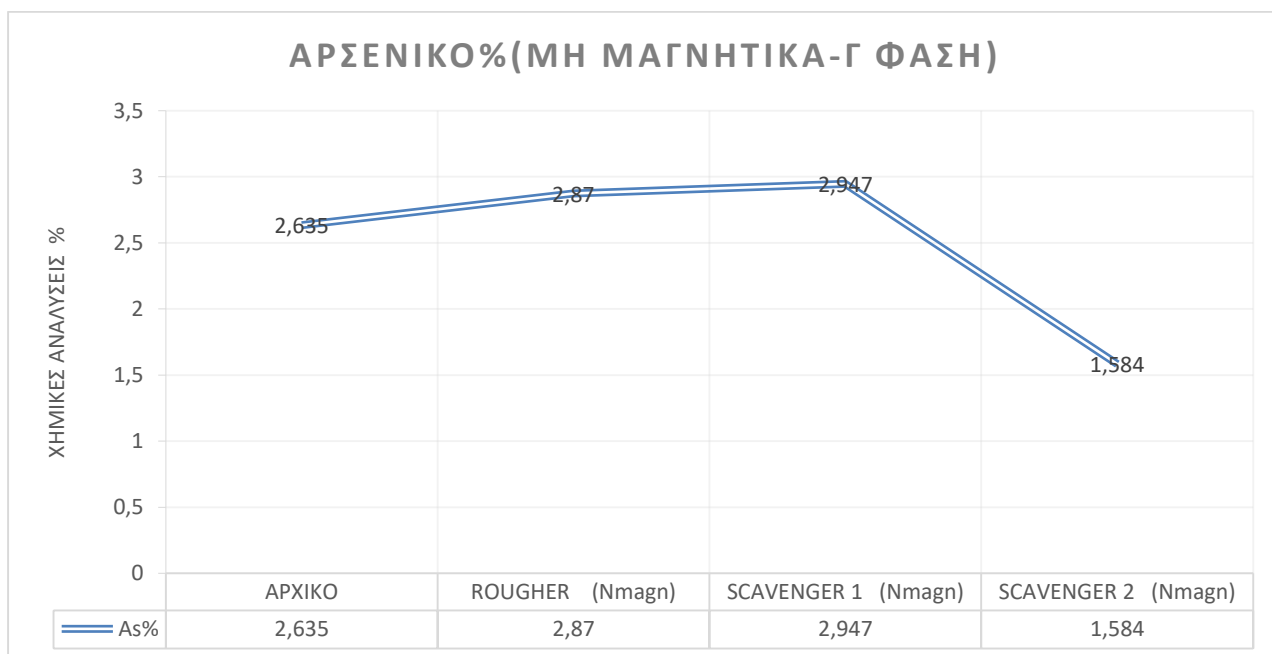
(Εικόνα 60) Κίνηση μολύβδου(Pb),στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



(Εικόνα 61) Κίνηση μολύβδου(Pb),στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα



(Εικόνα 62) Κίνηση αρσενικού(As),στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα .

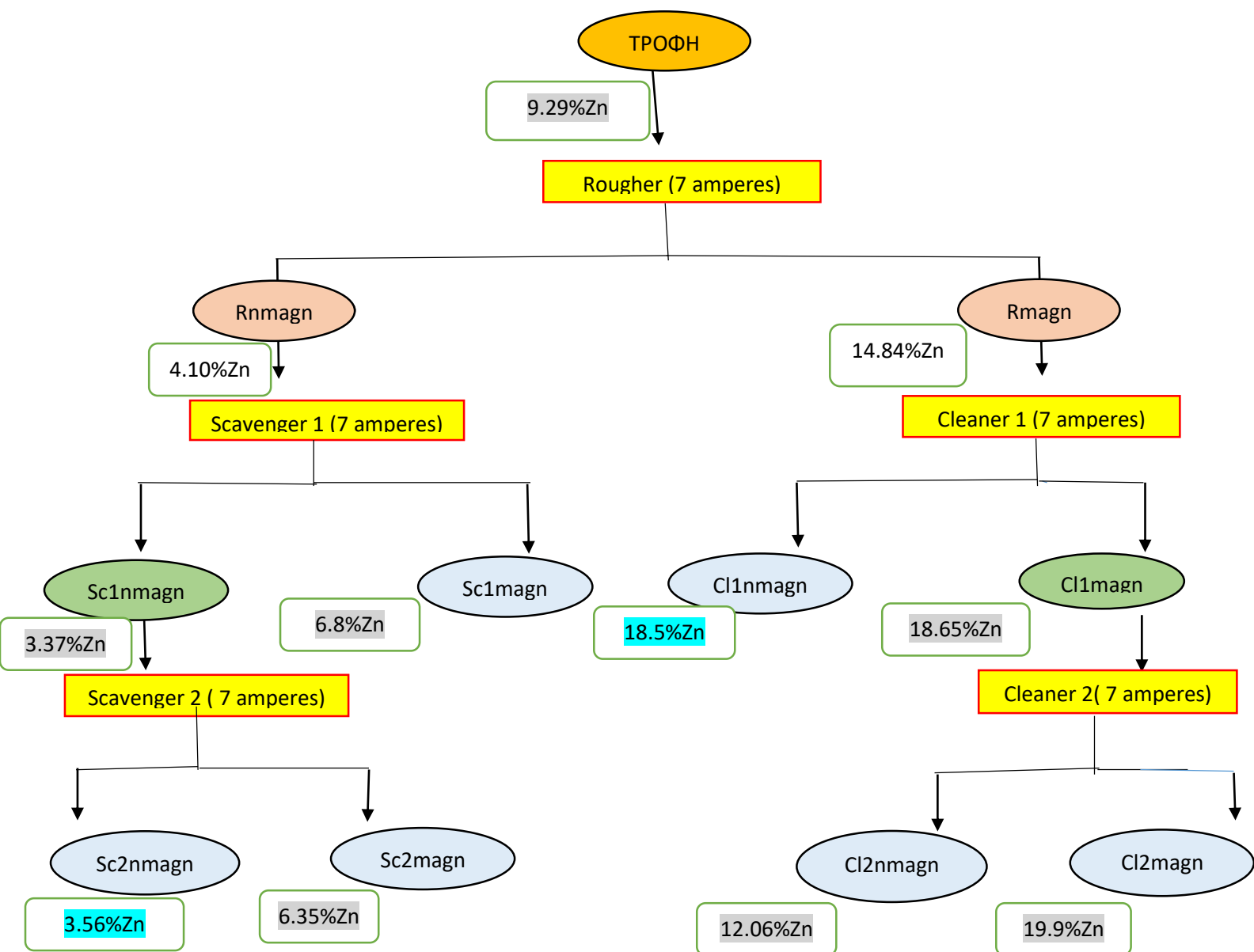


(Εικόνα 63) Κίνηση αρσενικού(As), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗ Γ ΦΑΣΗ : Συμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα (τιμές απο χημικές αναλύσεις στα διάφορα δείγματα) για το Zn, προέυψαν **9.29%** (αρχικό), **13.45 %** (rougher magn), **16.27%** (cleaner 1 magn), **19.8%** (cleaner 2 magn) . Επίσης **5.56 %** (rougher nmagn), **4.18 %**(cleaner 1 nmagn), **3.19 %** (cleaner 2 nmagn) . Τα αποτελέσματα δεν μπορούμε να πούμε ότι είναι ικανοποιητικά . Θα ακολουθήσει σειρά πειραμάτων με διαφορετικές εντάσεις στο ηλεκτρικο-μανητικό πεδίο .

Επίδραση Μαγνητικού πεδίου (δ φάση)

Παρακάτω παρατίθεται το σχεδιάγραμμα για τη δ σειρά πειραμάτων . Επίσης τα αποτελέσματα αναλύσεων Zn (ψευδαργύρου) . Ομοίως με παραπάνω φάσεις.



(Εικόνα 64) Σχεδιαγράμμα απεικόνισης, διαγράμματος ροής κατά το μαγνητικό διαχωρισμό, στη δ φάση.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Δ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ)

Παρακάτω σε πίνακες (πρώτη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της δ φάσης . Ομοίως με προηγούμενες φάσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 23 : ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ Δ ΦΑΣΗΣ, ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ

| ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% |
|-------------|---------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Rougher | RMagn | 41,25 | 26,82 | 22,11 | 4,80 | 3,80 |
| | RNMagn | 58,75 | 37,73 | 6,11 | 6,27 | 4,53 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 33,23 | 12,71 | 5,66 | 4,23 |
| | Μετρ Σύνολο | | 34,72 | 13,83 | 6,57 | 5,73 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 62,5 | 20,86 | 27,78 | 3,58 | 2,54 |
| | CL1 NMagn | 37,5 | 36,76 | 12,66 | 6,82 | 5,90 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 26,82 | 22,11 | 4,80 | 3,80 |
| | Μετρ Συν.CL1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| Scavanger 1 | SC1 Magn | 21,3 | 35,83 | 10,13 | 4,73 | 5,03 |
| | SC1 NMagn | 78,7 | 38,25 | 5,02 | 6,69 | 4,39 |
| | Μετρ Συν.SC1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 80,80 | 17,10 | 29,85 | 3,03 | 4,78 |
| | CL2 NMagn | 19,2 | 34,25 | 17,95 | 5,67 | 5,04 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 100 | 20,39 | 27,57 | 3,54 | 4,83 |
| | Μετρ Συν.CL2 | | 20,86 | 27,1 | 3,58 | 2,54 |
| Scavanger 2 | SC2 Magn | 8,50 | 34,28 | 9,46 | 6,84 | 4,37 |
| | SC2 NMagn | 91,50 | 44,47 | 5,30 | 9,02 | 5,02 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 100 | 43,60 | 5,65 | 8,83 | 4,96 |
| | Μετρ Συν.SC2 | | 38,25 | 4,86 | 6,69 | 4,39 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 24 : ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ Δ ΦΑΣΗΣ, ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ | B (%) | FeS ₂ | ZnS | PbS | FeAsS |
|--------------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| Rougher RMagn | 41,25 | 33,29 | 71,76 | 34,96 | 37,09 |
| RNMagn | 58,75 | 66,71 | 28,24 | 65,04 | 62,91 |
| Υπολ Σύνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 1 CL1 Magn | 62,5 | 48,61 | 78,53 | 46,66 | 41,78 |
| CL1 NMagn | 37,5 | 51,39 | 21,47 | 53,34 | 58,22 |
| Υπολ Συν. CL1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavange SC1 Magn | 21,3 | 20,22 | 35,32 | 16,06 | 23,67 |
| sC1 NMagn | 78,7 | 79,78 | 64,68 | 83,94 | 76,33 |
| Υπολ Συν. SC1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 2 CL2 Magn | 80,80 | 67,75 | 87,50 | 69,22 | 79,96 |
| CL2 NMagn | 19,20 | 32,25 | 12,50 | 30,78 | 20,04 |
| Υπολ Συν. CL2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavange SC2 Magn | 8,50 | 6,68 | 14,22 | 6,58 | 7,48 |
| SC2 NMagn | 91,5 | 93,32 | 85,78 | 93,42 | 92,52 |
| Υπολ Συν. SC2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

__Απο τους παραπάνω πίνακες της δ φάσης, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της ανάκτησης σφαλερίτη, επίσης δεν είναι ικανοποιητικά για το σκοπό της παρούσας εργασίας .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Δ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ)

Παρακάτω σε πίνακες (δεύτερη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της δ φάσης . Ομοίως με τις παραπάνω φάσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 25 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ Δ ΦΑΣΗ (ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ)

| ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | B (%) επι αρχικου FeS2% ZnS% PbS% FeAsS% | | | | |
|-------------|---------------|--|----------|----------|----------|----------|
| Rougher | RMagn | 41,25 | 26,82 | 22,11 | 4,79 | 3,80 |
| | RNMagn | 58,75 | 37,73 | 6,11 | 6,27 | 4,53 |
| | Υπολ Συνολο | 100 | 33,23 | 12,71 | 5,66 | 4,23 |
| | Μετρ Συνολο | | 34,72 | 13,83 | 6,57 | 5,73 |
| CLEANER 1 | CL 1Magn | 26,22 | 20,86 | 27,78 | 3,58 | 2,54 |
| | CL 1 NMagn | 15,73 | 36,76 | 12,66 | 6,82 | 5,9 |
| | υπολ Συν. CL1 | 41,95 | 26,82 | 22,11 | 4,79 | 3,80 |
| | μετρ Συν. CL1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| SCAVENGER 1 | SC 1 Magn | 12,36 | 35,83 | 10,13 | 4,73 | 5,03 |
| | SC 1 NMagn | 45,69 | 38,25 | 5,02 | 6,69 | 4,39 |
| | υπολ Συν. SC1 | 58,05 | 37,73 | 6,11 | 6,27 | 4,53 |
| | μετρ Συν. SC1 | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ |
| CLEANER 2 | CL 2 Magn | 20,7 | 17,1 | 29,85 | 3,03 | 4,78 |
| | CL 2 NMagn | 4,93 | 34,25 | 17,95 | 5,67 | 5,04 |
| | υπολ Συν.CL 2 | 25,63 | 20,40 | 27,56 | 3,54 | 4,83 |
| | μετρ Συν.CL 2 | | 20,86 | 27,1 | 3,58 | 2,54 |
| SCAVENGER 2 | CL1 NMagn | 16,32 | 36,76 | 12,66 | 6,82 | 5,9 |
| | SC1Magn | 12,82 | 35,83 | 10,13 | 4,73 | 5,03 |
| | SC2 Magn | 3,83 | 34,28 | 9,46 | 6,84 | 4,37 |
| | SC2 NMagn | 41,39 | 44,47 | 5,3 | 9,02 | 5,02 |
| | υπολ Συν. SC2 | 45,22 | 43,61 | 5,65 | 8,84 | 4,96 |
| | μετρ Συν.sc 2 | | 38,25 | 4,86 | 6,69 | 4,39 |

ΠΙΝΑΚΑΣ 26 : ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΣ ΕΠΙ ΑΡΧΙΚΟΥ Δ ΦΑΣΗ (ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ)

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | B (%) επί αρχικού FeS₂ ZnS PbS FeAsS | | | | |
|--------------------|---------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Rougher | RMagn | 41,25 | 33,29 | 71,76 | 34,91 | 37,09 |
| | RNMagn | 58,75 | 66,71 | 28,24 | 65,09 | 62,91 |
| | Υπολ Συνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CLEANER 1 | CL1Magn | 26,22 | 16,50 | 56,81 | 16,61 | 15,78 |
| | CL1 NMagn | 15,73 | 17,44 | 15,53 | 18,98 | 21,98 |
| SCAVENGER 1 | SC1Magn | 12,36 | 13,36 | 9,77 | 10,34 | 14,73 |
| | SC1NMagn | 45,69 | 52,71 | 17,89 | 54,07 | 47,51 |
| | ΟΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| CLENER 2 | CL 2 Magn | 20,7 | 9,96 | 47,59 | 9,47 | 19,44 |
| | CL 2 NMagn | 4,93 | 4,75 | 6,82 | 4,22 | 4,88 |
| | CL1NMagn | 16,32 | 16,88 | 15,91 | 16,81 | 18,91 |
| | SC1 Magn | 12,82 | 12,92 | 10,00 | 9,16 | 12,67 |
| SCAVENGER | SC2 Magn | 3,83 | 3,69 | 2,79 | 3,96 | 3,29 |
| | SC2NM agn | 41,39 | 51,79 | 16,89 | 56,38 | 40,81 |
| | ΟΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ | 99,99 | 100 | 100 | 100 | 100 |

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Δ ΦΑΣΗΣ ΣΕ ΠΙΝΑΚΕΣ (ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ)

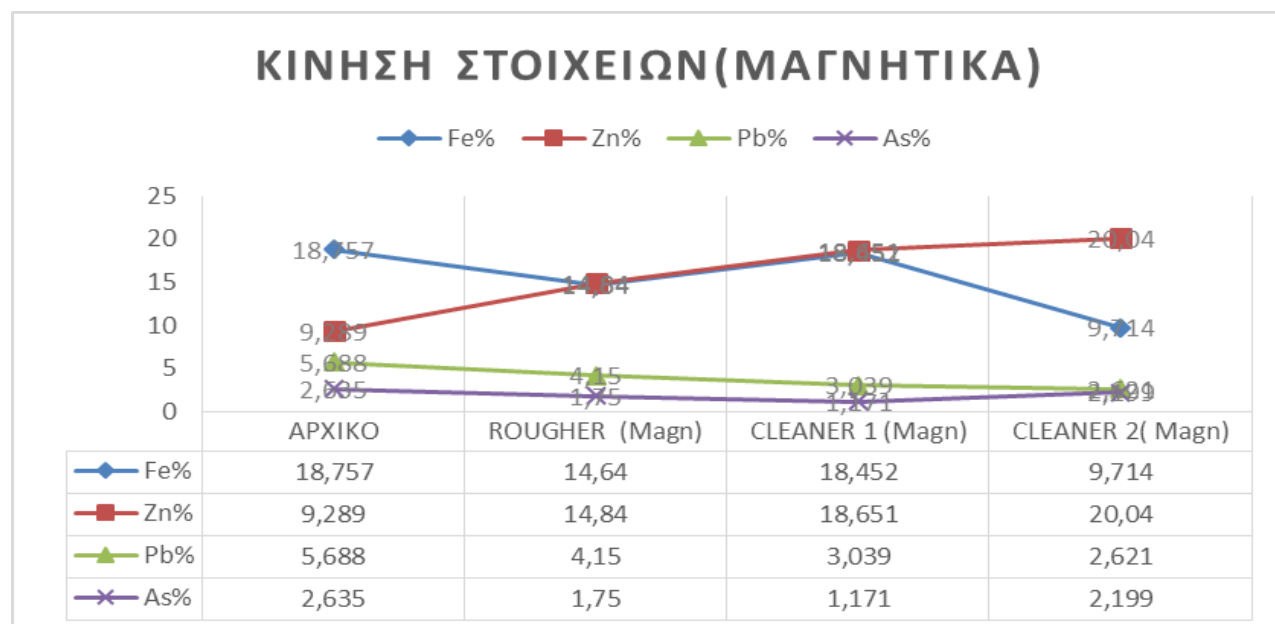
Παρακάτω σε πίνακες (τρίτη μορφή-παρουσίασης αποτελεσμάτων), παρατίθενται τα αποτελέσματα (αναλύσεις, κατανομές) απο τα πειράματα της δ φάσης, παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι επιμέρους διαχωρισμοί . Ομοίως με προηγούμενες φάσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 27 : ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ (Δ ΦΑΣΗ)

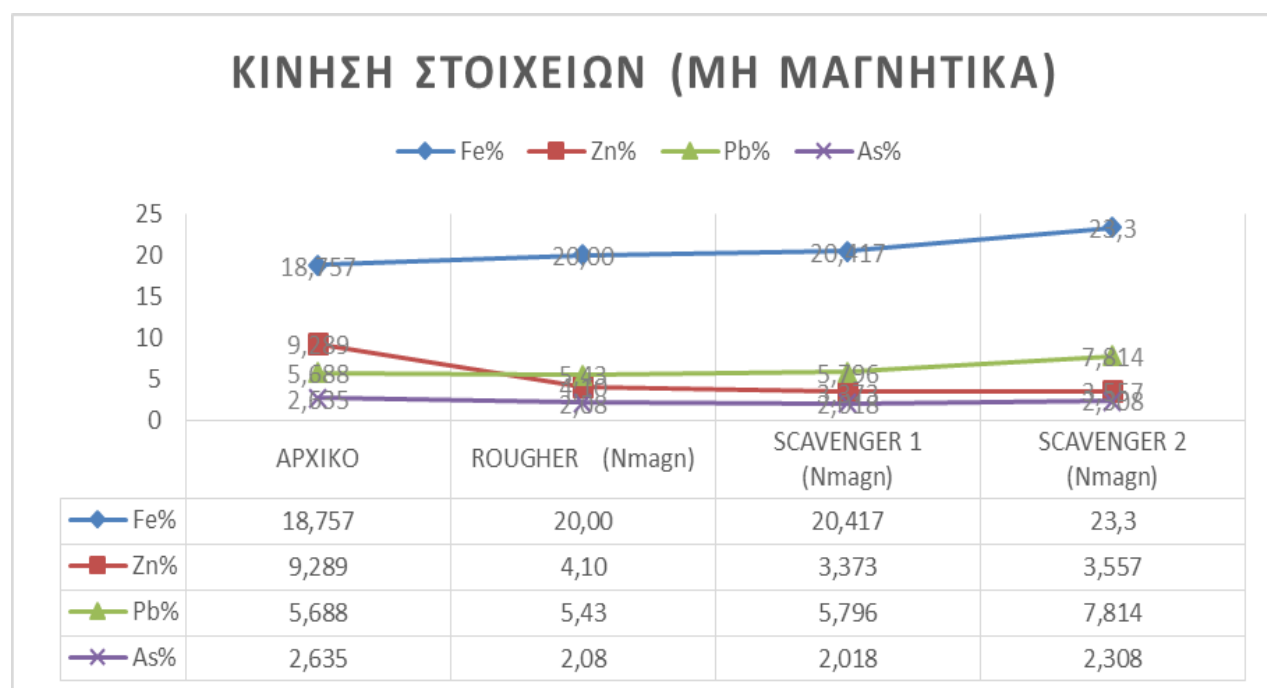
| | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|
| Rougher | Τροφή: | Αρχικό | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | RMagn | 41,25 | 26,82 | 22,11 | 4,8 | 4,01 | | 33,29 | 71,75 | 34,96 | 38,33 |
| | RNMagn | 58,75 | 37,73 | 6,11 | 6,27 | 4,53 | | 66,71 | 28,25 | 65,04 | 61,67 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 33,23 | 12,71 | 5,66 | 4,32 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | 34,72 | 13,83 | 6,57 | 5,73 | 0,22 | | | | |
| Cleaner 1 | Τροφή: | RMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | CL1Magn | 62,50 | 20,86 | 27,78 | 3,58 | 2,54 | 0,37 | 48,61 | 78,53 | 46,66 | 41,78 |
| | CL1NMagn | 37,50 | 36,76 | 12,66 | 6,82 | 5,9 | 0,22 | 51,39 | 21,47 | 53,34 | 58,22 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 26,82 | 22,11 | 4,80 | 4,01 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | | | | |
| Scavanger 1 | Τροφή: | RNMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | SC1Magn | 21,29 | 35,83 | 10,13 | 4,73 | 5,03 | 0,19 | 20,22 | 35,31 | 16,05 | 23,66 |
| | SC1NMagn | 78,71 | 38,25 | 5,02 | 6,69 | 4,39 | 0,126 | 79,78 | 64,69 | 83,95 | 76,34 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 37,73 | 6,11 | 6,27 | 4,53 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | δεν μετρ | | | | |
| Cleaner 2 | Τροφή: | CL1Magn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | CL2Magn | 80,77 | 17,1 | 29,85 | 3,03 | 4,78 | 0,52 | 67,71 | 87,48 | 69,18 | 79,93 |
| | CL2NMagn | 19,23 | 34,25 | 17,95 | 5,67 | 5,04 | 0,28 | 32,29 | 12,52 | 30,82 | 20,07 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 20,40 | 27,56 | 3,54 | 4,83 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | 20,86 | 27,78 | 3,58 | 2,54 | | | | | |
| Scavanger 2 | Τροφή: | SC1NMagn | ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ | | | | ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | | | |
| | | B (%) | FeS2% | ZnS% | PbS% | FeAsS% | CuFeS2% | FeS2 | ZnS | PbS | FeAsS |
| | SC2Magn | 8,46 | 44,47 | 9,46 | 6,84 | 4,37 | 0,18 | 10,71 | 14,16 | 6,55 | 7,45 |
| | SC2NMagn | 91,54 | 34,28 | 5,30 | 9,02 | 5,02 | 0,14 | 89,29 | 85,84 | 93,45 | 92,55 |
| | Υπολ.Σύνολο | 100 | 35,14 | 5,65 | 8,84 | 4,96 | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Μετρ.Σύνολο | | 38,25 | 5,02 | 6,69 | 4,39 | | | | | |

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΤΕΤΑΡΤΗ ΦΑΣΗ (Δ) ΠΕΙΡΑΜΜΑΤΩΝ

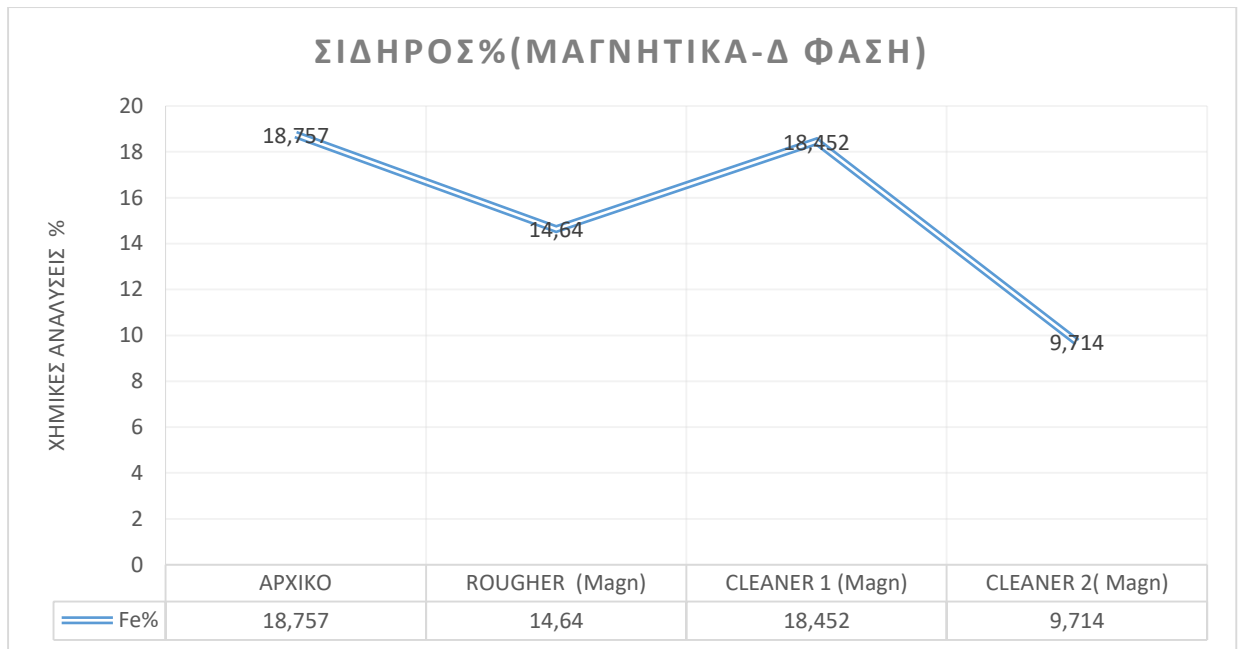
Παρακάτω παρουσιάζεται σε διαγράμματα η κίνηση των στοιχείων στα μαγνητικά και στα μη μαγνητικά, με βάση τις χημικές αναλύσεις που έχουν γίνει . Ομοίως με προηγούμενες φάσεις .



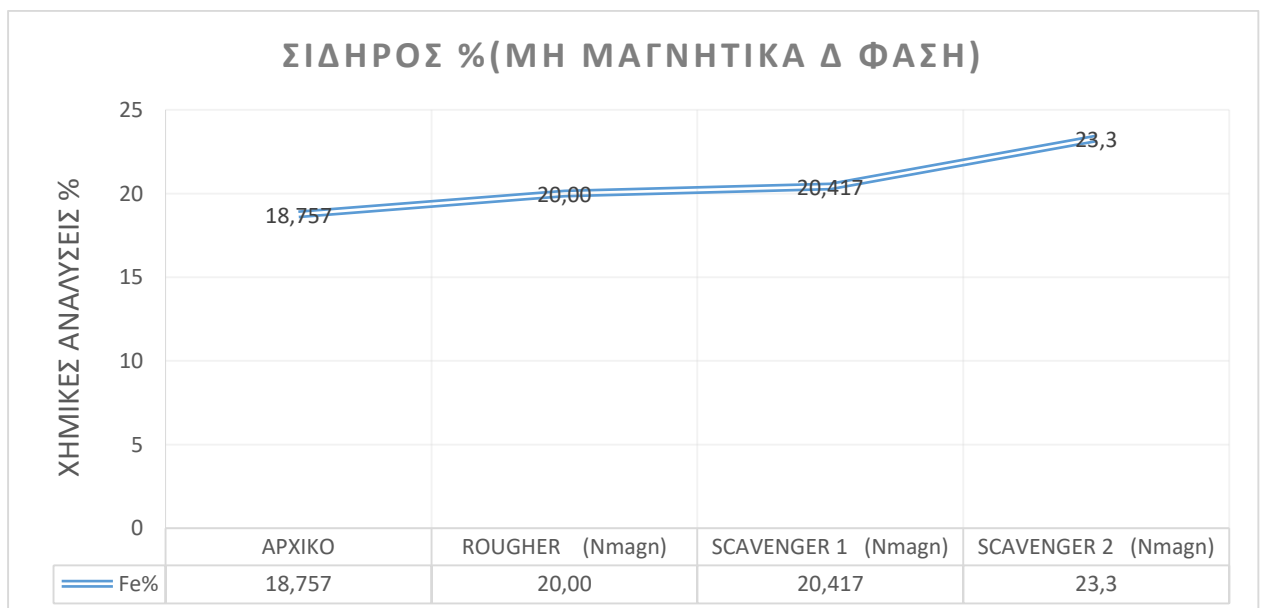
(Εικόνα 65) Κίνηση σιδήρου, ψευδαργύρου, μολύβδου, αρσενικού (Fe,Zn,Pb,As), στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα, δ φάση .



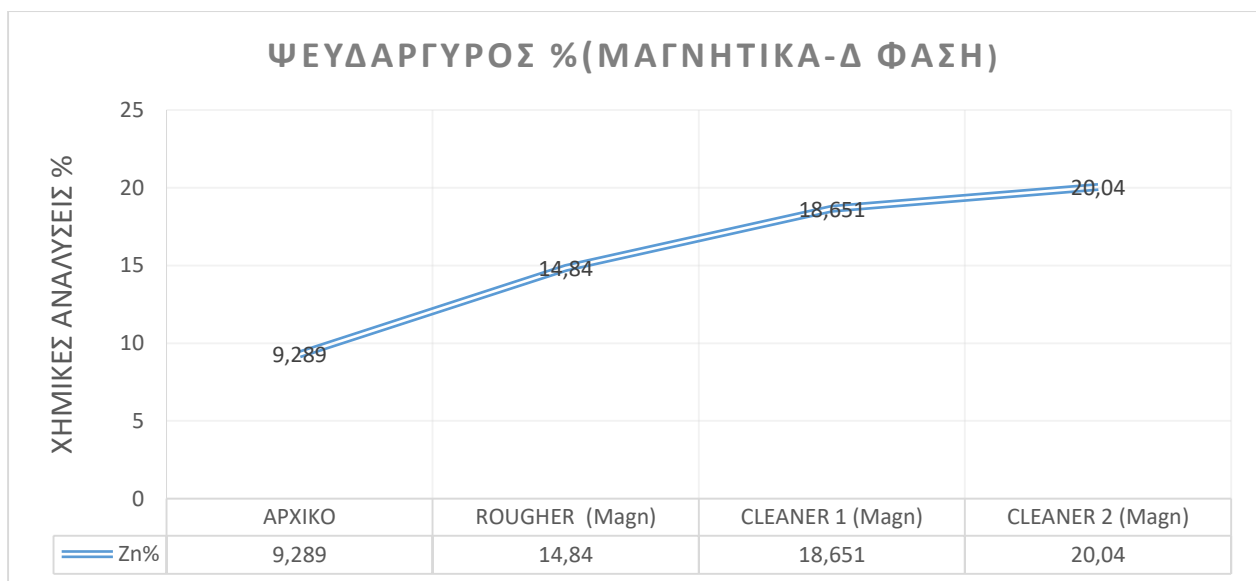
(Εικόνα 66) Κίνηση σιδήρου, ψευδαργύρου, μολύβδου, αρσενικού (Fe, Zn, Pb, As), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα , δ φάση .



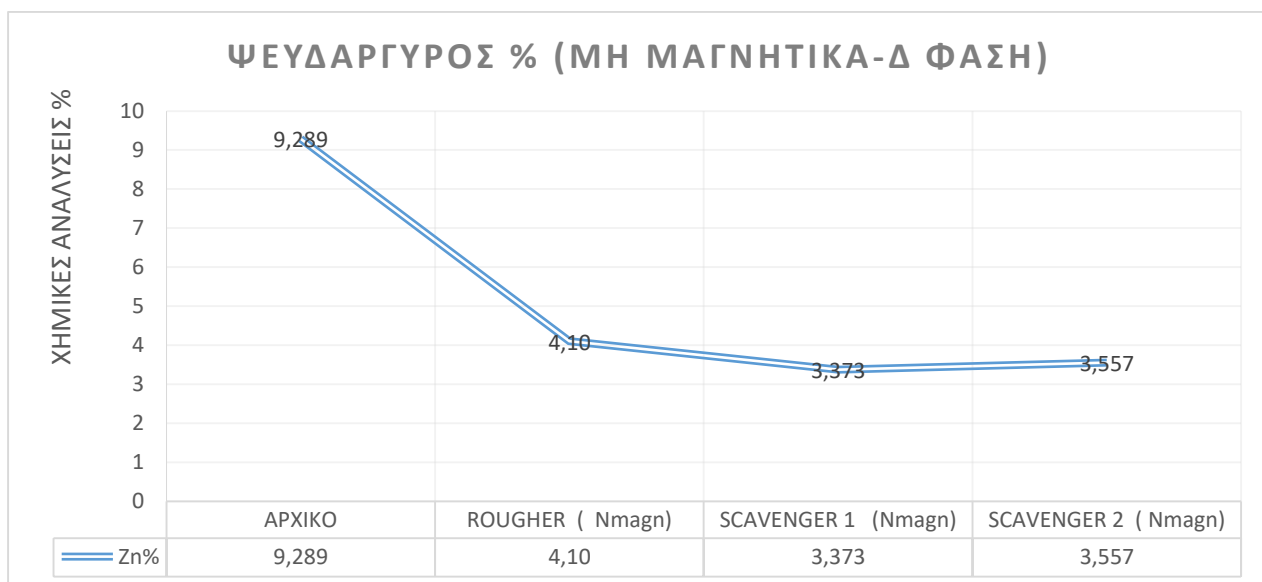
(Εικόνα 67) Κίνηση σιδήρου (Fe), στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



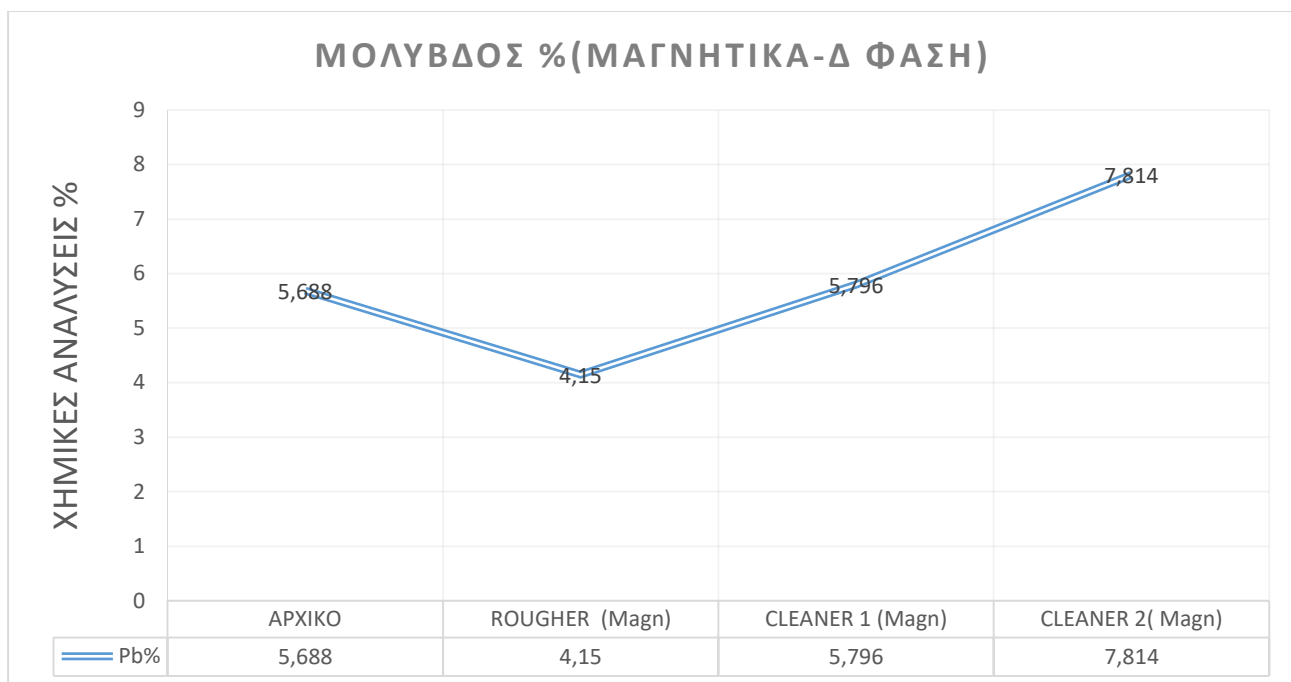
(Εικόνα 68) Κίνηση σιδήρου (Fe), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα



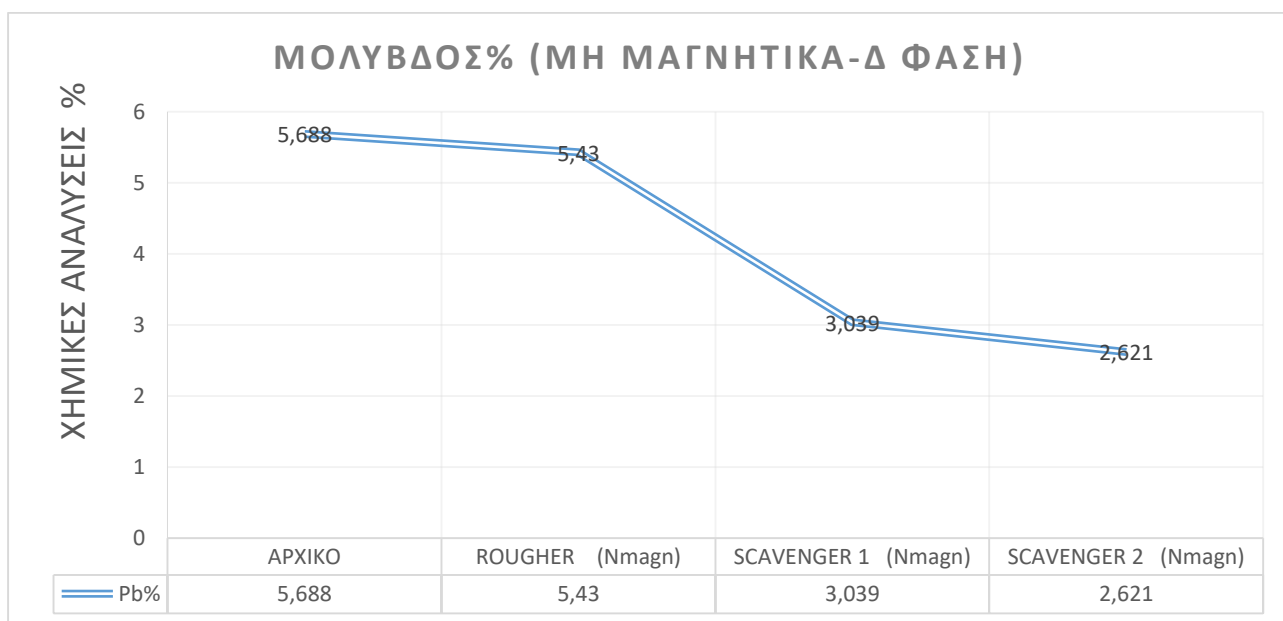
(Εικόνα 69) Κίνηση ψευδαργύρου (Zn), στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



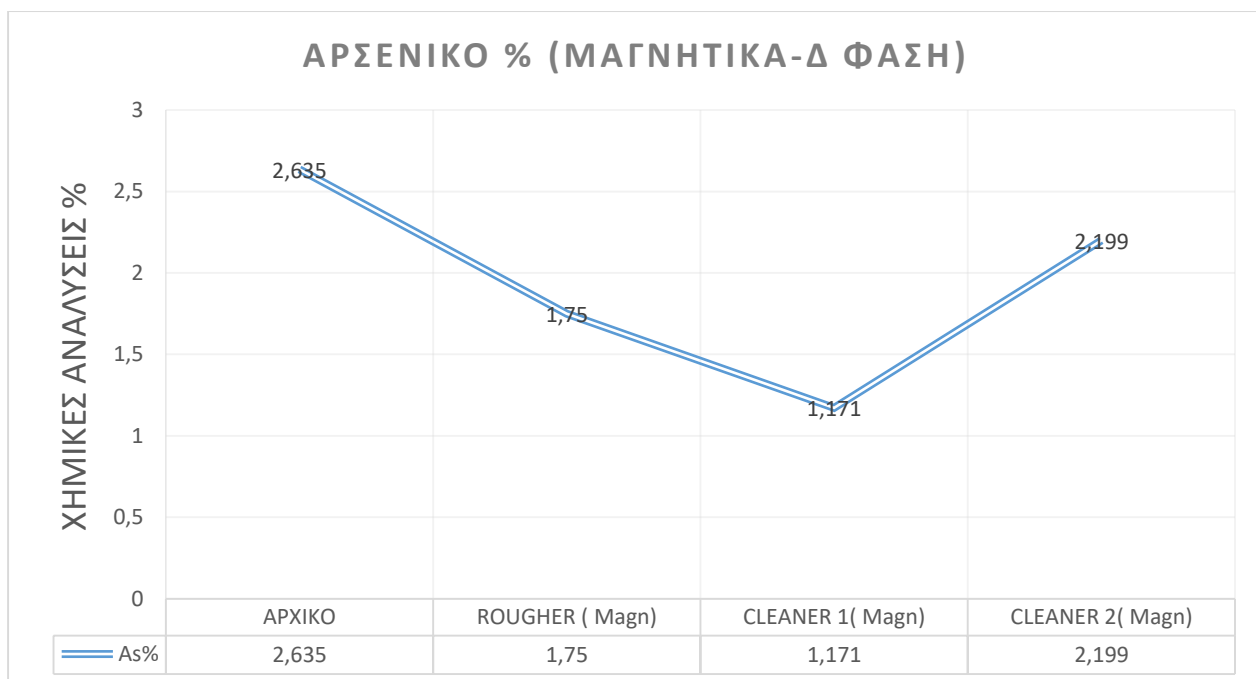
(Εικόνα 70) Κίνηση ψευδαργύρου (Zn), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα



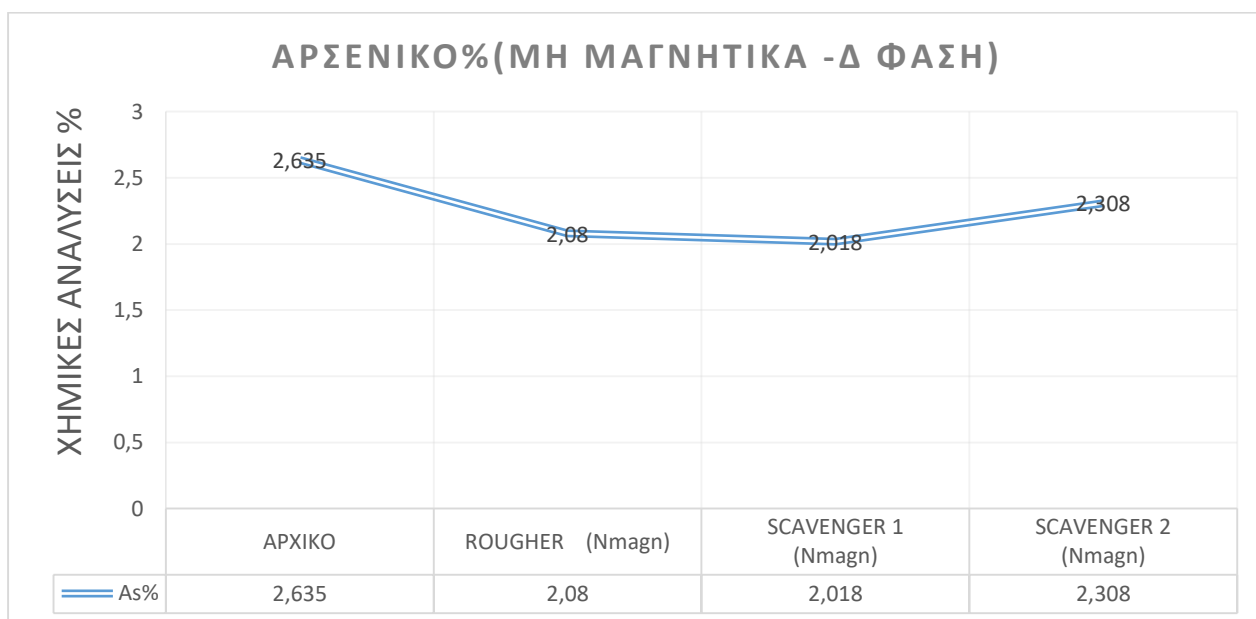
(Εικόνα 71) Κίνηση μολύβδου (Pb), στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



(εικόνα 72) Κίνηση μολύβδου (Pb), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα



(Εικόνα 73) Κίνηση αρσενικού(As), στο αρχικό δείγμα και στα μαγνητικά κλάσματα



Εικόνα 74) Κίνηση αρσενικού (As), στο αρχικό δείγμα και στα μη μαγνητικά κλάσματα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗ Δ ΦΑΣΗ : Συμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα (τιμές απο χημικές αναλύσεις στα διάφορα δείγματα) για το Zn, προέκυψαν **9.29%**(αρχικό), **14.84%** (magn rougher), **18.65%** (magn cleaner 1), **20.04%** (magn cleaner 2) . Επίσης **4.10%** (nmagn rougher),**3.37 %** (nmagn cleaner1) , **3.56%** (nmagn cleaner2) . Τα αποτελέσματα δεν είναι αρκετά ικανοποιητικά, ώστε να τεκμηριώσουν απόλυτα την κεντρική ιδέα της διπλωματικής εργασίας .

Β3) ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΕΛΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωμένα τα βασικά αποτελέσματα πειραμάτων, από τα οποία απορρέει το τελικό συμπέρασμα

ΠΙΝΑΚΑΣ 28: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | B (%) | FeS ₂ | ZnS | PbS | FeAsS |
|-----------|---------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| Rougher | RMagn | 28,1 | 9,72 | 58,42 | 10,09 | 16,63 |
| | RNMagn | 71,9 | 90,28 | 41,58 | 89,91 | 83,37 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 75,6 | 40,99 | 79,32 | 44,49 | 57,41 |
| | CL1 NMagn | 24,4 | 59,01 | 20,68 | 55,51 | 42,59 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC1 Magn | 10,4 | 4,75 | 39,39 | 6,51 | 7,32 |
| | sC1 NMagn | 89,6 | 95,25 | 60,61 | 93,49 | 92,68 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 78,22 | 50,99 | 77,21 | 55,40 | 64,24 |
| | CL2 NMagn | 21,77 | 49,01 | 22,79 | 44,60 | 35,76 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 99,99 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC2 Magn | 8,19 | 4,31 | 34,72 | 5,67 | 5,83 |
| | SC2 NMagn | 91,8 | 95,69 | 65,28 | 94,33 | 94,17 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 99,99 | 100 | 100 | 100 | 100 |

(Β Φάση Πειραμάτων)

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | B (%) | FeS ₂ | ZnS | PbS | FeAsS |
|-----------|---------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| Rougher | RMagn | 42 | 32,17 | 63,70 | 27,95 | 33,66 |
| | RNMagn | 58 | 67,83 | 36,30 | 72,05 | 66,34 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 64,8 | 46,89 | 76,96 | 41,74 | 47,48 |
| | CL1 NMagn | 35,2 | 53,11 | 23,04 | 58,26 | 52,52 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC1 Magn | 20,03 | 15,74 | 40,18 | 14,46 | 18,61 |
| | sC1 NMagn | 79,97 | 84,26 | 59,82 | 85,54 | 81,39 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 82 | 70,68 | 89,42 | 67,59 | 77,30 |
| | CL2 NMagn | 18 | 29,32 | 10,58 | 32,41 | 22,70 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavanger | SC2 Magn | 16 | 13,86 | 28,81 | 11,59 | 25,86 |
| | SC2 NMagn | 84 | 86,14 | 71,19 | 88,41 | 74,14 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

(Γ Φάση Πειραμάτων)

| ΚΑΤΑΝΟΜΗ | | B (%) | FeS ₂ | ZnS | PbS | FeAsS |
|-----------|---------------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| Rougher | RMagn | 41,25 | 33,29 | 71,76 | 34,96 | 37,09 |
| | RNMagn | 58,75 | 66,71 | 28,24 | 65,04 | 62,91 |
| | Υπολ Σύνολο | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 1 | CL1 Magn | 62,5 | 48,61 | 78,53 | 46,66 | 41,78 |
| | CL1 NMagn | 37,5 | 51,39 | 21,47 | 53,34 | 58,22 |
| | Υπολ Συν. CL1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavange | SC1 Magn | 21,3 | 20,22 | 35,32 | 16,06 | 23,67 |
| | sC1 NMagn | 78,7 | 79,78 | 64,68 | 83,94 | 76,33 |
| | Υπολ Συν. SC1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Cleaner 2 | CL2 Magn | 80,80 | 67,75 | 87,50 | 69,22 | 79,96 |
| | CL2 NMagn | 19,20 | 32,25 | 12,50 | 30,78 | 20,04 |
| | Υπολ Συν. CL2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Scavange | SC2 Magn | 8,50 | 6,68 | 14,22 | 6,58 | 7,48 |
| | SC2 NMagn | 91,5 | 93,32 | 85,78 | 93,42 | 92,52 |
| | Υπολ Συν. SC2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

(Δ Φάση Πειραμάτων)

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα προκειμένου να προκύψει το τελικό συμπέρασμα, παρατηρούμε τη **κατανομή % ZnS** (σφαλερίτης) στα μαγνητικά και στα μη μαγνητικά δείγματα . Επομένως για τα **μαγνητικά** δείγματα ισχύει :

| |
|---|
| Rougher magn : 58.42% (β φάση), 63.70%(γ φάση), 71.76 % (δ φάση) |
| Cleaner 1 magn : 79.32%(β φάση), 79.96%(γ φάση), 78.53%(δ φάση) |
| Cleaner2 magn : 77.21%(β φάση), 89.42%(γ φάση), 87.50 % (δ φάση) |

Ενώ για τα **μη μαγνητικά** δείγματα :

| |
|---|
| Rougher nmagn : 41.58 % (β φάση), 36.30%(γ φάση), 28.24%(δ φάση) |
| Scavenger 1 nmagn : 60.61 % (β φάση), 59.82 % (γ φάση), 64.68 % (δ φάση) |
| Scavenger 2 nmagn : 65.28%(β φάση), 71.19(γ φάση), 85.78%(δ φάση) |

Για την **κατανομή % PbS** (γαληνίτης) στα **μαγνητικά** ισχύει :

| |
|---|
| Rougher magn : 10.09 % (β φάση), 27.95% (γ φάση), 34.96 % (δ φάση) |
| Cleaner 1 magn : 44.49% (β φάση), 41.74 % (γ φάση), 46.66%(δ φάση) |
| Cleaner2 magn : 55.40 % (β φάση), 67.59%(γ φάση), 69.22 % (δ φάση) |

Ενώ στα **μη μαγνητικά** θα ισχύει :

| |
|--|
| Rougher nmagn : 89.91 % (β φάση), 72.05%(γ φάση), 65.04(δ φάση) |
| Scavenger 1 nmagn : 93.49 % (β φάση), 85.54%(γ φάση), 83.94 % (δ φάση) |
| Scavenger 2 nmagn : 94.33 % (β φάση), 88.41% (γ φάση), 93.42 % (δ φάση) |

Για την **κατανομή % FeS₂** (σιδηροπυρίτης) στα **μαγνητικά** ισχύει :

| |
|--|
| Rougher magn : 9.72 % (β φάση), 32.17 % (γ φάση), 33.29 % (δ φάση) |
| Cleaner 1 magn : 40.99 % (β φάση), 46.89 % (γ φάση), 48.61 % (δ φάση) |
| Cleaner2 magn : 50.99 % (β φάση), 70.68 % (γ φάση), 67.75 % (δ φάση) |

Ενώ στα **μη μαγνητικά** θα ισχύει :

| |
|---|
| Rougher nmagn : 90.28 % (β φάση) , 67.83 % (γ φάση) , 66.71 % (δ φάση) |
| Scavenger 1 nmagn : 95.25 % (β φάση) , 84.26 % (γ φάση) , 79.78% (δ φάση) |
| Scavenger 2 nmagn : 95.69 % (β φάση) , 86.14 % (γ φάση) , 93.32 % (δ φάση) |

Για την **κατανομή % FeAsS** (αρσеноπυρίτης) στα **μαγνητικά** ισχύει :

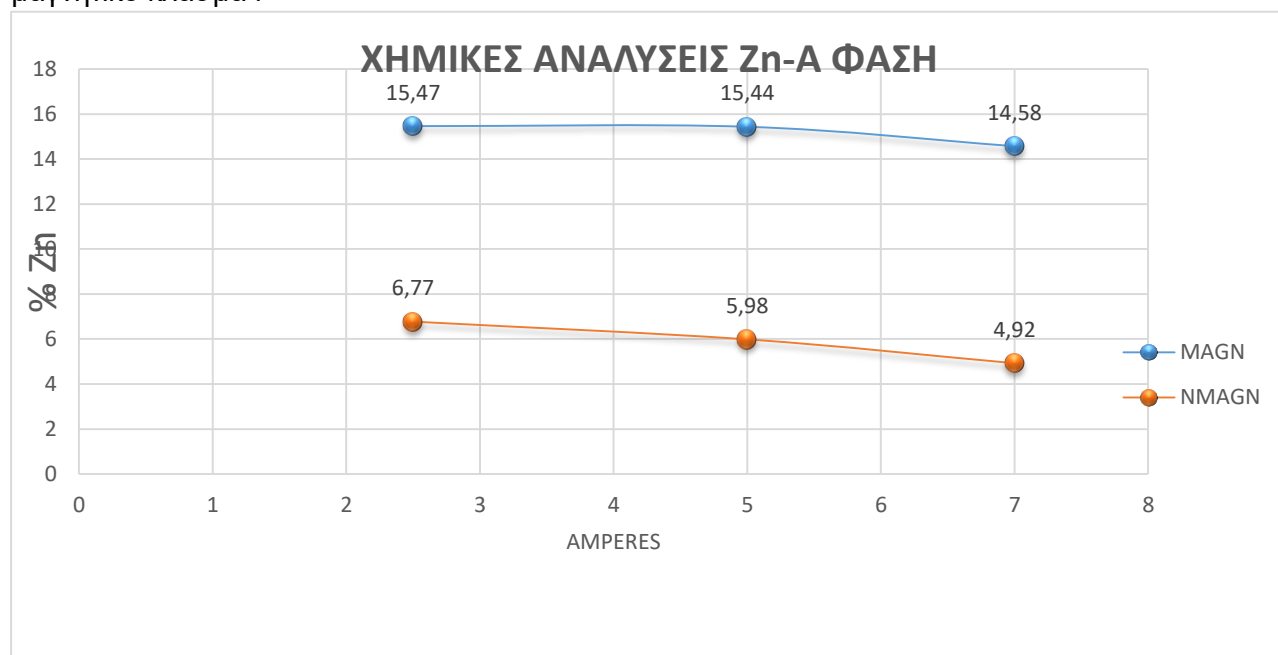
| |
|--|
| Rougher magn : 16.63 % (β φάση) , 33.66 % (γ φάση) , 62.91 % (δ φάση) |
| Cleaner 1 magn : 57.41 % (β φάση) , 47.48 % (γ φάση) , 76.33 % (δ φάση) |
| Cleaner2 magn : 64.24 % (β φάση) , 77.30 % (γ φάση) , 92.52 % (δ φάση) |

Ενώ στα **μη μαγνητικά** θα ισχύει :

| |
|---|
| Rougher nmagn : 83.37% (β φάση) , 66.34 % (γ φάση) , 62.91 % (δ φάση) |
| Scavenger 1 nmagn : 92.69 % (β φάση) , 81.39 % (γ φάση) , 76.32 % (δ φάση) |
| Scavenger 2 nmagn : 94.17 % (β φάση) , 74.14% (γ φάση) , 92.52 % (δ φάση) |

Από όλα τα παραπάνω παρατηρούμε ότι όντως ο σφαλερίτης (ZnS - ZnFeS), συγκεντρώνεται στα μαγνητικά όπως ήταν και η αρχική μας εκτίμηση . Επίσης παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα στη γ και δ φάση, έχουν βελτιωθεί σε σχέση με τη β φάση ,σε μια πρώτη εμπειρική εκτίμηση . Επιπλέον παρατηρούμε ότι τα υπόλοιπα στοιχεία, σιδηροπυρίτης (FeS_2) ,αρσеноπυρίτης(FeAsS), γαληνίτης (PbS) έχουν την τάση να συγκεντρώνονται στα μη μαγνητικά δείγματα . Τέλος λαμβάνουμε υπόψη και τα όποια σφάλματα, έχουν προκύψει κατά τις χημικές αναλύσεις και δυσκολεύουν την εκτίμηση των αποτελεσμάτων με ακρίβεια.

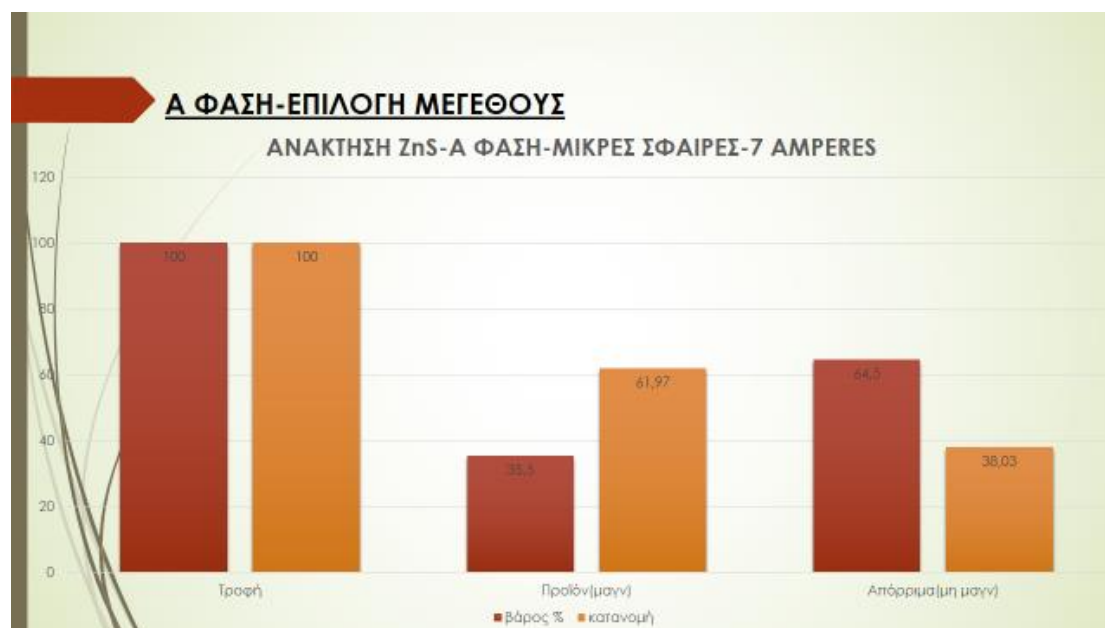
Ειδικότερα παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας στον οποίο φαίνονται για τον ψευδάργυρο οι χημικές αναλύσεις (Zn %), στις τρεις εντάσεις ρεύματος (2.5, 5, 7 amperes), με μικρές σφαίρες και την Α φάση πειραμάτων,στο μαγνητικό και στο μη μαγνητικό κλάσμα .



Εικόνα 75

Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση Zn % στα μη μαγνητικά κλάσματα καθώς αυξάνουμε την ένταση του πεδίου ακολουθεί μια φθίνουσα πορεία . Επίσης βλέπουμε ότι στα μαγνητικά κλάσματα δεν υπάρχει αντίστοιχα αύξουσα πορεία, όπως ίσως θα περιμέναμε . Επομένως συμπεραίνουμε ότι με την αύξηση της έντασης του πεδίου ,ναι μεν παίρνουμε περισσότερη μάζα υλικού στα μαγνητικά (όπως προέκυψε απο την εικόνα 35), όμως αυτό δεν σημαίνει ότι αυξάνεται και η ανάκτηση σφαλερίτη (δεν έχουμε βελτίωση στη ποιότητα του δείγματος) .

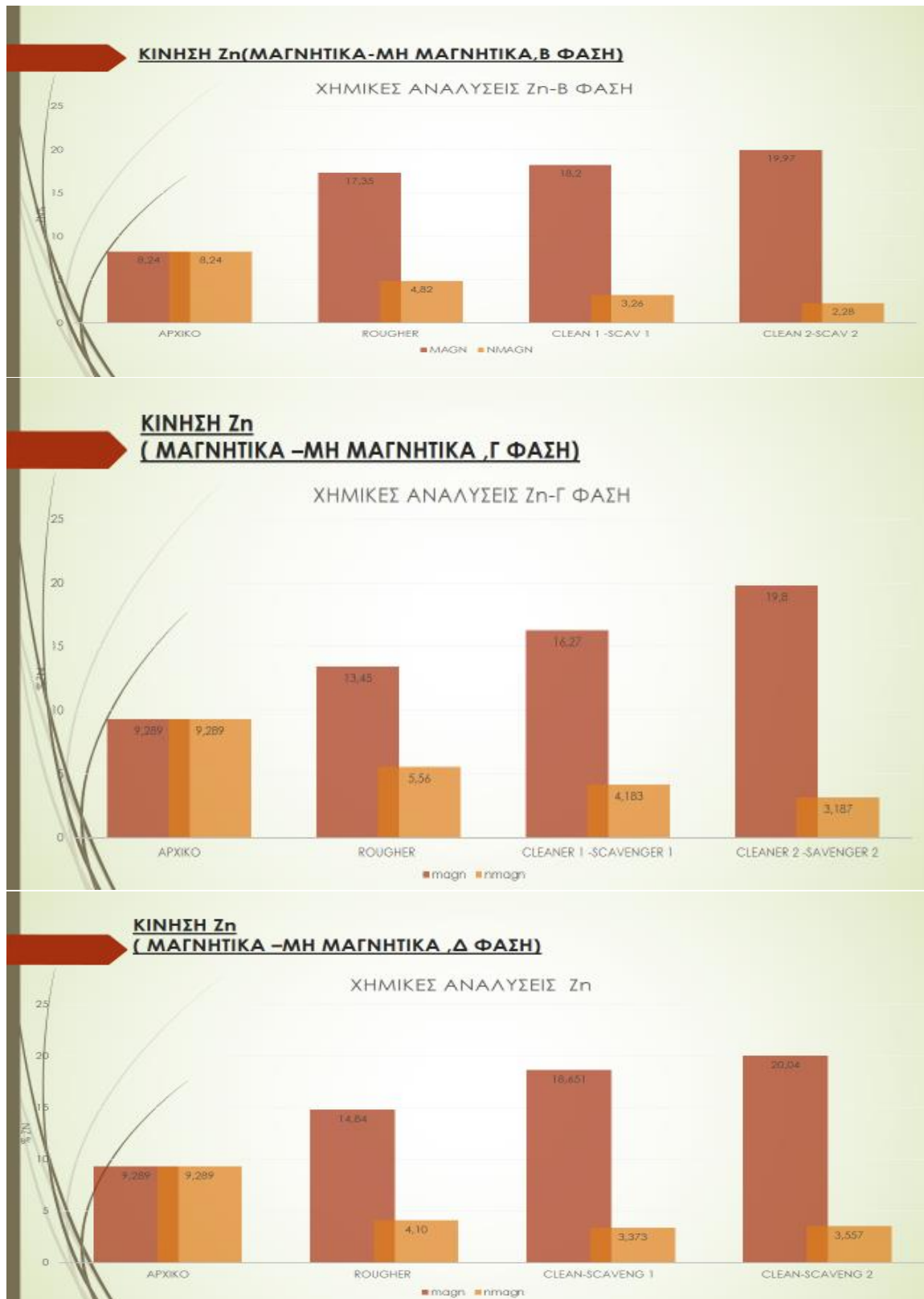
Παρακάτω παρατίθεται πίνακας που αφορά την Α-Φάση πειραμάτων, μικρές σφαίρες (επιλέκθηκαν για όλα τα πειράματα) και 7 amperes (καλύτερα προσδοκώμενα αποτελέσματα) . Φαίνεται το βάρος % κλάσμάτων, σε σχέση με τη κατανομή, για τροφή προϊόν και απόρριμα .



Εικόνα 76

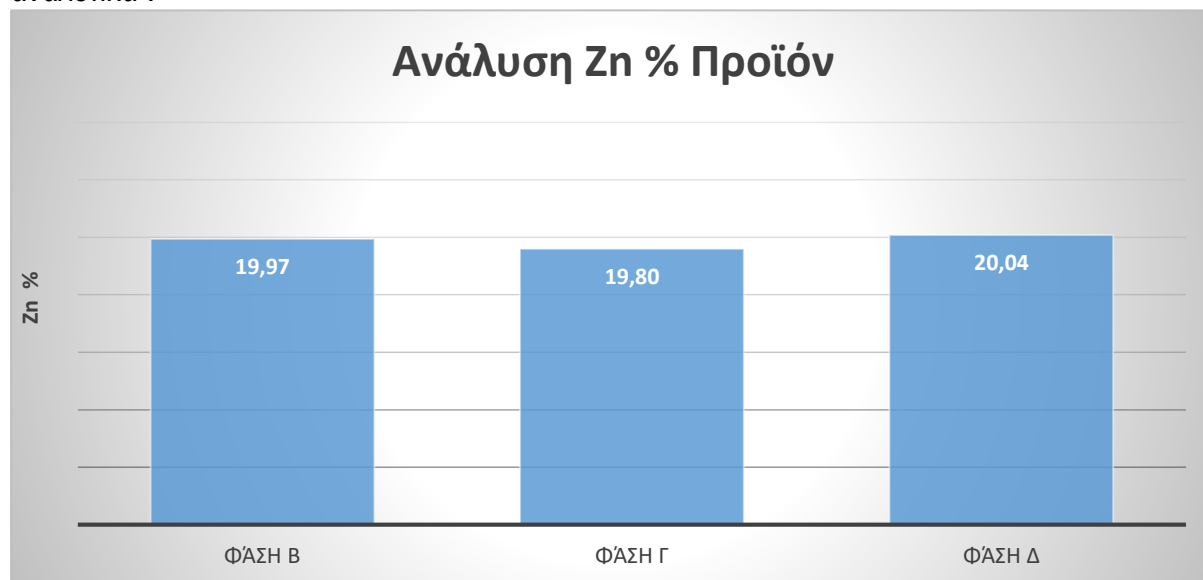
Παρατηρούμε 61,97 % του Zn να πηγαίνει στο προϊόν, ενώ 38.03 % του Zn να χάνεται στο απόρριμα . Ενώ ταυτόχρονα 64.5 % του βάρους του δείγματος, στα μη μαγνητικά και 35.5 % στα μαγνητικά .

Στη συνέχεια παρουσιάζεται πίνακας, ο οποίος περιέχει τη κίνηση του ψευδαργύρου στα μαγνητικά και μη μαγνητικά κλάσματα για τη β φάση (με βάση χημικές αναλύσεις Zn %) . Ομοίως παρουσιάζονται πίνακες για την γ και δ φάση . Παρατηρούμε αυξητική και μειωτική τάση στα μαγνητικά και μη μαγνητικά κλάσματα αντίστοιχα για τη β φάση όπως και τη γ και δ φάση .



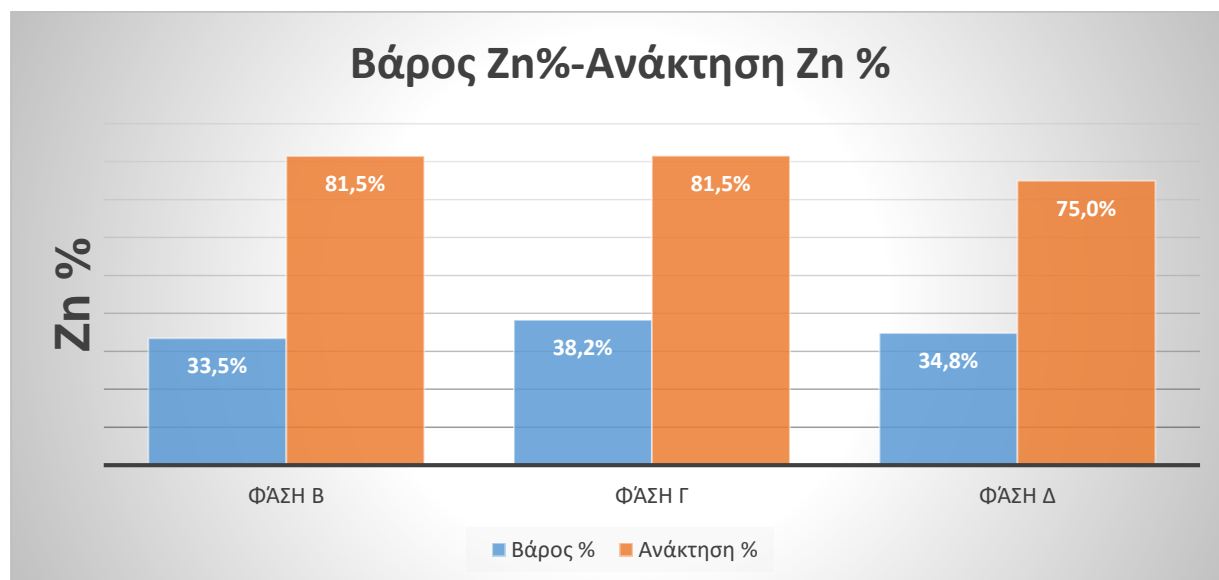
Εικόνα 77

Τέλος, ακριβώς απο κάτω παρατίθενται δυο ακόμα ιστογράμματα για Zn, γίνεται σύγκριση των αναλύσεων μεταξύ των τριών φάσεων αλλά και της σχέσης που υπάρχει μεταξύ βάρους % και ανάκτησης στις τρεις φάσεις . Θεωρώντας πάντα ένα τελικό συμπύκνωμα (προϊόν απο cleaner 2) και ένα απόρριμα (scavenger 2) και κάνοντας πάντα εκτιμήσεις ως προς το αρχικό δείγμα . Επίσης ισχύει : $Ff=Cc + Tt$, όπου f, c, t, ανακτήσεις % και F, C, T βάρη % . Επιπλέον ακολουθεί ακόμα ένας πίνακας, στον οποίο εμπεριέχονται τα δεδομένα των δυο αυτών ιστογραμμάτων αναλυτικά .



Εικόνα 78

Παρατηρούμε ότι και στις τρεις φάσεις οι τιμές χημικών αναλύσεων είναι παραπλήσιες . Όμως μπορούμε να πούμε ,στα πλαίσια της σύγκρισης,ότι τις καλύτερες τιμές χημικών αναλύσεων, δηλαδή την καλύτερη ποιότητα την έχουμε στην Δ φάση .



Εικόνα 79

Παρατηρούμε ότι τα καλύτερα αποτελέσματα τα έχουμε στη Γ ΦΑΣΗ., λαμβάνοντας υπόψη βάρη % (του αρχικού υλικού που παέει στο συμπύκνωμα) και ανάκτηση % (ποσοστό Zn απο αρχικό δείγμα που κατέληξε στο συμπύκνωμα),

ΠΙΝΑΚΑΣ 29 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΣΥΓΓΚΡΙΣΗ ΤΡΙΩΝ ΦΑΣΕΩΝ (ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ %-ΒΑΡΟΥΣ %-ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ %)

| | | Αναλύσεις Zn | | | Βάρος % | Ανάκτηση % |
|--------|--|--------------|--------|-----------|---------|------------|
| | | Τροφή | Προϊόν | Απόρριμμα | | |
| Φάση Β | | 8,20 | 19,97 | 2,28 | 33,5% | 81,5% |
| Φάση Γ | | 9,29 | 19,80 | 2,78 | 38,2% | 81,5% |
| Φάση Δ | | 9,29 | 20,04 | 3,56 | 34,8% | 75,0% |

Από όλα τα παραπάνω το γενικό συμπέρασμα που απορρέει είναι θετικό . Παρόλα αυτά το σύνολο των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει δεν επαρκούν για να επαληθεύσουν στο απόλυτο την αρχική υπόθεσή μας . Καθώς με τη μέθοδο της επίπλευσης πετυχένεται ανάκτησης σφαλερίτη στο τελικό συμπύκνωμα 90 %-95 % απο το αρχικό δείγμα . Επίσης στην μέθοδο της επίπλευσης, το προϊόν που προκύπτει είναι πολύ υψηλότερης ποιότητας, περίπου 50 % είναι η συγκέντρωση Zn στο συμπύκνωμα, μετά απο χημικές αναλύσεις . Στην προκειμένη περίπτωση, με τη μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού, η μέγιστη ανάκτηση Zn που προέκυψε ήταν περίπου 82%,ενώ η συγκέντρωση Zn στο συμπύκνωμα ήταν περίπου 20%, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων.

4 .ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Το γενικό συμπέρασμα το οποίο προκύπτει απο όλα τα παραπάνω μας οδηγεί σε θετικά αποτελέσματα, καθώς επιτυγχάνεται όντως διαχωρισμός σφαλερίτη απο τα υπόλοιπα ορυκτά, με δυνατότητες πολύ καλών αποτελεσμάτων . Αρκεί να υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες, η κατάλληλη ένταση στο ηλεκτρικό-μαγνητικό πεδίο και επίσης απαραίτητο είναι το υλικό να έχει τη κατάλληλη κοκκομετρία . Τέλος, σημαντικός παράγοντας είναι η μορφή του σφαλερίτη (ZnS-ZnFeS), ανάλογα το βαθμο της αντικατάστασης του Zn απο το Fe στο κρύσταλλο της ένωσης .

Συγκεκριμένα αρχικά διαπιστώθηκε ότι η μορφή του σφαλερίτη (ZnS-ZnFeS) στο δείγμα μας περιέχει αρκετό Fe . Στο κρυσταλλικό πλέγμα του σφαλερίτη, μέρος του Zn έχει αντικατασταθεί με Fe , ως 30% και 70 % παραμένει Zn (αν 50 % Fe και 50 % Zn , θα ήταν μαγνητοπυρίτης) . Αυτό το γεγονός ωθεί τη συγκέντρωση του στο μαγνητικό κλάσμα (συμπύκνωμα), ενώ τα υπόλοιπα ορυκτά συσσωρεύονται κυρίως στο μη μαγνητικό κλάσμα (απόρριμα) . Στη συνέχεια μετά απο μια πρώτη σειρά πειραμάτων, αφού ταυτοποιήθηκαν συνθήκες λειτουργίας και αποτελέσματα απόδοσης μαγνήτη, ξεκίνησαν οι ουσιαστικές δοκιμές . Ακολούθησαν ακόμα τρεις σειρές πειραμάτων,στην τρίτη και τέταρτη δοκιμή παρατηρήθηκε βελτίωση σε σχέση με τη δεύτερη . Αυτό ήταν λογικό, καθώς η αποδεύσμευση ήταν μεγαλύτερη μετά απο περισσότερο χρόνο λειοτρίβησης στο μύλο . Η βασική αλλαγή που έγινε ήταν η χρήση υλικού διαφορετικής κοκκομετρία στα πειράματα (75 μm -40 λεπτά λειοτρίβηση έναντι των 140 μm -20λειοτρίβησης) .

Απο τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά και τη τελευταία σειρά δοκιμών, δεν θα μπορούσαμε να προτείνουμε αντικατάσταση της μεθόδου της επίπλευσης με μαγνητικό διαχωρισμό (οικονομικότερη μέθοδος-χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις) , γιατί χάνεται αρκετός σφαλερίτης (Zns) στο απόρριμα . Όμως, τα αποτελέσματα αυτά επιδέχονται μεγαλύτερης βελτίωσης αν χρησιμοποιηθεί υλικό μικρότερης κοκκομετρίας αφού πρώτα λειοτριβηθεί για περισσότερο χρόνο στο μύλο λειοτρίβησης . Βέβαια υπάρχει κάποιος περιορισμός ως προς το μικρότερο μέγεθος κοκκομετρίας που θα μπορούσε ο συγκεκριμένος μαγνήτης να δουλέψει σωστά, καθώς το περιβάλλον λειτουργίας είναι υγρό . Έτσι, αν η κόκκομετρία του υλικού είναι αρκετά φιλή, ενδέχεται να παρασυρθεί υλικό κατά την έκπλυση στο μη μαγνητικό κλάσμα . Τέλος, πολύ βασικό κομμάτι ώστε να μπορέσουμε να καταλήξουμε στο όσο γίνεται πιο αξιόπιστα αποτελέσματα είναι οι χημικές αναλύσεις ,απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλου χώρου, εξοπλισμού, υλικών ,κ.τ.λ .

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να προτείνουμε δοκιμή αφού το υλικό λειοτριβηθεί στο ραβδόμυλο για περισσότερο χρόνο (πάνω απο 40 minute) , και αποκτήσει φιλότερη κοκκομετρία(γύρω στα 50 μm) . Αυτό επιβεβαιώνεται και μέσα απο την παρατήρηση με μικροσκόπιο των σιλιπνών τομών . Με τα συγκεκριμένα αποτελέσματα θα μπορούσαμε μονάχα να προτείνουμε τη μέθοδο μαγνητικού διαχωρισμού για το κομμάτι του προεμπλουτισμού και όχι ολόκληρου του εμπλουτισμού . Αυτό θα έχει κυρίως ως αποτέλεσμα οικονομικό όφελος γιατί όπως είναι γνωστό η μέθοδος της επίπλευσης είναι πολυέξοδη . Επίσης, θα περιοριστεί και η χρήση κυανιούχου νατρίου, αν όχι να σταματήσει παντελώς η χρήση του . Αυτο θα είναι σίγουρα θετικό για το περιβάλλον, αφού θα μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και θα είναι πιο εύκολο να εφαρμοστούν οι μεθοδοι για την καταστροφή του κυανιούχου νατρίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σταμπολιάδης Η., (2008). “Εμπλουτισμός των Μεταλλευμάτων”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Σταμπολιάδης Η., (2008). “Μηχανική των Τεμαχιδίων”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Σταμπολιάδης Η., Σημειώσεις μεταπτυχιακού μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Κωστάκης Γ., (2005). “Γενική Ορυκτολογία”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Αλεβιζος Γ., “Μικροσκοπία Ορυκτών Πρώτων Υλών”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Θεοδωρίκας Σ., (2002) “Ορυκτολογία-Πετρολογία”, Θεσσαλονικη 2002

“Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης”, (1993), Σημειώσεις Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

