



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Εμπλουτισμός χρυσοφόρου μεταλλεύματος  
μαγγανίου»**

**Δημητρίου Μήνα**

**Εξεταστική Επιτροπή**

Σταμπολιάδης Ηλίας, Καθηγητής (επιβλέπων)  
Περδικάτσης Βασίλειος, Ομότιμος Καθηγητής  
Αλεβίζος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής

Χανιά, Σεπτέμβριος 2010

## Πρόλογος

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

Στόχοι της εργασίας αυτής είναι ο εμπλουτισμός του μαγγανίου σε αποδεκτά επίπεδα καθιστώντας το μέταλλευμα οικονομικά εκμεταλλεύσιμο, η διερεύνηση ύπαρξης χρυσού στο μέταλλευμα καθώς και η δυνατότητα ανάκτησής του.

Στα πλαίσια της εργασίας έγιναν δοκιμές εμπλουτισμού στο Εργαστήριο Εμπλουτισμού, χημικές αναλύσεις στο Εργαστήριο Γεωχημείας και ορυκτολογικές αναλύσεις στο Εργαστήριο Γενικής & Τεχνικής Ορυκτολογίας.

## Ευχαριστίες

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ηλία Σταμπολιάδη για την πολύτιμη βοήθειά του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και για τις συμβουλές του κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Ευχαριστώ ακόμα τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Αλεβίζο για την βοήθειά του στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της «Περιθλασιμετρίας Ακτίνων – Χ», την μελέτη – αξιολόγηση – φωτογράφιση των ορυκτολογικών τομών, καθώς και για την αξιολόγηση αυτής της εργασίας. Επίσης ευχαριστώ τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Βασίλειο Περδικάτη για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και για την αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ. Όλγα Παντελάκη, επιστημονικό συνεργάτη του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων, για την βοήθεια της στην ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Λέκτορα κ. Δέσποινα Πεντάρη, για την βοήθεια της στις χημικές αναλύσεις με την μέθοδο της Ατομικής Απορρόφησης, την κ. Χρύσα Αποστολάκη για την βοήθεια της στις χημικές αναλύσεις με την μέθοδο Φθορισμού ακτίνων – Χ (XRF), τον κ. Αντώνη Στρατάκη και των κ. Γεώργιο Αποστολάκη για την σημαντική βοήθεια τους στις ορυκτολογικές αναλύσεις.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξη που μου έδειξαν κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

## Περίληψη

Η εργασία αυτή περιγράφει την εργαστηριακή διαδικασία εμπλουτισμού ενός μεταλλεύματος μαγγανίου. Το ενδιαφέρον μας για το συγκεκριμένο μέταλλευμα οφείλεται στα ορυκτά του μαγγανίου που περιέχει. Το αρχικό μέταλλευμα αποτελείται κυρίως από μαγγανίτη, ροδοχρωσίτη και χαλαζία και χαρακτηρίζεται από την εξής χημική ανάλυση: 49%  $\text{SiO}_2$ , 2%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 27% Mn, 13% LOI (απώλεια πύρωσης) και 0,83ppm Au.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για το διαχωρισμό των μαγγανιούχων ορυκτών από το χαλαζία είναι διαχωρισμός με βαρέα υγρά, μαγνητικός διαχωρισμός και η επίπλευση. Για την ανάκτηση του χρυσού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της κυάνωσης με ενεργό άνθρακα.

Ικανοποιητικός διαχωρισμός παρατηρείται και στα τρία κοκκομετρικά κλάσματα που δοκιμάστηκαν, 1,00-4,00 mm, 0,25-1,00mm, 0,063-0,25mm, τόσο με την μέθοδο των βαρέων υγρών όσο και του μαγνητικού διαχωρισμού. Για την βελτίωση των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού έγινε επιπλέον δοκιμή επίπλευσης στο 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> μαγνητικό προϊόν, κοκκομετρίας 1,00-4,00mm, όπου επέπλευσε ο χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) χρησιμοποιώντας αντιδραστήρια αμίνης. Παρατηρήθηκε βελτίωση αλλά όχι η αναμενόμενη. Στο κοκκομετρικό κλάσμα 10-63μm έγιναν επίσης δοκιμές επίπλευσης όπου επέπλευσε ο χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ) χρησιμοποιώντας αντιδραστήρια αμίνης με μέτρια αποτελέσματα. Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε ροδοχρωσίτη (47,5% Mn) δεν ήταν δυνατό να πάρουμε προϊόντα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα από 50% σε Mn.

Για το χρυσό Au χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της κυάνωσης με ενεργό άνθρακα, ο οποίος απορροφά τον διαλυμένο χρυσό. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην κυάνωση ήταν τα απορρίμματα των βαρέων υγρών και του μαγνητικού διαχωρισμού καθώς επίσης και τα ψιλά του υδροκυκλώνα, κοκκομετρίας -10μm. Τα αποτελέσματα που πήραμε υποδεικνύουν ότι μόνο το 10% του χρυσού είναι εκμεταλλεύσιμο, άρα δεν μπορεί να παραχθεί χρυσός από το μέταλλευμα μας.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	ii
Ευχαριστίες .....	iii
Περίληψη .....	iv
<b>Μέρος Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Εισαγωγή .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Μεταλλεύματα Μαγγανίου .....</b>	<b>2</b>
2.1 Γενικά .....	2
2.2 Κατηγορίες Κοιτασμάτων Μαγγανίου [14].....	3
2.2.1 Κοιτάσματα Μαγγανίου [14] .....	4
2.3 Παραγωγή .....	6
2.4 Χρήσεις.....	7
<b>3 Μέθοδοι Εμπλουτισμού .....</b>	<b>8</b>
3.1 Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός [6].....	8
3.1.1 Εργαστηριακή Μέθοδος των Βαρέων Υγρών .....	9
3.2 Μαγνητικός Διαχωρισμός [6].....	9
3.2.1 Μαγνητικοί Διαχωριστές .....	10
3.3 Επίπλευση .....	12
3.3.1 Επίπλευση με τεταρτοταγή αμίνη [2] .....	13
3.4 Μέθοδος ανάκτηση του χρυσού - Κυάνωση .....	13
3.4.1 Μηχανισμός της κυάνωσης .....	14
3.4.2 Ανάκτηση του χρυσού από το κυανιούχο διάλυμα με ενεργό άνθρακα [3] .....	15
<b>4 Αναλυτικές Μέθοδοι .....</b>	<b>16</b>
4.1 Χημικές Αναλύσεις .....	16
4.1.1 Φθορισμός ακτίνων – X (X-ray Fluorescence, XRF) [1,8] .....	16
4.1.2 Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης [9] .....	17
4.1.3 Πυρανάλυση (Fire assay) - Δοκιμές Κυπέλλωσης [3].....	20
4.2 Ορυκτολογικές Αναλύσεις .....	21
4.2.1 Περιθλασίμετρο Ακτίνων –X (X.R.D) [4] .....	21
<b>ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>24</b>
<b>5 Περιγραφή Δείγματος.....</b>	<b>24</b>
5.1 Προέλευση Δείγματος.....	24

5.2	Φυσικές ιδιότητες δείγματος.....	24
5.2.1	Κοκκομετρία και χημικές αναλύσεις δείγματος .....	24
5.2.2	Ορυκτολογικές αναλύσεις δείγματος .....	26
<b>6</b>	<b>Εργαστηριακές Δοκιμές .....</b>	<b>27</b>
6.1	Βαρέα Υγρά .....	27
6.1.1	Πειραματική Διαδικασία.....	27
6.1.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	28
6.1.3	Αποτελέσματα ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης.....	35
6.1.4	Μερικά συμπεράσματα .....	40
6.2	Μαγνητικός Διαχωρισμός.....	41
6.2.1	Πειραματική Διαδικασία.....	41
6.2.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	42
6.2.3	Αποτελέσματα ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης.....	49
6.2.4	Μερικά συμπεράσματα .....	53
6.3	Επίπλευση με αμίνη.....	55
6.3.1	Πειραματική Διαδικασία.....	55
6.3.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	55
6.3.3	Αποτελέσματα ορυκτολογικής μικροσκοπικής εξέτασης.....	60
6.3.4	Μερικά συμπεράσματα .....	61
6.4	Αναλύσεις Χρυσού (Au) .....	63
6.4.1	Μερικά συμπεράσματα .....	63
6.5	Κυάνωση Χρυσού.....	64
6.5.1	Πειραματική Διαδικασία.....	64
6.5.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	65
6.5.3	Μερικά συμπεράσματα .....	67
<b>7</b>	<b>Γενικά Συμπεράσματα – Προτάσεις.....</b>	<b>68</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>70</b>
	<b>Παράρτημα Α .....</b>	<b>72</b>

# Μέρος Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

## 1 Εισαγωγή

Από το 1950-1990 γινότανε εξόρυξη πυρολουσίτη ( $MnO_2$ ), από την εταιρεία Ελληνικοί Βωξίτες Α.Ε του συγκροτήματος Σκαλιστήρη, στη περιοχή Νευροκοπίου Δράμας και εξαγόταν, για την παραγωγή όξινων μπαταριών. Τη δεκαετία του 80 η εταιρία, ίδρυσε εργοστάσιο παραγωγής μπαταριών στη Ξάνθη με την ονομασία Sunlight το οποίο στην συνέχεια επωλήθη στη Varta. Σήμερα το εργοστάσιο παραγωγής ανήκει στο συγκρότημα Γερμανός. Μαγγανιούχο μέταλλευμα εξορυσσόταν επίσης και από την Αγγλική Εταιρία (Julius Hunter) στη Χαλκιδική, απ' όπου προέρχεται και το δείγμα της παρούσας εργασίας. Σήμερα η παρούσα εταιρία δεν λειτουργεί και τα κοιτάσματα έχουν περιέλθει στην εταιρία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.

Στις μέρες μας δεν γίνεται πλέον εξόρυξη  $MnO_2$  στην Ελλάδα και οι ανάγκες καλύπτονται από συνθετικό  $MnO_2$  που παράγεται από την Ιαπωνική εταιρεία TOSOH HELLAS A.I.C. Η απαιτούμενη πρώτη ύλη εισάγεται από το εξωτερικό με τις προδιαγραφές που αναφέρονται στο Πίνακα 1.1. ο οποίος παρουσιάζεται πιο κάτω.[11]

**Πίνακας 1.1: Προδιαγραφές πρώτης ύλης για παραγωγή συνθετικού  $MnO_2$  (εκφρασμένα επί ξηρού)**

Συστατικά Πρώτης Ύλης	Περιεκτικότητα (%)
Mn	49,0 min
Fe	3,0 min-5,0 max
$SiO_2$	4,0 max
$Al_2O_3$	6,5 max
P	0,12 max
K	0,60 max
Ca	0,1 max
Na	0,10 max
Mg	0,20 max
PSD	95%<12mm
$H_2O$	12,5 max

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αφενός να ερευνηθεί η δυνατότητα παραγωγής συμπυκνώματος μαγγανίου (Mn) από το μέταλλευμα της Χαλκιδικής σε ποιότητα αποδεκτή από την TOSOH HELLAS A.I.C και αφετέρου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάκτησης του περιεχομένου χρυσού.

## 2 Μεταλλεύματα Μαγγανίου

### 2.1 Γενικά

Το χημικό στοιχείο μαγγάνιο είναι ένα μέταλλο με ατομικό αριθμό 25 και ατομικό βάρος 54,9380. Έχει θερμοκρασία τήξης 1245 C° και θερμοκρασία βρασμού 1962 C°. Το σύμβολό του είναι Mn. Μπορεί να βρεθεί, πάρα πολύ σπάνια και δίχως οικονομικό ενδιαφέρον, σε ελεύθερη μορφή στη φύση (συνήθως σε συνδυασμό με το σίδηρο) και σε πολλά μεταλλεύματα. Ως ελεύθερο στοιχείο, το μαγγάνιο είναι μέταλλο και έχει σημαντική βιομηχανική χρήση, όταν είναι σε κράματα, ειδικά στο ανοξείδωτο χάλυβα (ατσάλι). Το μαγγάνιο αποτελεί περίπου το 0,1% του βάρους της επιφάνειας της γης, άρα είναι το 12<sup>ο</sup> πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνεια της γης. Το έδαφος περιέχει 7-9000ppm μαγγανίου και το θαλασσινό νερό περιέχει μόνο 10ppm μαγγανίου.

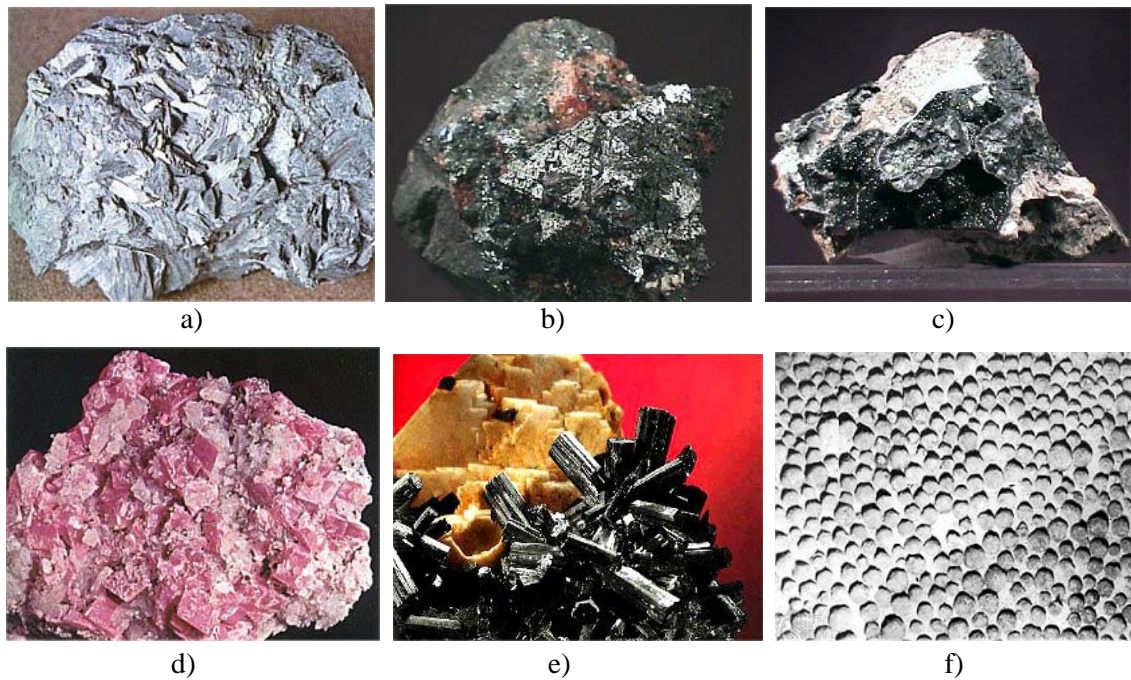


**Εικόνα 2.1: Μαγγάνιο σε μεταλλική μορφή**

Τα ιόντα μαγγανίου έχουν ποικιλία χρωμάτων, που εξαρτώνται από τα στάδια οξειδωσης και έχουν βιομηχανική χρήση ως χρωστικές ουσίες. Το υπερμαγγανικό νάτριο, κάλιο και βάριο είναι πολύ δυνατά οξειδωτικά μέσα. Το διοξείδιο του μαγγανίου χρησιμοποιείται σαν καθοδικό ηλεκτρόδιο (αποδέκτης ελεύθερων ηλεκτρονίων) σε τυποποιημένα υλικά και αλκαλικά αναλώσιμα, ξηρά στοιχεία και μπαταρίες.

Σπουδαιότερο ορυκτό του Mn είναι ο πυρολουσίτης (MnO<sub>2</sub>) . Υπάρχει μεγάλη ποικιλία ορυκτών μαγγανίου μεταξύ των οποίων τα πλέον κοινά είναι ο αουσμανίτης, (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), ο ψιλομέλανας [(Mn,Ba)O·2MnO<sub>2</sub>], ο ροδοχρωσίτης (MnCO<sub>3</sub>), και ο μαγγανίτης [MnO(OH)], Πίνακας 2.1. Τεράστιες ποσότητες ορυκτών μαγγανίου (24% σε Mn ως οξείδια και υδροξείδια) βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών υπό τη μορφή σφαιριδίων, που είναι γνωστά ως κόνδυλοι μαγγανίου (manganese nodules).[12-17]





**Εικόνα 2.2: Ορυκτά του μαγγανίου: a) Πυρολουσίτης, b) Αουσμανίτης, c) Ψιλομέλανας, d) Ροδοχρωσίτης και e) Μαγγανίτης, και συγκεντρώσεις ορυκτών μαγγανίου: f) Κόνδυλοι μαγγανίου στο βυθό του Νότιου Ειρηνικού.**

[http://www.chem.uoa.gr/quali/quali\\_C03\\_Mn.htm](http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_C03_Mn.htm)

**Πίνακας 2.1: Οικονομικά ορυκτά κοιτασμάτων μαγγανίου**

Ορυκτό	Χημική Σύνσταση	Περιεκτικότητα % Mn	Πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>
Αουσμανίτης	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	72,5	4,84
Πυρολουσίτης	MnO <sub>2</sub>	63	5,15
Μαγγανίτης	MnOOH	62,5	4,30
Ψιλομέλανας	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2H <sub>2</sub> O	45-60	4,50
Ροδοχρωσίτης	MnCO <sub>3</sub>	47,5	3,70
Ροδονίτης	MnSiO <sub>3</sub>	42	3,73
Βεμεντίτης	2MnSiO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	39	3,00

## 2.2 Κατηγορίες Κοιτασμάτων Μαγγανίου [14]

Τα κοιτάσματα μαγγανίου χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα πρωτογενή και τα υπολειμματικά. Τα πρωτογενή είναι υδροθερμικά κοιτάσματα που προήλθαν από υποθαλάσσια ηφαιστειότητα (π.χ: Oriente, Κούβα) ή από χημική ιζηματογένεση (π.χ: Νίκολοι, Ουκρανία και Chiaturi, Γεωργία). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και οι κόνδυλοι μαγγανίου. Τα υπολειμματικά κοιτάσματα μαγγανίου προέρχονται από αποσάθρωση πετρωμάτων που περιέχουν μαγγανιούχα ορυκτά (π.χ: Madras, Ινδία και Nsuta, Γκάνα) ή από αποσάθρωση πρωτογενών κοιτασμάτων μαγγανίου (π.χ: Minas Gerais, Βραζιλία).



πυρολουσίτης ± μαγγανίτης, ο ρανσιεΐτης, ο βραουνίτης, ο πιεμοντίτης–ασβεσίτης και κρυπτοκρυσταλλικός χαλαζίας ( $\text{SiO}_2$ ). Μέσης περιεκτικότητας 18%, αυτό μεταφράζεται σε 50-52% Mn.

#### 2.2.1.2 Κοιτάσματα μαγγανίου στην Ελλάδα [14]

**α) Πρωτογενή ηφαιστειοϊζηματογενή κοιτάσματα μαγγανίου:** συναντούμε στην ζώνη Ολονού – Πίνδου, στις περιοχές Κοζάνης, Τρικάλων, Εύβοιας, Άνδρου, Πελοποννήσου κ.λπ. Συνδέονται με σχιστοκερατόλιθους, χαλαζίτες και φυλλίτες μεσοζωικών οφειόλιθων. Χαρακτηριστικά ορυκτά αυτών των κοιτασμάτων είναι ο πυρολουσίτης, ο μαγγανίτης, ο ψιλομέλανας και ο βραουνίτης.

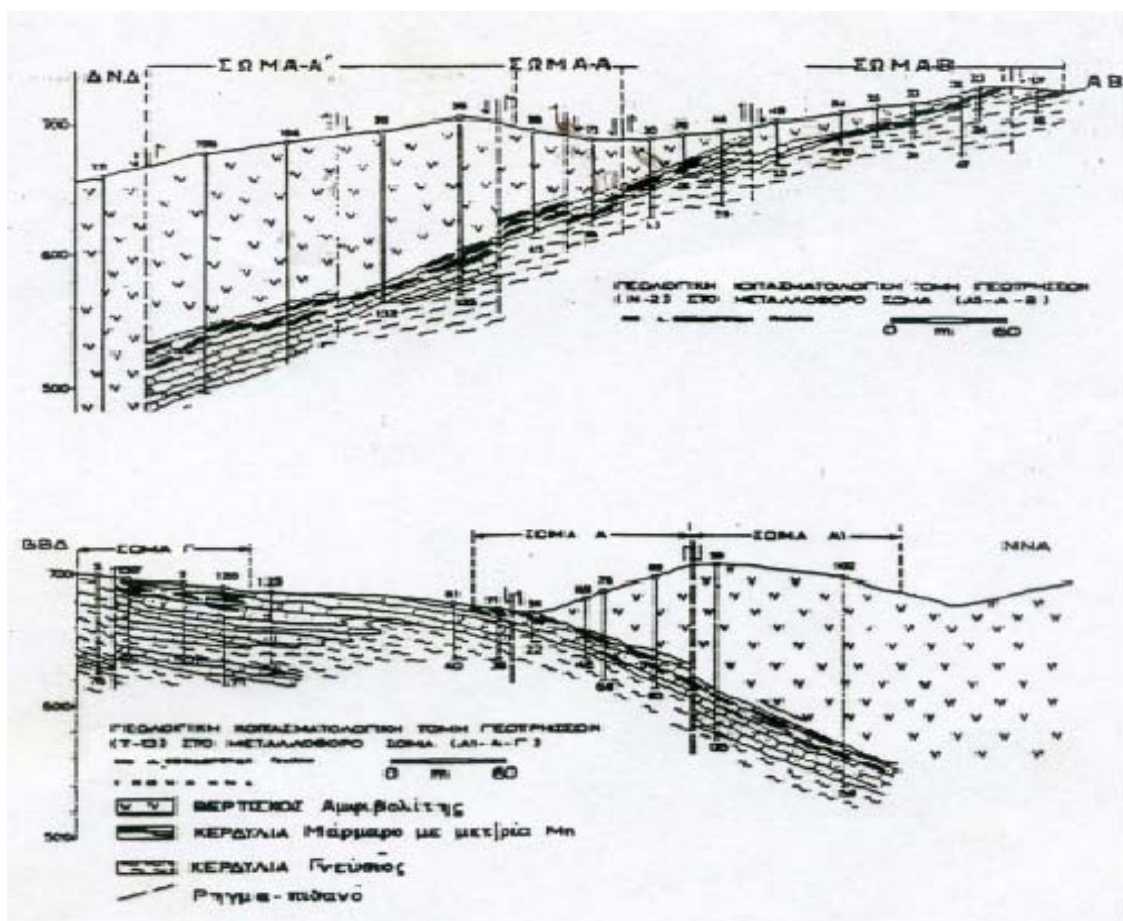
**β) Πρωτογενή υπολειμματικά κοιτάσματα μαγγανίου:** παρουσιάζονται στην περιοχή Δράμας (25<sup>ο</sup> Km Δράμας – Κ. Νευρικοπίου, Μαύρο ξύλο, Νταρντάνας, Σιδηρόνερο, Σικίδια, Γρανίτης, Χρυσοκέφαλο κ.λπ.). Συνδέονται με γρανοδιορίτη του ολιγόκαινου και ανδεσίτη. Παρουσιάζεται ως πρωτογενής φλεβική - μετασωματική μορφή θυλάκων, εντός μαρμάρων. Χαρακτηριστικά ορυκτά τους ο τοντοροκίτης, μαγγανιούχος ασβεσίτης, ροδοχρωσίτης, ροδονίτης και PBG (μεικτά θειούχα). Προκύπτουν από αποσάθρωση επί τόπου, μεταφορά και απόθεση σε καρστικά έγκοιλα.

**γ) Δευτερογενής ιζηματογενή κοιτάσματα,** στον ελληνικό χώρο, συναντάμε:

- **Στα Λέικα Μεσσηνίας:** Σχηματίστηκαν από πλήρωση εγκοίλων σε ασβεστόλιθους και κάλυψη από ιζήματα. Χαρακτηριστικά ορυκτά τους ο πυρολουσίτης και ο ψιλομέλας. Έχουν περιεκτικότητα 38–40% Mn και 7–9%  $\text{SiO}_2$ .

- **Στη ΒΑ Χαλκιδική:** εκτός των κοιτασμάτων μεικτών θειούχων (PBG) και χρυσού (Au) - αργύρου (Ag), εντοπίζονται και μια σειρά από τα σημαντικότερα σήμερα κοιτάσματα μαγγανίου στη χώρα μας. Η σημασία τους οφείλεται από τη μία στη ποιότητα τους και από την άλλη στην παρουσία χρυσού σε αυτά. Οι λιθολογικοί σχηματισμοί στους οποίους εντοπίζονται τα μεταλλοφόρα σώματα είναι η Σερβομακεδονική Μάζα και συγκεκριμένα στη σειρά Κερδυλλίων και Βερτίσκου. Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας, μήκους 15 Km. Τα πετρώματα που φιλοξενείται η μεταλλοφορία είναι μάρμαρα που εναλλάσσονται με βιοτιτικούς δυμαρμαριγιακούς γνεύσιους των Κερδυλλίων. Μεταλλοφόρα σώματα υπάρχουν ακόμη στις περιοχές Πιάβιτσα (34% Mn), στην περιοχή Γκαβάζι (Δυτικά της Βαρβάρας) οξειδωμένο μέταλλευμα ( $29,5\% \text{MnO}_2$ ) και στην περιοχή Μπασδέκ Λάκκος της Ολυμπιάδος και στη Ζώνη Ζέπκου – Στρατονίκης.

- Κοίτασμα Δ.Μ. Βαρβάρας:** Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία αναπτύσσεται κατά μήκος μίας ζώνης 50,000 m<sup>2</sup> και έχει διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ. Φιλοξενείται στα ανώτερα τμήματα του μαρμάρου των Κερδυλλίων και ακολουθεί την επαφή του μαρμάρου με τον αμφιβολίτη του Βερτίσκου. Έχει στρωματοειδή ή ψευδοστρωματοειδή μορφή στο κυρίως κοίτασμα καθώς επίσης καρστικών σωμάτων, πλήρωση φωλιών και ακανόνιστων χωρών, μέσα στο μάρμαρο. Το κοίτασμα κατατάσσεται στα πυρολουσιτικού τύπου μαγγανιούχα μεταλλεύματα και αποτελείται κυρίως από υπεροξείδια και οξείδια του μαγγανίου. Τα αποθέματα ανέρχονται στους 1,5 εκ. τον περιεκτικότητας 29,3% MnO<sub>2</sub>, 20,3% Mn και 53,45% SiO<sub>2</sub>. [11]



Εικόνα 2.2: Γεωλογική – Κοιτασματολογική τομή μεταλλοφόρου σώματος, κοιτάσματος μαγγανίου στη ΒΑ Χαλκιδική

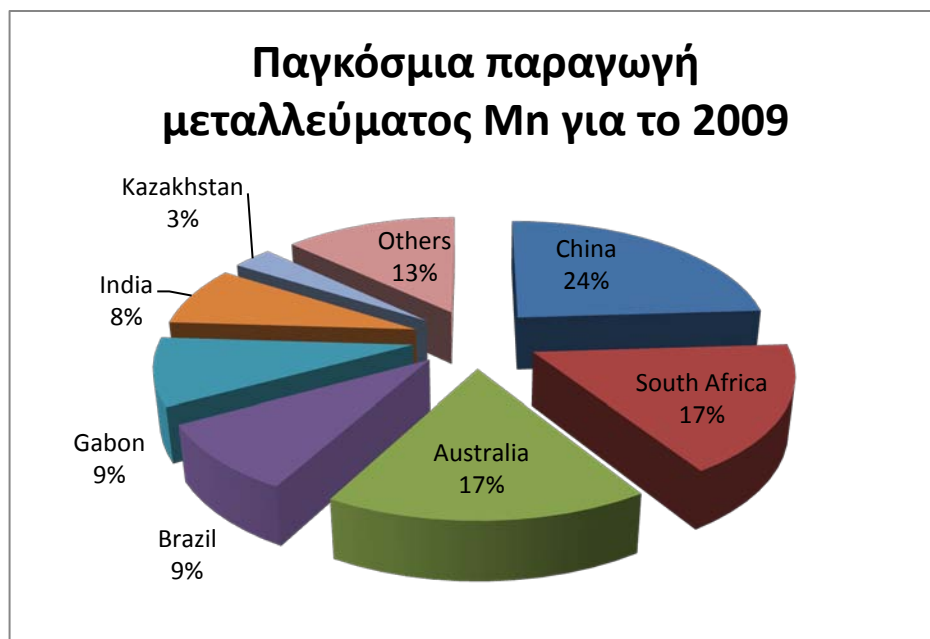
([www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf\\_theory/mn.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/mn.pdf))

## 2.3 Παραγωγή

Στον υπολογισμό των παγκόσμιων αποθεμάτων λαμβάνονται υπόψη κυρίως τα θαλάσσια ιζηματογενή κοιτάσματα και τα κοιτάσματα που σχηματίστηκαν από αποσάθρωση. Τα αποθέματα στο βυθό των ωκεανών υπολογίζονται στα 1.700.000 τον μεταλλεύματος με 24%

Μη κατά μέσο όρο. Ο μεγαλύτερος παραγωγός μαγγανίου ήταν η πρώην Σ.Ε., 75% της παραγωγής προέρχονταν από τα κοιτάσματα Νικολοί ( Ουκρανία) και κατά δεύτερο λόγο από το Chiaturi (Γεωργία). Η παγκόσμια παραγωγή μεταλλεύματος μαγγανίου για το 2009 παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3.

Με βάση την ποιότητα του ένα συμπύκνωμα Μη κατηγοριοποιείται σε μεταλλουργικό τύπο με 40–50% Mn, σε χημικό τύπο με  $MnO_2 > 80\%$  και σε μαγγάνιο που χρησιμοποιείται στα ξηρά στοιχεία (μπαταρίες) με  $Mn > 52\%$ . [14]



Εικόνα 2.3: Παγκόσμια παραγωγή μεταλλεύματος μαγγανίου για το 2009

[http://www.manganese.org/about\\_mn/production](http://www.manganese.org/about_mn/production)

## 2.4 Χρήσεις

Το 95% του μαγγανίου χρησιμοποιείται στην μεταλλουργία κυρίως για την παρασκευή κραμάτων, όπως ο μαγγανιούχος μπρούντζος (3,5% Mn, 55 -60% Cu και 32 -42% Zn), το σιδηρομαγγάνιο (80% Mn, 15-20% Fe) και οι μαγγανιοχάλυβες (11 -14 % Mn), που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σιδηροτροχών. Κράμα χαλκού, νικελίου και μαγγανίου χρησιμοποιείται για την κατασκευή αντιστάσεων που δεν μεταβάλλονται πολύ με τη θερμοκρασία. Κράματά του με χαλκό αντέχουν πολύ στη διάβρωση από το θαλάσσιο νερό.

Στη χημική βιομηχανία το μαγγάνιο χρησιμοποιείται πολύ με την μορφή διαφόρων ενώσεων του όπως  $MnO$  που χρησιμοποιείται σαν αντιπολωτικό στα ξηρά στοιχεία (μπαταρίες), στη βιομηχανία γυαλιού, χρωμάτων και σπέρτων, για την παρασκευή οξυγόνου και σαν καταλύτης. Το χλωριούχο και το θειικό μαγγάνιο, χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία

κεραμικής και πορσελάνης. Το υπερμαγνητικό κάλλιο χρησιμοποιείται σαν απολυμαντικό οξειδωτικό και για ογκομετρικούς προσδιορισμούς στην αναλυτική χημεία.

Το μαγγάνιο δεν έχει κανένα ικανοποιητικό υποκατάστατο στις σημαντικότερες του εφαρμογές, οι οποίες σχετίζονται με τη μεταλλουργική χρήση κραμάτων. Στη κατασκευή μπαταριών μίας χρήσης, τα τυποποιημένα και αλκαλικά κύτταρα που χρησιμοποιούν το μαγγάνιο τείνουν να αντικατασταθούν με την τεχνολογία μπαταριών λίθιου (συσσωρευτές), οι οποίες μπορούν να επαναφορτιστούν.

### 3 Μέθοδοι Εμπλουτισμού

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής και βάση των ιδιοτήτων των προς διαχωρισμό ορυκτών του δείγματος επιλέχθηκαν οι εξής μέθοδοι εμπλουτισμού: α) βαρυτομετρικός διαχωρισμός, β) μαγνητικός διαχωρισμός και η γ) επίπλευση με χρήση αντιδραστήριου τεταρτοταγής αμίνης. Για την ανάκτηση του χρυσού επιλέχθηκε η μέθοδος της κυάνωσης.

#### 3.1 Βαρυτομετρικός Διαχωρισμός [6]

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

Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι διαχωρίζουν ορυκτά βάση τη διαφορετική τους κίνηση μέσα σε ρευστά υπό την επίδραση της βαρύτητας. Για να επιτευχθεί ικανοποιητικός διαχωρισμός πρέπει να υπάρχει εμφανής διαφορά στην πυκνότητα των προς διαχωρισμό ορυκτών. Μια ποσοτική ιδέα του αναμενόμενου διαχωρισμού λαμβάνεται από το κριτήριο διαχωρισμού:

$$K. \Delta = \frac{(\rho_{\beta} - \rho_{\pi})}{(\rho_{\alpha} - \rho_{\pi})}$$

Όπου:

- $\rho_{\pi}$  είναι η πυκνότητα του πολφού (βαρέα διάμεσα)
- $\rho_{\alpha}$  είναι η πυκνότητα του Α ορυκτού, και
- $\rho_{\beta}$  είναι η πυκνότητα του Β ορυκτού.

Σε γενικές γραμμές όταν η απόλυτη τιμή του κριτηρίου διαχωρισμού είναι μεγαλύτερη του 2,5 αναμένεται σχετικά εύκολος και ικανοποιητικός διαχωρισμός. Για τιμές μέχρι 1,25 η

απόδοση σιγά-σιγά ελαττώνεται και για τιμές μικρότερες του 1,25 ο διαχωρισμός δεν είναι συνήθως αποδεκτός.

Τα κυριότερα μηχανήματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τα βαρέα διάμεσα, τα JIGS, οι δονούμενες τράπεζες, οι σπειροειδείς και κωνικοί συγκεντρωτές, οι οχετοί και οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές.

### 3.1.1 Εργαστηριακή Μέθοδος των Βαρέων Υγρών

Η μέθοδος των βαρέων υγρών είναι μια καθαρά βαρυτομετρική μέθοδος και είναι η αντίστοιχη της βιομηχανικής μέθοδος των βαρέων ενδιάμεσων. Η διαφορά τους είναι ότι στην βιομηχανική μέθοδο χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό ο πολφός που δημιουργείται από τα στερεά σωματίδια και το υγρό, ενώ στη εργαστηριακή μέθοδο για τον διαχωρισμό χρησιμοποιούνται βαρέα υγρά (υγρά μεγάλης πυκνότητας). Εάν σε ένα υγρό με πυκνότητα  $\rho_0$  προσθέσουμε κόκκους δύο ορυκτών  $\alpha$  και  $\beta$  με αντίστοιχες πυκνότητες  $\rho_\alpha < \rho_0$  και  $\rho_0 < \rho_\beta$  τότε οι κόκκοι του ορυκτού  $\alpha$  θα επιπλεύσουν (float) ενώ αυτοί του ορυκτού  $\beta$  θα βυθισθούν (sink). Με τον τρόπο αυτό μπορεί κανείς να διαχωρίσει εύκολα τα ορυκτά  $\alpha$  και  $\beta$ . Ένα υγρό που έχει ενδιάμεση πυκνότητα μεταξύ δύο ορυκτών ονομάζεται βαρύ υγρό. Τα χρησιμοποιούμενα στο εργαστήριο βαρέα υγρά παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.1. Επειδή τα οργανικά υγρά είναι αναμίξιμα μπορεί κανείς, χρησιμοποιώντας δύο από αυτά, να φτιάξει οποιαδήποτε ενδιάμεση πυκνότητα. Τα βαρέα υγρά χρησιμοποιούνται όχι μόνο για να διαχωρίσουν ελεύθερους κόκκους δύο ορυκτών αλλά και σύμμικτους κόκκους με διαφορετικά ποσοστά συμμετοχής της κάθε ορυκτολογικής φάσης.

**Πίνακας 3.1: Συνήθη Βαρέα Υγρά που χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο εμπλουτισμού**

Οργανικά Υγρά	Πυκνότητα (gr/cm <sup>3</sup> )
Triethyl-phosphate	1,07
Carbon tetrachloride	1,59
Bromoform	2,89
1.1.2.2 Tetrabromoethane	2,96
Di-iodomethane	3,31

## 3.2 Μαγνητικός Διαχωρισμός [6]

Μαγνητικός διαχωρισμός είναι η μέθοδος εμπλουτισμού που εκμεταλλεύεται τη διαφορά στις μαγνητικές ιδιότητες των ορυκτών. Εφαρμόζεται για την ανάκτηση χρήσιμων μαγνητικών ορυκτών από μη μαγνητικά ορυκτά (π.χ. μαγνητίτης από χαλαζία).

Όλα τα υλικά αντιδρούν με κάποιο τρόπο όταν βρεθούν σε ένα μαγνητικό πεδίο, μόνο που σε μερικά η αντίδραση αυτή είναι τόσο μικρή που δε μπορεί πρακτικά να προσδιορισθεί. Τα

υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αναλόγως με το αν έλκονται ή απωθούνται από ένα μαγνητικό πεδίο, ως εξής:

a) Διαμαγνητικά: Είναι υλικά που απωθούνται από τις γραμμές ενός μαγνητικού πεδίου και οδεύουν προς τα σημεία όπου η ένταση του πεδίου εξασθενεί. Πρακτικά δεν επηρεάζονται από το μαγνητικό διαχωρισμό.

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

i. Σιδηρομαγνητικά: Είναι υλικά όπου η δύναμη έλξης τους από τα μαγνητικά πεδία είναι πολύ μεγάλη, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα παραμαγνητικά υλικά.

Επίσης είναι δυνατός ο μαγνητικός διαχωρισμός μη μαγνητικών ορυκτών που περιέχουν εγκλείσματα από κάποιο μαγνητικό ορυκτό και ο μαγνητικός διαχωρισμός μη μαγνητικών ορυκτών μέσω εκλεκτικής επικάλυψης της επιφάνειάς τους με ένα μαγνητικό υλικό καθιστώντας τα μαγνητικά.

### 3.2.1 Μαγνητικοί Διαχωριστές

- a) Μαγνήτες έλξεως
- b) Μαγνητικά τύμπανα
- c) Μαγνήτες υψηλής έντασης
- d) Μαγνητικοί διαχωριστές υψηλής κλίσης πεδίου
- e) Κρυογενικοί μαγνήτες

Μαγνητική συμπεριφορά στο μέταλλο μας εμφανίζουν τα ορυκτά μαγγανίτης και ο ροδοχρωσίτης, που περιέχουν μαγγάνιο. Ο μαγγανίτης και ο ροδοχρωσίτης συγκαταλέγονται στα παραμαγνητικά υλικά ενώ ο χαλαζίας στα μη μαγνητικά υλικά.

Το ποσοστό του μαγνητικού συστατικού καθορίζει τη μαγνητική ιδιότητα κάθε ενδιάμεσου κλάσματος. Η δε ένταση του μαγνητικού πεδίου καθορίζει την καθαρότητα του συμπηκνώματος ή την ανάκτηση σε μέταλλο.

Δύο από τους μαγνητικούς διαχωριστές που διαθέτει το εργαστήριο εμπλουτισμού μεταλλευμάτων και χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας είναι ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής Perm-Roll και ο υψηλής έντασης ξηρός επαγωγικός



μαγνητικός διαχωριστής (High intensity In-duced Roll Magnetic Separator MIH (13), της Carpro), και ανήκουν στην κατηγορία μαγνητών υψηλής έντασης.

Η κρίσιμη συχνότητα περιστροφής του μαγνητικού τυμπάνου προκύπτει από την σχέση 3.1.

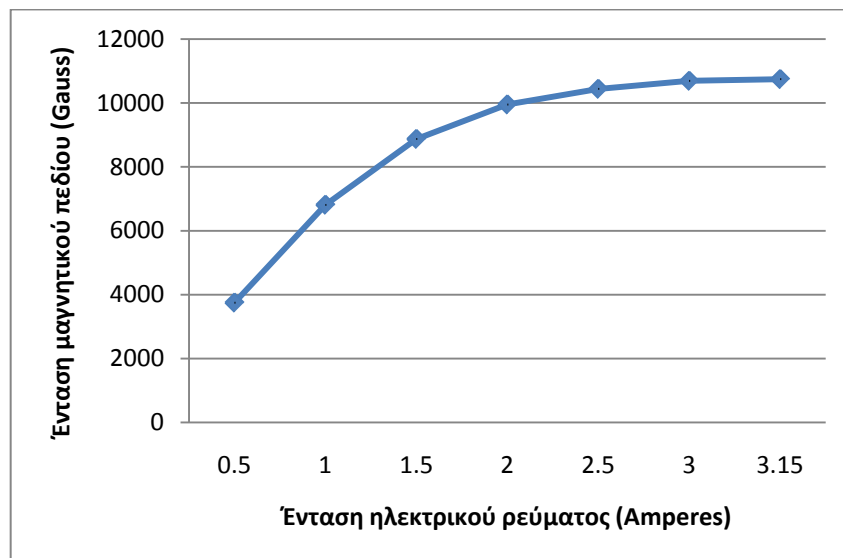
$$N_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{R}} \quad (\text{σχέση 3.1})$$

$N_c$ : κρίσιμη ταχύτητα (rpm),

$g$ : επιτάχυνση της βαρύτητας ( $m/s^2$ ) και

$R$ : ακτίνα τυμπάνου (m).

Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται στον επαγωγικό μαγνήτη σε σχέση με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαπερνά τη πηγή φαίνεται στο Διάγραμμα 3.1. Το Διάγραμμα 3.1 πρόκυψε από μετρήσεις που έγιναν στο εργαστήριο. Στον επαγωγικό μαγνήτη μπορούμε να μεταβάλουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και να μετρήσουμε την αντίστοιχη ένταση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται. Από το διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι από τα 2,5 Amperes όσο και να αυξάνουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος η ένταση του μαγνητικού πεδίου δεν μεταβάλλεται, παραμένει σταθερή. Βάση αυτού κατά την πειραματική διαδικασία επιλέξαμε να ρυθμίσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στα 3 Amperes.



**Διάγραμμα 3.1:** Η ένταση του μαγνητικού πεδίου που παράγεται στον επαγωγικό μαγνήτη σε σχέση με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαπερνά τη πηγή.

### 3.3 Επίπλευση

Η επίπλευση χρησιμοποιείται ως μέθοδος εμπλουτισμού μεταλλευμάτων από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (ανακαλύφθηκε τυχαία) και άρχισε να χρησιμοποιείται σε ευρεία κλίμακα αντικαθιστώντας τις βαρυτομετρικές μεθόδους.

Σήμερα αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο, με την οποία εμπλουτίζεται ο μεγαλύτερος όγκος των παραγομένων ορυκτών. Για μερικά είδη μεταλλευμάτων όπως τα μικτά θειούχα είναι σχεδόν η μοναδική μέθοδος εμπλουτισμού τους. Αυτό οφείλεται στην 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 δεν μπορούν να επεξεργασθούν οι άλλες μέθοδοι.[6]

Η επίπλευση αποτελεί φυσικοχημική μέθοδο εμπλουτισμού κατά την οποία επιδιώκεται εκλεκτική συγκέντρωση μεταλλεύματος ή ορυκτού εντός του νερού και ο διαχωρισμός του τελευταίου από τα στεΐρα με τη βοήθεια φυσαλίδων αέρα [10]. Το μέγεθος του προς επίπλευση μεταλλεύματος είναι συνήθως μικρότερο από 0,3mm και κατά κανόνα προέρχεται υγρή λειοτριβήση τροφοδοσίας.

Το μέταλλευμα σε πρώτη φάση λειοτριβείται εν υγρό. Στη συνέχεια στον πολφό του μεταλλεύματος προστίθενται τα κατάλληλα αντιδραστήρια και κατόπιν ο πολφός εισέρχεται στην κυψέλη επίπλευσης. Μέσα στην κυψέλη υπάρχει ένας αναδευτήρας, προκειμένου να κρατούνται τα στερεά εν αιωρήσει. Με την βοήθεια του άξονα του αναδευτήρα αναρροφάται από το περιβάλλον ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος διαχέεται μέσα στον πολφό με μορφή μικρών φυσαλίδων. Οι κόκκοι του ορυκτού των οποίων η επιφάνεια έχει καταστεί υδρόφοβη προσκολλώνται στις φυσαλίδες και ανέρχονται με αυτές στην επιφάνεια υπό την επίδραση της άνωσης. Στην επιφάνεια δημιουργείται αφρός που περιέχει το επιπλεύσαν ορυκτό. Ο αφρός απομακρύνεται με τη βοήθεια κατάλληλων πτερυγίων ή με υπερχειλίση.

Συνήθως τα επιπλεύσαντα ορυκτά αποτελούν το συμπύκνωμα και τα καταβυθισθέντα το απόρριμμα. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις γίνεται το αντίθετο οπότε η επίπλευση ονομάζεται ανάστροφη.

➤ Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες αντιδραστηρίων επίπλευσης:

1. Συλλέκτες: Πρόκειται για επιφανειακώς ενεργές ουσίες, οι οποίες μετατρέπουν σε υδρόφοβες τις επιφάνειες των ορυκτών που θέλουμε να επιπλεύσουν.

2. Αφριστικά αντιδραστήρια: Πρόκειται για επιφανειακώς ενεργές ουσίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου: α) να βοηθήσουν στη δημιουργία αφρού, β) να διατηρηθούν οι φυσαλίδες και να μη σκάσουν μόλις ανέβουν στην επιφάνεια του πολφού και γ) να συγκρατείται καλύτερα το μετάλλευμα από τις φυσαλίδες.
3. Ρυθμιστικά αντιδραστήρια: Πρόκειται για ουσίες οι οποίες αποσκοπούν στην καλύτερη επίπλευση, χρησιμοποιούμενες για διάφορους λόγους, ανάλογα με τις ιδιότητες τους (ρύθμιση του pH, ενίσχυση υδροφοβίας, διατήρηση υδροφιλίας κλπ).[2, 6]

### 3.3.1 Επίπλευση με τεταρτοταγή αμίνη [2]

Η τεταρτοταγής αμίνη ανήκει στην κατηγορία των ιονιζόμενων κατιονικών συλλεκτών. Αυτό σημαίνει ότι αποτελείται από ένα οργανικό και ένα πολικό τμήμα και ο ιονισμός του πολικού της τμήματος στο νερό λαμβάνει θετικό φορτίο. Συνήθως διατίθεται υπό μορφή αλάτων ( $R_4NCl$ ).

Μέσα στο νερό το άλας της τεταρτοταγούς αμίνης δίσταται, όπως και τα υπόλοιπα άλατα κατιονικών συλλεκτών. Διαφοροποιείται όμως από τους υπόλοιπους κατιονικούς συλλέκτες στο ότι η συγκέντρωση του κατιόντος στις τεταρτοταγείς αμίνες είναι ανεξάρτητη από το pH, πράγμα που δεν ισχύει στους υπόλοιπους λόγω ιονισμού της αμίνης ( $RNH_2 + H_2O \leftrightarrow RNH_3^+ + OH^-$ ).

## 3.4 Μέθοδος ανάκτηση του χρυσού - Κυάνωση

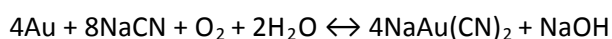
Διαφορετικές μέθοδοι ανάκτησης χρησιμοποιούνται για τον αυτοφυή και δυσκατέργαστο χρυσό. Για τον αυτοφυή χρυσό ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός χρησιμοποιείται για να προσυγκεντρώσει το μετάλλευμα και μετά ακολουθεί κυάνωση. Για το λεπτόκοκκο χρυσό που δε μπορεί να ανακτηθεί με τη μέθοδο του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, η μόνη χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η κυάνωση. [7]

Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος ανάκτησης χρυσού από κοιτάσματα ελεύθερου χρυσού ή φτωχά μεταλλεύματα είναι η συμπλοκοποίηση του με το ανιόν του κυανίου κατά την εκχύλιση του συνήθως με κυανιούχα διαλύματα KCN ή NaCN και στη συνέχεια η ανάκτηση του από το διάλυμα με κάποια από τις εξής μεθόδους: α) προσρόφηση από ενεργό άνθρακα, β) η ηλεκτροανάκτηση με ηλεκτρόλυση, γ) η καταβύθιση των κυανιόντων με ψευδάργυρο και δ) η ιοντοεναλλαγή.

Η διαλυτότητα του χρυσού σε υδατικά κυανιούχα διαλύματα είναι γνωστή από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα. Ο Scheele το 1783 και ο Bagraton το 1843 παρατήρησαν ότι ο χρυσός μπορεί να διαλυθεί σε κυανιούχα διαλύματα. Ο Elsner το 1846 ήταν ο πρώτος που έλαβε υπόψιν την σημαντική σπουδαιότητα του οξυγόνου στην κυάνωση του χρυσού. Το 1887 οι McArthur και Forrest παρουσίασαν την πρώτη πατέντα εξαγωγής χρυσού και αργύρου με κυανιούχα διαλύματα από διάφορα ορυκτά. Από τότε, και παρ' όλο την σημαντική έρευνα στο πεδίο αυτό, η εκχύλιση χρυσού με κυανιούχα διαλύματα δεν έχει αλλάξει σημαντικά.[3]

### 3.4.1 Μηχανισμός της κυάνωσης

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



Η απαιτούμενη ποσότητα κυανίου που προκύπτει από την στοιχειομετρία της παραπάνω αντίδρασης για την εκχύλιση του χρυσού είναι πολύ μικρή, παρόλα αυτά όμως συνήθως απαιτούνται μεγαλύτερες ποσότητες εξαιτίας μηχανικών απωλειών ή της παρουσίας των συμπλόκων κυανίου με βασικά μέταλλα.[6]

Στην πράξη όμως ο μηχανισμός της κυάνωσης είναι πιο πολύπλοκος και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φυσικοχημικές διεργασίες:

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

Η διαδικασία της κυάνωσης επηρεάζεται από ένα πλήθος παραγόντων:

- Οξυγόνο
- Συγκέντρωση κυανίου
- pH
- Προσθήκη αλκαλικών ουσιών

### 3.4.2 **Ανάκτηση του χρυσού από το κυανιούχο διάλυμα με ενεργό άνθρακα [3]**

Το γεγονός ότι ο ενεργός άνθρακας έχει την ικανότητα να προσροφά πολύτιμα μέταλλα από τα διαλύματά τους είχε αρχικά δημοσιευθεί από τον Lazowski το 1847. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ξυλάνθρακας σε κάποια μεταλλουργική διαδικασία με σκοπό την εξαγωγή χρυσού μετά από χλωρίωση. Συγκεκριμένα ο χρυσός διαλυτοποιήθηκε με αέριο χλώριο και στη συνέχεια περνούσε διαμέσου ξυλάνθρακα. Η χρήση του ενεργού άνθρακα για την προσρόφηση του διαλυτοποιημένου χρυσού χρησιμοποιήθηκε από τον Johnston το 1897, αφού βρέθηκε ότι η διαδικασία της ενεργοποίησης του άνθρακα με θερμική επεξεργασία δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ικανότητα προσρόφησης. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιελάμβανε διαλυτοποίηση του χρυσού και του αργύρου σε διάλυμα κυανιούχου καλίου και φιλτράρισμα του διαλύματος από μια σειρά από φίλτρα ξυλάνθρακα, ο οποίος στην συνέχεια έπρεπε να καεί για την ανάκτηση των πολύτιμων μετάλλων.

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

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

## 4 Αναλυτικές Μέθοδοι

### 4.1 Χημικές Αναλύσεις

#### 4.1.1 Φθορισμός ακτίνων – Χ (X-ray Fluorescence, XRF) [1,8]

Η τεχνική του Φθορισμού των Ακτίνων Χ (X-Ray Fluorescence) είναι μια καθιερωμένη αναλυτική τεχνική που χρησιμοποιείται σήμερα σε ένα ευρύ φάσμα διεπιστημονικών εφαρμογών.

Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στο εξής γεγονός, κατά την ακτινοβόληση ενός ατόμου με φωτόνια κατάλληλης ενέργειας μπορούμε να εκβάλουμε ένα ηλεκτρόνιο από την ατομική του τροχιά. Η ενέργεια των φωτονίων ( $h\nu$ ) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια δεσμού του ηλεκτρονίου με τον πυρήνα. Όταν ένα εσωτερικό ηλεκτρόνιο εκβάλλεται από το άτομο, ένα ηλεκτρόνιο από ανώτερη στοιβάδα, υψηλότερης ενέργειας μεταφέρεται στην στοιβάδα του εκβαλλόμενου ηλεκτρονίου και καλύπτει το κενό. Κατά την μετάβαση αυτή είναι πιθανή η εκπομπή ενός φωτονίου από το άτομο. Αυτό το φθορίζων φως καλούμε χαρακτηριστική ακτίνα Χ του στοιχείου. Η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου είναι ίση με την διαφορά ενεργειών μεταξύ των δυο στοιβάδων, όπου έγινε η μετάβαση. Εξαιτίας του ότι αυτή η ενεργειακή διαφορά σε ένα δεδομένο στοιχείο, είναι πάντα ίδια (χαρακτηριστική του στοιχείου) το εκπεμπόμενο φωτόνιο θα έχει την ίδια ενέργεια. Γι αυτό με καθορισμό της ενέργειας της εκπεμπόμενης ακτίνας Χ από ένα άγνωστο στοιχείο, μπορούμε να βρούμε την ταυτότητα του. Στην φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων Χ υψηλής ενέργειας φωτόνια εκπέμπονται από μια πηγή (Xray tube) και «χτυπάνε» τον στόχο-δείγμα υπό εξέταση. Μια τυπική διάταξη φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων Χ περιλαμβάνει μια πηγή πρωτογενούς ακτινοβολίας (ραδιοϊσότοπο ή λυχνία ακτίνων Χ) και ένα σύστημα ανίχνευσης της δευτερεύουσας ακτινοβολίας του δείγματος. Τα primary photons από την πηγή ακτίνων Χ (X-ray tube) έχουν αρκετή ενέργεια ώστε να καταφέρουν να εκβάλουν ηλεκτρόνια από την εσωτερικές στοιβάδες Κ ή L εκτός ατόμου του στόχου-δείγματος. Όταν αυτό συμβεί τα άτομα του στόχου-δείγματος γίνονται ιόντα, τα οποία είναι ασταθή. Αυτό το φαινόμενο καλείται φωτοηλεκτρική απορρόφηση.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τεχνικής XRF είναι ο ταυτόχρονος και γρήγορος προσδιορισμός στοιχείων από όλον σχεδόν τον περιοδικό πίνακα ( $Z=14-92$ ), αλλά και η μεγάλη ευαισθησία στην ανάλυση με ανιχνευτικά όρια που κυμαίνονται συνήθως στην περιοχή των  $\mu\text{g/g}$  (ppm). Ως χαρακτηριστικές εφαρμογές της μεθόδου θα μπορούσαν να αναφερθούν ο προσδιορισμός της σύστασης μεταλλικών κραμάτων αλλά και λεπτών υμενίων

με τεχνολογικές εφαρμογές, ιχνοστοιχείων σε περιβαλλοντικά δείγματα (έδαφος, αερολύματα που έχουν εναποτεθεί σε φίλτρα), καθώς επίσης και η μη καταστροφική ανάλυση αρχαιολογικών αντικειμένων και έργων τέχνης κ.α.

#### 4.1.1.1 Πειραματική Διαδικασία

Χημική ανάλυση με την μέθοδο του φθορισμού ακτίνων – Χ έγινε μόνο στα δείγματα που προέκυψαν από την μέθοδο της επίπλευσης, συνολικά σε δώδεκα δείγματα. Για να εφαρμοστεί η μέθοδος το δείγμα πρέπει να πάρει την μορφή «ταμπλέτας». Κάθε δείγμα λειοτριβήθηκε στον αχάτη για να είναι υπό μορφή κόνεως (<75μm) στην συνέχεια 5gr δείγματος αναμειχτηκαν καλά με 0,5gr κεριού (10% του βάρους του δείγματος). Το μείγμα του δείγματος με το κεριό μεταφέρετε στην «υδραυλική πρέσα» όπου τοποθετείτε μέσα στο καλούπι και πάνω από αυτό προστίθεται μια εμπειρική ποσότητα βορικού άλατος. Μετά την συμπίεση τους στην «υδραυλική πρέσα» το βορικό αλάτι θα είναι η βάση της «ταμπλέτας» και το δείγμα μας η επιφάνεια της (ομαλή και επίπεδη). Σε αυτό το σημείο καλό είναι να αναφερθεί ότι με την μέθοδο του φθορισμού ακτίνων-Χ, δεν είναι εφικτό να προσδιοριστούν τα ελαφριά στοιχεία του χημικού περιοδικού πίνακα των οργανικών ενώσεων. Για αυτό τον λόγο τα προσδιορισθέντα στοιχεία της μεθόδου δεν αθροίζονται στο εκατό παρά μόνο μαζί με την προσδιορισθέντα τιμή της απώλειας πύρωσης.

#### 4.1.2 Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης [9]

Η αρχή της μεθόδου περιλαμβάνει την μέτρηση της απορροφημένης ακτινοβολίας από άτομα στη θεμελιώδη κατάσταση για το στοιχείο που εξετάζουμε. Η διάταξη της μεθόδου περιλαμβάνει μία πηγή ακτινοβολίας, ένα κελί ατομοποίησης του δείγματος και ένα ανιχνευτή μονοχρωμάτορα (Εικόνα 3.1).

Η πηγή της ακτινοβολίας αποτελείται συνήθως από μία κυλινδρική καθοδική λυχνία. Το εσωτερικό του κυλίνδρου αποτελείται από το στοιχείο προς ανίχνευση. Εφαρμόζοντας τάση στη λυχνία ιονίζουμε το αέριο που υπάρχει στο εσωτερικό της. Τα κατιόντα του αερίου κατευθύνονται προς την κάθοδο της λυχνίας όπου συγκρούονται με τα άτομα του προς ανίχνευση στοιχείου. Τα παραπάνω έχουν σαν αποτέλεσμα τα άτομα από την κάθοδο να απομακρύνονται ιονισμένα και τελικά να εκπέμπουν ακτινοβολία (μήκους κύματος από ορατό έως υπεριώδες) η οποία είναι χαρακτηριστική για το στοιχείο που ανιχνεύουμε. Για κάθε στοιχείο που ανιχνεύουμε συνήθως απαιτείται διαφορετική λυχνία. Έχουν κατασκευαστεί λυχνίες με τις οποίες μπορούν να ανιχνευτούν περισσότερα από ένα διαφορετικά στοιχεία.

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την λυχνία είναι η ακτινοβολία που απαιτείται για να ιονίσει τα άτομα που παράγονται στο καυστήρα (ατομοποίηση). Τα άτομα απορροφούν την ακτινοβολία που απαιτείται για την μετάπτωση από μία θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη. Η απορρόφηση είναι ανάλογη της συγκέντρωσης των ατόμων του προς ανίχνευση στοιχείου και ακολουθεί το νόμο του Lambert-Beer.

$$A = \log \frac{P_o}{P} = -\log T = \varepsilon \cdot b \cdot c$$

Όπου:

**A:** είναι η απορρόφηση της ακτινοβολίας από το δείγμα

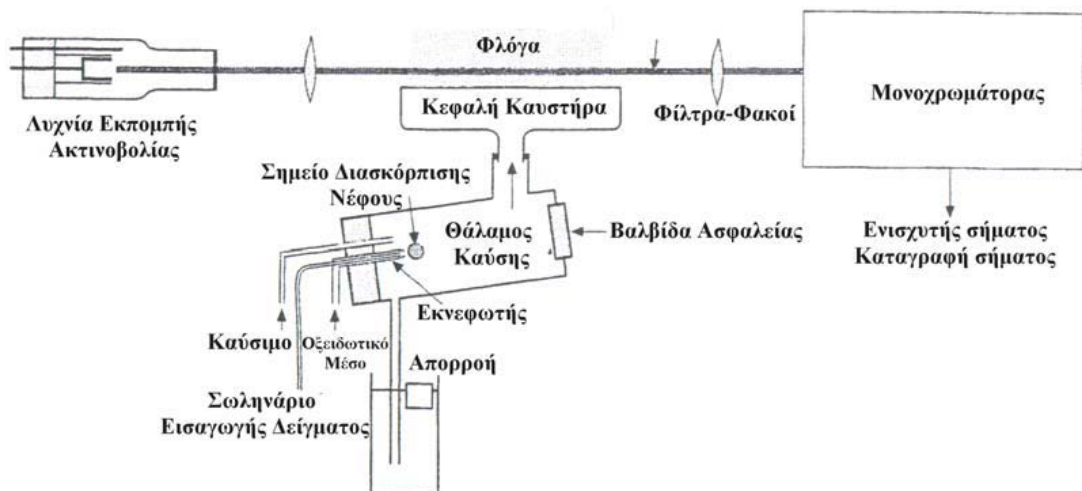
**P<sub>o</sub>:** είναι η ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας

**T:** είναι η διαπερατότητα

**b:** είναι η απόσταση που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας

**ε:** μοριακή απορροφητικότητα

**c:** συγκέντρωση



Εικόνα 4.1: Η διάταξη της μεθόδου της φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης.

Το ορατό φάσμα του περιβάλλοντος απομονώνεται ηλεκτρονικά. Η λυχνία εκπέμπει ακτινοβολία με ορισμένη συχνότητα (50-60Hz) με την οποία είναι συγχρονισμένος ο ανιχνευτής ώστε να απορρίπτει τις ακτινοβολίες που δεν είναι στην ίδια συχνότητα και προέρχονται από το περιβάλλον. Το δείγμα περνάει μέσω του εκνεφωτή στο θάλαμο καύσης μαζί με το καύσιμο (ακετυλένιο) και το οξειδωτικό μέσο (αέρας ή N<sub>2</sub>O). Οι μεγαλύτερες σταγόνες δείγματος (πάνω από 5μm) πέφτουν στην απορροή, ενώ για την καλύτερη μέτρηση



χρειάζονται όσο το δυνατόν λεπτότερες σταγόνες. Τη ροή του καυσίμου και του οξειδωτικού τη ρυθμίζουμε ανάλογα το στοιχείο που ανιχνεύουμε.

Μερικά στοιχεία παρουσιάζουν καλύτερη ευαισθησία στην ανίχνευση όταν η φλόγα είναι οξειδωτική και εμφανίζεται με μπλε πυρήνα, ενώ άλλα στοιχεία απαιτούν αναγωγικές συνθήκες με τη φλόγα να παρουσιάζει λευκό φωτεινό πυρήνα. Το ύψος του καυστήρα είναι κρίσιμο και ρυθμίζεται ανιχνεύοντας ταυτόχρονα την απορρόφηση.

Για τα στοιχεία που χρειάζεται μεγαλύτερη θερμοκρασία φλόγας (Si, Al, Sr, κ.α.) χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό μέσο το πρωτοξειδίο του αζώτου ( $N_2O$ ). Με τη χρήση μίγματος ακετυλενίου- $N_2O$  χρησιμοποιείται καυστήρας με μικρότερο άνοιγμα (50mm) σε σύγκριση με αυτόν που χρησιμοποιείται στο μίγμα του ακετυλενίου-αέρα (100mm). Τα παραπάνω συμβαίνουν διότι το μίγμα ακετυλενίου- $N_2O$  παρουσιάζει μεγάλη ταχύτητα ανάφλεξης και ο μικρότερος καυστήρας εμποδίζει περιπτώσεις ανάφλεξης προς το εσωτερικό του θαλάμου καύσης (flashback).

Η υψηλή θερμοκρασία της φλόγας ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση του πρωτοξειδίου του αζώτου μπορεί να προκαλεί ιονισμό των ατόμων και τελικά μας οδηγεί σε υποεκτίμηση της ποσότητας του στοιχείου που μετράται. Για τον έλεγχο του ιονισμού προσθέτουμε τον κατάλληλο ιονιστή ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cs^+$  κ.α.). Ο ιονιστής πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε να έχει μικρότερο δυναμικό ιονισμού από το στοιχείο προς ανάλυση.

Επιπλέον τα διαλύματα τα οποία εξετάζονται πρέπει να έχουν τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά με τα πρότυπα που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή της καμπύλης αναφοράς. Τα παραπάνω είναι απαραίτητα ώστε οι αλληλοεπιδράσεις άλλων ιόντων να είναι ίδιες και στα προς εξέταση διαλύματα αλλά και στα πρότυπα διαλύματα.

#### 4.1.2.1 Πειραματική Διαδικασία

Οι χημικές αναλύσεις στα δείγματα του διαχωρισμού με βαρέα υγρά και του μαγνητικού διαχωρισμού έγιναν με τη μέθοδο της φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης. Για να γίνουν οι μετρήσεις, προηγήθηκε μερική διαλυτοποίηση των δειγμάτων με την χρήση υδροχλωρικού οξέος HCl και νιτρικού οξέος  $HNO_3$ . Το  $SiO_2$  προσδιορίστηκε ως στερεό υπόλειμμα, ενώ το Mn και ο Fe προσδιορίστηκαν στο διάλυμα. Για την μέτρηση της απώλειας πύρωσης προηγήθηκε ξήρανση μικρής ποσότητας δείγματος (1gr) στους  $120^\circ C$ , και καύση του στους  $1200^\circ C$ .

### 4.1.3 Πυρανάλυση (Fire assay) - Δοκιμές Κυπέλλωσης [3]

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις Au με την μέθοδο της πυρανάλυσης (Fire assay) - δοκιμές κυπέλλωσης. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι έντονα αναγωγική τήξη σε θερμοκρασία 950°C. Οι δοκιμές αυτές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο εμπλουτισμού με χρήση κλιβάνου και ειδικού εξοπλισμού.

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

- Ανθρακικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), σε βάρος ίσο με το δείγμα του μεταλλεύματος, με αποκλειστικό σκοπό την ρύθμιση της ευτηκότητας της σκωρίας.
- Λιθάργυρος (PbO), με σκοπό την αύξηση της ρευστότητας της σκωρίας αλλά και την δημιουργία της απαραίτητης μεταλλικής φάσης (χελώνα).
- Ανθρακικό ασβέστιο ( $\text{CaCO}_3$ ), απαραίτητο για την εξουδετέρωση του βασικού οξειδίου του αργιλίου που τυχόν περιέχει το μετάλλευμα.
- Διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), απαραίτητο για την εξουδετέρωση των οξειδίων που περιέχει τόσο το μετάλλευμα όσο και τα προσθετικά (στην περίπτωση μας προστέθηκε μόνο στα δείγματα του άνθρακα της κυάνωσης).
- Βόρακας ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), σε αναλογία ίση με το ένα τρίτο του απαιτούμενου πυριτίου με σκοπό την αύξηση της ευτηκότητας.
- Αλεύρι σαν αναγωγικό μέσο, απαραίτητο στοιχείο για την παραγωγή της μεταλλικής φάσης στα δείγματα που δεν περιείχαν άνθρακα.
- Μίγμα αργύρου με σκοπό την δημιουργία ικανοποιητικής σε ποσότητα μεταλλικής φάσης ευγενών μετάλλων χρυσού και αργύρου (χάντρα), μετά την οξείδωση του περιεχομένου στη “χελώνα” μολύβδου.
- Στα δείγματα του ενεργού άνθρακα έγινε προσθήκη νιτρικού καλίου ( $\text{KNO}_3$ ), σαν οξειδωτικό μέσο, λόγω ότι ο άνθρακας είναι έντονα αναγωγικό μέσο.

#### 4.1.3.1 Πειραματική Διαδικασία

Δοκιμές κυπέλλωσης έγιναν στο αρχικό δείγμα, στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού (για τα κλάσματα 0,063-1mm και 1-4mm), στα απορρίμματα του μαγνητικού και βαρυμετρικού διαχωρισμού, στο κοκκομετρικό κλάσμα -0,063mm του αρχικού δείγματος, στο

-10μm του υδροκυκλώνα, καθώς και σε δείγματα ενεργού άνθρακα και σε υπολείμματα μεταλλεύματος μετά από τις δύο δοκιμές κυάνωσης.

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

Οι χάντρες που πάρθηκαν από την πιο πάνω διαδικασία, διαλυτοποιήθηκαν με χρήση νιτρικού οξέως (HNO<sub>3</sub>) με σκοπό την διαλυτοποίηση του αργύρου. Στη συνέχεια προστέθηκε πυκνό υδροχλωρικό οξύ (HCl) με σκοπό την απομάκρυνση του διαλελυμένου αργύρου υπό τη μορφή χλωριούχου αργύρου (AgCl) – λευκού ιζήματος, και την διαλυτοποίηση του περιεχομένου χρυσού.

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

## **4.2 Ορυκτολογικές Αναλύσεις**

### **4.2.1 Περιθλασίμετρο Ακτίνων -X (X.R.D) [4]**

Με την μέθοδο αυτή είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Το φαινόμενο της περίθλασης ακτίνων-Χ διέπεται από το νόμο του Bragg:

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

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

Από την μέτρηση των γωνιών και την εφαρμογή της Εξίσωσης του Bragg προσδιορίζουμε την πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου ( $d$ ) η οποία είναι μονοσήμαντη για κάθε κρύσταλλο.

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ είναι η μονάδα παραγωγής της υψηλής τάσεως, η λυχνία των ακτίνων-Χ, το γωνιόμετρο, ο απαριθμητής των ακτίνων-Χ με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και τέλος η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση του δείγματος.

Το προς ανάλυση δείγμα τοποθετείται στην κοιλότητα ενός μεταλλικού ή πλαστικού πλακιδίου, το οποίο τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασίμετρου ο οποίος βρήσκειται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων-Χ και έτσι ώστε το επίπεδο (επιφάνεια) του δείγματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.

Ταυτόχρονα, ως προς τον ίδιον άξονα, περιστρέφεται ο απαριθμητής με σταθερή γωνιακή ταχύτητα και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα ίση προς το μισή εκείνης του απαριθμητή έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμητή και περιστροφή του δείγματος, ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνιά ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και το σημείο εξόδου των ακτίνων-Χ της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς τη κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων-Χ των προερχόμενων από την λυχνία, ώστε η εξίσωση του BRAGG να ισχύει για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων  $h,k,l$ .

Το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου D8 Advance της Bruker, του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. [3]

#### 4.2.1.1 Προετοιμασία δείγματος

Το προς ανάλυση δείγμα πρέπει να είναι υπό μορφή κόνεως (<75 $\mu$ m). Για αυτό το λόγο όλα τα δείγματα λειοτριβήθηκαν, για να μειωθεί η κοκκομετρία τους, πριν να δοθούν για ανάλυση. Στην συνέχεια το δείγμα τοποθετήθηκε εντός της κοιλότητας του πλαστικού πλακιδίου. Η κοιλότητα του πλακιδίου έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών  $cm^2$  έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα της τάξεως του 1gr. Αφού τοποθετηθεί το δείγμα στη

κοιλότητα, με προσοχή, πρέπει να κατανεμηθεί το δείγμα με τέτοιο τρόπο ώστε να διαμορφωθεί μια επίπεδη επιφάνεια.

Τα δείγματα στην συνέχεια παραδίδονται στον υπεύθυνο για να πραγματοποιηθεί η ορυκτολογική ανάλυση. Οι συνθήκες μέτρησης ήταν, ακτινοβολία Cu ( $k_{\alpha}$ ), φίλτρο Ni με καταμετρητή LυxEye, τάση 35kV και ένταση 35mA. Γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων, μέσω ειδικού λογισμικού και βάση των δεδομένων της κοινής επιτροπής προτύπων για περιθλασιμετρία κόνεως (JCPDS). Στο Παράρτημα Α παραθέτονται τα ακτινογραφήματα των δειγμάτων που δόθηκαν για ανάλυση. Επίσης από μερικά δείγματα έχουν ετοιμαστεί και μελετηθεί στιλπνές τομές, φωτογραφίες των οποίων παρατίθενται στο Μέρος Β.

# ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

---

## 5 Περιγραφή Δείγματος

### 5.1 Προέλευση Δείγματος

Το δείγμα μας προέρχεται από την εταιρία Ελληνικός Χρυσός, Χαλκιδική. Αφού έφτασε στο εργαστήριο και πριν λάβει μέρος σε οποιαδήποτε μέθοδο εμπλουτισμού ομογενοποιήθηκε και στη συνέχεια διαχωρίστηκε σε τέσσερα ίσα μέρη. Τα  $\frac{3}{4}$  φυλάχθηκαν και στο  $\frac{1}{4}$  έγινε υγρή κοσκίνιση.

### 5.2 Φυσικές ιδιότητες δείγματος

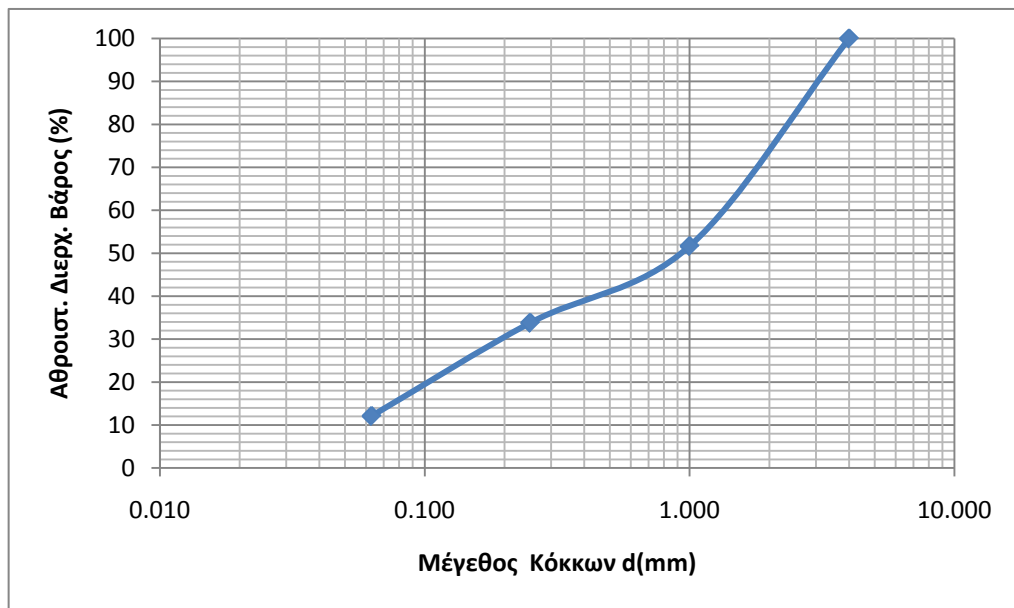
#### 5.2.1 Κοκκομετρία και χημικές αναλύσεις δείγματος

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στο αρχικό δείγμα έγινε υγρή κοσκίνιση και απομακρύνθηκε το  $-0,063\text{mm}$ . Αφού στέγνωσε το  $+0,063\text{mm}$ , έγινε ξηρή κοσκίνιση διαχωρίζοντας το στα εξής κλάσματα  $0,063-0,25\text{mm}$ ,  $0,25-1,0\text{mm}$  και  $1,0-4,0\text{mm}$ . Κάθε κλάσμα διαχωρίστηκε σε δύο ίσα μέρη, στο ένα μέρος έγινε εμπλουτισμός με την μέθοδο των βαρέων υγρών και στο άλλο μέρος έγινε εμπλουτισμός με την μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού. Στο  $-0,063\text{mm}$  της υγρής και ξηρής κοσκίνισης έγινε εμπλουτισμός με την μέθοδο της επίπλευσης αφού πρώτα απομακρύνθηκε το  $-10\mu\text{m}$  με την μέθοδο του υδροκυκλώνα. Επίσης έγιναν χημικές αναλύσεις χρυσού με πυρανάλυση και κυανώσεις με ενεργό άνθρακα, για να διαπιστωθεί η ύπαρξη χρυσού στο μέταλλευμα, η ποσότητα του και η δυνατότητα ανάκτησης του. Οι κυανώσεις έγιναν στα απορρίμματα του μαγνητικού και βαρυτομετρικού διαχωρισμού, για τα κλάσματα  $0,063-0,25\text{mm}$ ,  $0,25-1,0\text{mm}$  και  $1,0-4,0\text{mm}$ , και στο  $-10\mu\text{m}$  του αρχικού δείγματος.

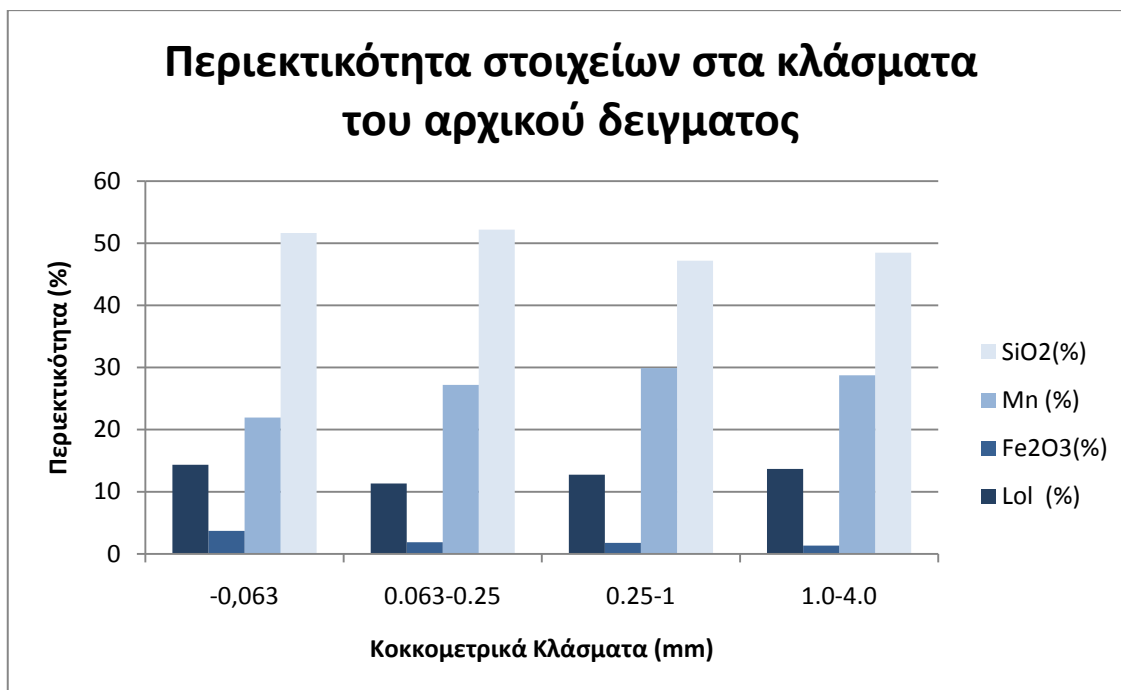
Στο Πίνακα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή του βάρους και η χημική ανάλυση του αρχικού δείγματος στα τέσσερα κοκκομετρικά κλάσματα του. Από την κατανομή του βάρους παρατηρούμε ότι περίπου το 50% του αρχικού δείγματος ανήκει στο κλάσμα  $1,0-4,0\text{mm}$  ενώ περίπου το 20% ανήκει στο κλάσμα  $-0,063\text{mm}$ . Το υπόλοιπο 30% κατανέμεται στα ενδιάμεσα κλάσματα, όπως παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 5.1. Επίσης δεν παρατηρείται μεγάλη διάφορα στη χημική ανάλυση των επιμέρους κοκκομετρικών κλασμάτων όπως φαίνεται στο Πίνακα 5.1 και στον Διάγραμμα 5.2.

Πίνακας 5.1: Κατανομή στα κοκκομετρικά κλάσματα

Κλάσμα (mm)	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Mn (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)
1-4	647,2	48,33	48,47	28,74	1,34	13,67
0,25-1	239,3	17,87	47,19	29,89	1,78	12,75
0,063-0,25	162,3	12,12	52,18	27,20	1,88	11,33
<0,063	290,4	21,68	51,63	21,94	3,70	14,35
<b>Σύνολο</b>	<b>1339,2</b>	<b>100,00</b>	<b>49,37</b>	<b>27,28</b>	<b>1,99</b>	<b>13,37</b>



Διάγραμμα 5.1: Κατανομή του αθροιστικά διερχόμενου βάρους (%) συναρτήσει του μεγέθους κόκκων



Διάγραμμα 5.2: Περιεκτικότητα SiO<sub>2</sub>(%), Mn(%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(%) και απώλεια πύρωσης LOI(%) στα διάφορα κλάσματα του αρχικού δείγματος.

### 5.2.2 Ορυκτολογικές αναλύσεις δείγματος

Ορυκτολογικές αναλύσεις στο αρχικό δείγμα δε πραγματοποιήθηκαν. Πραγματοποιήθηκαν όμως στα επιμέρους προϊόντα της κάθε μεθόδου όπου οι αντίστοιχες ορυκτολογικές φάσεις είναι περισσότερο συγκεντρωμένες. Από τα ακτινοδιαγράμματα που προέκυψαν και τις στιλπνές ορυκτολογικές τομές που ετοιμάστηκαν και μελετήθηκαν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, τα ορυκτά που αποτελούν το δείγμα μας είναι α) ο ροδοχρωσίτης, β) ο μαγγανίτης και γ) ο χαλαζίας. (Πίνακας 5.2)

Πίνακας 5.2: Ορυκτολογική σύσταση, αρχικού δείγματος

Ορυκτό	Χημικός Τύπος	Περιεκτικότητα Mn στο ορυκτό (%)	Περιεκτικότητα ορυκ. στο αρχ. δείγμα (%)
Μαγγανίτης	MnO(OH)	62,5	~2
Ροδοχρωσίτης	MnCO <sub>3</sub>	47,5	~30
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>	0	~68



Πίνακας 5.3: Ιδιότητες ορυκτών του αρχικού δείγματος

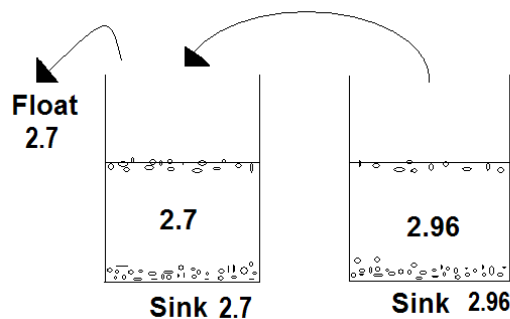
Ορυκτό	Χημικός Τύπος	Πυκνότητα (gr/cm <sup>3</sup> )	Μαγνητική ιδιότητα	Δυνατότητα επίπλευσης
Μαγγανίτης	MnO(OH)	4,3	Μαγνητικό	ΟΧΙ
Ροδοχρωσίτης	MnCO <sub>3</sub>	3,7	Μαγνητικό	ΟΧΙ
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>	2,6	Μη Μαγν.	Με χρήση αμίνης

## 6 Εργαστηριακές Δοκιμές

### 6.1 Βαρέα Υγρά

#### 6.1.1 Πειραματική Διαδικασία

Για υλικό κοκκομετρίας 1-4mm και 0,25–1mm πραγματοποιήθηκε η εξής διαδικασία. Σε ένα ποτήρι ζέσεως τοποθετήσαμε υγρό πυκνότητας 2,96 gr/cm<sup>3</sup> (τετραβρωμοαιθάνιο) και σε δεύτερο ποτήρι ζέσεως υγρό πυκνότητας 2,7 gr/cm<sup>3</sup> (συνδυασμός τετραβρωμοαιθανίου και τετραχλωράνθρακα). Οι πυκνότητες αυτές επιλέχθηκαν διότι στόχος ήταν να διαχωριστούν οι κόκκοι χαλαζία ( $\rho_{\chi}=2,6\text{gr/cm}^3$ ) από τους κόκκους μαγγανίτη ( $\rho_{\mu}=4,3\text{gr/cm}^3$ ) και ροδοχρωσίτη ( $\rho_{\rho}=3,7\text{gr/cm}^3$ ). Προσθέτουμε στο ποτήρι ζέσεως με πυκνότητα 2,96 gr/cm<sup>3</sup> το υλικό μας στη συνέχεια όσο υλικό επίπλευση το μαζεύουμε και το προσθέτουμε στο ποτήρι ζέσεως με πυκνότητα 2,7gr/cm<sup>3</sup>(Εικόνα 6.1). Το επιπλεύσαν της πυκνότητας 2,7gr/cm<sup>3</sup> το μαζεύουμε χωριστά. Αυτό επαναλαμβάνεται μέχρι να περάσουμε όλο το υλικό μας. Με αυτό τον τρόπο παίρνουμε τρία προϊόντα διαχωρισμού (τρία βαρυτομετρικά κλάσματα), με πυκνότητα μεγαλύτερη από 2,96 gr/cm<sup>3</sup>, ενδιάμεση του 2,7–2,96 gr/cm<sup>3</sup> και μικρότερη από 2,7 gr/cm<sup>3</sup>. Στη συνέχεια ξεπλένουμε τα προϊόντα μας με ακετόνη, τα στεγνώνουμε και τα ζυγίζουμε.



Εικόνα 6.1: Εργαστηριακή μέθοδος βαρέων υγρών για τα κοκκομετρικά κλάσματα 1-4mm και 0,25 – 1mm

Το υλικό με κοκκομετρία 0,063 -0,25mm δεν τοποθετείται σε ποτήρια ζέσεως (επειδή δεν μπορούμε να συλλέξουμε τους κόκκους που θα επιπλεύσουν) αλλά σε κωνική φιάλη. Βάζουμε πρώτα στην φιάλη το υγρό με πυκνότητα  $2,96\text{gr}/\text{cm}^3$ , αφού έχουμε κλείσει την στρόφιγγα, και στην συνέχεια προσθέτουμε το υλικό μας. Το αφήνουμε να ηρεμήσει για λίγη ώρα και όταν παρατηρήσουμε δύο διαφορετικές στιβάδες υλικού, αυτή που έχει βυθιστεί και αυτή που επιπλέει στο υλικό, τότε ανοίγουμε προσεκτικά την στρόφιγγα για να πάρουμε πρώτα το υλικό με πυκνότητα μεγαλύτερη του  $2,96\text{gr}/\text{cm}^3$ , δηλαδή αυτό που βυθίστηκε. Για να μαζέψουμε το υλικό τοποθετούμε κάτω από την κωνική φιάλη, διηθητικό χαρτί και ποτήρι ζέσεως. Το διηθητικό χαρτί θα κρατήσει το υλικό επιτρέποντας μας να συλλέξουμε το υγρό στο ποτήρι ζέσεως (Εικόνα 6.2). Το ίδιο θα επαναλάβουμε για να πάρουμε και το υλικό που επέπλευσε ώστε να περάσει από το υγρό με πυκνότητα  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$ .



Εικόνα 6.2: Εργαστηριακή μέθοδος βαρέων υγρών σε κωνική φιάλη

### 6.1.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

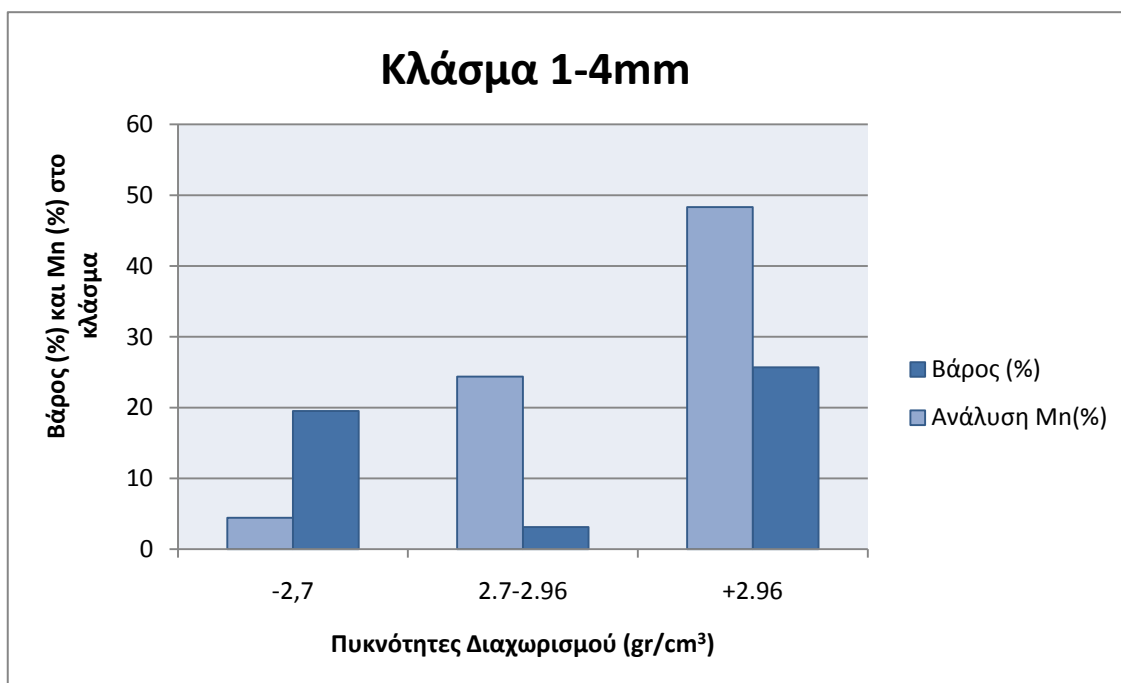
Από την πειραματική διαδικασία του βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βαρέα υγρά, προέκυψαν τρία βαρυτομετρικά κλάσματα για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα. Στα οποία έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις. Η χημική ανάλυση για το Mn και  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  έγινε με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης αφού έγινε μερική διαλυτοποίηση και το  $\text{SiO}_2$  προσδιορίστηκε ως στερεό υπόλειμμα. Επίσης υπολογίστηκε και απώλεια πύρωσης. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων καθώς και κατανομή παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται και η χημική ανάλυση του κλάσματος -0,063mm του αρχικού δείγματος.

Πίνακας 6.1: Χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της μεθόδου του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Κλάσμα (mm)	Προϊόν	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Βάρος (%) αρχικού	Χημικές Αναλύσεις				Κατανομή			
					SiO <sub>2</sub> (%)	Mn (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)	SiO <sub>2</sub>	Mn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI
1-4	2,96	175,00	53,14	25,68	21,24	48,31	0,89	21,07	11,05	45,47	11,89	40,40
	2,7-2,96	21,30	6,47	3,13	53,98	24,38	1,57	9,75	3,42	2,79	2,55	2,28
	-2,7	133,00	40,39	19,52	83,63	4,44	1,65	4,60	33,08	3,18	16,75	6,70
<b>Σύνολο Κλάσματος</b>		<b>329,30</b>	<b>100,00</b>	<b>48,33</b>	<b>48,56</b>	<b>29,04</b>	<b>1,24</b>	<b>13,69</b>	<b>47,55</b>	<b>51,44</b>	<b>31,18</b>	<b>49,38</b>
0,25-1	2,96	77,80	60,08	10,74	23,20	45,52	1,48	17,91	5,05	17,91	8,26	14,35
	2,7-2,96	3,70	2,86	0,51	60,87	19,13	3,58	8,64	0,63	0,36	0,95	0,33
	-2,7	48,00	37,07	6,62	83,03	3,24	1,84	4,87	11,14	0,79	6,34	2,41
<b>Σύνολο Κλάσματος</b>		<b>129,50</b>	<b>100,00</b>	<b>17,87</b>	<b>46,45</b>	<b>29,09</b>	<b>1,67</b>	<b>12,81</b>	<b>16,82</b>	<b>19,05</b>	<b>15,55</b>	<b>17,09</b>
0,063-0,25	2,96	35,00	45,63	5,53	13,67	54,38	2,24	19,48	1,53	11,02	6,44	8,04
	2,7-2,96	7,90	10,30	1,25	64,15	14,67	3,95	8,92	1,62	0,67	2,56	0,83
	-2,7	33,80	44,07	5,34	90,56	1,96	0,92	3,59	9,80	0,38	2,55	1,43
<b>Σύνολο Κλάσματος</b>		<b>76,70</b>	<b>100,00</b>	<b>12,12</b>	<b>52,75</b>	<b>27,19</b>	<b>1,83</b>	<b>11,39</b>	<b>12,95</b>	<b>12,08</b>	<b>11,56</b>	<b>10,31</b>
-0,063	<b>ΟΛΙΚΟ ΚΛΑ</b>	290,40	100,00	21,68	51,63	21,94	3,70	14,35	22,68	17,43	41,71	23,23
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>535,50</b>	<b>-</b>	<b>100,00</b>	<b>49,36</b>	<b>27,29</b>	<b>1,92</b>	<b>13,40</b>	<b>100,0</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

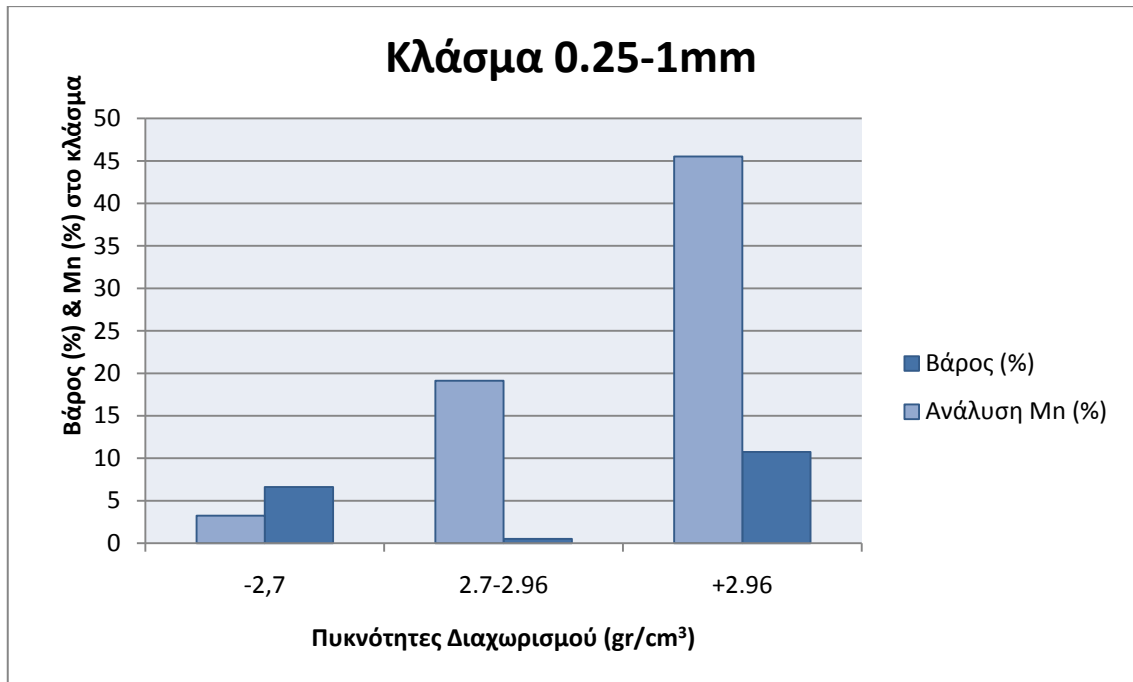
Στον Πίνακα 6.1 παρατηρούμε ότι ο διαχωρισμός με την μέθοδο των βαρέων υγρών ήταν επιτυχημένος, με το μεγαλύτερο ποσοστό του Mn να συγκεντρώνεται στο βαρύτερο του  $2,96\text{gr}/\text{cm}^3$  και το μεγαλύτερο ποσοστό του  $\text{SiO}_2$  να συγκεντρώνεται στο ελαφρύτερο του  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$ . Η απώλεια του Mn στο απόρριμμα είναι μικρή. Παρατηρούμε ακόμη ότι η απώλεια πύρωσης (LOI) είναι μεγαλύτερη στα προϊόντα που έχουν το περισσότερο Mn. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα βαρέα ορυκτά όπως ο ροδοχρωσίτης και ο μαγγανίτης περιέχουν  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  αντίστοιχα που δίνουν την απώλεια πύρωσης.

Από τον Πίνακα 6.1 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα, για κάθε κλάσμα παρουσιάζεται το βάρος (%) και η ανάλυση του Mn (%) συναρτήσει της πυκνότητας διαχωρισμού.

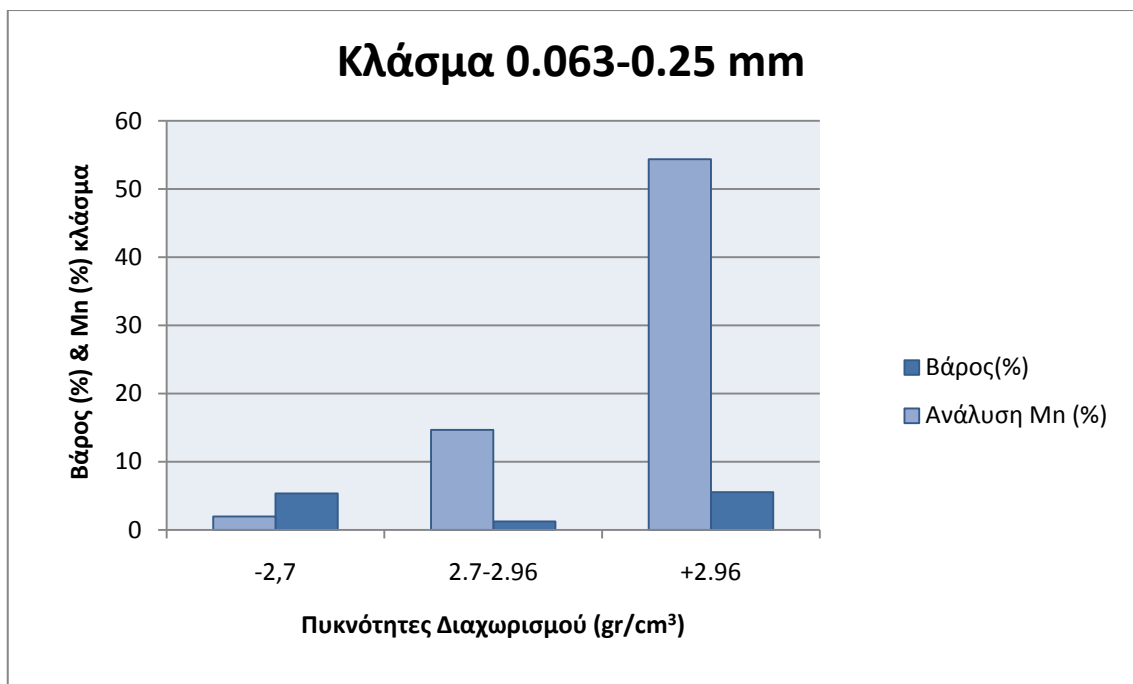


Διάγραμμα 6.1: Βάρος (%) και χημική ανάλυση Mn (%) του κοκκομετρικού κλάσματος 1-4mm.

Στο Διάγραμμα 6.1, παρατηρείται στο ενδιάμεσο βαρυτομετρικό κλάσμα αυξημένη ανάλυση Mn (%) σε σχέση με το βάρος (%) του κλάσματος. Το ίδιο παρατηρείται και στα άλλα κοκκομετρικά κλάσματα του δείγματος μας για το ενδιάμεσο βαρυτομετρικό κλάσμα όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 6.2 και 6.3. Συγκρίνοντας με την κατανομή του Mn (%) επί του αρχικού δείγματος η ποσότητα του Mn που κατανέμεται στο ενδιάμεσο βαρυτομετρικό κλάσμα είναι μικρή. Επίσης υπάρχει μικρή απώλεια στο απόρριμμα στο ελαφρύτερο του  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$ .



Διάγραμμα 6.2: Βάρος (%) και χημική ανάλυση Mn (%) του κοκκομετρικού κλάσματος 0,25-1mm.



Διάγραμμα 6.3: Βάρος (%) και χημική ανάλυση Mn (%) του κοκκομετρικού κλάσματος 0,063-0,25mm.

Πέραν των όσων αναφέρθηκαν πιο πάνω παρατηρώντας τα Διαγράμματα 6.2 και 6.3 τα οποία αντιπροσωπεύουν τα κοκκομετρικά κλάσματα 0,25-1mm και 0,063-0,25mm αντίστοιχα, μπορούμε να πούμε ότι προέκυψε καλύτερος διαχωρισμός των μαγγανιούχων ορυκτών από τον χαλαζία, σε σχέση με το κλάσμα 1-4mm.

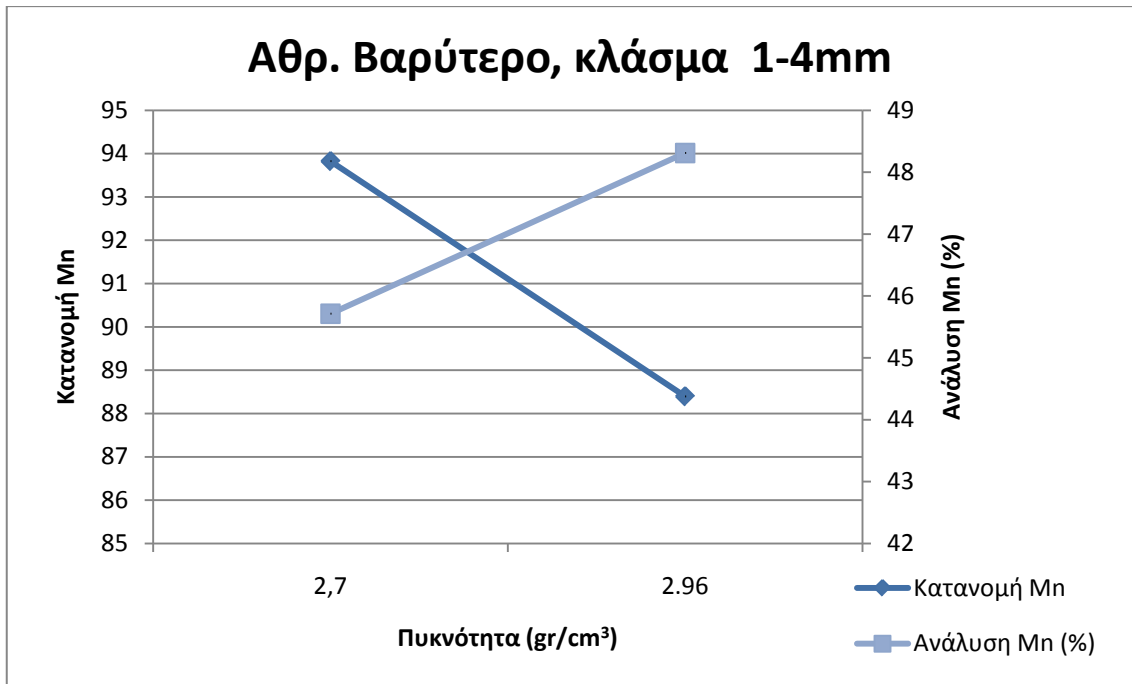
Σε πρώτη φάση μπορούμε να πούμε ότι έγινε καλός διαχωρισμός και στα τρία κλάσματα, 1-4mm, 0,25-1mm και 0,063-1mm. Για πιο ακριβή και ολοκληρωμένη εικόνα των αποτελεσμάτων του βαρυτομετρικού διαχωρισμού πρέπει να μελετηθούν τα αθροιστικώς ελαφρύτερα και βαρύτερα των κλασμάτων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πίνακες με τις αναλύσεις αυτές καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

**Πίνακας 6.2: Αθροιστική κατανομή του Mn στα προϊόντα της μεθόδου των βαρέων υγρών**

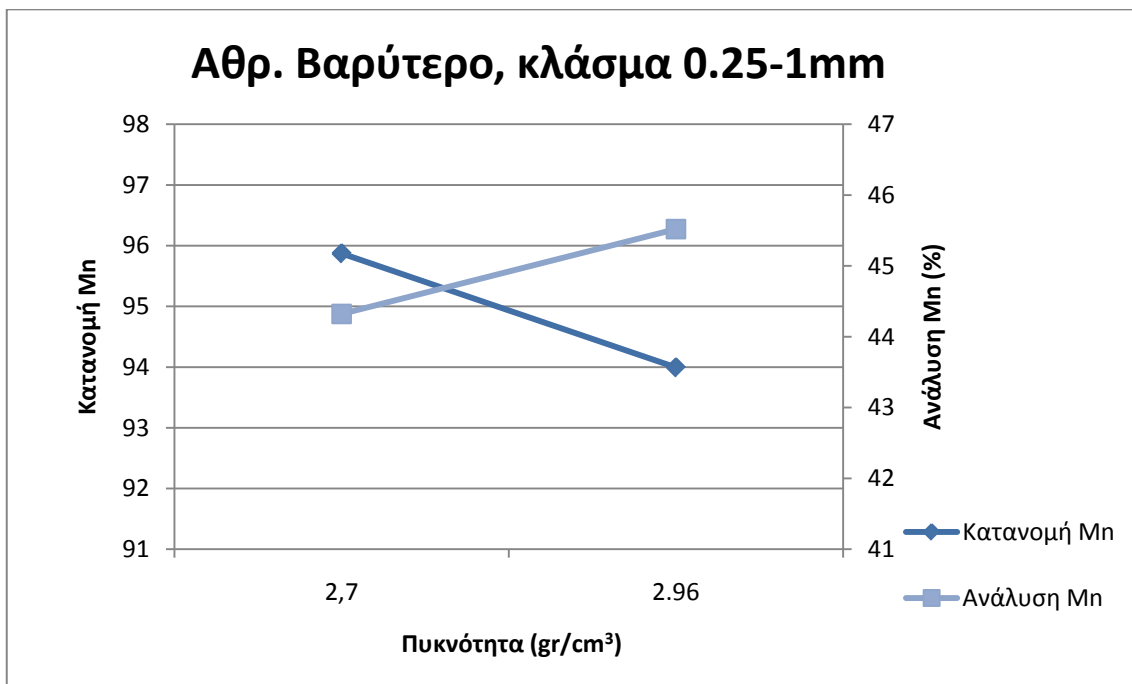
Κλάσμα (mm)	Πυκνότητα Διαχ. gr/cm <sup>3</sup>	Αθροιστικά Βαρύτερο			Αθροιστικά Ελαφρύτερο		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση Mn	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση Mn	Κατανομή Κλάσματος
1-4	2,96	25,68	48,31	88,40	74,32	2,19	11,60
	2,7	28,81	45,71	93,83	71,19	1,22	6,17
0,25-1	2,96	10,74	45,52	93,99	89,26	0,35	6,01
	2,7	11,25	44,32	95,87	88,75	0,24	4,13
0,063-0,25	2,96	5,53	54,38	91,27	94,47	0,30	8,73
	2,7	6,78	47,07	96,82	93,22	0,11	3,18

Το αποτέλεσμα που επιδιώκουμε στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι συμπύκνωμα μαγγανίου περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από 50%. Παρατηρώντας τον Πίνακα 6.2 στον οποίο παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή του Mn στα προϊόντα του βαρυμετρικού διαχωρισμού, για τα κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm, βλέπουμε ότι σε όλα τα προϊόντα έχουμε περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από 40% αλλά μόνο το βαρύτερο του 2,96gr στο κλάσμα 0,063-0,25mm έχει περιεκτικότητα σε Mn 54,38%.

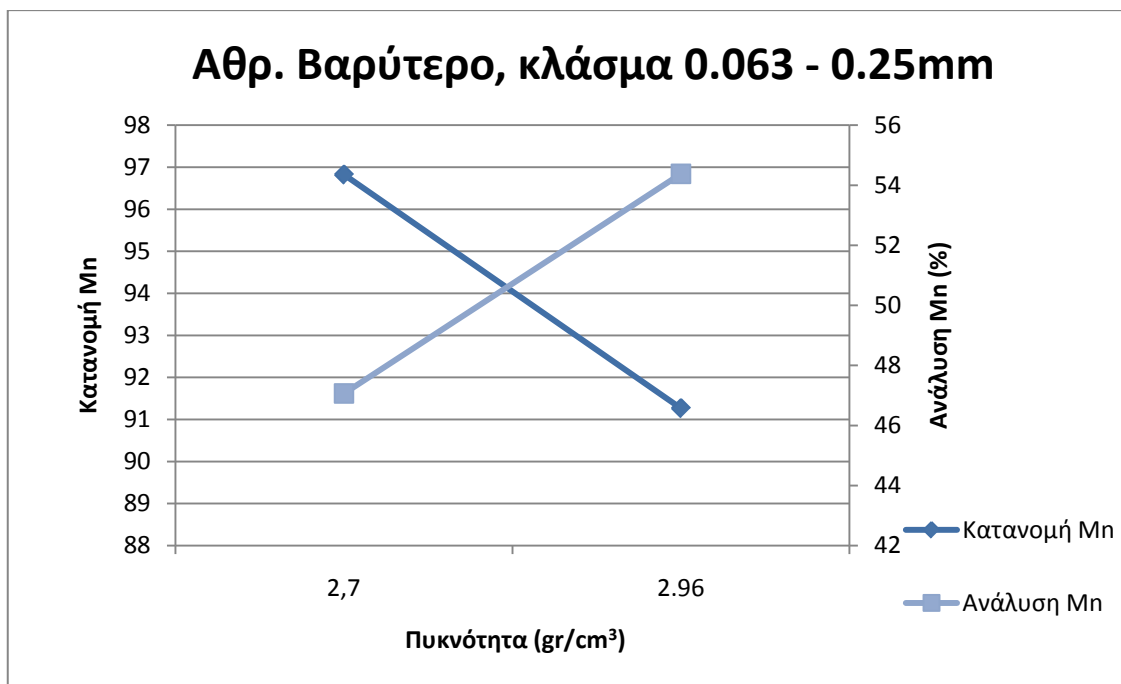
Η αθροιστική κατανομή Mn και η ανάλυση Mn(%) των προϊόντων του διαχωρισμού για κάθε κλάσμα παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.4, 6.5 και 6.6 που ακολουθούν.



Διάγραμμα 6.4: Αθροιστική κατανομή Mn και ανάλυση Mn στο κοκκομετρικό κλάσμα 1–4mm, του βαρυτομετρικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 6.5: Αθροιστική κατανομή Mn και ανάλυση Mn στο κοκκομετρικό κλάσμα 0,25 - 1mm, του βαρυτομετρικού διαχωρισμού



**Διάγραμμα 6.6:** Αθροιστική κατανομή Mn και ανάλυση Mn στο κοκκομετρικό κλάσμα 0,063–1mm, του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Στους Πίνακες 6.3, 6.4 και 6.5 που ακολουθούν παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή του SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και της απώλειας πύρωσης (LOI), αντίστοιχα, στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

**Πίνακας 6.3:** Αθροιστική κατανομή του SiO<sub>2</sub> στα προϊόντα της μεθόδου των βαρέων υγρών

Κλάσμα (mm)	Πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>	Αθροιστικά Βαρύτερο			Αθροιστικά Ελαφρύτερο		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση SiO <sub>2</sub>	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση SiO <sub>2</sub>	Κατανομή Κλάσματος
1-4	2,96	25,68	21,24	23,25	74,32	24,24	76,75
	2,7	28,81	24,79	30,44	71,19	22,93	69,56
0,25-1	2,96	10,74	23,20	30,00	89,26	6,51	70,00
	2,7	11,25	24,91	33,75	88,75	6,20	66,25
0,063-0,25	2,96	5,53	13,67	11,82	94,47	5,97	88,18
	2,7	6,78	22,97	24,35	93,22	5,19	75,65



Πίνακας 6.4: Αθροιστική κατανομή του Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> στα προϊόντα της μεθόδου των βαρέων υγρών

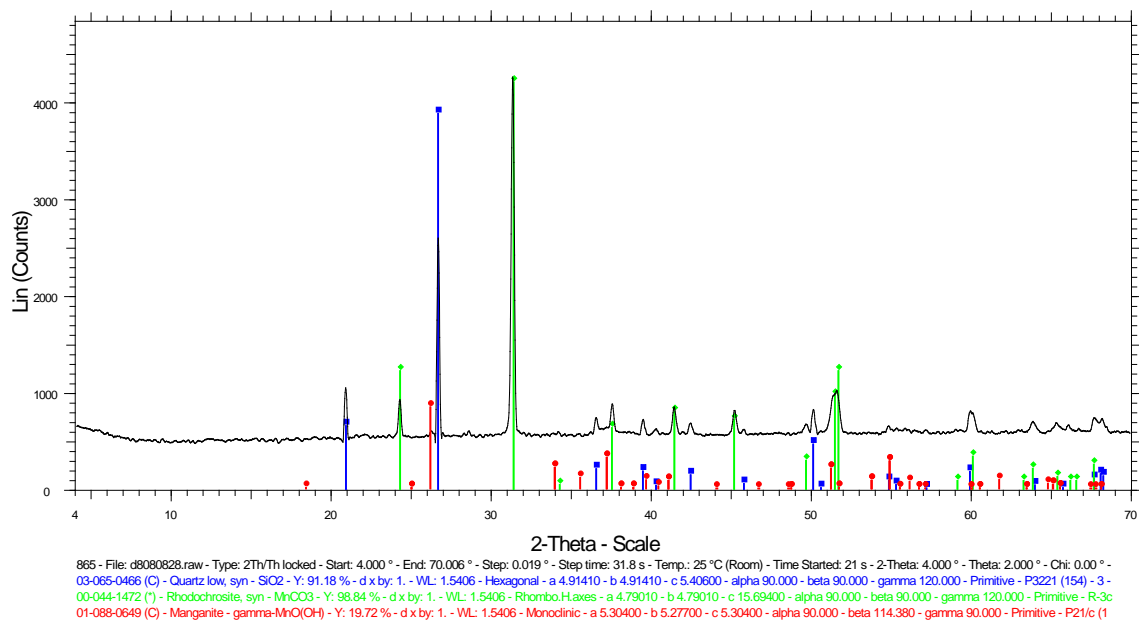
Κλάσμα (mm)	Πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>	Αθροιστικά Βαρύτερο			Αθροιστικά Ελαφρύτερο		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Κατανομή Κλάσματος
1-4	2,96	25,68	0,89	38,11	74,32	0,50	61,89
	2,7	28,81	0,96	46,30	71,19	0,45	53,70
0,25-1	2,96	10,74	1,48	53,13	89,26	0,16	46,87
	2,7	11,25	1,58	59,25	88,75	0,14	40,75
0,063-0,25	2,96	5,53	2,24	55,72	94,47	0,10	44,28
	2,7	6,78	2,55	77,90	93,22	0,05	22,10

Πίνακας 6.5: Αθροιστική κατανομή της απώλειας πύρωσης (LOI) στα προϊόντα της μεθόδου των βαρέων υγρών

Κλάσμα (mm)	Πυκνότητα gr/cm <sup>3</sup>	Αθροιστικά Βαρύτερο			Αθροιστικά Ελαφρύτερο		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση LOI	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση LOI	Κατανομή Κλάσματος
1-4	2,96	25,68	21,07	81,82	74,32	1,62	18,18
	2,7	28,81	19,84	86,42	71,19	1,26	13,58
0,25-1	2,96	10,74	17,91	83,98	89,26	0,41	16,02
	2,7	11,25	17,49	85,91	88,75	0,36	14,09
0,063-0,25	2,96	5,53	19,48	78,04	94,47	0,32	21,96
	2,7	6,78	17,54	86,11	93,22	0,21	13,89

### 6.1.3 Αποτελέσματα ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης

Στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού, για τα κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm, πραγματοποιήθηκαν ορυκτολογικές αναλύσεις με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων – X από όπου και προέκυψαν τα ακτινοδιαγράμματα που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α. Δόθηκαν όλα τα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για ορυκτολογική ανάλυση εκτός από το ενδιάμεσο βαρυτομετρικό κλάσμα, 2,7-2,96gr/cm<sup>3</sup>, του κοκκομετρικού κλάσματος 1-4mm από το οποίο δεν επαρκούσε η ποσότητα για να γίνει ορυκτολογική (XRD) και μικροσκοπική (στιλπνή τομή) ανάλυση.



**Ακτινοδιάγραμμα 6.1: Ορυκτολογική ανάλυση βαρύτερου του 2,96gr/cm<sup>3</sup> στο κλάσμα 1-4mm.**

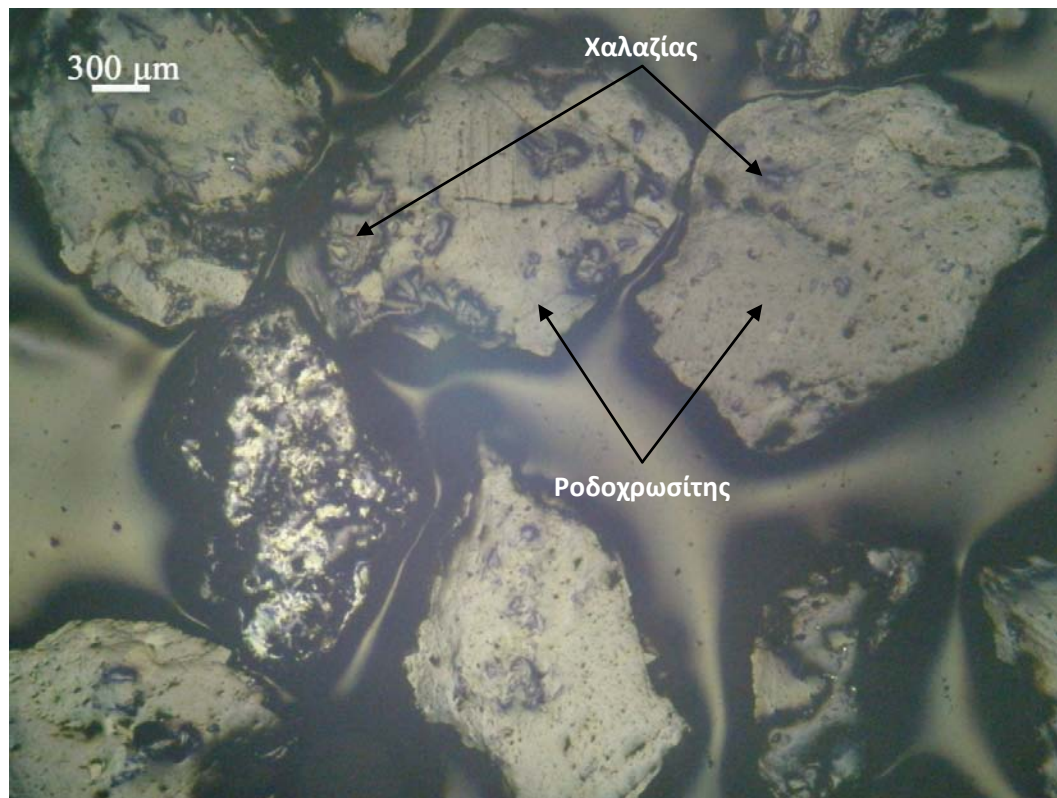
Από το Ακτινοδιάγραμμα 6.1 μπορούμε ημιποσοτικά να πούμε ότι δείγμα μας αποτελείται κυρίως από χαλαζία και ροδοχρωσίτη, και πολύ λίγο μαγγανίτη. Από το σύνολο των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση (XRD), που πραγματοποιήθηκε στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού και παρατίθενται στο Παράρτημα Α, προέκυψε ο Πίνακας 6.6 όπου παρουσιάζεται η ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση των επιμέρους προϊόντων.

**Πίνακας 6.6: Ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού**

Κοκκομετρικά Κλάσματα (mm)	Βαρυτομετρικά Κλάσματα (gr/m <sup>3</sup> )	MnOOH (%)	MnCO <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
1-4	+2,96	1	62	37
	+2,7	-	1	99
0,25-1	+2,96	2	56	42
	+2,7	-	6	94
	-2,7	-	1	99
0,063-0,25	+2,96	4	65	31
	+2,7	-	5	95
	-2,7	-	-	100

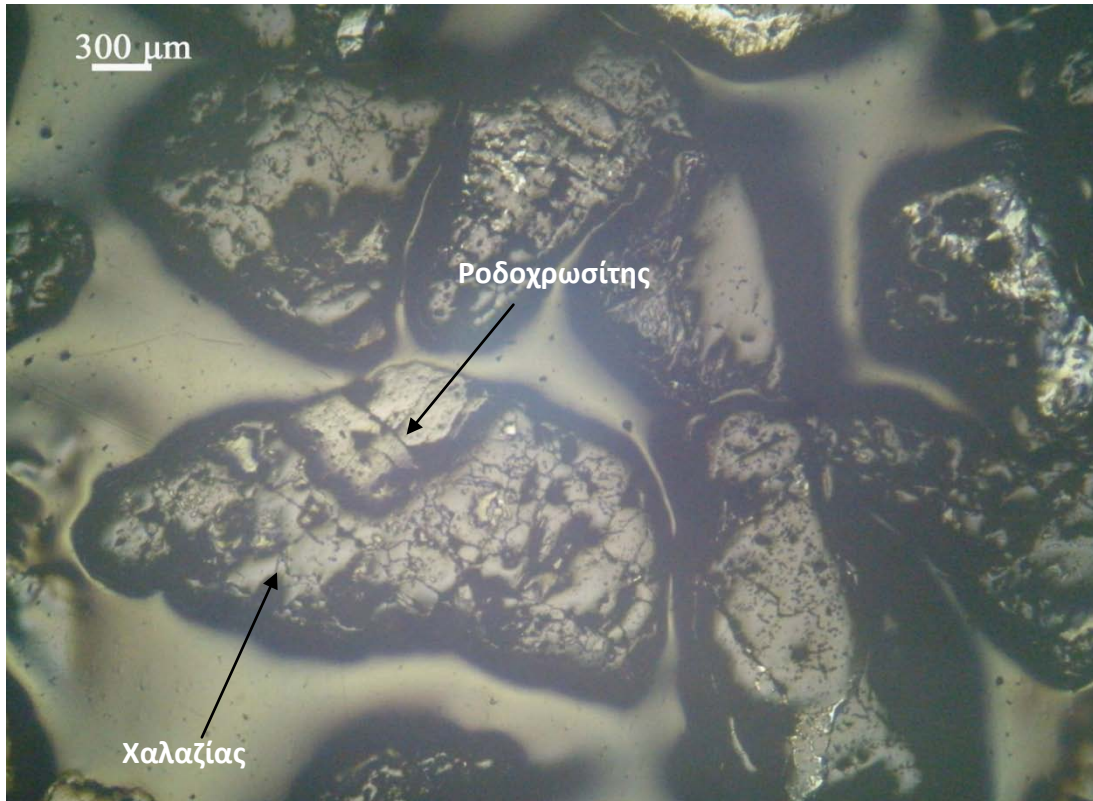
Από την ημιποσοτική ανάλυση διαπιστώνουμε ότι ο μαγγανίτης ( $MnOOH$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 62,5% είναι ελάχιστος συγκριτικά με τον ροδοχρωσίτη ( $MnCO_3$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 47,5%. Σε αυτό οφείλεται και το γεγονός ότι δεν πήραμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα πάνω από 50% σε Mn πάρα το γεγονός ότι ο διαχωρισμός των μαγγανιούχων ορυκτών από το χαλαζία είναι ικανοποιητικός.

Στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού πραγματοποιήθηκαν σιλιπνές τομές, εκτός από το ενδιάμεσο βαρυτομετρικό κλάσμα ( $2,7-2,96 \text{ gr/cm}^3$ ) των κοκκομετρικών κλασμάτων  $0,25-1\text{mm}$  και  $0,063-0,25\text{mm}$ . Οι σιλιπνές τομές παρασκευάστηκαν με σκοπό να παρατηρηθούν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Αντιπροσωπευτικές πανοραμικές φωτογραφίες των σιλιπνών τομών επιλέχθηκαν και ακολουθούν στις επόμενες σελίδες.

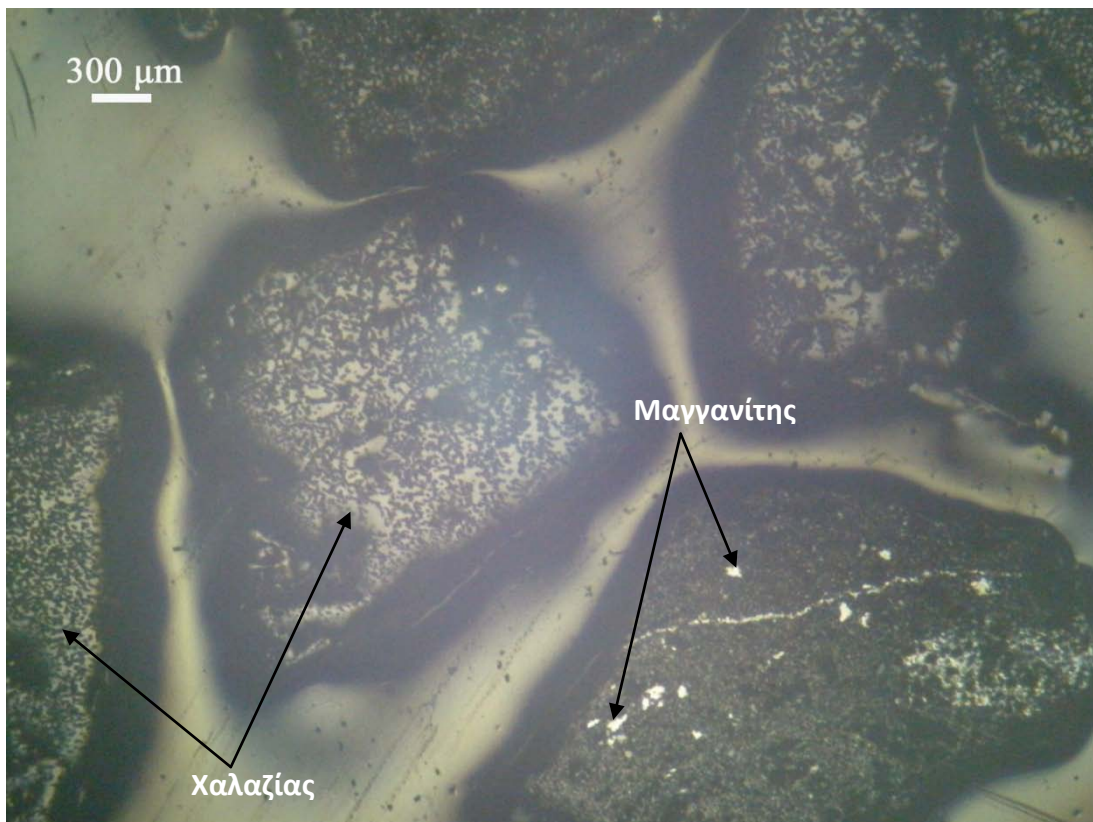


**Εικόνα 6.3:** Πανοραμική φωτογραφία σιλιπνής τομής βαρύτερο του  $2,96 \text{ gr/cm}^3$  στο κλάσμα 1–4mm. Ανακλώμενο φώς, //Nic.

Στην Εικόνα 6.3, πανοραμική φωτογραφία σιλιπνής τομής βαρύτερο του  $2,96 \text{ gr/cm}^3$  στο κλάσμα 1–4mm, παρατηρούνται μικρά εγκλείσματα χαλαζία σε σχετικά μεγάλους κρυστάλλους ροδοχρωσίτη. Το ακριβώς αντίθετο παρατηρείται στην Εικόνα 6.4, πανοραμική φωτογραφία ενδιάμεσου βαρυτομετρικού κλάσματος  $2,7-2,96 \text{ gr/cm}^3$  για το κλάσμα 1-4mm, δηλαδή εγκλείσματα ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη σε σχετικά μεγάλους κρυστάλλους χαλαζία.

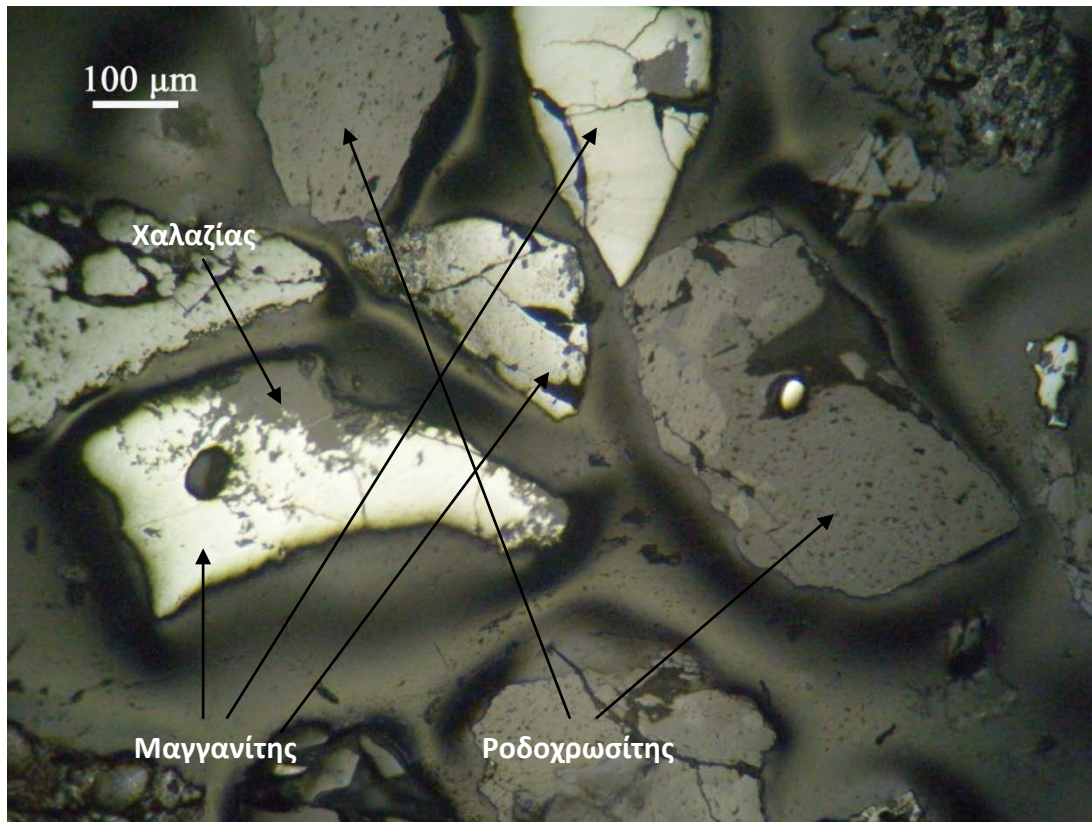


Εικόνα 6.4: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής ενδιάμεσο βαρυτομετρικό κλάσμα 2,7-2,96gr/cm<sup>3</sup> στο κλάσμα 1-4mm. Ανακλώμενο φώς, //Nic.



Εικόνα 6.5: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής ελαφρύτερο του 2,7 gr/cm<sup>3</sup> στο κλάσμα 1-4mm. Ανακλώμενο φώς, //Nic.

Στην Εικόνα 6.5, πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής ελαφρύτερο του  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$  στο κλάσμα 1-4mm, δηλαδή το απόρριμμα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού στο κλάσμα αυτό παρατηρούνται αρκετοί καθαροί κόκκοι χαλαζία και ελάχιστοι με μικρά εγκλείσματα μαγγανίτη. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο μαγγανίτης που βρίσκεται σε μικρή ποσότητα στο αρχικό δείγμα παρασύρεται υπό μορφή εγκλεισμάτων στο απόρριμμα.



Εικόνα 6.6: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής βαρύτερο του  $2,96\text{ gr}/\text{cm}^3$  στο κλάσμα 0,25–1mm. Ανακλώμενο φως, //Nic.

Στην Εικόνα 6.6, πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής βαρύτερο του  $2,96\text{ gr}/\text{cm}^3$  στο κλάσμα 0,25–1mm, παρατηρούνται καθαροί κόκκοι ροδοχρωσίτη και κόκκοι μαγγανίτη με εγκλείσματα χαλαζία. Όσο μειώνεται η κοκκομετρία παρατηρείται καλύτερη αποδέσμευση μεταξύ των μαγγανιούχων ορυκτών και του χαλαζία χωρίς όμως να εξαλείφονται τελείως οι σύμμεικτοι κόκκοι.

#### 6.1.4 Μερικά συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας στο βαρυτομετρικό διαχωρισμό με βαρέα υγρά χρησιμοποιήθηκαν δύο πυκνότητες διαχωρισμού  $2,96\text{gr}/\text{cm}^3$  και  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$  από αυτές προκύπτουν τρία βαρυτομετρικά κλάσματα το βαρύτερο του  $2,96\text{gr}/\text{cm}^3$ , το ενδιάμεσο του  $2,7-2,96\text{gr}/\text{cm}^3$  και το ελαφρύτερο του  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$ . Η διαδικασία εφαρμόστηκε στα κλάσματα  $0,063-0,25\text{mm}$ ,  $0,25-1\text{mm}$  και  $1-4\text{mm}$  του αρχικού δείγματος. Στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις. Στο κλάσμα  $-0,063\text{mm}$  έγιναν μόνο χημικές αναλύσεις.

Από τις χημικές αναλύσεις διαπιστώνουμε ότι ο διαχωρισμός με την μέθοδο των βαρέων υγρών είναι επιτυχημένος, με το μεγαλύτερο ποσοστό του Mn να συγκεντρώνεται στο βαρύτερο του  $2,96\text{gr}/\text{cm}^3$  και το μεγαλύτερο ποσοστό του  $\text{SiO}_2$  να συγκεντρώνεται στο ελαφρύτερο του  $2,7\text{gr}/\text{cm}^3$ . Η απώλεια του Mn στο απόρριμμα είναι μικρή.

Από την ημιποσοτική ανάλυση διαπιστώνουμε ότι ο μαγγανίτης ( $\text{MnOOH}$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn  $62,5\%$  είναι ελάχιστος συγκριτικά με τον ροδοχρωσίτη ( $\text{MnCO}_3$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn  $47,5\%$ . Ενώ από τις στιλπνές τομές που παρατηρήθηκαν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο διαπιστώνουμε ότι στο βαρύτερο κλάσμα όπου συγκεντρώνεται το χρήσιμο υλικό υπάρχουν εγκλείσματα χαλαζία μέσα σε κόκκους ροδοχρωσίτη, και στο ελαφρύτερο κλάσμα όπου συγκεντρώνεται το στείρο υλικό υπάρχουν εγκλείσματα ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη μέσα σε κόκκους χαλαζία. Δεν υπάρχει καλή αποδέσμευση μεταξύ των μαγγανιούχων ορυκτών και του χαλαζία κυρίως στο κλάσμα  $1-4\text{mm}$ , στα μικρότερα κλάσματα  $0,063-0,25\text{mm}$  και  $0,25-1\text{mm}$  παρατηρούνται ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα.

Μελετώντας στο σύνολο τους τα αποτελέσματα των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων που έγιναν στα δείγματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο διαχωρισμός έγινε με επιτυχία, αλλά όχι στον απαιτούμενο βαθμό. Στόχος μας ήταν να πάρουμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από  $50\%$ , για όλα τα κλάσματα. Αυτό επιτεύχθηκε μόνο στο κλάσμα  $0,063-0,25\text{mm}$  όπου πήραμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn  $54,38\%$  και σε  $\text{SiO}_2$   $13,67\%$ .

Στο λεπτό κλάσμα  $0,063-0,25\text{mm}$  όπου η αποδέσμευση είναι καλύτερη και η περιεκτικότητα του κλάσματος σε Mn, περισσότερος μαγγανίτης, είναι μεγαλύτερη λαμβάνουμε προϊόν με ανάλυση Mn μεγαλύτερη από  $50\%$ . Στο χονδρότερο κλάσμα που πλεονάζει ο ροδοχρωσίτης που έχει περιεκτικότητα μόνο  $47,5\%$  Mn και η αποδέσμευση δεν είναι καλή η περιεκτικότητα των προϊόντων σε Mn είναι μικρότερη από  $50\%$ .

## 6.2 Μαγνητικός Διαχωρισμός

### 6.2.1 Πειραματική Διαδικασία

Ο μαγνητικός διαχωρισμός επιλέχθηκε γιατί τα προς διαχωρισμό ορυκτά του δείγματος μας επιδεικνύουν διαφορετική μαγνητική συμπεριφορά, τα ορυκτά του μαγγανίου (ροδοχρωσίτης και μαγγανίτης) είναι μαγνητικά ενώ ο χαλαζίας είναι μη μαγνητικός.

Για το κοκκομετρικό κλάσμα 1–4mm χρησιμοποιήθηκε ο ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής Perm–Roll (Εικόνα 3.3) με ακτίνα τυμπάνου  $R=0,035m$ . Βάση της σχέσης 3.1 ρυθμίσαμε την ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου στα 160 rpm για το πρώτο πέρασμα και με δοκιμαστικά περάσματα ρυθμίσαμε και την κλίση της λεπίδας στο 5,5 για να πετύχουμε τον βέλτιστο διαχωρισμό του μαγνητικού από το μη μαγνητικό υλικό. Το μη μαγνητικό του πρώτου περάσματος χρησιμοποιήθηκε σαν τροφή του δεύτερου περάσματος με ταχύτητα περιστροφής 120 rpm (περίπου το 80% των 160 rpm) και κλίση λεπίδας 3,1. Από την διαδικασία αυτή πήραμε σαν προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού το 1<sup>ο</sup> μαγνητικό, το 2<sup>ο</sup> μαγνητικό και το μη μαγνητικό προϊόν.



**Εικόνα 6.7: Ταινιοφόρος μαγνητικός διαχωριστής Perm–Roll**

Για τα κοκκομετρικά κλάσματα 0,25-1mm και 0,063-0,25mm χρησιμοποιήθηκε ο υψηλής έντασης ξηρός επαγωγικός μαγνητικός διαχωριστής (High intensity In-duced Roll Magnetic Separator MIH (13), της Carpcο) Εικόνα 3.4, με ακτίνα τυμπάνου  $R=0,06m$ . Βάση της σχέσης 3.1 ρυθμίσαμε την ταχύτητα περιστροφής του τυμπάνου στα 120 rpm για το πρώτο πέρασμα και με δοκιμαστικά περάσματα ρυθμίσαμε και την κλίση των λεπίδων για να πετύχουμε τον βέλτιστο

διαχωρισμό του μαγνητικού από το μη μαγνητικό υλικό. Επίσης βάση του διαγράμματος 3.1 ρυθμίσαμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στα 3,0 Amperes και την δόνηση στο 45. Το μη μαγνητικό του πρώτου περάσματος χρησιμοποιήθηκε σαν τροφή του δεύτερου περάσματος με ταχύτητα περιστροφής 100 rpm (περίπου το 80% των 120 rpm). Από την διαδικασία αυτή πήραμε σαν προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού το 1<sup>ο</sup> μαγνητικό, το 2<sup>ο</sup> μαγνητικό και το μη μαγνητικό προϊόν για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα.



**Εικόνα 6.8: Υψηλής έντασης ξηρός επαγωγικός μαγνητικός διαχωριστής (High intensity In-duced Roll Magnetic Separator MIH (13) της Carpco.**

### 6.2.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Από την πειραματική διαδικασία του μαγνητικού διαχωρισμού, προέκυψαν τρία δείγματα για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα για τα δύο περάσματα στο μαγνήτη που πραγματοποιήθηκαν. Συνολικά εννέα δείγματα στα οποία έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις. Η χημική ανάλυση για το Mn και  $Fe_2O_3$  έγινε με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης αφού έγινε μερική διαλυτοποίηση και το  $SiO_2$  προσδιορίστηκε ως στερεό υπόλειμμα. Επίσης υπολογίστηκε και απώλεια πύρωσης. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων καθώς και κατανομή παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.



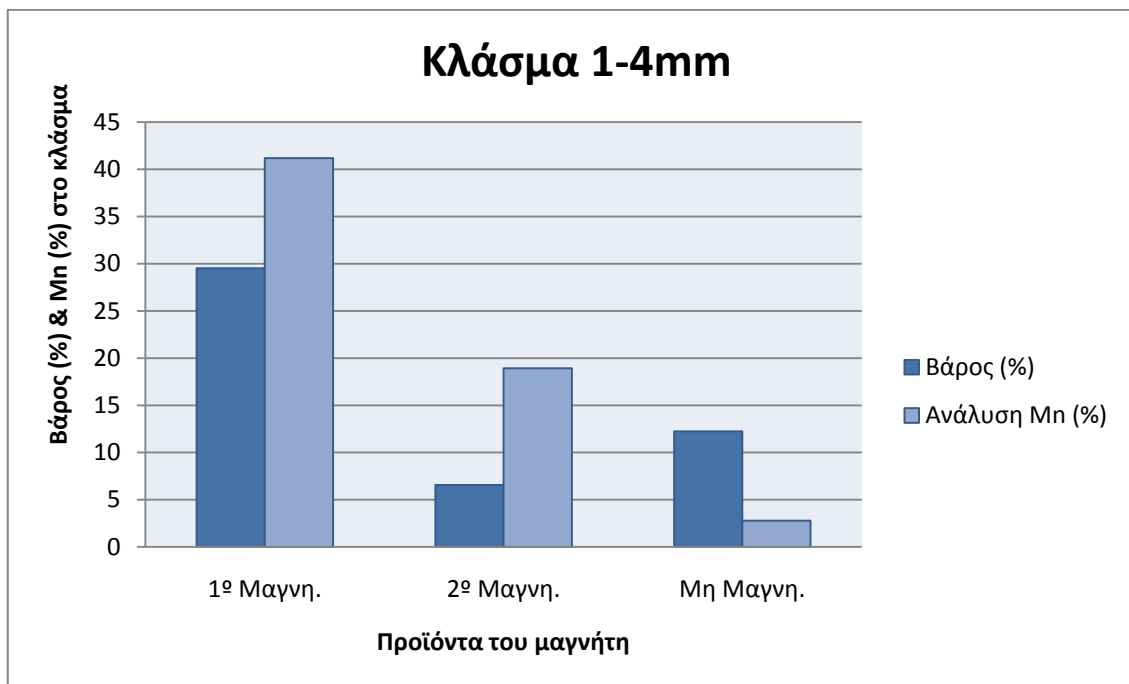
Πίνακας 6.7: Χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της μεθόδου του μαγνητικού διαχωρισμού

Κλάσμα (mm)	Προϊόν	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Βάρος (%) αρχικού	Χημικές Αναλύσεις				Κατανομή			
					SiO <sub>2</sub> (%)	Mn (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	LOI (%)	SiO <sub>2</sub>	Mn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI
1-4	1 <sup>ο</sup> Μαγν.	189,20	61,07	29,52	30,49	41,19	1,34	18,33	18,22	44,56	19,16	40,54
	2 <sup>ο</sup> Μαγν.	42,10	13,59	6,57	65,60	18,93	1,96	8,08	8,72	4,56	6,24	3,98
	Μη Μαγν.	78,50	25,34	12,25	82,25	2,78	1,36	5,38	20,39	1,25	8,07	4,94
<b>Σύνολο Κλάσματος</b>		<b>309,80</b>	<b>100,0</b>	<b>48,33</b>	<b>48,38</b>	<b>28,43</b>	<b>1,43</b>	<b>13,66</b>	<b>47,34</b>	<b>50,37</b>	<b>33,47</b>	<b>49,45</b>
0,25-1	1 <sup>ο</sup> Μαγν.	48,00	44,53	7,96	18,50	51,63	1,45	20,35	2,98	15,06	5,59	12,13
	2 <sup>ο</sup> Μαγν.	5,50	5,10	0,91	41,47	37,78	2,87	12,11	0,77	1,26	1,27	0,83
	Μη Μαγν.	54,30	50,37	9,00	74,58	11,47	2,18	5,99	13,59	3,78	9,51	4,04
<b>Σύνολο Κλάσματος</b>		<b>107,80</b>	<b>100,0</b>	<b>17,87</b>	<b>47,92</b>	<b>30,69</b>	<b>1,89</b>	<b>12,70</b>	<b>17,34</b>	<b>20,11</b>	<b>16,37</b>	<b>17,00</b>
0,063-0,25	1 <sup>ο</sup> Μαγν.	48,70	54,78	6,64	23,73	46,49	2,63	17,51	3,19	11,31	8,46	8,71
	2 <sup>ο</sup> Μαγν.	8,80	9,90	1,20	68,91	8,68	2,49	5,85	1,67	0,38	1,45	0,53
	Μη Μαγν.	31,40	35,32	4,28	90,00	2,50	0,67	3,13	7,80	0,39	1,39	1,00
<b>Σύνολο Κλάσματος</b>		<b>88,90</b>	<b>100</b>	<b>12,12</b>	<b>51,61</b>	<b>27,21</b>	<b>1,92</b>	<b>11,28</b>	<b>12,66</b>	<b>12,09</b>	<b>11,30</b>	<b>10,24</b>
-0,063	<b>ΟΛΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ</b>	290,40	100	21,68	51,63	21,94	3,70	14,35	22,66	17,44	38,87	23,31
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>506,50</b>		<b>100</b>	<b>49,39</b>	<b>27,28</b>	<b>2,06</b>	<b>13,35</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Στον Πίνακα 6.7 παρατηρούμε τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού. Ο διαχωρισμός του χρήσιμου υλικού από το στείρο είναι επιτυχημένος, με το μεγαλύτερο ποσοστό του Mn να συγκεντρώνεται στο μαγνητικό κλάσμα και το μεγαλύτερο ποσοστό του SiO<sub>2</sub> να συγκεντρώνεται στο μη μαγνητικό κλάσμα. Η απώλεια του Mn στο απόρριμμα είναι μικρή. Παρατηρούμε ακόμη ότι η απώλεια πύρωσης (LOI) είναι μεγαλύτερη στα προϊόντα που έχουν το περισσότερο Mn. Αυτό εξηγείται από το γεγονός, ότι τα βαρέα ορυκτά όπως ο ροδοχρωσίτης και ο μαγγανίτης περιέχουν CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O αντίστοιχα που δίνουν την απώλεια πύρωσης.

Συγκριτικά με τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού που έγινε στα ίδια κλάσματα, 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm, παρατηρούμε για τον μαγνητικό διαχωρισμό ότι: α) στα κλάσματα 0,063-0,25mm και 1-4mm έχουμε μικρότερη απώλεια μαγγανίου στο απόρριμμα και β) στο κλάσμα 0,25-1mm έχουμε καλύτερο διαχωρισμό του χαλαζία από τα μαγγανιούχα ορυκτά αλλά μεγαλύτερη απώλεια μαγγανίου στο απόρριμμα.

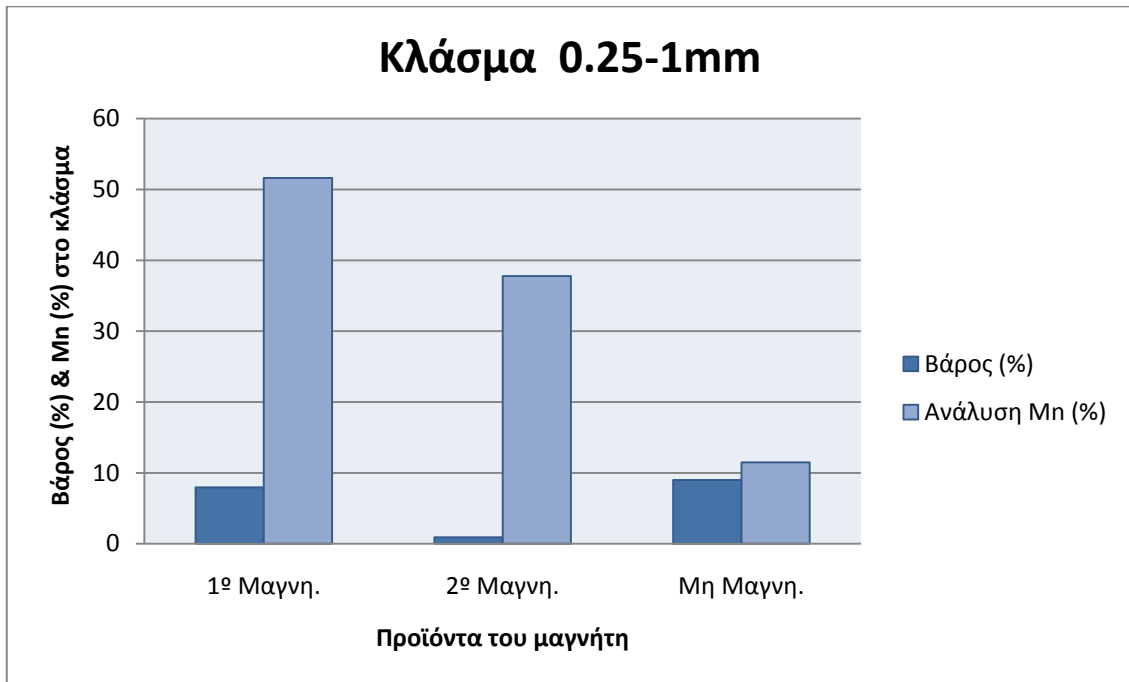
Από το Πίνακα 6.7 προκύπτουν τα ακόλουθα διαγράμματα, για κάθε κλάσμα παρουσιάζεται το βάρος (%) και η ανάλυση του Mn (%) συναρτήσει των δύο περασμάτων από τον μαγνήτη.



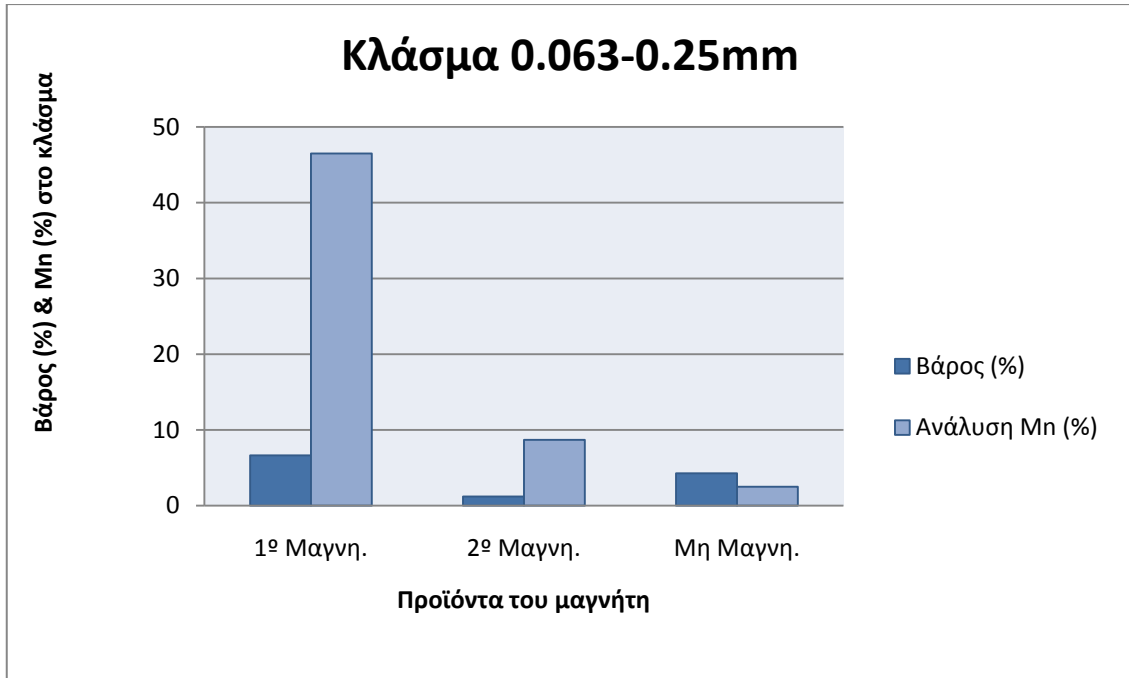
**Διάγραμμα 6.7: Βάρος (%) και χημική ανάλυση Mn (%) του κοκκομετρικού κλάσματος 1-4mm.**

Στο Διάγραμμα 6.7, παρατηρείται στο δεύτερο μαγνητικό κλάσμα αυξημένη ανάλυση Mn (%) σε σχέση με το βάρος (%) του κλάσματος. Το ίδιο παρατηρείται και στα άλλα κοκκομετρικά κλάσματα του δείγματος μας για το δεύτερο μαγνητικό κλάσμα όπως φαίνεται

στα Διαγράμματα 6.8 και 6.9. Συγκρίνοντας με την κατανομή του Mn (%) επί του αρχικού δείγματος η ποσότητα του Mn που κατανέμεται στο δεύτερο μαγνητικό κλάσμα είναι μικρή. Επίσης υπάρχει μικρή απώλεια στο απόρριμμα στο μη μαγνητικό.



Διάγραμμα 6.8: Βάρος (%) και χημική ανάλυση Mn (%) του κοκκομετρικού κλάσματος 0,25-1mm.



Διάγραμμα 6.9: Βάρος (%) και χημική ανάλυση Mn (%) του κοκκομετρικού κλάσματος 0,063-0,25mm.

Πέραν των όσων αναφέρθηκαν πιο πάνω παρατηρώντας τα Διαγράμματα 6.7, 6.8 και 6.9 τα οποία αντιπροσωπεύουν τα κοκκομετρικά κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm αντίστοιχα, μπορούμε να πούμε ότι προέκυψε καλύτερος διαχωρισμός των μαγνανιούχων ορυκτών από τον χαλαζία, στο κλάσμα 0,063-0,25mm.

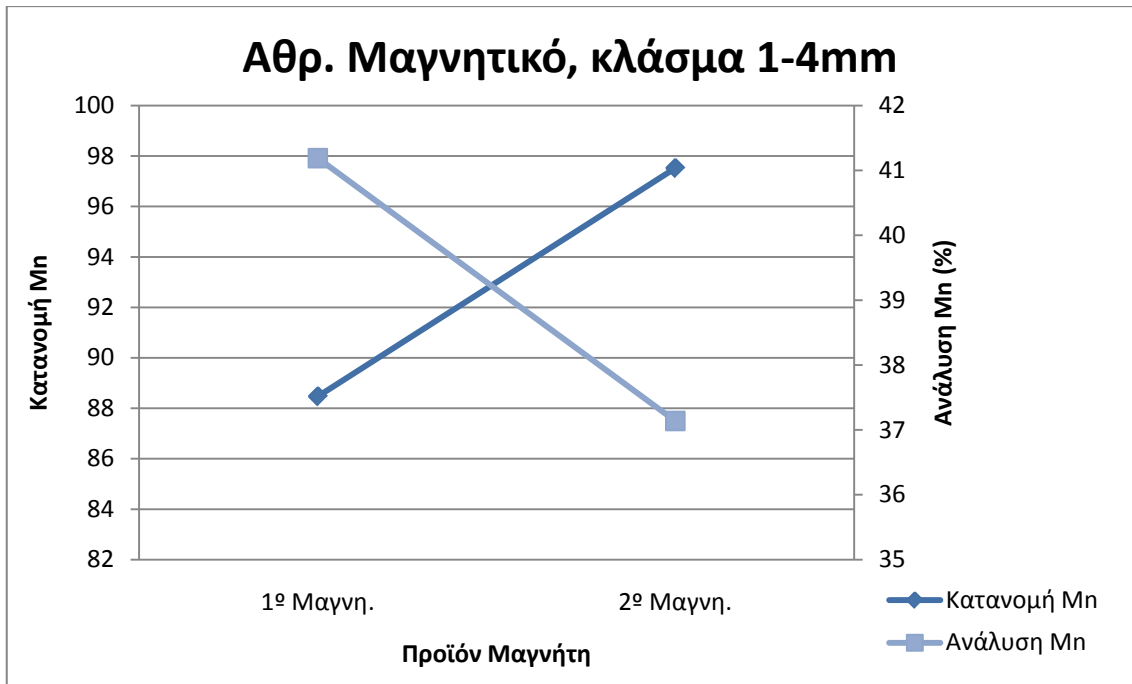
Σε πρώτη φάση μπορούμε να πούμε ότι έγινε καλώς διαχωρισμός και στα τρία κλάσματα, 1-4mm, 0,25-1mm και 0,063-1mm. Για πιο ακριβή και ολοκληρωμένη εικόνα των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού πρέπει να μελετηθούν τα αθροιστικώς μαγνητικά και μη μαγνητικά των κλασμάτων. Στην συνέχεια παρουσιάζονται πίνακες με τις αναλύσεις αυτές καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα.

**Πίνακας 6.8: Αθροιστική κατανομή Mn στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού**

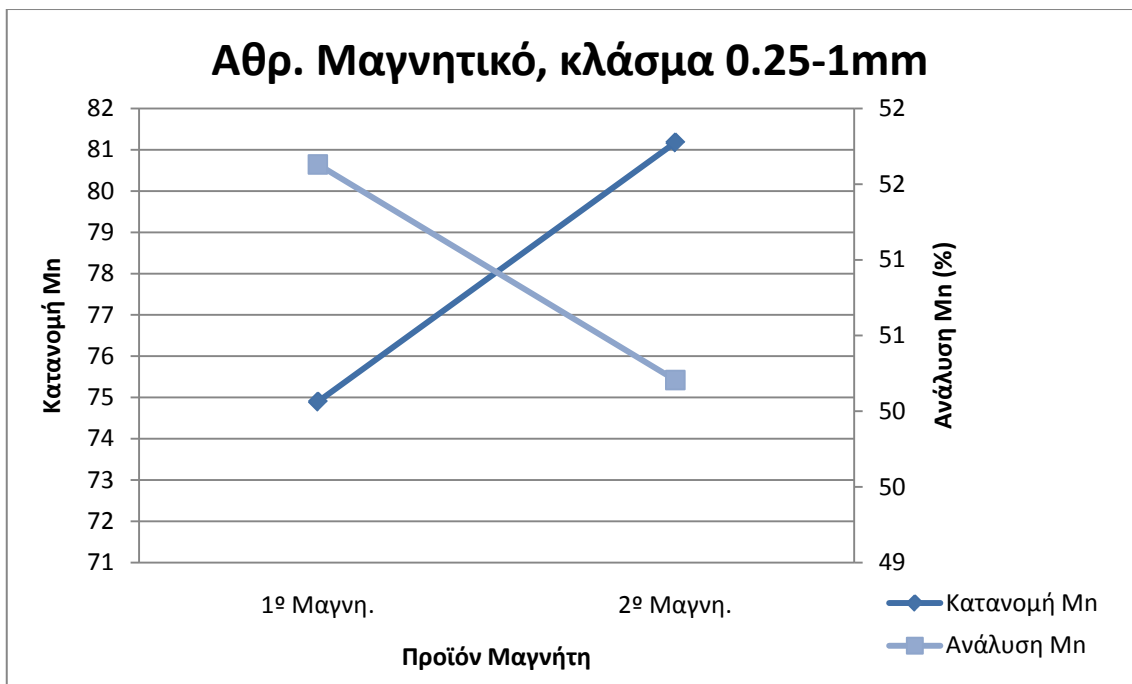
Κλάσμα (mm)	Προϊόν Μαγνήτη	Αθροιστικά Μαγνητικό			Αθροιστικά Μη Μαγνητικό		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση Mn	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση Mn	Κατανομή Κλάσματος
1-4	1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	29,52	41,19	88,47	70,48	2,25	11,53
	2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	36,08	37,14	97,52	63,92	0,53	2,48
0,25-1	1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	7,96	51,63	74,90	92,04	1,50	25,10
	2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	8,87	50,21	81,18	91,13	1,13	18,82
0,063-0,25	1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	6,64	46,49	93,60	93,36	0,23	6,40
	2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	7,84	40,70	96,75	92,16	0,12	3,25

Το αποτέλεσμα που επιδιώκουμε στα πλαίσια της εργασίας αυτής είναι συμπύκνωμα μαγνανιού με περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από 50%. Παρατηρώντας τον Πίνακα 6.8 στον οποίο παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή του Mn στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού, για τα κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm, βλέπουμε ότι σε όλα τα προϊόντα έχουμε περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από 40%, εκτός από το δεύτερο μαγνητικό του κλάσματος 1-4mm, αλλά μόνο στο πρώτο (51,63% Mn) και δεύτερο(50,21% Mn) μαγνητικό του κλάσματος 0,25-1mm έχουμε συμπύκνωμα μαγνανιού με περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από 50%.

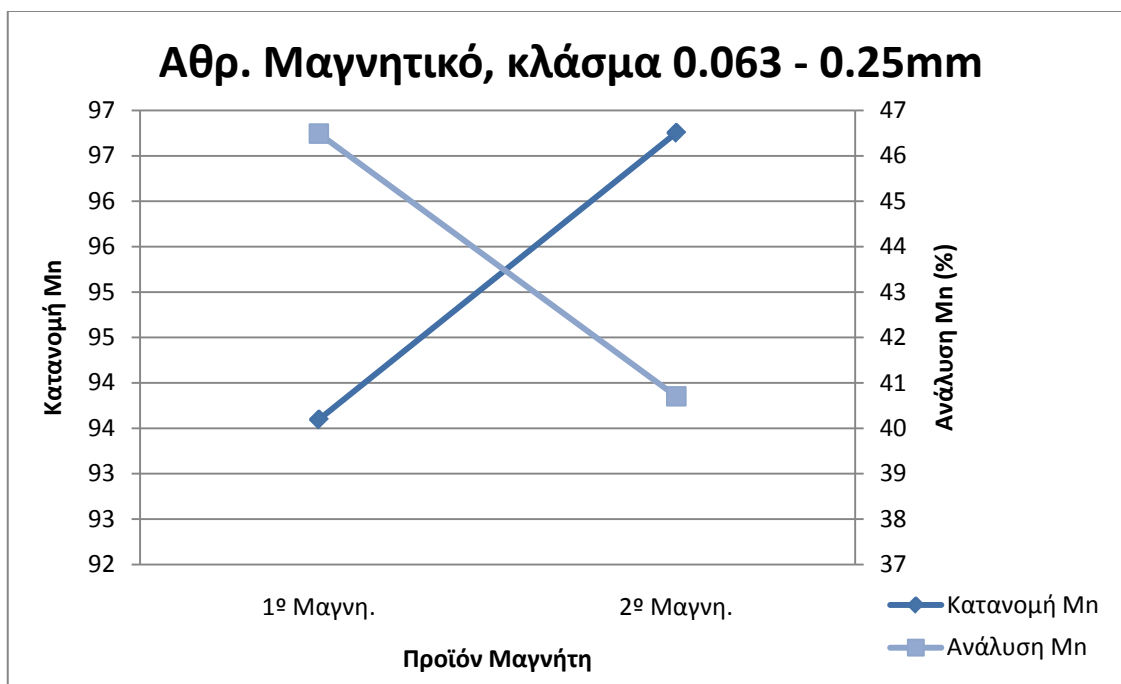
Η αθροιστική κατανομή Mn και η ανάλυση Mn(%) των προϊόντων του διαχωρισμού για κάθε κλάσμα παρουσιάζεται στα Διαγράμματα 6.10, 6.11 και 6.12 που ακολουθούν.



Διάγραμμα 6.10: Αθροιστική κατανομή Mn και ανάλυση Mn στο κοκκομετρικό κλάσμα 1– 4mm, του μαγνητικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 6.11: Αθροιστική κατανομή Mn και ανάλυση Mn στο κοκκομετρικό κλάσμα 0,25 - 1mm, του μαγνητικού διαχωρισμού.



**Διάγραμμα 6.12: Αθροιστική κατανομή Mn και ανάλυση Mn στο κοκκομετρικό κλάσμα 0,063 – 0,25 mm, του μαγνητικού διαχωρισμού**

Στους Πίνακες 6.9, 6.10 και 6.11 που ακολουθούν παρουσιάζεται η αθροιστική κατανομή του  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  και της απώλειας πύρωσης (LOI), αντίστοιχα, στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού.

**Πίνακας 6.9: Αθροιστική κατανομή  $\text{SiO}_2$  στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού**

Κλάσμα (mm)	Προϊόν	Αθροιστικά Μαγνητικό			Αθροιστικά Μη Μαγνητικό		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση $\text{SiO}_2$	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση $\text{SiO}_2$	Κατανομή Κλάσματος
1-4	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	29,52	30,49	38,49	70,48	20,40	61,51
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	36,08	36,88	56,92	63,92	15,76	43,08
0,25-1	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	7,96	18,50	17,19	92,04	7,70	82,81
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	8,87	20,86	21,61	91,13	7,37	78,39
0,063-0,25	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	6,64	23,73	25,19	93,36	5,01	74,81
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	7,84	30,64	38,41	92,16	4,18	61,59

Πίνακας 6.10: Αθροιστική κατανομή  $Fe_2O_3$  στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

Κλάσμα (mm)	Προϊόν	Αθροιστικά Μαγνητικό			Αθροιστικά Μη Μαγνητικό		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση $Fe_2O_3$	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση $Fe_2O_3$	Κατανομή Κλάσματος
1-4	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	29,52	1,34	57,26	70,48	0,42	42,74
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	36,08	1,45	75,89	63,92	0,26	24,11
0,25-1	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	7,96	1,45	34,16	92,04	0,24	65,84
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	8,87	1,60	41,90	91,13	0,22	58,10
0,063-0,25	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	6,64	2,63	74,89	93,36	0,06	25,11
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	7,84	2,61	87,70	92,16	0,03	12,30

Πίνακας 6.11: Αθροιστική κατανομή της απώλειας πύρωσης (LOI) στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού

Κλάσμα (mm)	Προϊόν	Αθροιστικά Μαγνητικό			Αθροιστικά Μη Μαγνητικό		
		Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση LOI	Κατανομή Κλάσματος	Βάρος (%) αρχικού	Ανάλυση LOI	Κατανομή Κλάσματος
1-4	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	29,52	18,33	81,98	70,48	1,69	18,02
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	36,08	16,46	90,02	63,92	1,03	9,98
0,25-1	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	7,96	20,35	71,37	92,04	0,71	28,63
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	8,87	19,50	76,24	91,13	0,59	23,76
0,063-0,25	1 <sup>ο</sup> Μαγνη.	6,64	17,51	85,06	93,36	0,22	14,94
	2 <sup>ο</sup> Μαγνη.	7,84	15,73	90,20	92,16	0,15	9,80

### 6.2.3 Αποτελέσματα ορυκτολογικής και μικροσκοπικής εξέτασης

Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού, για τα κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm, πραγματοποιήθηκαν ορυκτολογικές αναλύσεις με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων – X (XRD) από όπου και προέκυψαν τα ακτινοδιαγράμματα που παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α. Δόθηκαν όλα τα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για ορυκτολογική ανάλυση.

Από το σύνολο των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν από την ορυκτολογική ανάλυση (XRD), που πραγματοποιήθηκε στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού και παρατίθενται στο Παράρτημα Α, προέκυψε ο Πίνακας 6.12 όπου παρουσιάζεται η ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση των επιμέρους προϊόντων.

**Πίνακας 6.12: Ημιοσοτική ορυκτολογική ανάλυση στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού**

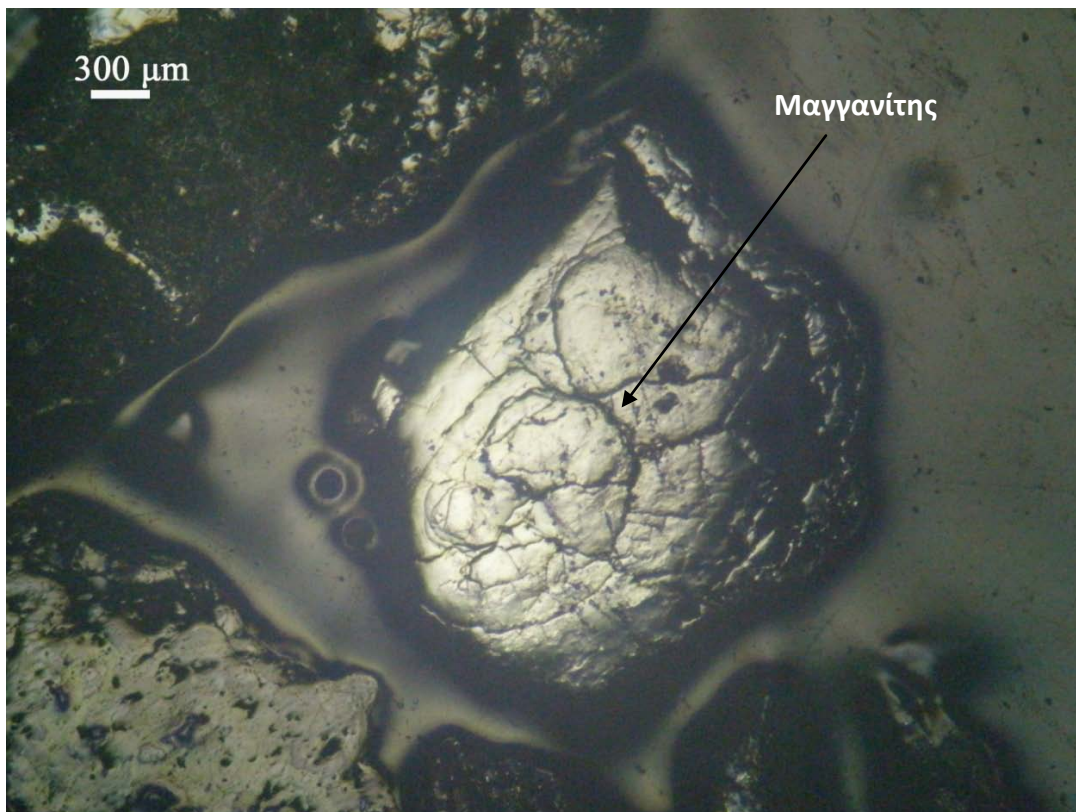
Κοκκομετρικά Κλάσματα (mm)	Μαγνητικά Κλάσματα (gr/m <sup>3</sup> )	MnOOH (%)	MnCO <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
1-4	1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	1	53	46
	2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	-	9	91
	Μη Μαγνητικό	-	4	96
0,25-1	1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	2	61	37
	2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	2	23	75
	Μη Μαγνητικό	-	-	100
0,063-0,25	1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	2	41	57
	2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	-	3	97
	Μη Μαγνητικό	-	-	100

Από την ημιοσοτική ανάλυση διαπιστώνουμε ότι ο μαγγανίτης (MnOOH) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 62,5% είναι ελάχιστος συγκριτικά με τον ροδοχρωσίτη (MnCO<sub>3</sub>) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 47,5%. Σε αυτό οφείλεται και το γεγονός ότι δεν πήραμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα πάνω από 50% σε Mn πάρα το γεγονός ότι ο διαχωρισμός των μαγγανιούχων ορυκτών από το χαλαζία είναι ικανοποιητικός.

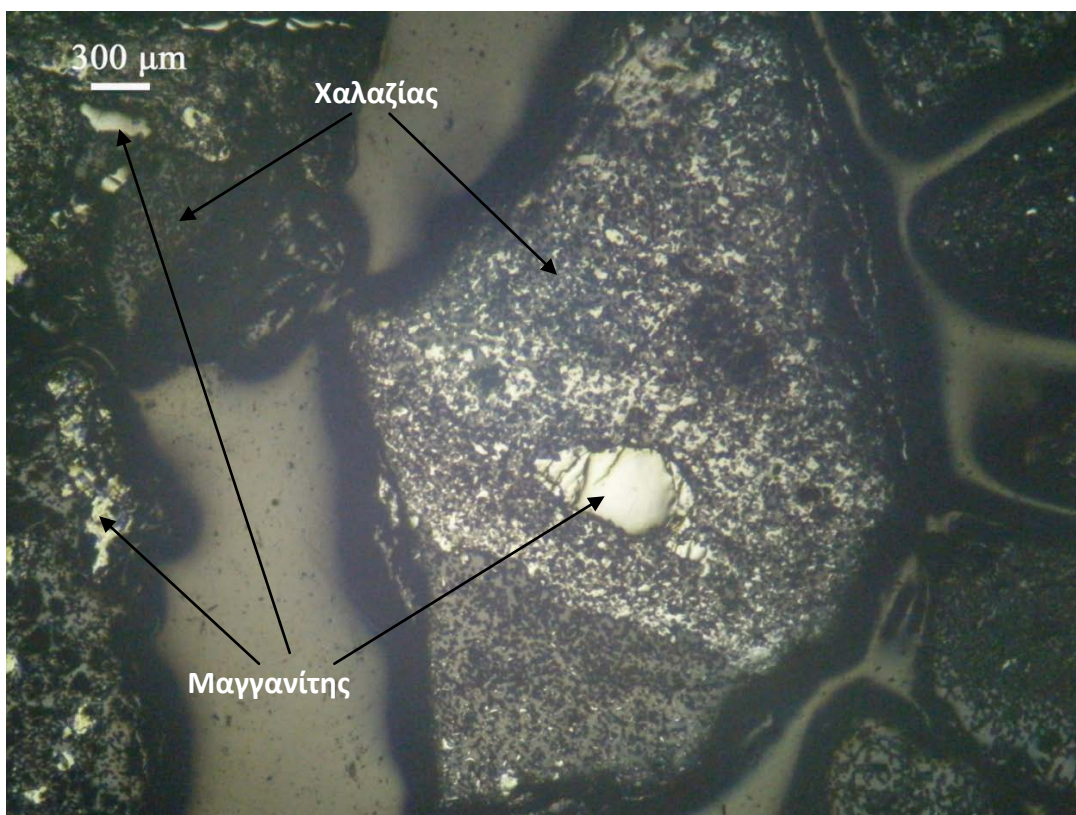
Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού πραγματοποιήθηκαν στυλπνές τομές, εκτός από το 2<sup>ο</sup> Μαγνητικό του κλάσματος 0,25-1mm και όλα τα προϊόντα του κλάσματος 0,063-0,25mm(δεν υπήρχε αρκετή ποσότητα δείγματος). Οι στυλπνές τομές παρασκευάστηκαν με σκοπό να παρατηρηθούν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο. Αντιπροσωπευτικές πανοραμικές φωτογραφίες των στυλπνών τομών επιλέχθηκαν και ακολουθούν στις επόμενες σελίδες.

Στην Εικόνα 6.9, πανοραμική φωτογραφία στυλπνής τομής πρώτου μαγνητικού στο κλάσμα 1–4mm, παρατηρούνται καθαροί κρύσταλλοι ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη, συγκεκριμένα στην φωτογραφία είναι καθαρός κόκκος μαγγανίτη (χαρακτηριστικό του οι συμφύσεις). Στην Εικόνα 6.10, πανοραμική φωτογραφία στυλπνής τομής δεύτερου μαγνητικού, κλάσμα 1–4mm, παρατηρούνται μικρά εγκλείσματα μαγγανίτη σε σχετικά μεγάλους κρυστάλλους χαλαζία. Το ακριβώς αντίθετο παρατηρείται στην Εικόνα 6.13, πανοραμική φωτογραφία μη μαγνητικού στο κλάσμα 0,25-1mm, δηλαδή εγκλείσματα μαγγανίτη σε σχετικά μεγάλους κρυστάλλους χαλαζία. Επίσης στην Εικόνα 6.11, πανοραμική φωτογραφία στυλπνής τομής μη μαγνητικού στο κλάσμα 1 –4mm, παρατηρούνται μόνο κρύσταλλοι χαλαζία ενώ στην Εικόνα 6.12, πανοραμική φωτογραφία στυλπνής τομής πρώτου μαγνητικού στο κλάσμα 0,25-1mm, παρατηρούνται μόνο κρύσταλλοι ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη.

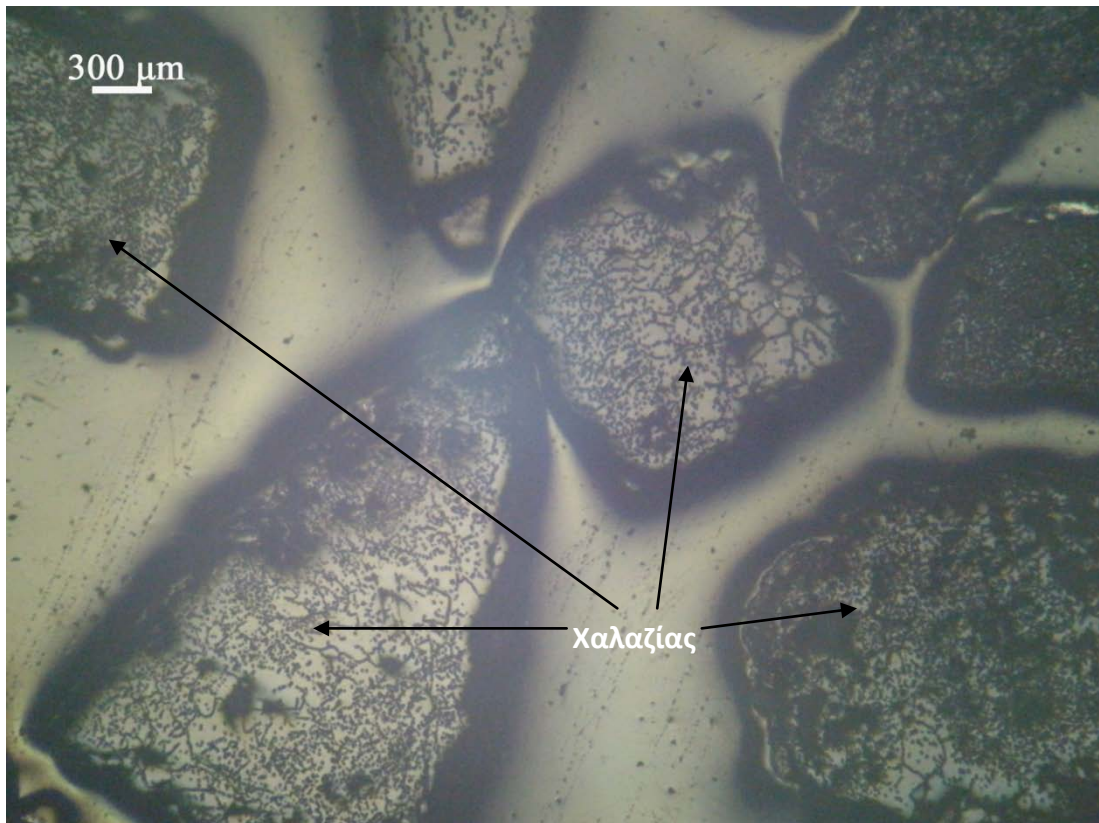




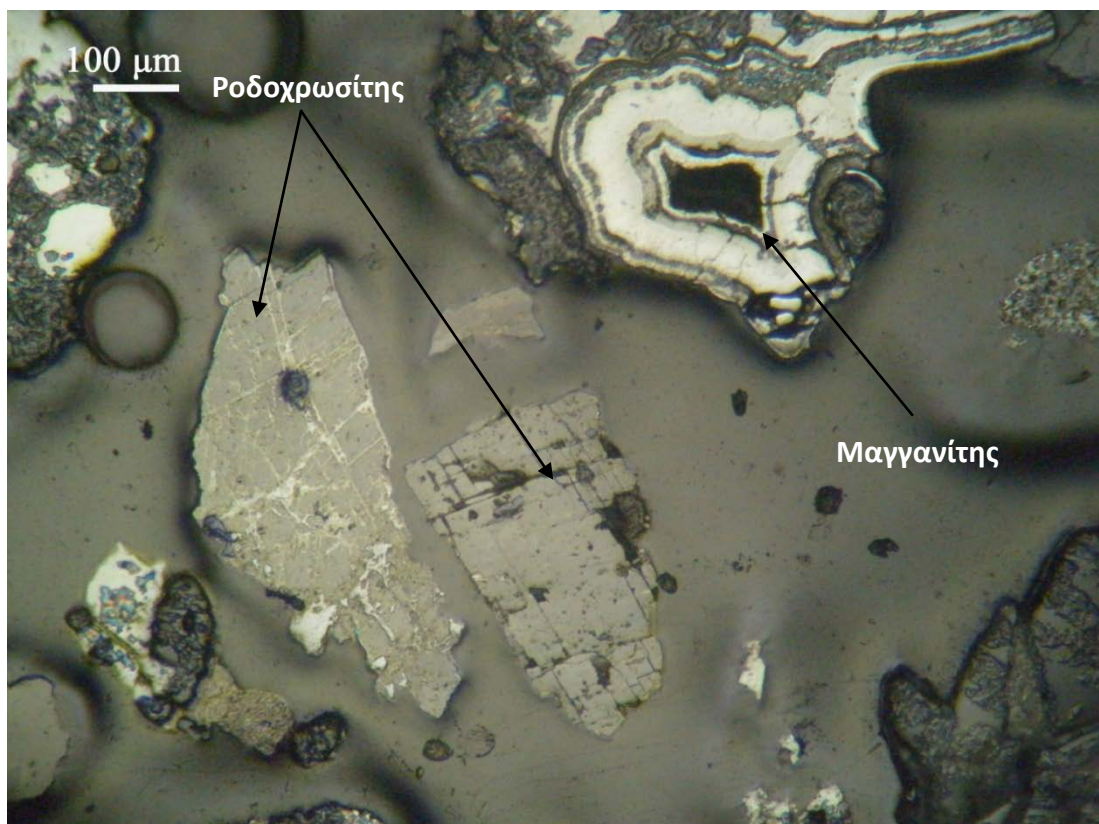
Εικόνα 6.9: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής πρώτου μαγνητικού, κλάσμα 1–4mm.  
Ανακλώμενο φως, //Nic.



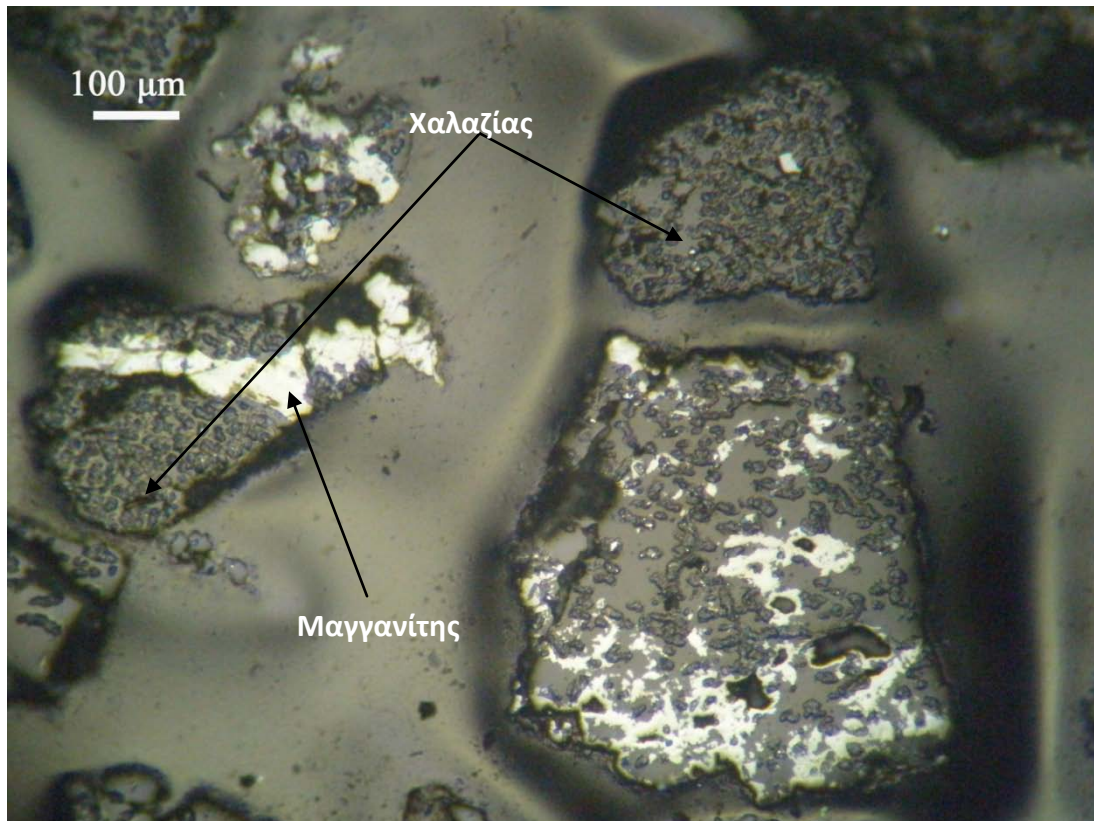
Εικόνα 6.10: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής δεύτερου μαγνητικού, κλάσμα 1–4mm.  
Ανακλώμενο φως, //Nic.



Εικόνα 6.11: Πανοραμική φωτογραφία στυλπής τομής μη μαγνητικού, κλάσμα 1 –4mm. Ανακλώμενο φώς, //Nic.



Εικόνα 6.12: Πανοραμική φωτογραφία στυλπής τομής πρώτου μαγνητικού, κλάσμα 0,25 –1mm. Ανακλώμενο φως, //Nic.



Εικόνα 6.13: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής μη μαγνητικού, κλάσμα 0,25 –1mm. Ανακλώμενο φώς, //Nic.

Όσο μειώνεται η κοκκομετρία παρατηρείται καλύτερη αποδέσμευση μεταξύ των μαγγανιούχων ορυκτών και του χαλαζία χωρίς όμως να εξαλείφονται τελείως οι σύμμεικτοι κόκκοι. Προκύπτει το συμπέρασμα πώς ο μαγγανίτης παρασύρεται στο μη μαγνητικό υπό την μορφή εγκλεισμάτων μέσα στο χαλαζία όπως είδη έχει παρατηρηθεί και στα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού.

#### 6.2.4 Μερικά συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας στο μαγνητικό διαχωρισμό πραγματοποιήθηκαν δύο περάσματα από τον μαγνήτη από αυτά προκύπτουν τρία μαγνητικά κλάσματα το πρώτο μαγνητικό, το δεύτερο μαγνητικό και το μη μαγνητικό. Η διαδικασία εφαρμόστηκε στα κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm του αρχικού δείγματος. Στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις. Στο κλάσμα -0,063mm έγιναν μόνο χημικές αναλύσεις.

Από τις χημικές αναλύσεις διαπιστώνουμε ότι ο διαχωρισμός είναι επιτυχημένος, με το μεγαλύτερο ποσοστό του Mn να συγκεντρώνεται στο πρώτο μαγνητικό και το μεγαλύτερο ποσοστό του SiO<sub>2</sub> να συγκεντρώνεται στο μη μαγνητικό. Η απώλεια του Mn στο απόρριμμα είναι μικρή.

Από την ημιποσοτική ανάλυση διαπιστώνουμε ότι ο μαγγανίτης ( $MnOOH$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 62,5% είναι ελάχιστος συγκριτικά με τον ροδοχρωσίτη ( $MnCO_3$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 47,5%. Ενώ από τις στυλπνές τομές που παρατηρήθηκαν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο διαπιστώνουμε ότι στο μαγνητικό κλάσμα όπου συγκεντρώνεται το χρήσιμο υλικό υπάρχουν εγκλείσματα χαλαζία μέσα σε κόκκους ροδοχρωσίτη, και στο μη μαγνητικό κλάσμα όπου συγκεντρώνεται το στείρο υλικό υπάρχουν εγκλείσματα ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη μέσα σε κόκκους χαλαζία. Δεν υπάρχει καλή αποδέσμευση μεταξύ των μαγγανιούχων ορυκτών και του χαλαζία κυρίως στο κλάσμα 1-4mm, στα μικρότερα κλάσματα 0,063-0,25mm και 0,25-1mm παρατηρούνται ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα.

Μελετώντας στο σύνολο τους τα αποτελέσματα των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων που έγιναν στα δείγματα του μαγνητικού διαχωρισμού μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο διαχωρισμός έγινε με επιτυχία, αλλά όχι στον απαιτούμενο βαθμό. Στόχος μας ήταν να πάρουμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn μεγαλύτερη από 50%, για όλα τα κλάσματα. Αυτό επιτεύχθηκε μόνο στο κλάσμα 0,25-1mm όπου πήραμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn 51,63% και σε  $SiO_2$  18,5%.

Στο λεπτό κλάσμα 0,25-1mm όπου η αποδέσμευση είναι καλύτερη και η περιεκτικότητα του κλάσματος σε Mn, περισσότερος μαγγανίτης ο οποίος είναι μαγνητικός, είναι μεγαλύτερη λαμβάνουμε προϊόν με ανάλυση Mn μεγαλύτερη από 50%. Στο χονδρότερο κλάσμα που πλεονάζει ο ροδοχρωσίτης που έχει περιεκτικότητα μόνο 47,5% Mn και η αποδέσμευση δεν είναι καλή η περιεκτικότητα των προϊόντων σε Mn είναι μικρότερη από 50%.

Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού για το κλάσμα 1-4mm, ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός έδωσε καλύτερα αποτελέσματα με περιεκτικότητα Mn στο συμπύκνωμα 48,31%, για το κλάσμα 0,25-1mm ο μαγνητικός διαχωρισμός έδωσε καλύτερα αποτελέσματα με περιεκτικότητα Mn στο συμπύκνωμα 51,63% και στο κλάσμα 0,063-0,25mm ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός έδωσε καλύτερα αποτελέσματα με περιεκτικότητα Mn στο συμπύκνωμα 54,38%.

## **6.3 Επίπλευση με αμίνη**

### **6.3.1 Πειραματική Διαδικασία**

Η μέθοδος της επίπλευσης επιλέχθηκε με στόχο τον διαχωρισμό των μαγνανιούχων ορυκτών από το χαλαζία για το κλάσμα 10-63μm του αρχικού δείγματος και την διερεύνηση δυνατότητας βελτίωσης των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού.

Επίπλευση έγινε σε 2 διαφορετικά δείγματα, το πρώτο προήλθε από τον υδροκυκλώνα και είχε κοκκομετρία 10-63μm ενώ το δεύτερο προήλθε από το μαγνητικό διαχωρισμό πιο συγκεκριμένα ήταν το πρώτο και δεύτερο μαγνητικό προϊόν του κλάσματος 1-4mm, πριν οδηγηθεί στην επίπλευση λειοτριβήθηκε εν ξηρό σε ραβδόμυλο για 15 λεπτά ώστε να επιτευχθεί κοκκομετρία <math>-300\mu\text{m}</math>.

Εφαρμόσαμε αντίστροφη επίπλευση γιατί στόχος μας ήταν να επιπλεύσει ο χαλαζίας και γι' αυτό επιλέξαμε ως αντιδραστήριο της επίπλευσης την τεταρτοταγή αμίνη (καθιστά τα πυριτικά υδρόφοβα).

Πριν αρχίσει η εργαστηριακή δοκιμή της επίπλευσης ετοιμάστηκε το αντιδραστήριο της αμίνης (10gr αμίνης, 70ml πετρέλαιο – diesel και 3ml πευκέλαιο). Μία δόση αντιδραστηρίου (3,5ml) αντιστοιχεί σε 1 Kg αμίνης ανά τόνο μεταλλεύματος.

Στην συνέχεια τοποθετήθηκε στην κυψέλη επίπλευσης (χωρητικότητας 2lt) το μέταλλευμα και νερό δημιουργώντας έτσι το πολφό της επίπλευσης, προστέθηκε μία δόση αντιδραστηρίου και μετρήθηκε το pH του πολφού (pH=6,5). Θέσαμε σε λειτουργία τον αναδευτήρα ώστε να κρατήσει τα στερεά σε αιώρηση και με την ταυτόχρονη διάχυση αέρα από το άκρο του υπό μορφή μικρών φυσαλίδων να προσκολληθούν οι κόκκοι του προς επίπλευση ορυκτού, στην περίπτωση μας είναι ο χαλαζίας, που χάρη στο αντιδραστήριο έγιναν υδρόφοβοι. Με αυτό τον μηχανισμό οι κόκκοι ανέρχονται στην επιφάνεια υπό την επίδραση της άνωσης δημιουργώντας έτσι αφρό στην επιφάνεια και απομακρύνονται από την υπερχειλίση της κυψέλης με την βοήθεια ενός ειδικού πτερυγίου. Επαναλαμβάνετε η διαδικασία πέντε φορές και καταγράφονται ο χρόνος επίπλευσης κάθε φάσης και η δόση που προστέθηκε. Τελειώνοντας έχουμε πέντε επιπλεύσαντα δείγματα και ένα παραμένον. Η διαδικασία είναι ίδια και για τα δύο δείγματα.

### **6.3.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων**

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω έγιναν δυο δοκιμές επίπλευσης. Η πρώτη δοκιμή επίπλευσης έγινε στο κλάσμα 10-63μm του αρχικού δείγματος και η δεύτερη δοκιμή επίπλευσης έγινε στο πρώτο και δεύτερο μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 1-4mm. Η πρώτη δοκιμή έγινε με σκοπό τον διαχωρισμό των μαγνανιούχων ορυκτών

από το χαλαζία για το κλάσμα 10-63μm του αρχικού δείγματος. Η δεύτερη δοκιμή έγινε με σκοπό την διερεύνηση δυνατότητας βελτίωσης των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα χαρακτηριστικά της πρώτης επίπλευσης καθώς και οι χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της και η αθροιστική κατανομή του Mn και SiO<sub>2</sub>. Οι χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της επίπλευσης έγιναν με την μέθοδο φθορισμού ακτίνων – X (XRF).

**Πίνακας 6.13: Χαρακτηριστικά της επίπλευσης με τροφή κοκκομετρίας 10μm-63μm.**

A/E	Κατανάλωση αμίνης Kg/ton	Χρόνος προοδοποίησης (min)	Χρόνος Επίπλευσης (min)	Βάρος (gr)	Βάρος (%)
1	1	1	2	92,1	20,1
2	1	1	3	69,3	15,2
3	1	1	2,5	83,2	18,2
4	1	1	1,5	84,9	18,6
5	1	1	1	103,9	22,7
Παραμένον:	-	-	-	23,7	5,2
Συνολικά:	5	5	10	457,1	100

**Πίνακας 6.14: Χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της επίπλευσης στο κλάσμα 10μm-63μm και κατανομή Mn(%) και SiO<sub>2</sub>(%).**

A/E	Χημικές Αναλύσεις						Κατανομή	
	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Mn (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	LOI (%)	Mn (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
1	92,1	20,1	8,4	3,6	65,5	8,3	8,3	27,4
2	69,3	15,2	8,2	2,7	65,4	7,1	6,1	20,6
3	83,2	18,2	11,4	2,6	65,1	7,8	10,2	24,6
4	84,9	18,6	30,7	3,3	34,0	14,5	27,9	13,1
5	103,9	22,7	34,3	3,1	27,7	18,4	38,2	13,0
Παραμένον:	23,7	5,2	36,6	1,7	12,9	28,7	9,3	1,4
Σύνολο:	457,1	100	20,4	3,0	48,2	12,5	100	100

Από το Πίνακα 6.14 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων στα προϊόντα της επίπλευσης παρατηρούμε ότι ο χαλαζίας επίπλευσε με επιτυχία. Από τον Πίνακα 6.15, αθροιστική κατανομή Mn στα προϊόντα της επίπλευσης στο κλάσμα 10μm-63μm, σε συνδυασμό με το Διάγραμμα 6.13, Βάρος (%) και ανάλυση Mn (%) συναρτήσει της συνολικής κατανάλωσης αμίνης Kg/ton, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα βέλτιστα αποτελέσματα

παρουσιάζονται στο τρίτο στάδιο επίπλευσης όπου θα μπορούσε να γίνει τερματισμός της διαδικασίας επίπλευσης.

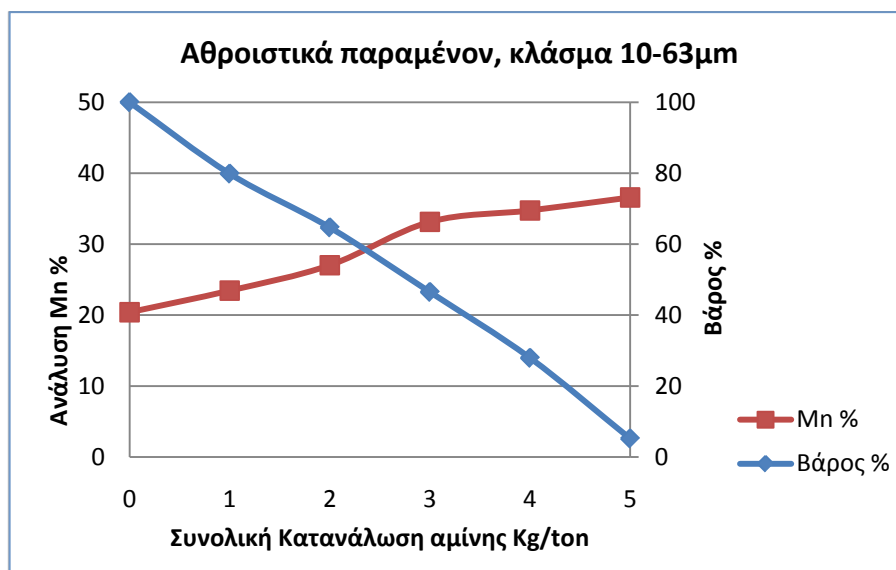
**Πίνακας 6.15: Αθροιστική κατανομή Mn στα προϊόντα της επίπλευσης στο κλάσμα 10μm-63μm.**

Συνολική Κατανάλωση αμίνης Kg/ton	Αθροιστικά Επιπλεύσα			Αθροιστικά Παραμένον		
	Βάρος (%)	Ανάλυση Mn	Κατανομή Mn	Βάρος (%)	Ανάλυση Mn	Κατανομή Mn
1	20,15	8,44	8,33	79,85	23,44	91,67
2	35,31	8,32	14,39	64,69	27,02	85,61
3	53,51	9,38	24,57	46,49	33,13	75,43
4	72,08	14,88	52,51	27,92	34,74	47,49
5	94,82	19,54	90,71	5,18	36,57	9,29

**Πίνακας 6.16: Αθροιστική κατανομή SiO<sub>2</sub> στα προϊόντα της επίπλευσης στο κλάσμα 10μm-63μm.**

Συνολική Κατανάλωση αμίνης Kg/ton	Αθροιστικά Επιπλεύσα			Αθροιστικά Παραμένον		
	Βάρος (%)	Ανάλυση SiO <sub>2</sub>	Κατανομή SiO <sub>2</sub>	Βάρος (%)	Ανάλυση SiO <sub>2</sub>	Κατανομή SiO <sub>2</sub>
1	20,1	65,5	27,4	79,9	43,9	72,6
2	35,3	65,5	47,9	64,7	38,8	52,1
3	53,5	65,3	72,5	46,5	28,5	27,5
4	72,1	57,3	85,6	27,9	24,9	14,4
5	94,8	50,2	98,6	5,2	12,9	1,4

Στο παραμένον της επίπλευσης έχουμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn 36,57% και σε SiO<sub>2</sub> 12,9%.



Διάγραμμα 6.13: Βάρος (%) και ανάλυση Mn (%) συναρτήσει της συνολικής κατανάλωσης αμίνης Kg/ton.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα χαρακτηριστικά της δεύτερης επίπλευσης καθώς και η χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της και η αθροιστική κατανομή του Mn και SiO<sub>2</sub>. Οι χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της επίπλευσης έγιναν με την μέθοδο του φθορισμού ακτίνων – Χ (XRF).

Πίνακας 6.17: Χαρακτηριστικά της επίπλευσης με τροφή το 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> μαγνητικό κοκκομετρίας -300μm

A/E	Κατανάλωση αμίνης Kg/ton	Χρόνος προοδοποίησης (min)	Χρόνος Επίπλευσης (min)	Βάρος (gr)	Βάρος (%)
1	1	1	3,5	22,0	4,1
2	1	1	3	66,7	12,3
3	1	1	2	57,8	10,7
4	1	1	1,5	188,2	34,7
5	1	1	1	98,8	18,2
Παραμένον:	-	-	-	108,1	20,0
Συνολικά:	5	5	11	541,6	100

Οι χημικές αναλύσεις που παρουσιάζονται στο Πίνακα 6.17 προέκυψαν από την χημική ανάλυση των προϊόντων της επίπλευσης. Η τροφή της μεθόδου προήλθε από την μέθοδο του μαγνητικού διαχωρισμού και πιο συγκεκριμένα είναι το 1<sup>ο</sup> και 2<sup>ο</sup> μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού τυμπάνου Perm-Role στο κλάσμα 1-4mm. Τα προϊόντα του μαγνήτη πριν να



οδηγηθούν στην επίπλευση, λειοτριβούνται εν ξηρό μέχρι να μειωθεί το μέγεθος του στα - 300mm. Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε με την μέθοδο φθορισμού ακτίνων - X (XRF).

**Πίνακας 6.18:** Χημικές αναλύσεις στα προϊόντα της επίπλευσης 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> Μαγνητικού κοκκομετρίας -300μm και κατανομή Mn(%) και SiO<sub>2</sub>(%).

Α/Ε	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Χημικές Αναλύσεις				Κατανομή	
			Mn (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	LOI (%)	Mn (%)	SiO <sub>2</sub> (%)
1	22	4,1	21,8	3,3	46,3	13,2	2,65	7,11
2	66,7	12,3	27,3	2,0	39,1	13,7	10,04	18,21
3	57,8	10,7	32,5	2,1	35,7	14,7	10,37	14,41
4	188,2	34,7	29,6	1,6	31,7	15,8	30,81	41,61
5	98,8	18,2	37,9	1,4	21,5	21,8	20,67	14,81
Παραμένον:	108,1	20,0	42,7	0,6	5,1	31,2	25,46	3,85
Σύνολο:	541,6	100	33,4	1,6	26,4	19,5	100	100

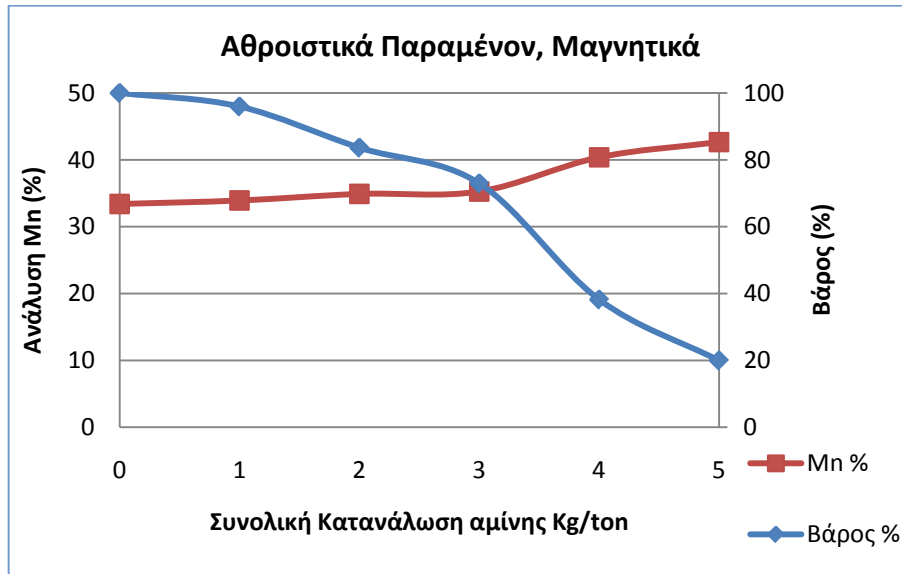
**Πίνακας 6.19:** Αθροιστική κατανομή Mn στα προϊόντα της επίπλευσης 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> Μαγνητικού κοκκομετρίας -300μm

Συνολική Κατανάλωση αμίνης Kg/ton	Αθροιστικά Επιπλεύσα			Αθροιστικά Παραμένον		
	Βάρος (%)	Ανάλυση Mn	Κατανομή Mn	Βάρος (%)	Ανάλυση Mn	Κατανομή Mn
1	4,06	21,79	2,65	95,94	33,92	97,35
2	16,38	25,90	12,69	83,62	34,91	87,31
3	27,05	28,49	23,05	72,95	35,26	76,95
4	61,80	29,14	53,86	38,20	40,37	46,14
5	80,04	31,13	74,54	19,96	42,65	25,46

**Πίνακας 6.20:** Αθροιστική κατανομή SiO<sub>2</sub> στα προϊόντα της επίπλευσης 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> Μαγνητικού κοκκομετρίας -300μm

Συνολική Κατανάλωση αμίνης Kg/ton	Αθροιστικά Επιπλεύσα			Αθροιστικά Παραμένον		
	Βάρος (%)	Ανάλυση SiO <sub>2</sub>	Κατανομή SiO <sub>2</sub>	Βάρος (%)	Ανάλυση SiO <sub>2</sub>	Κατανομή SiO <sub>2</sub>
1	4,06	46,29	7,11	95,94	25,60	92,89
2	16,38	40,88	25,32	83,62	23,62	74,68
3	27,05	38,84	39,73	72,95	21,85	60,27
4	61,80	34,80	81,34	38,20	12,92	18,66
5	80,04	31,76	96,15	19,96	5,11	3,85

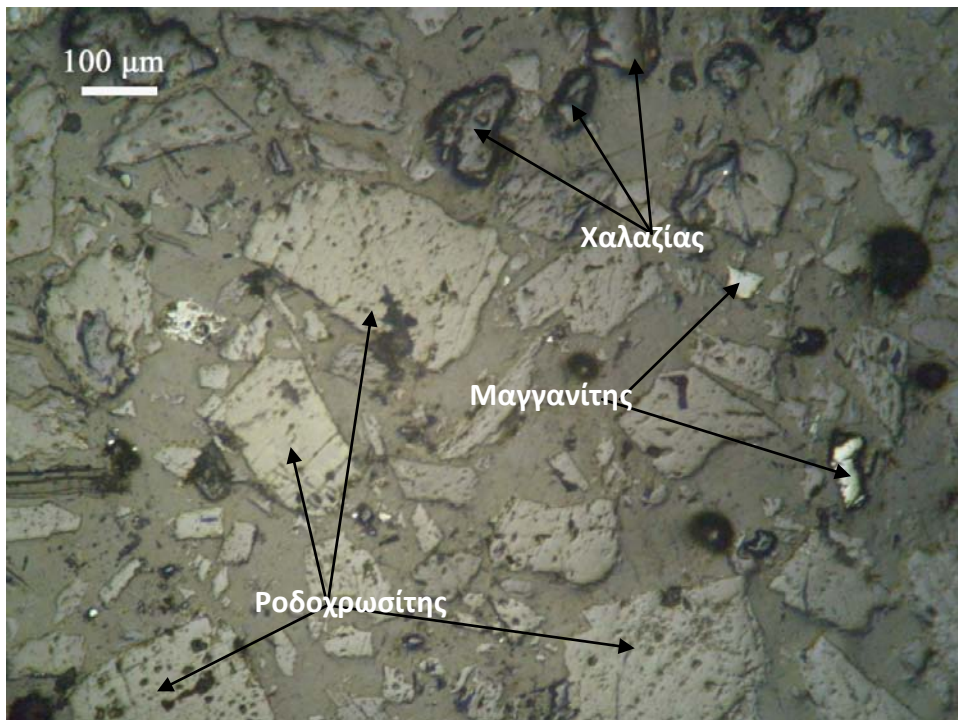
Στο παραμένον της επίπλευσης έχουμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn 42,65% και σε SiO<sub>2</sub> 5,11%.



Διάγραμμα 6.14: Βάρος (%) και ανάλυση Mn (%) συναρτήσει της συνολικής κατανάλωσης αμίνης Kg/ton

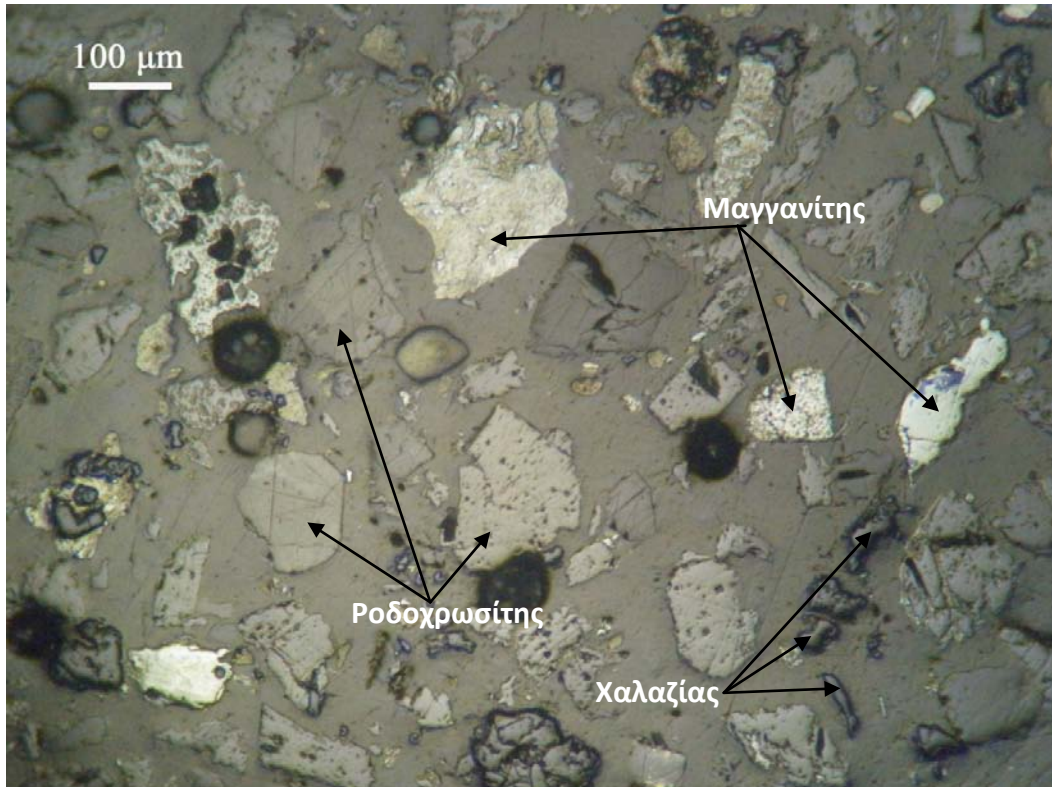
### 6.3.3 Αποτελέσματα ορυκτολογικής μικροσκοπικής εξέτασης

Στα προϊόντα της επίπλευσης και για τις δύο δοκιμές δεν πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ (XRD) παρά μόνο ετοιμάστηκαν στιλπνές τομές από το παραμένον της κάθε δοκιμής επίπλευσης.



Εικόνα 6.14: Πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής του παραμένοντος της επίπλευσης στο κλάσμα 10μm–63μm. Ανακλώμενο φως, //Nic.

Στην Εικόνα 6.14, πανοραμική φωτογραφία στιλπνής τομής του παραμένουτος της επίπλευσης στο κλάσμα 10μm–63μm, και στην Εικόνα 6.15 πανοραμική φωτογραφία της στιλπνής τομής του παραμένουτος της επίπλευσης του μαγνητικού στο κλάσμα -300μm, παρατηρούνται κυρίως κόκκοι ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη. Ο χαλαζίας εμφανίζεται υπό μορφή μεμονωμένων κόκκων καθώς και μικρών εγκλεισμάτων μέσα στους κόκκους ροδοχρωσίτη και μαγγανίτη. Λόγω της μικρής κοκκομετρίας της τροφοδοσίας και για τις δύο δοκιμές, παρουσιάζεται καλύτερη αποδέσμευση των χρήσιμων ορυκτών από τα στείρα.



Εικόνα 6.15: Πανοραμική φωτογραφία της στιλπνής τομής παραμένουτος της επίπλευσης του μαγνητικού στο κλάσμα -300μm. Ανακλώμενο φως, //Nic.

#### 6.3.4 Μερικά συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας έγιναν δυο δοκιμές ανάστροφης επίπλευσης με σκοπό να επιπλεύσουν τα πυριτικά ορυκτά δηλαδή ο χαλαζίας. Η πρώτη δοκιμή επίπλευσης έγινε στο κλάσμα 10-63μm του αρχικού δείγματος και η δεύτερη δοκιμή επίπλευσης έγινε στο μαγνητικό προϊόν του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 1-4mm. Η πρώτη δοκιμή έγινε με σκοπό τον διαχωρισμό των μαγγανιούχων ορυκτών από το χαλαζία για το κλάσμα 10-63μm του αρχικού δείγματος. Η δεύτερη δοκιμή έγινε με σκοπό την διερεύνηση δυνατότητας βελτίωσης των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού.

Στα προϊόντα των δύο δοκιμών επίπλευσης έγιναν χημικές αναλύσεις με την μέθοδο φθορισμού ακτίνων – Χ (XRF) και ετοιμάστηκαν στιλπνές τομές από τα παραμένοντα της

επίπλευσης δηλαδή από το συμπύκνωμα του χρήσιμου ορυκτού. Οι στιλπνές τομές μελετήθηκαν στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.

Μελετώντας τα αποτελέσματα των χημικών και ορυκτολογικών αναλύσεων που έγιναν στα δείγματα της επίπλευσης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι στην περίπτωση που η τροφή της επίπλευσης είναι το πρώτο και δεύτερο μαγνητικό παρατηρούμε βελτίωση των αποτελεσμάτων, στο παραμένον της επίπλευσης έχουμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn 42,65% και σε SiO<sub>2</sub> 5,11%, όχι όμως τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Επίσης μπορούμε να πούμε ότι τα βέλτιστα αποτελέσματα για την ανάκτηση Mn παρουσιάζονται στο τρίτο στάδιο της επίπλευσης και για τις δύο περιπτώσεις. Τέλος η κοκκομετρία της τροφής της επίπλευσης ευνοεί την αποδέσμευση των ορυκτών.

## 6.4 Αναλύσεις Χρυσού (Au)

Αναλύσεις χρυσού έγιναν στο αρχικό δείγμα και στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για τα κλάσματα 0,063-1mm και 1-4mm. Το αρχικό δείγμα έχει περιεκτικότητα σε Au 0,83ppm και οι αναλύσεις Au στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για τα κλάσματα 1-4mm και 0,063-1mm παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.23 και 6.24 αντίστοιχα που ακολουθούν.

**Πίνακας 6.21: Αναλύσεις χρυσού στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού, κοκκομετρίας +1mm-4mm**

Περιγραφή δειγμάτων	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Ανάλυση Au(ppm)	Κατανομή Au(%)
1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	486,7	62,9	0,69	61,0
2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	83,2	10,8	0,86	12,9
Μη Μαγνητικό	203,5	26,3	0,71	26,1
Σύνολο	773,4	100	0,71	

Από τις χημικές αναλύσεις που έγιναν στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 1-4mm Πίνακας 6.23, παρατηρούμε ότι το 61% του περιεχόμενου χρυσού πηγαίνει στο πρώτο μαγνητικό προϊόν δηλαδή στο συμπύκνωμα του χρήσιμου υλικού.

**Πίνακας 6.22: Αναλύσεις χρυσού στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού, κοκκομετρίας 0,063-1mm**

Περιγραφή δειγμάτων	Βάρος (gr)	Βάρος (%)	Ανάλυση Au (ppm)	Κατανομή Au
1 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	314,2	67,4	0,25	30,1
2 <sup>ο</sup> Μαγνητικό	35,4	7,59	1,30	17,5
Μη Μαγνητικό	116,9	25,1	1,18	52,4
Σύνολο	466,5	100	0,56	

Από τις χημικές αναλύσεις που έγιναν στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 0,063-1mm Πίνακας 6.24, παρατηρούμε ότι το 52,4% του περιεχόμενου χρυσού πηγαίνει στο μη μαγνητικό προϊόν δηλαδή στο απόρριμμα.

### 6.4.1 Μερικά συμπεράσματα

Στις χημικές αναλύσεις που έγιναν στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 1-4mm παρατηρούμε ότι το 61% του περιεχόμενου χρυσού πηγαίνει στο πρώτο μαγνητικό προϊόν δηλαδή στο συμπύκνωμα του χρήσιμου υλικού ενώ στις χημικές αναλύσεις που έγιναν στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 0,063-1mm παρατηρούμε ότι το

52,4% του περιεχόμενου χρυσού πηγαίνει στο μη μαγνητικό προϊόν δηλαδή στο απόρριμμα. Αυτό υποδεικνύει ότι ο περιεχόμενος στο μεταλλεύμα χρυσός δεν κατανέμεται κατά κανόνα στο απόρριμμα κατά τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος μαγγανίου (αρχικό δείγμα).

Επειδή το συμπύκνωμα του μαγγανίου προορίζεται για τη κατασκευή ξηρών στοιχείων (μπαταριών) το ενδιαφέρον για τον χρυσό συγκεντρώνεται στο αν μπορεί να ανακτηθεί από το απόρριμμα και από το κλάσμα -10μm του αρχικού δείγματος στο οποίο δεν μπορεί να γίνει εμπλουτισμός λόγω πολύ μικρής κοκκομετρίας.

## **6.5 Κυάνωση Χρυσού**

### **6.5.1 Πειραματική Διαδικασία**

Κατά την διάρκεια της εργασίας αυτής, έγινε κυάνωση σε δυο δείγματα. Το πρώτο δείγμα προέκυψε από την ομογενοποίηση - λειοτρίβηση των απορριμμάτων των βαρέων υγρών και του μαγνητικού διαχωρισμού και των τριών κλασμάτων 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4 mm. Το δεύτερο δείγμα προήλθε από κοκκομετρικό διαχωρισμό, του αρχικού δείγματος μέσω υδροκυκλώνα, δηλαδή το κλάσμα -10μm του αρχικού δείγματος.

Σε κάθε μια περίπτωση πήραμε αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος (500gr στην πρώτη κυάνωση όπου το δείγμα προέρχεται από τα απορρίμματα των βαρέων υγρών και του μαγνητικού διαχωρισμού και 370gr στην δεύτερη κυάνωση όπου το δείγμα είναι το κλάσμα -10μm του αρχικού δείγματος), και την προσθέσαμε, μαζί με 1500ml νερό, ( τέτοια αναλογία ώστε η πυκνότητα του πολφού να είναι περίπου στο 33%) , μέσα σε μια γυάλινη φιάλη. Στη συνέχεια προσθέσαμε 4gr Ca(OH)<sub>2</sub> για την ρύθμιση του pH, τέλος προσθέσαμε στον πολφό 2,5gr NaCN και 25gr ενεργό άνθρακα (μεγαλύτερης κοκκομετρίας από του μεταλλεύματος). Η φιάλη τοποθετήθηκε σε συνεχή ανάδευση. Η διαδικασία της κυάνωσης είναι ίδια και για τα δύο δείγματα το μόνο που διαφέρει είναι η ποσότητα του δείγματος που προστέθηκε στην φιάλη σε κάθε περίπτωση.

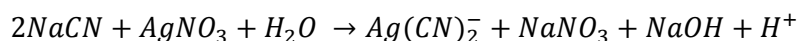
Μετά από δύο ώρες έγινε έλεγχος του pH και της κατανάλωσης του κυανίου.

#### **➤ Υπολογισμός Κατανάλωσης Κυανίου**

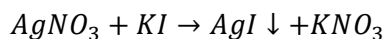
Ο υπολογισμός κατανάλωσης κυανίου γίνεται για να προσδιορισθεί κατά πόσο είναι αναγκαίο να προστεθεί στον πολφό ποσότητα κυανιούχου νατρίου και σε πια ποσότητα. Για να γίνει ο υπολογισμός κατανάλωσης κυανίου, δύο ώρες αφού τοποθετήθηκε η φιάλη σε θέση συνεχής ανάδευσης, έγινε ογκομετρικός προσδιορισμός των κυανιόντων που είχαν παραμείνει στο διάλυμα εκχύλισης.

Ο ογκομετρικός προσδιορισμός έγινε με τιτλοδότηση διαλύματος νιτρικού αργύρου (AgNO<sub>3</sub>) 0,01N, και χρήση δείκτη ιωδιούχο κάλιο (KI), σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία.

Για να γίνει ο προσδιορισμός, η φιάλη απομακρύνεται από το μηχάνημα συνεχής ανάδευσης και αφήνεται για λίγο μέχρι να πραγματοποιηθεί καθίζηση των στερεών. Αφού γίνει καθίζηση των στερεών, διηθείται ορισμένη ποσότητα από το υγρό της κυάνωσης και στην συνέχεια με την βοήθεια σιφωνίου λαμβάνεται δείγμα 10 ml από το διήθημα, το οποίο τοποθετείται σε κωνική φιάλη που περιέχει περίπου 50 ml νερό. Στο διάλυμα αυτό που περιέχει τα ιόντα κυανίου προστίθεται μικρή ποσότητα (2 κόκκοι) του δείκτη KI, και πραγματοποιείται τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα  $AgNO_3$  0,01N. Όσο στο διάλυμα περιέχονται ιόντα κυανίου αυτά δεσμεύονται από το  $AgNO_3$ , σύμφωνα με την αντίδραση:



Στη συνέχεια και μετά την κατανάλωση όλων των ιόντων κυανίου που περιέχονται στο διάλυμα, επιπλέον  $AgNO_3$  με το KI που έχει προστεθεί σαν δείκτης δίνει AgI σαν ίζημα σύμφωνα με την αντίδραση:



Το ίζημα του AgI που σχηματίζεται αλλάζει το χρωματισμό του διαλύματος, από διαυγές σε ελαφρά λευκό, και δείχνει το τέλος της αντίδρασης. Έτσι η ποσότητα όγκου του  $AgNO_3$  που καταναλώθηκε κατά την τιτλοδότηση αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη ποσότητα κυανιούχου νατρίου που παραμένει μέσα στη φιάλη κυάνωσης, άρα μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα κυανιούχου νατρίου που έχει καταναλωθεί μέχρι εκείνη τη στιγμή από το μέταλλευμα. Σε περίπτωση που η ποσότητα κυανιούχου νατρίου που έχει καταναλωθεί μέσα στην φιάλη είναι μεγαλύτερη από 0,5Kg/ton, τότε υπολογίζεται το ποσό του κυανιούχου νατρίου που πρέπει να προστεθεί επιπλέον.

Στη περίπτωσή μας, για 500gr στερεά, 1500ml νερό και 2,5gr κυανιούχο νάτριο, και βάση των πιο πάνω αντιδράσεων κατά την τιτλοδότηση έγινε προσθήκη 15,5ml νιτρικού αργύρου από το οποίο προκύπτει κατανάλωση 0,44Kg/ton κυανιούχου νατρίου. Διαπιστώσαμε ότι δεν χρειαζόταν να προσθέσουμε άλλο κυάνιο.

Αφού αφήσαμε την φιάλη να αναδεύεται για 24 ώρες, θεωρήσαμε ότι πραγματοποιήθηκε πλήρης εκχύλιση του περιεχόμενου στο δείγμα ελεύθερου χρυσού, καθώς και ταυτόχρονη πλήρης προσρόφηση του από τον ενεργό άνθρακα. Στη συνέχεια έγινε διήθηση του υπολείμματος της κυάνωσης και συλλογή του περιεχόμενου ενεργού άνθρακα για χημικές αναλύσεις σε Au.

### 6.5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα απορρίμματα του διαχωρισμού με βαρέα υγρά και τα απορρίμματα του μαγνητικού διαχωρισμού ομογενοποιούνται – λειοτριβούνται και χρησιμοποιούνται ως τροφή της πρώτης

κυάνωσης. Επίσης το κλάσμα -10 $\mu$ m του αρχικού δείγματος χρησιμοποιήθηκε ως τροφή της δεύτερης κυάνωσης. Στα προϊόντα των κυανώσεων έγιναν αναλύσεις χρυσού με την μέθοδο πυρανάλυσης (Fire assay).

Οι αναλύσεις χρυσού στα προϊόντα της πρώτης κυάνωσης, που έγινε στα απορρίμματα του βαρυτομετρικού και μαγνητικού διαχωρισμού, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.21. Η ανάλυση χρυσού στον άνθρακα έγινε για τον υπολογισμό του εκχυλισθέντος χρυσού.

**Πίνακας 6.23: Αναλύσεις χρυσού στα προϊόντα της κυάνωσης, απορρίμματα του βαρυτομετρικού και μαγνητικού διαχωρισμού**

Περιγραφή δειγμάτων	Βάρος (gr)	Ανάλυση Au (ppm)	Μέταλλο Au (mg)	Κατανομή Au
Άνθρακας	25	0,82	0,02	7,87
Υπόλειμμα	500	0,48	0,24	92,1
Υπολογιζόμενο Σύνολο	500	0,26	0,26	

Σαν σύνολο υπολογιζόμενο θεωρείται το σύνολο που προκύπτει αριθμητικά ενώ σαν σύνολο μετρούμενο είναι αυτό που πραγματικά μετρήθηκε. Για το λόγο αυτό υπάρχει και μία απόκλιση στο πειραματικό και στο θεωρητικό αποτέλεσμα.

Τα ψιλά του υδροκυκλώνα, -10 $\mu$ m του αρχικού δείγματος, χρησιμοποιούνται ως τροφή της δεύτερης κυάνωσης. Οι αναλύσεις χρυσού στα προϊόντα της παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.22.

**Πίνακας 6.24: Αναλύσεις χρυσού στα προϊόντα της κυάνωσης, κλάσμα -10 $\mu$ m αρχικού δείγματος**

Περιγραφή δειγμάτων	Βάρος (gr)	Ανάλυση Au (ppm)	Μέταλλο Au (mg)	Κατανομή Au
Άνθρακας	25	1,07	0,03	8,40
Υπόλειμμα	372	0,79	0,29	91,6
Υπολογιζόμενο Σύνολο	372	0,86	0,32	
Μετρούμενο Σύνολο		2,83		

Από τις αναλύσεις χρυσού που έγιναν στα προϊόντα των δύο δοκιμών κυάνωσης, Πίνακας 6.21 και 6.22, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει χρυσός στο μέταλλευμα μας αλλά σε πολύ μικρή ποσότητα. Επίσης από τη χημική ανάλυση του άνθρακα προκύπτει ότι χρυσός που περιέχεται στο μέταλλευμα δεν είναι εκχυλίσσιμος, μόνο 8,4% Au δεσμεύτηκε από τον άνθρακα της κυάνωσης.



### 6.5.3 Μερικά συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, έγιναν δύο δοκιμές κυάνωσης με ενεργό άνθρακα. Τα απορρίμματα του διαχωρισμού με βαρέα υγρά και τα απορρίμματα του μαγνητικού διαχωρισμού χρησιμοποιήθηκαν ως τροφή της πρώτης κυάνωσης και το κλάσμα -10μm του αρχικού δείγματος χρησιμοποιήθηκε ως τροφή της δεύτερης κυάνωσης. Στα προϊόντα των δοκιμών κυάνωσης έγιναν αναλύσεις χρυσού με την μέθοδο πυρανάλυσης (Fire assay).

Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των προϊόντων της κυάνωσης με ενεργό άνθρακα προδίδουν την ύπαρξη χρυσού στο υπό μελέτη μετάλλευμα μας σε πολύ μικρές ποσότητες όμως, καθώς και το γεγονός ότι ο περιεχόμενος χρυσός δεν είναι εκχυλίσιμος.

## 7 Γενικά Συμπεράσματα – Προτάσεις

Συνοψίζοντας όσα έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής, στο αρχικό μας δείγμα, για τα κλάσματα 0,063-0,25mm, 0,25-1mm και 1-4mm, έγινε εμπλουτισμός με τη μέθοδο βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βαρέα υγρά και με την μέθοδο μαγνητικού διαχωρισμού. Στο κλάσμα 10-63 $\mu$ m έγινε εμπλουτισμός με την μέθοδο της επίπλευσης με αμίνη. Επίπλευση με αμίνη έγινε και στα μαγνητικά προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού στο κλάσμα 1-4mm με σκοπό την βελτίωση των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού. Στα προϊόντα των μεθόδων εμπλουτισμού έγιναν χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις όπου ήταν εφικτό. Έγιναν αναλύσεις χρυσού στο αρχικό δείγμα και στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού στα κλάσματα 0,063-1mm και 1-4mm. Στην συνέχεια έγιναν δύο δοκιμές κυάνωσης με ενεργό άνθρακα, η πρώτη κυάνωση έγινε στα απορρίμματα του βαρυτομετρικού και μαγνητικού διαχωρισμού και η δεύτερη κυάνωση έγινε στο -10 $\mu$ m του αρχικού δείγματος. Τέλος έγιναν χημικές αναλύσεις χρυσού Au στα προϊόντα της κυάνωσης με ενεργό άνθρακα για να διερευνηθεί η ύπαρξη χρυσού και η δυνατότητα ανάκτησης του. Από το σύνολο όλων αυτών προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

1. Το μέταλλευμα μας αποτελείται περίπου από 30% ροδοχρωσίτη, 2% μαγγανίτη και 68% χαλαζία.
2. Έγινε διαχωρισμός των μαγγανιούχων ορυκτών (ροδοχρωσίτης και μαγγανίτης) του μεταλλεύματος μας από τα πυριτικά ορυκτά (χαλαζία) με επιτυχία και στις τρεις μεθόδους εμπλουτισμού. Ο μαγνητικός διαχωρισμός απέδωσε καλύτερα αποτελέσματα από τον βαρυτομετρικό διαχωρισμό στο κλάσμα 0,25-1mm. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει καλύτερη αποδέσμευση στο κλάσμα άρα υπάρχουν καθαροί κόκκοι μαγγανίτη ο οποίος είναι μαγνητικός, με αποτέλεσμα να μην διαφεύγει στο απόρριμμα.
3. Παρόλο που ο διαχωρισμός του χρήσιμου υλικού από το στείρο έγινε με επιτυχία δεν ανακτήσαμε συμπύκνωμα με περιεκτικότητα σε μαγγάνιο μεγαλύτερη από 50%, εκτός από δύο περιπτώσεων: α) από το βαρυτομετρικό διαχωρισμό στο κλάσμα 0,063-0,25mm, όπου πήραμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn 54,38% και σε SiO<sub>2</sub> 13,67%, και β) από το μαγνητικό διαχωρισμό στο κλάσμα 0,25-1mm όπου πήραμε συμπύκνωμα μαγγανίου με περιεκτικότητα σε Mn 51,63% και σε SiO<sub>2</sub> 18,5%. Αυτό οφείλεται στην καλύτερη αποδέσμευση που έχουμε στα κλάσματα 0,063-0,25mm και 0,25-1mm.

4. Από την δοκιμή επίπλευσης που έγινε για βελτίωση των αποτελεσμάτων του μαγνητικού διαχωρισμού δεν πήραμε αποδεκτά αποτελέσματα (συμπύκνωμα με περιεκτικότητα σε μαγγάνιο μεγαλύτερη από 50%).
5. Στο μέταλλευμα μας ο μαγγανίτης ( $MnOOH$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 62,5% είναι ελάχιστος συγκριτικά με τον ροδοχρωσίτη ( $MnCO_3$ ) που έχει περιεκτικότητα σε Mn 47,5%. Σε αυτό οφείλεται το γεγονός ότι δεν ανακτήσαμε συμπύκνωμα με περιεκτικότητα σε μαγγάνιο μεγαλύτερη από 50%. Επίσης στις στιλπνές τομές παρατηρήθηκαν αρκετά εγκλείσματα του χρήσιμου ορυκτού μέσα στο στείρο υλικό και το αντίστροφο.
6. Η ανάλυση χρυσού στο αρχικό δείγμα προδίδει την ύπαρξη χρυσού σε πολύ μικρές ποσότητες όμως, οι αναλύσεις χρυσού που έγιναν στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού, για τα κλάσματα 0,063-1mm και 1-4mm, υποδεικνύουν ότι στο κλάσμα 0,063-1mm όπου έχουμε καλύτερη ανάκτηση Mn στο συμπύκνωμα, ο χρυσός κατανέμεται στο μη μαγνητικό δηλαδή στο απόρριμμα.
7. Τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων των προϊόντων της κυάνωσης με ενεργό άνθρακα προδίδουν, ότι ο περιεχόμενος χρυσός δεν είναι εκχυλίσσιμος. Μόνο το 10% κατανέμεται στον άνθρακα. Άρα ο περιεχόμενος στο μέταλλευμα μας χρυσός δεν είναι εκμεταλλεύσιμος.

Γενικά δεν υπάρχουν αποδεκτά αποτελέσματα από τις δοκιμές εμπλουτισμού που έγιναν στο αρχικό δείγμα και ο περιεχόμενος χρυσός δεν είναι εκμεταλλεύσιμος. Θα μπορούσε να γίνει επαφή με την κατασκευάστρια εταιρεία για να ερωτηθεί κατά πόσο είναι αποδεκτή η περιεκτικότητα του συμπυκνώματος μας που προέρχεται από το συγκεκριμένο μέταλλευμα το οποίο αποτελείται κυρίως από ροδοχρωσίτη.

## Βιβλιογραφία

---

1. PECSOK, SHIELDS, CAIRNS, Mc. WILLIAM, (1980). “Σύγχρονες μέθοδοι στη χημική ανάλυση”, Επιστημονικές και τεχνολογικές εκδόσεις ΑΓ. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ.
2. ΜΑΡΤΙΝΗ Σ., (2004). “Έρευνα αποδέσμευσης και εμπλουτισμού νικελιούχου λατερίτη Εύβοιας”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. ΚΑΖΕΛΙΔΟΥ Α., (2005). “Ανάκτηση προσχωματικού χρυσού με βαρυτομετρική μέθοδο”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. ΚΩΣΤΑΚΗΣ Γ., (1988). “Κεφάλαια ακτινοσκοπίας των κρυστάλλων”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ Η., (2008). “Μηχανική των Τεμαχιδίων”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ Η., (2008). “Εμπλουτισμός Μεταλλευμάτων”, Σημειώσεις του μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ Η., ΠΑΝΤΕΛΑΚΗ Ο., ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Ε., “Environmentally Friendly Methods for Gold Recovery”, Proceeding of Int. Conf., Protection and Restoration of the Environment VI, Skiathos, Jul. 1 – 5, 2002.
8. ΣΙΑΝΟΥΔΗΣ Ι., ΚΑΡΥΔΑΣ Α., ΖΑΡΚΑΔΑΣ Χ., ΔΡΑΚΑΚΗ Ε., (2006). “Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF): Μια πρόταση για αξιοποίηση της στην εκπαιδευτική διαδικασία”, e-Journal of Science & Technology, Τόμος 1, σελ. 86-103.
9. Φασματοσκοπία Ατομικής Απορρόφησης, (1993). “Σημειώσεις Εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας”, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
10. ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ Α. & Σ. ΚΑΤΡΑΚΗΣ, (1979). “Εισαγωγή εις τον Εμπλουτισμόν των Μεταλλευμάτων και Βιομηχανικών Ορυκτών”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
11. Προφορική Πηγή, ΣΤΑΜΠΟΛΙΑΔΗΣ Η., Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης.

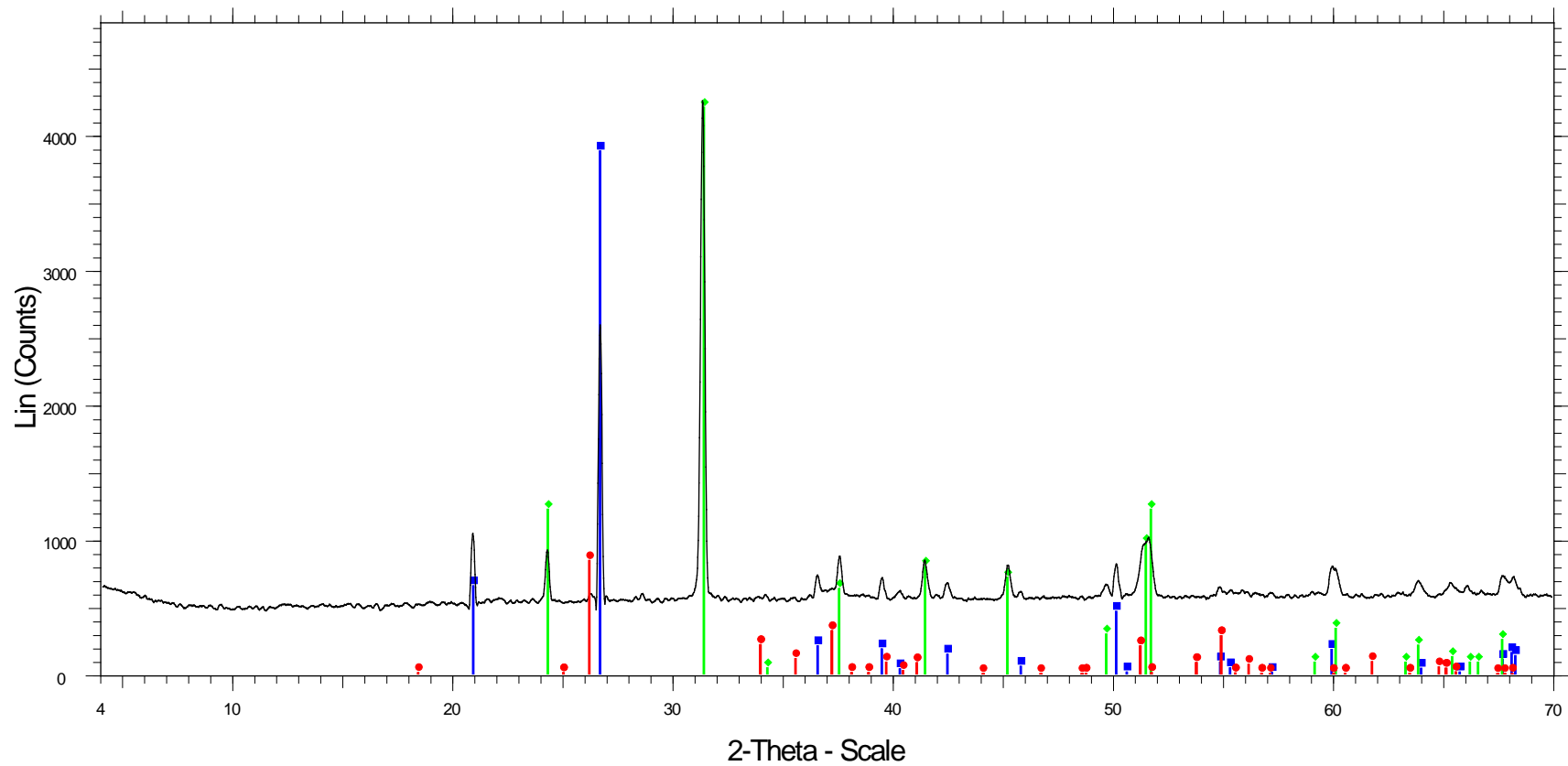
### *Ηλεκτρονικές Πηγές*

12. [http://www.geo.auth.gr/106/5\\_carbonates/rhodochrosite.htm](http://www.geo.auth.gr/106/5_carbonates/rhodochrosite.htm)
13. [http://www.chem.uoa.gr/quali/quali\\_C03\\_Mn.htm](http://www.chem.uoa.gr/quali/quali_C03_Mn.htm)
14. [www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf\\_theory/mn.pdf](http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/mn.pdf)
15. <http://www.mineralszone.com/minerals/manganese.html>
16. <http://1tee-ampel.thess.sch.gr/ERGASIES/ergasies/orikta/oriktas.htm>
17. [http://outernode.pir.sa.gov.au/minerals/geology/mineral\\_resources/commodities/manganese](http://outernode.pir.sa.gov.au/minerals/geology/mineral_resources/commodities/manganese)
18. [http://www.manganese.org/about\\_mn/production](http://www.manganese.org/about_mn/production)

# Παράρτημα Α

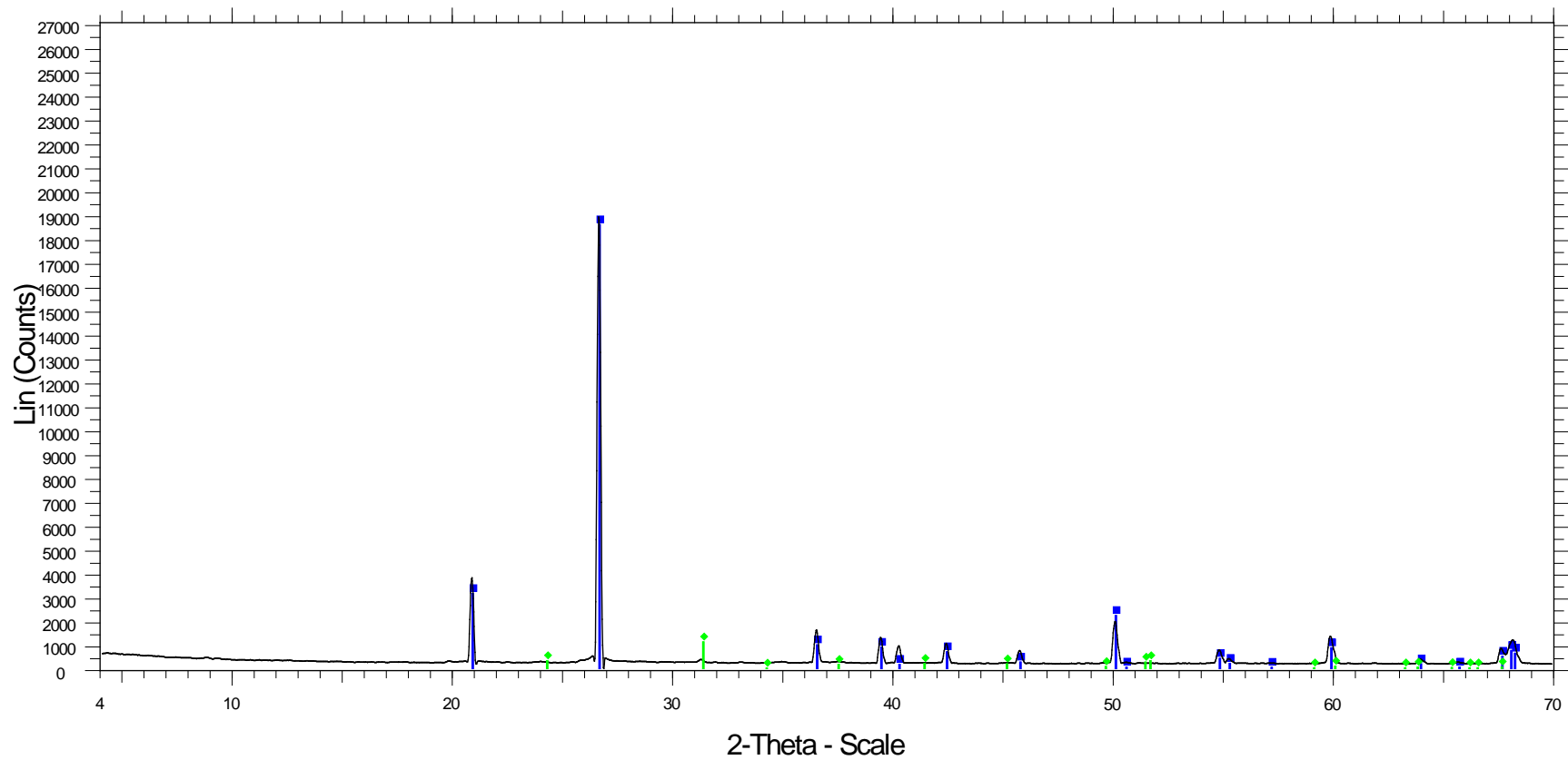
---

ΑΚΤΙΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ - XRD



865 - File: d8080828.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 91.18 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 98.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 19.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

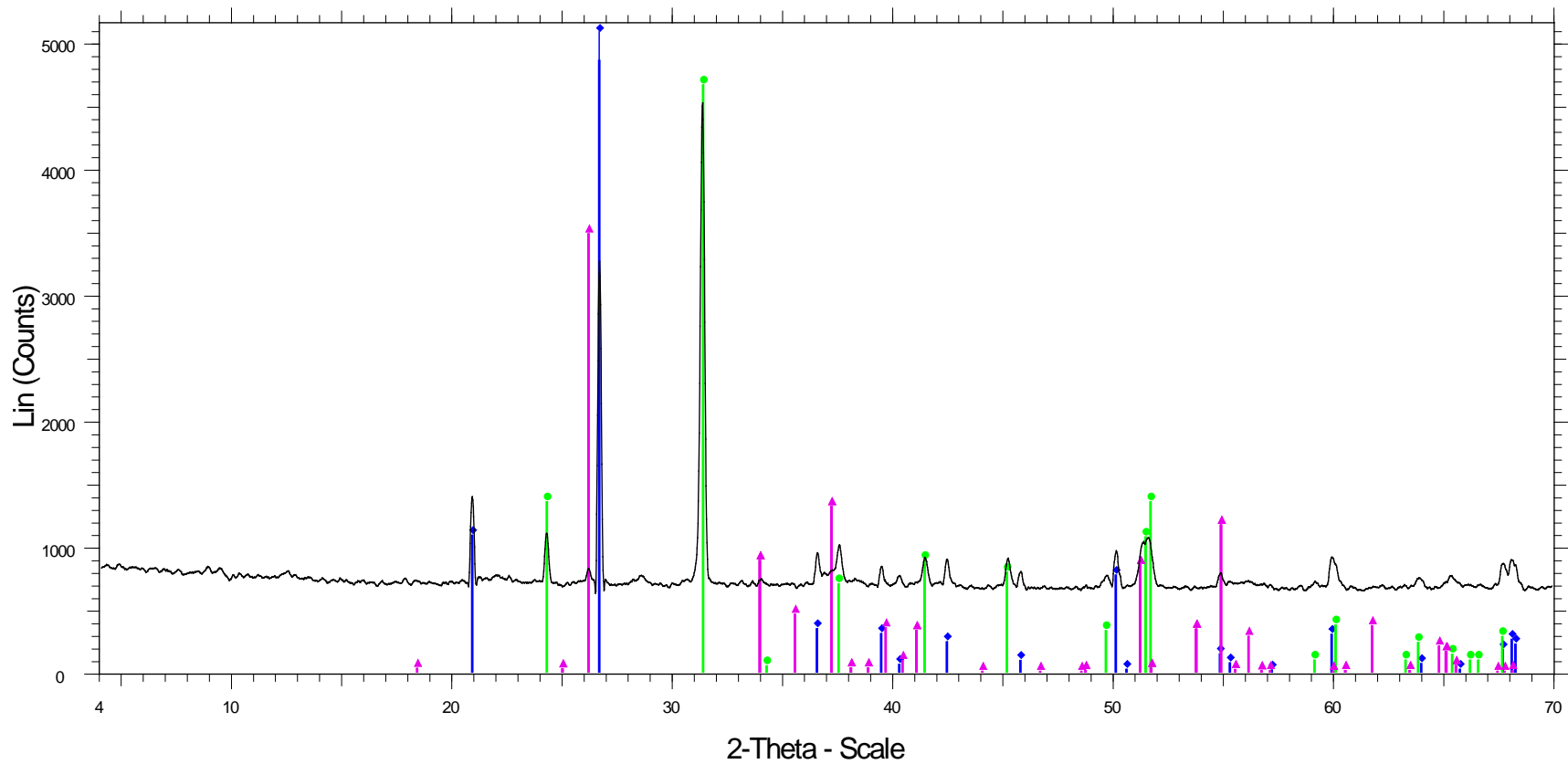
**Ακτινοδιάγραμμα Α 1: Βαρύτερο του 2,96 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 1 – 4mm**



867 - File: d8080829.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 98.23 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 5.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (

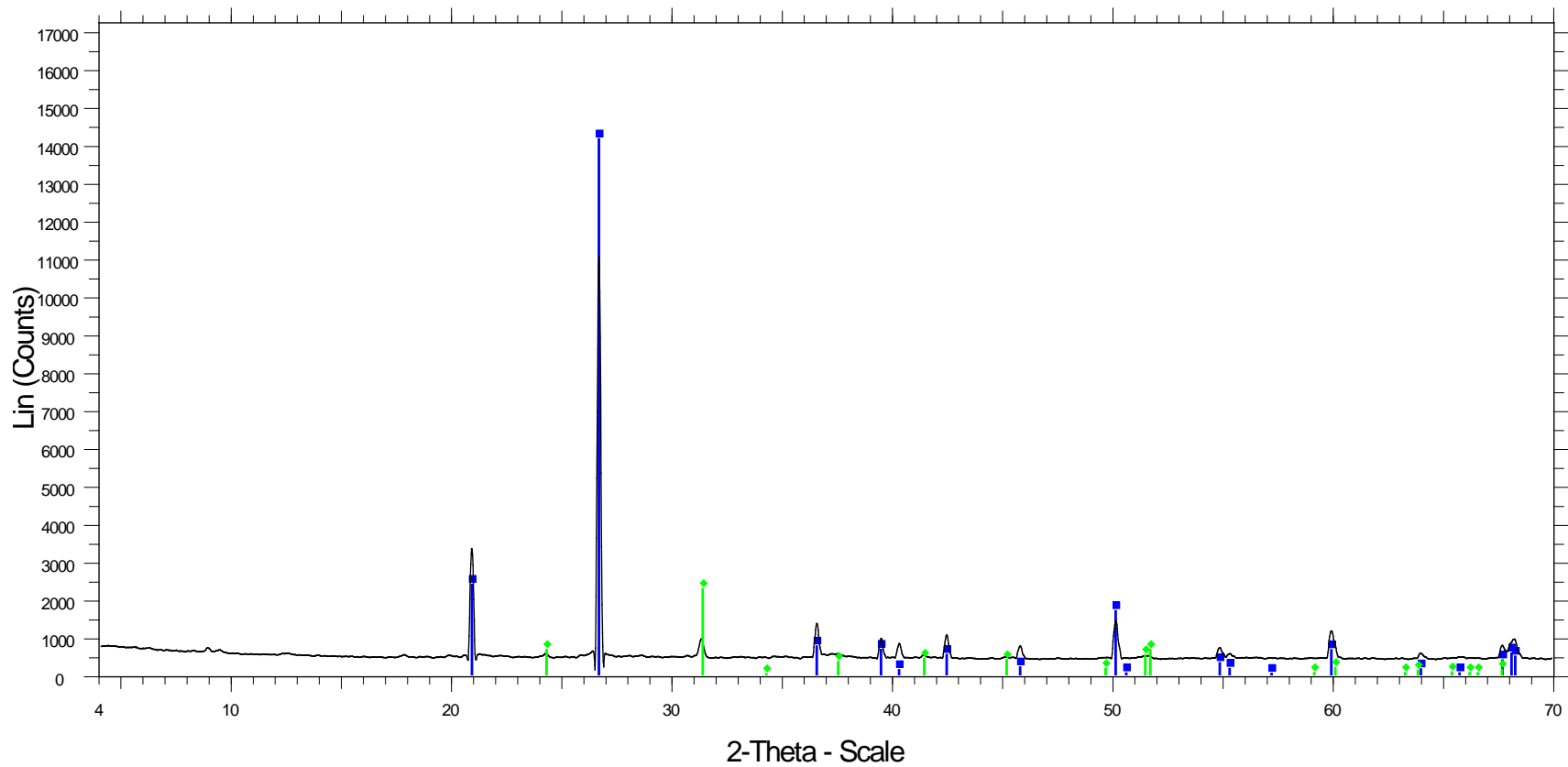
**Ακτινοδιάγραμμα A 2: Ελαφρύτερο του 2,7 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 1–4mm**





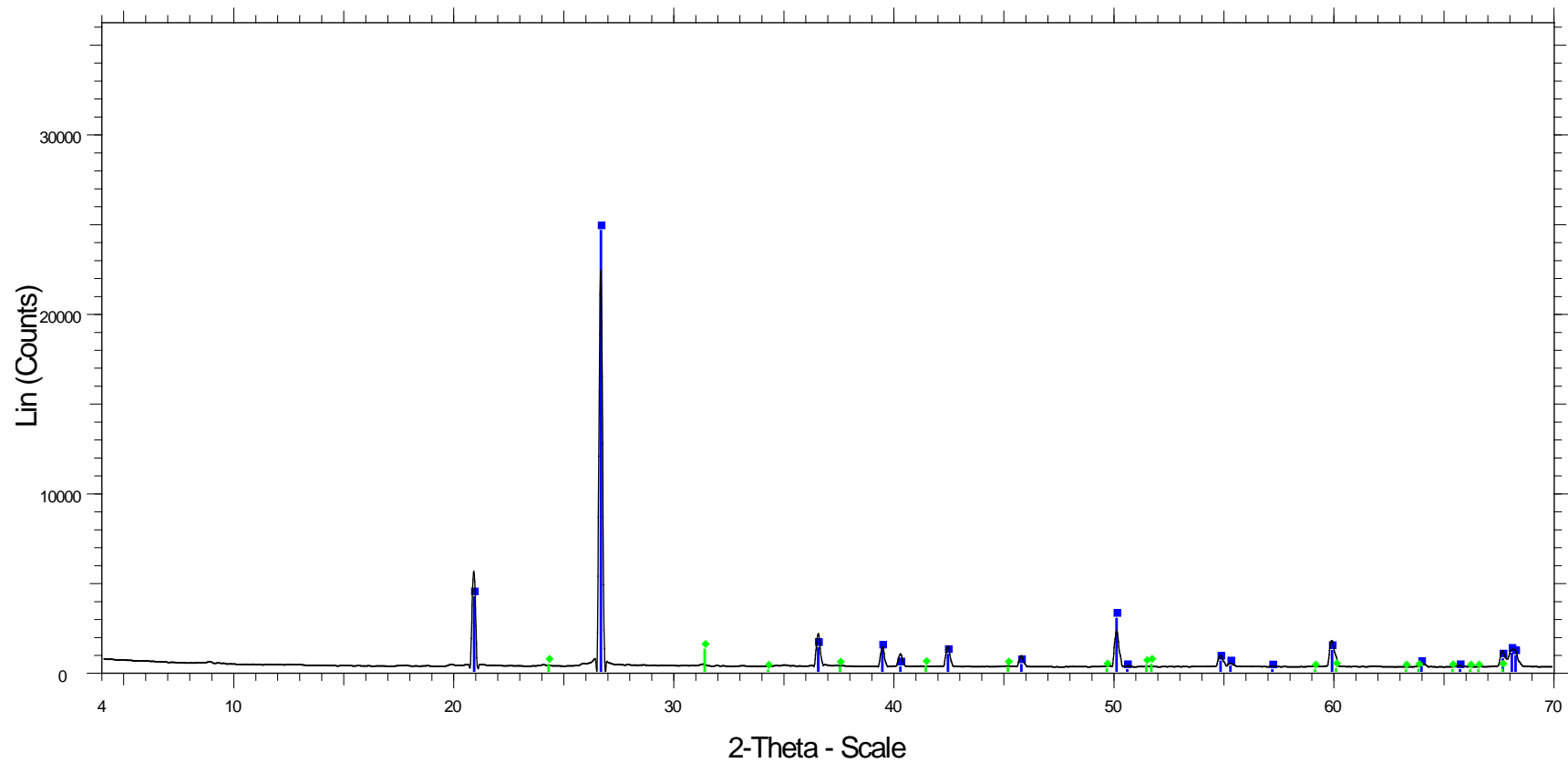
868 - File: d8080813.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 142.87 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 103.20 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 77.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

**Ακτινοδιάγραμμα A 3: Βαρύτερο του 2,96 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 0,25 - 1mm**



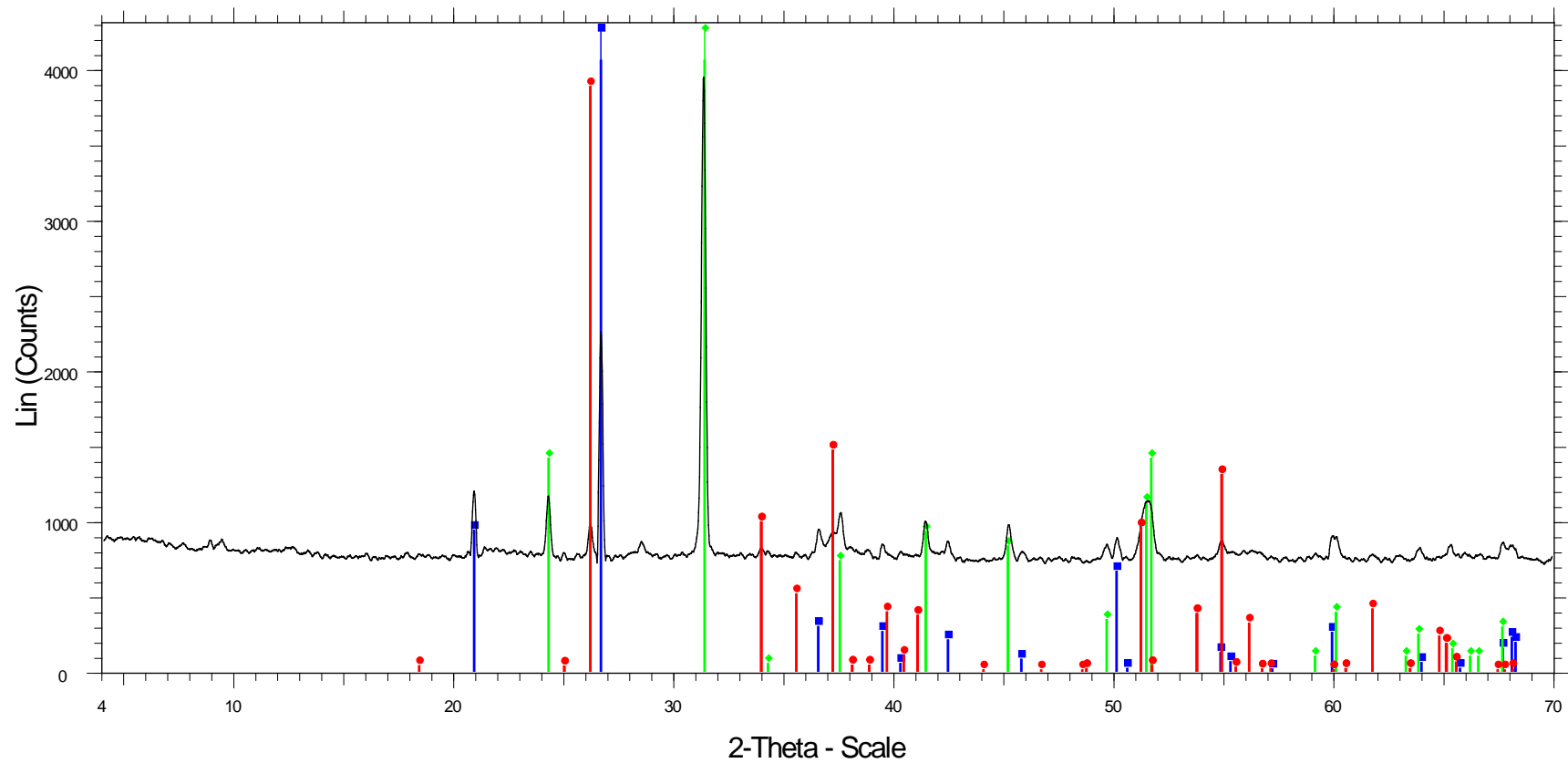
869 - File: d8080814.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 128.15 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 20.52 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c

**Ακτινοδιάγραμμα Α 4: Ενδιάμεσο του 2,7 - 2,96 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 0,25 - 1mm**



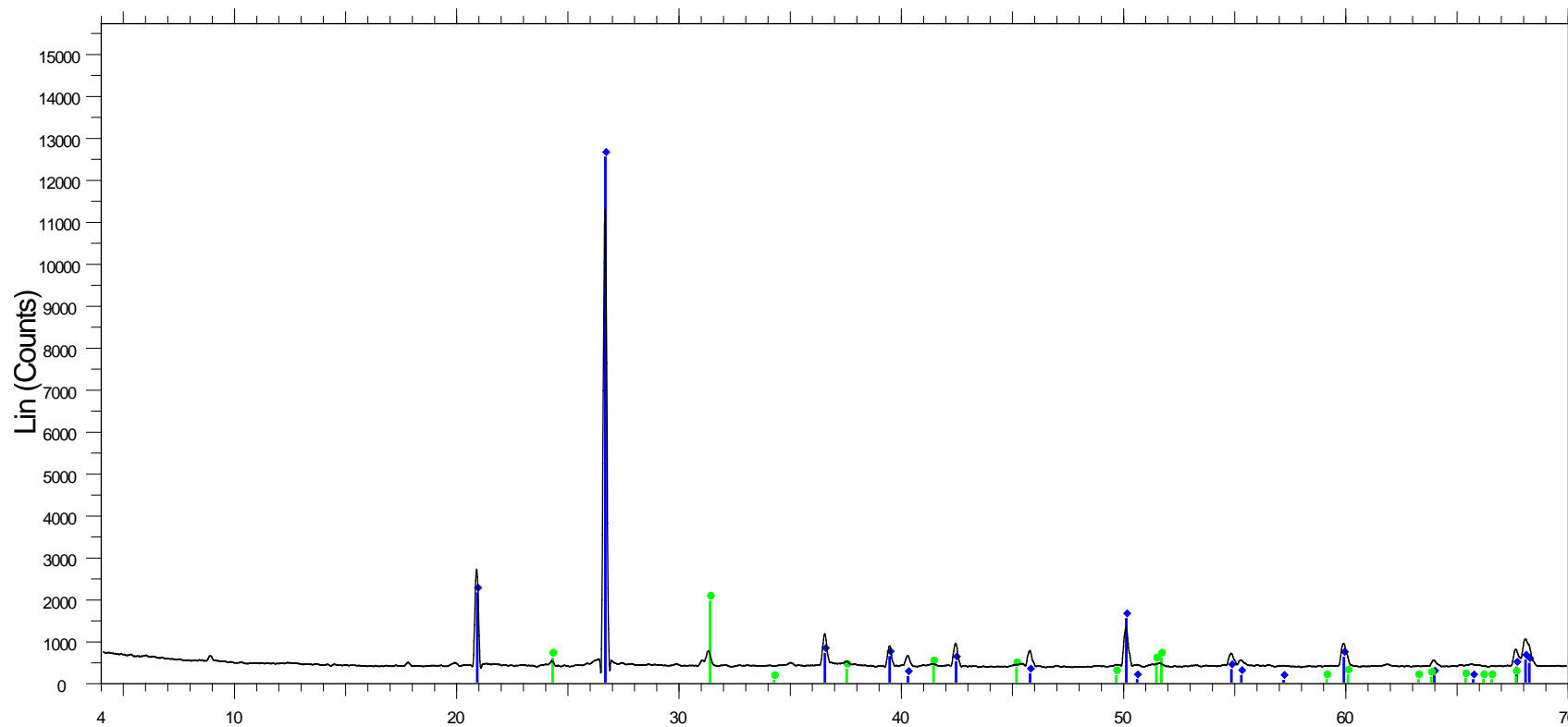
870 - File: d8080815.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 109.90 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 5.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (

**Ακτινοδιάγραμμα A 5: Ελαφρύτερο του 2,7 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 0,25 - 1mm**



871 - File: d8080816.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 140.88 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 123.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 98.34 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

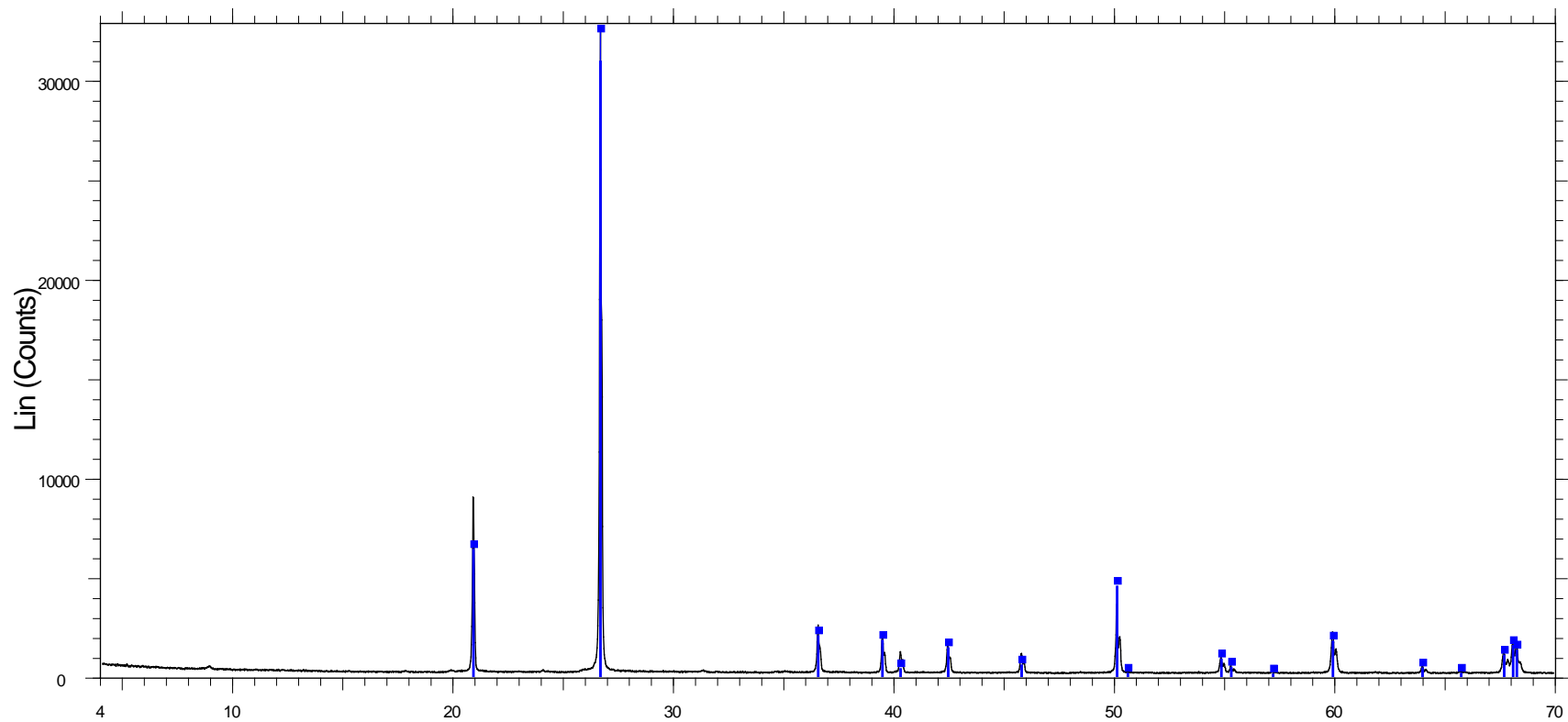
**Ακτινοδιάγραμμα A 6: Βαρύτερο του 2,96 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 0,063 –0,25mm**



2-Theta - Scale

872 - File: d8080817.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 111.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 16.97 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c

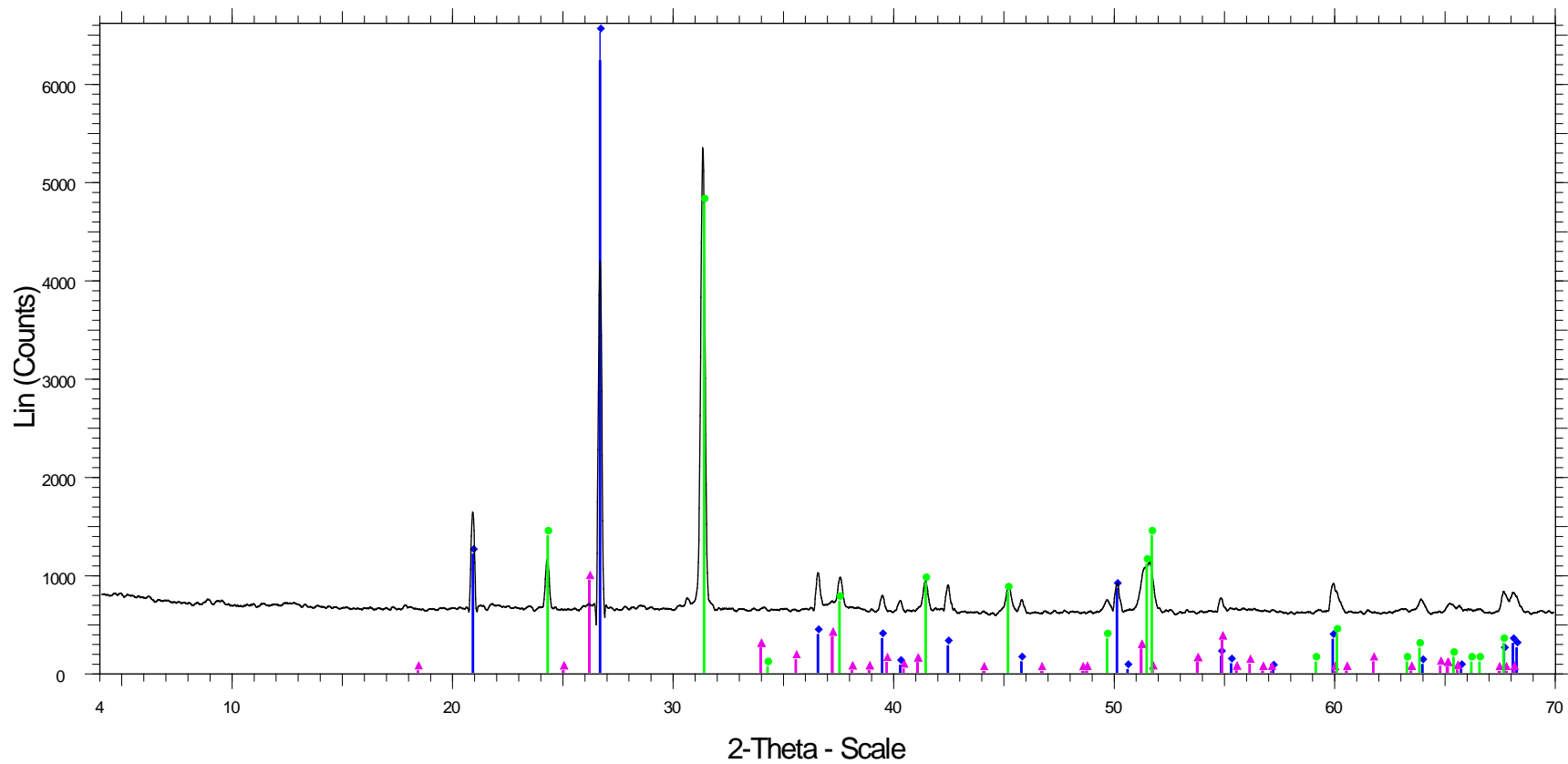
**Ακτινοδιάγραμμα A 7: Ενδιάμεσο του 2,7 - 2,96 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 0,063 – 0,25mm**



2-Theta - Scale

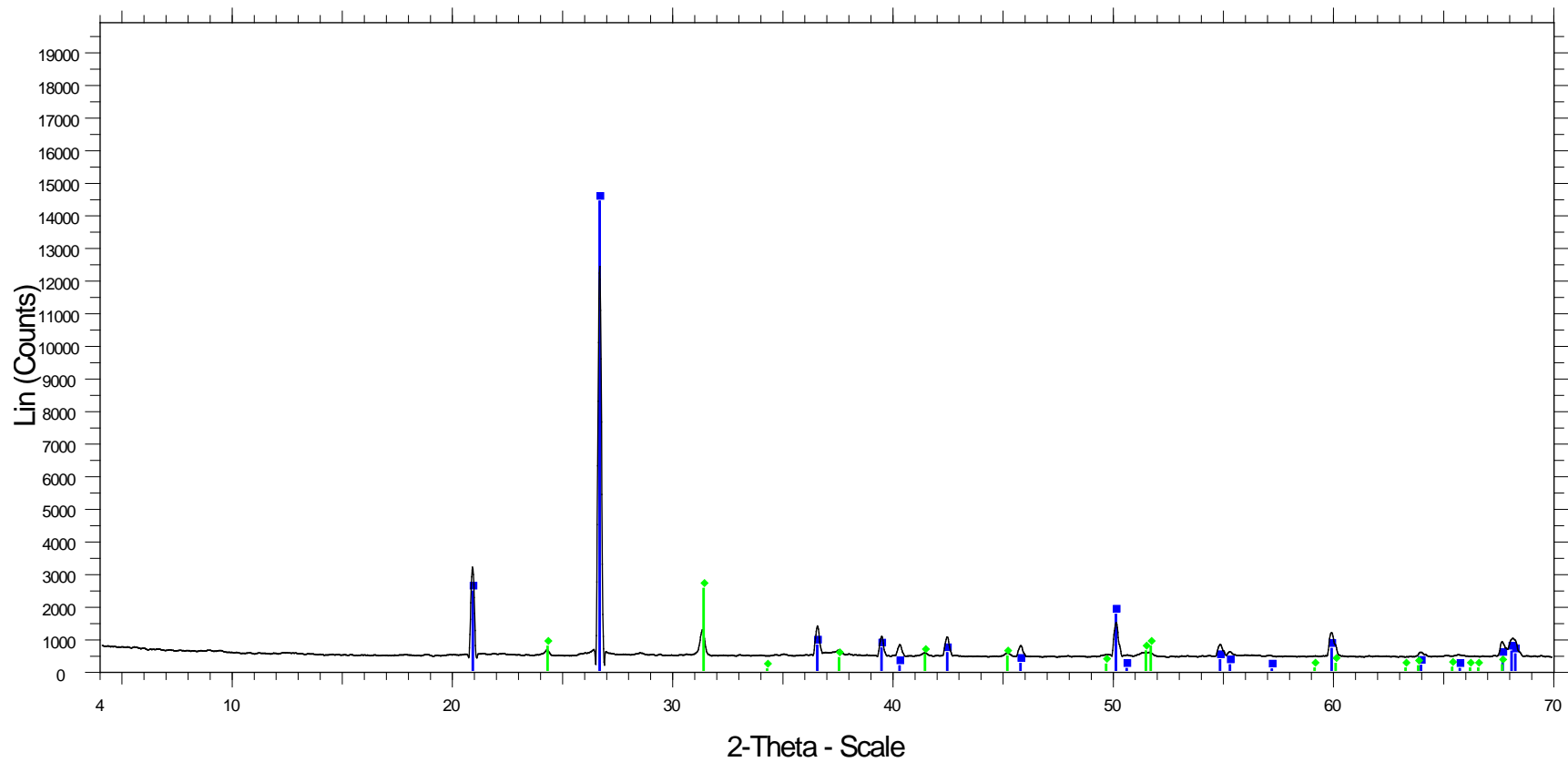
873 - File: d8080818.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 115.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3

**Ακτινοδιάγραμμα Α 8: Ελαφρύτερο του 2,7 gr/cm<sup>3</sup> του κλάσματος 0,063 – 0,25mm**



874 - File: d8080819.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° -  
 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 133.09 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3  
 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 89.24 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c  
 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 17.44 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

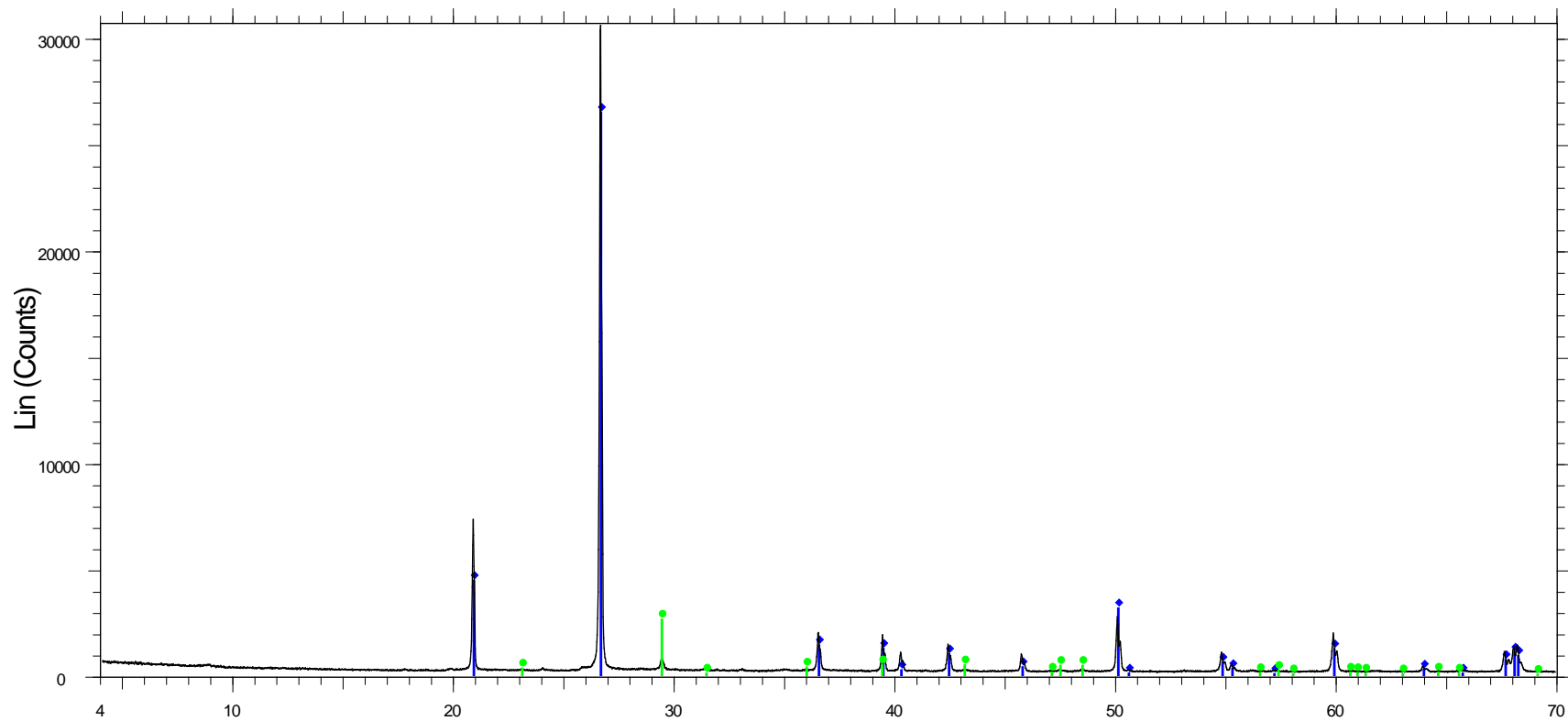
**Ακτινοδιάγραμμα A 9: Πρώτο μαγνητικό του κλάσματος 1–4mm**



875 - File: d8080820.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 116.16 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 20.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c

**Ακτινοδιάγραμμα A 10: Δεύτερο μαγνητικό του κλάσματος 1–4mm**

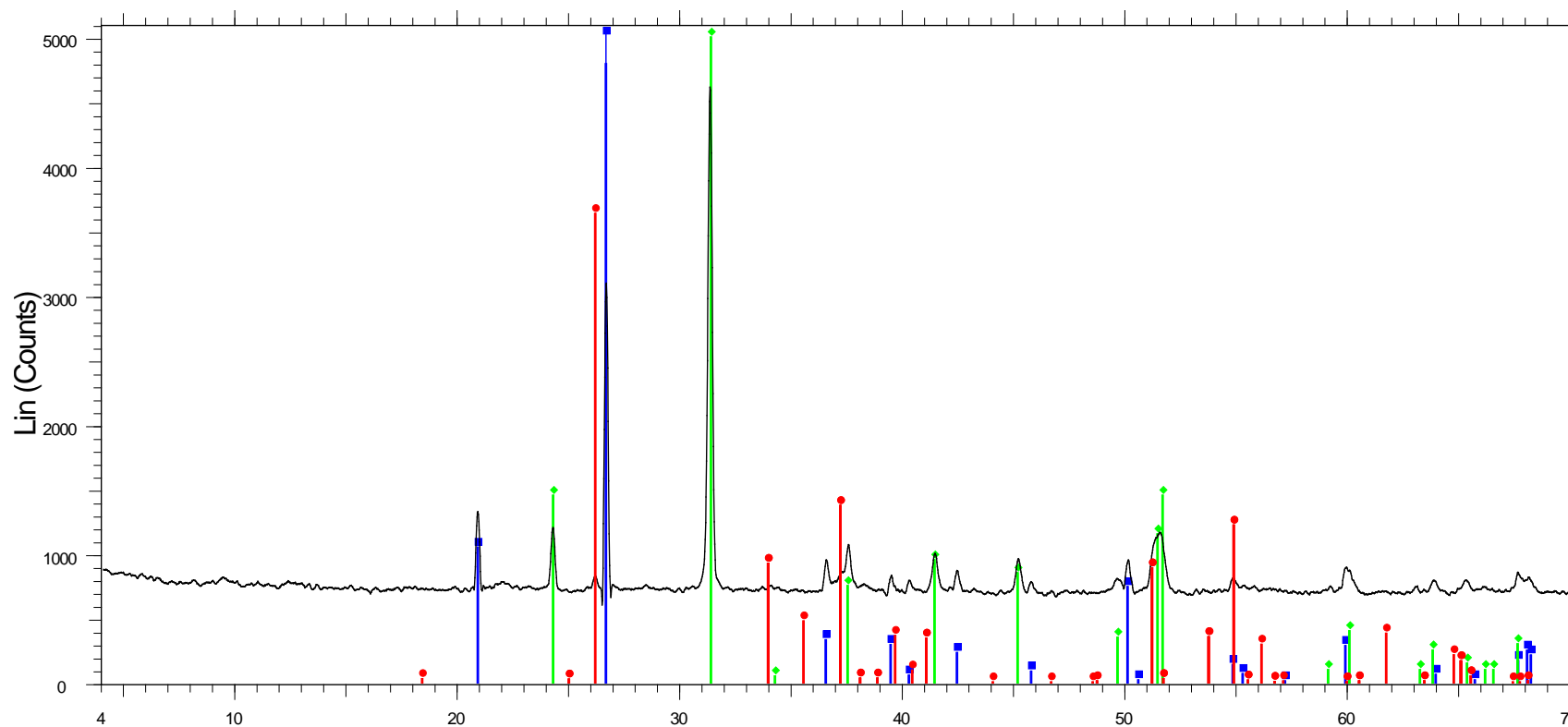




2-Theta - Scale

876 - File: d8080821.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 86.58 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 - 00-005-0586 (\*) - Calcite, syn - CaCO<sub>3</sub> - Y: 8.59 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.98900 - b 4.98900 - c 17.06200 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c (167) - 6

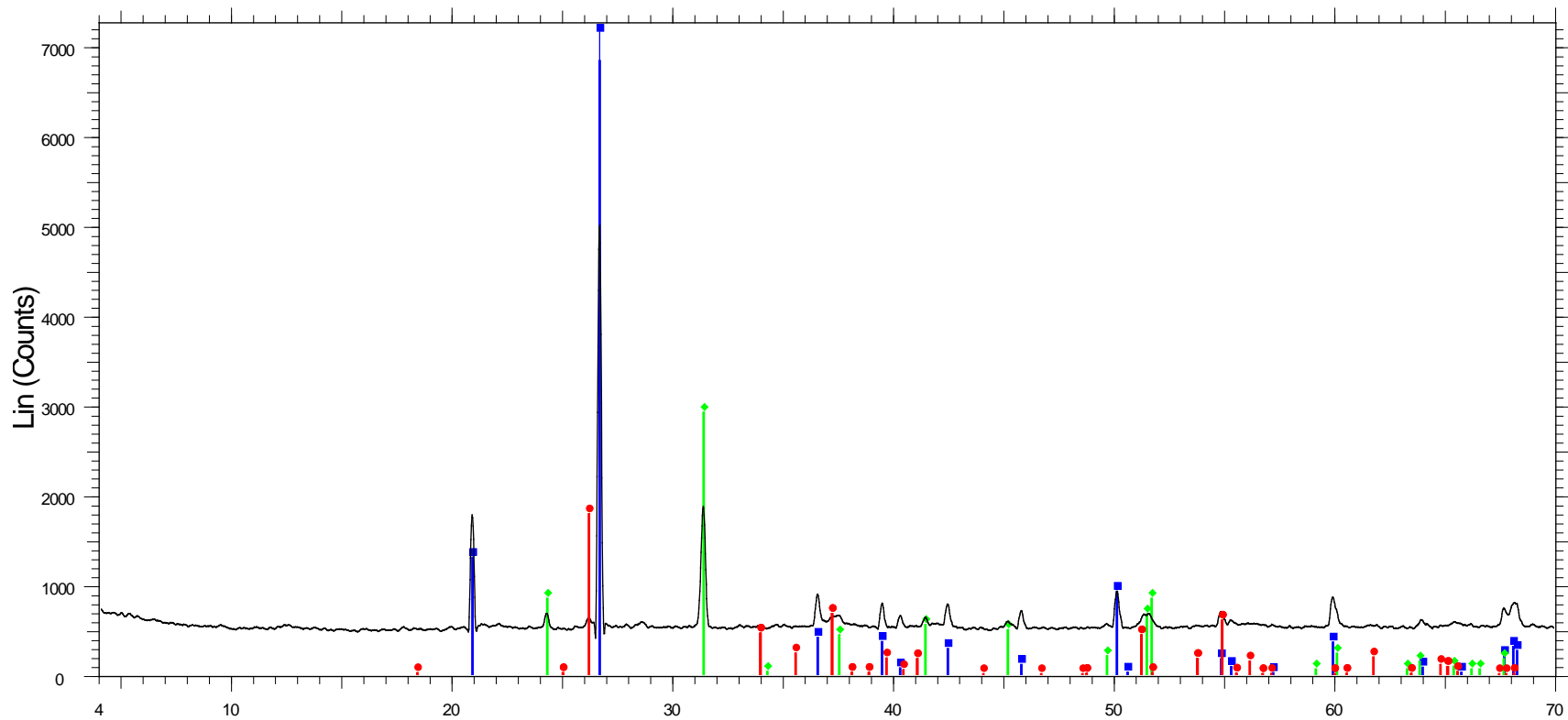
Ακτινοδιάγραμμα A 11: Μη μαγνητικό του κλάσματος 1–4mm



2-Theta - Scale

877 - File: d8080822.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 135.01 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 108.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 78.79 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

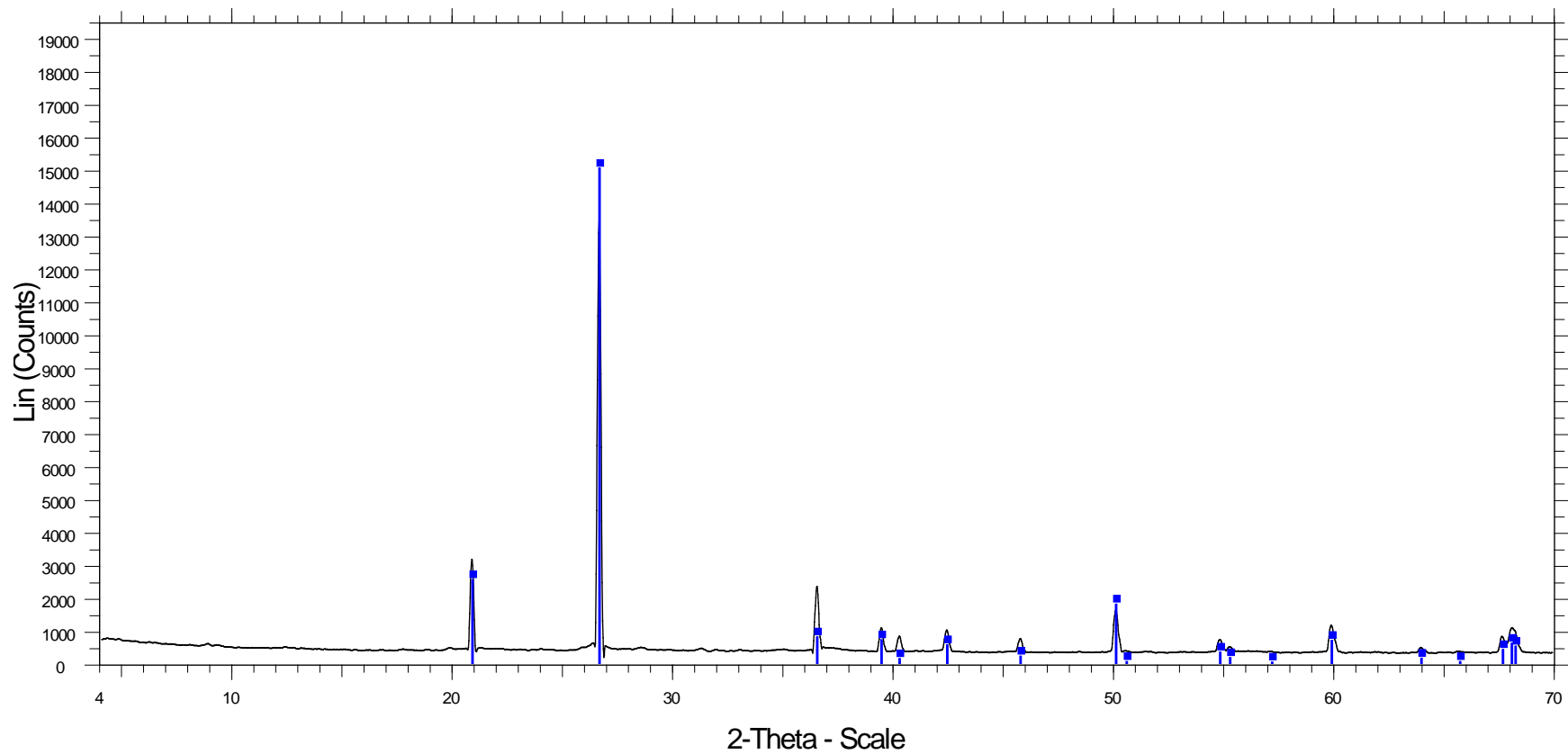
Ακτινοδιάγραμμα A 12: Πρώτο μαγνητικό του κλάσματος 0,25 – 1mm



2-Theta - Scale

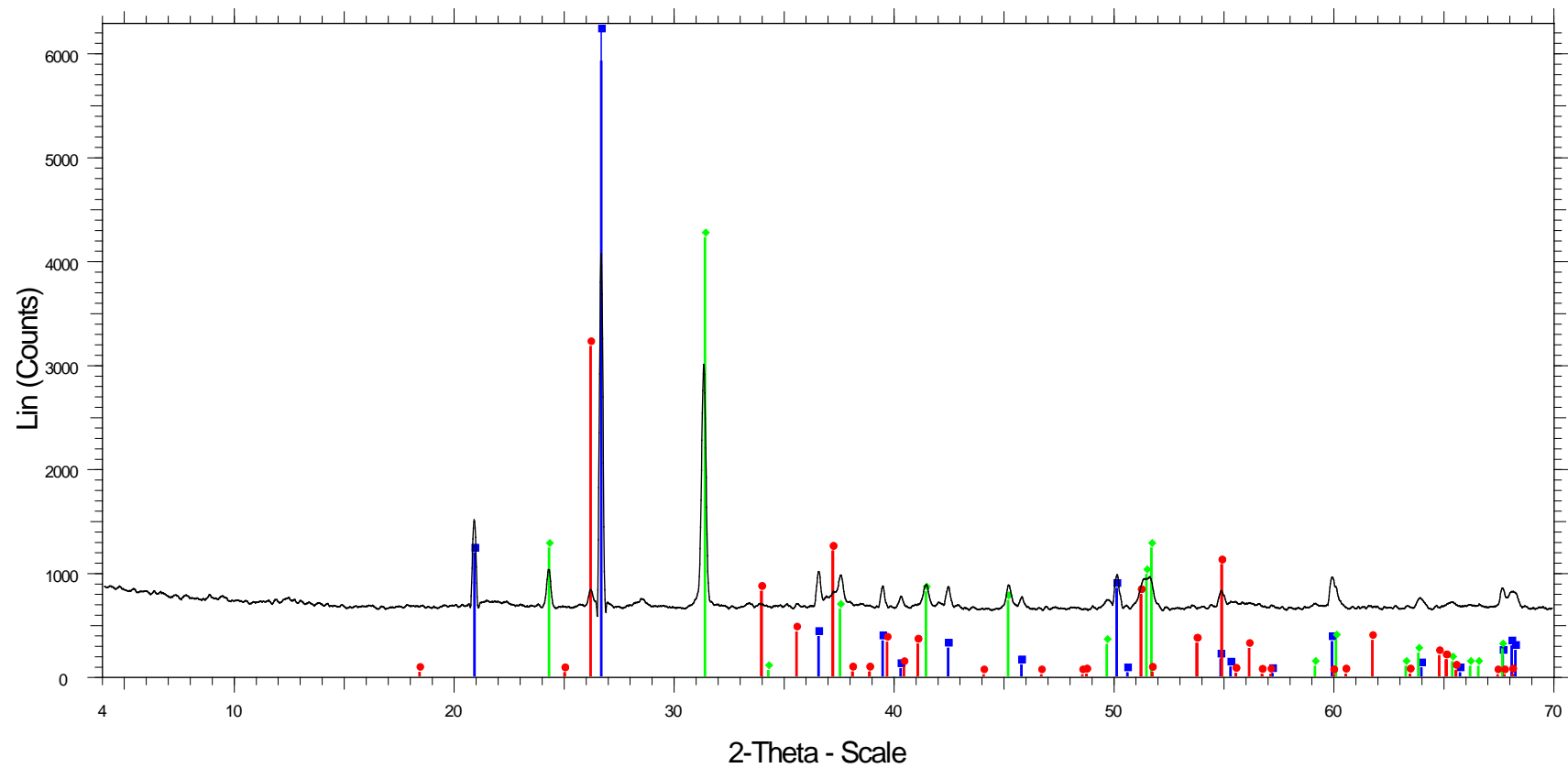
878 - File: d8080823.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 154.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 58.36 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 35.67 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

Ακτινοδιάγραμμα A 13: Δεύτερο μαγνητικό του κλάσματος 0,25 – 1mm



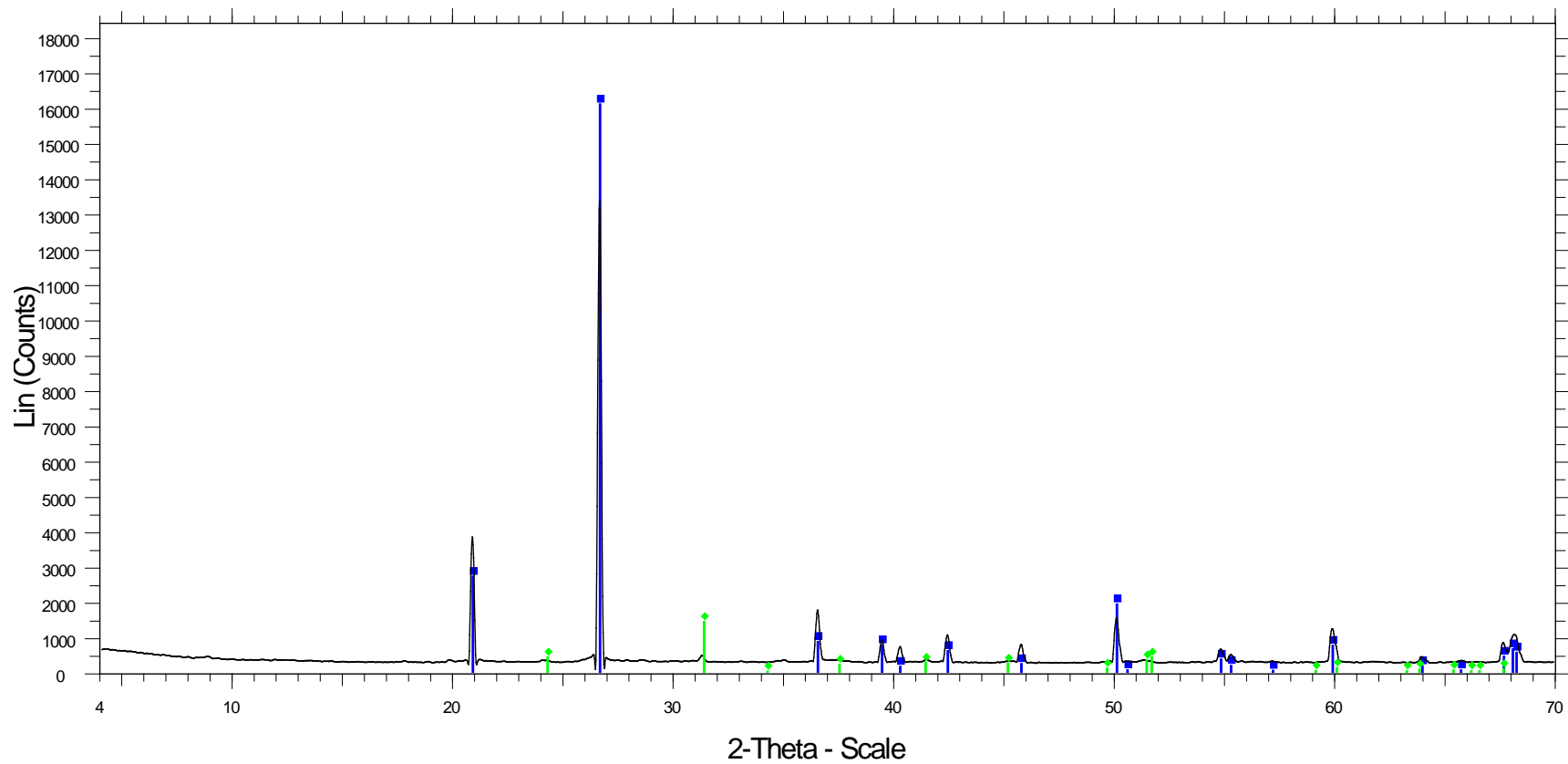
879 - File: d8080824.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 112.28 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3

**Ακτινοδιάγραμμα A 14: Μη μαγνητικό του κλάσματος 0,25 – 1mm**



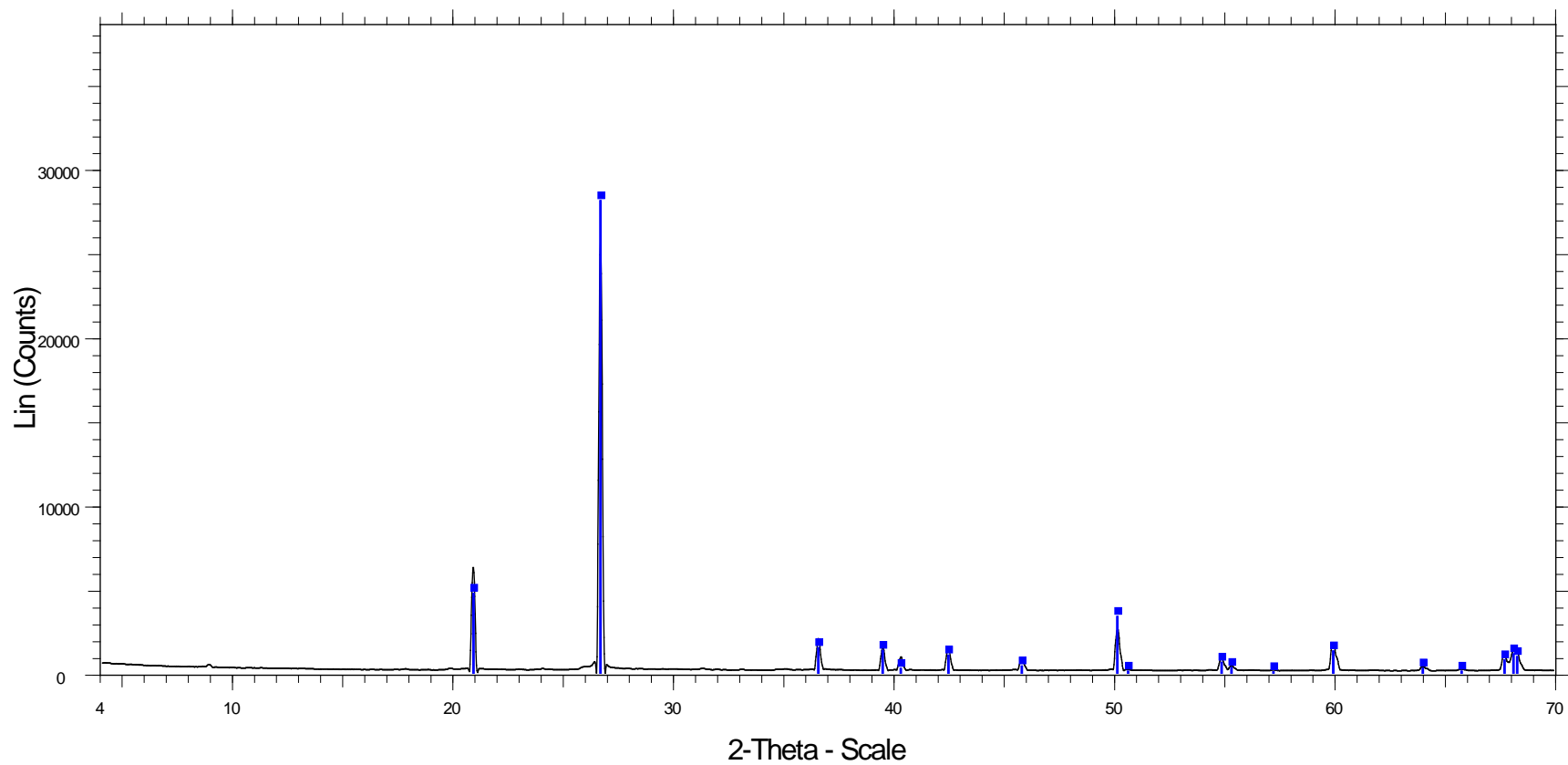
880 - File: d8080825.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° -  
 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 172.26 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3  
 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 103.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3  
 01-088-0649 (C) - Manganite - gamma-MnO(OH) - Y: 77.96 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.30400 - b 5.27700 - c 5.30400 - alpha 90.000 - beta 114.380 - gamma 90.000 - Primitive - P21/c (1

**Ακτινοδιάγραμμα A 15: Πρώτο μαγνητικό του κλάσματος 0,063 - 0,25mm**



881 - File: d8080826.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 120.41 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3 00-044-1472 (\*) - Rhodochrosite, syn - MnCO<sub>3</sub> - Y: 10.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.79010 - b 4.79010 - c 15.69400 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - R-3c

**Ακτινοδιάγραμμα A 16: Δεύτερο μαγνητικό του κλάσματος 0,063 - 0,25mm**



882 - File: d8080827.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2.000 ° - Chi: 0.00 ° - 03-065-0466 (C) - Quartz low, syn - SiO<sub>2</sub> - Y: 109.10 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91410 - b 4.91410 - c 5.40600 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P3221 (154) - 3

**Ακτινοδιάγραμμα A 17: Μη μαγνητικό του κλάσματος 0,063 - 0,25mm**