



ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ –
ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΥ Ε.Μ.Π

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΟΣ ΧΕΙΡΟΔΙΑΛΟΓΗΣ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΣΗ ΓΕΡΟΡΕΜΑ ΕΥΒΟΙΑΣ

Επιβλέπων: Αναστασάκης Γεώργιος
Καθηγητής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ | ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

Αθήνα, Απρίλιος 2012

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε το έτος 2012 υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του καθηγητή κ. Γεωργίου Αναστασάκη, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για τη στήριξη του όλων αυτών τον καιρό. Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, πολύτιμη ήταν και η βοήθεια του Ηλία Σαμμά που βρισκόταν πάντα εκεί όταν τον χρειαζόμουνα, σε οτιδήποτε είχε να κάνει με την υλικοτεχνική υποδομή του εργαστηρίου και όχι μόνο. Τέλος, θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τον κ. Αντώνη Πέππα για τα διαγράμματα TG και την καθηγήτρια κα Θεοδώρα Περράκη για τις ορυκτολογικές αναλύσεις XRD, τα διαγράμματα TG, DTG, DTA και τις πολύτιμες συμβουλές της.

Αθήνα, Απρίλιος 2012

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Summary	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Λίγα λόγια για το μαγνησίτη	9
1.2 Χρήσεις μαγνησίτη	11
1.3 Ο Λευκόλιθος στην Ελλάδα	13
1.4 Ο λευκόλιθος που χρησιμοποιήθηκε	13
2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	18
2.1 Εισαγωγή	18
2.2 Κοκκομετρική ανάλυση.....	18
2.3 Μελέτη βαθμού αποδέσμευσης.....	20
2.4 Οπτικός διαχωρισμός	22
2.4.1 Διαγράμματα TG και συμπεράσματα για τον οπτικό διαχωρισμό	26
2.4.2 Επαλήθευση υποθέσεων	39
2.5 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός με βαριά υγρά.....	43
2.5.1 Διαγράμματα TG και συμπεράσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού.....	44
2.6 Μαγνητικός διαχωρισμός.....	48
2.6.1 Διαγράμματα TG και συμπεράσματα για το διαχωρισμό με μαγνητικό διαχωρισμό	50
3 ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
Βιβλιογραφία.....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	66
ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ-X (XRD).....	66

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην αξιοποίηση του απορρίμματος της χειροδιαλογής μαγνησίτη από τη θέση Γερόρεμα Ευβοίας.

Με βάση τις ιδιότητες του μαγνησίτη και του στείρου, διερευνήθηκε η δυνατότητα διαχωρισμού με τις εξής μεθόδους: οπτικός διαχωρισμός (χειροδιαλογή), βαρυτομετρικός διαχωρισμός με βαριά υγρά και μαγνητικός διαχωρισμός.

Από τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων μεθόδων, προκύπτει ότι ο οπτικός διαχωρισμός και ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία σε απορρίματα χειροδιαλογής, καθώς προκύπτουν συμπυκνώματα με υψηλή ανάκτηση και περιεκτικότητα σε μαγνησίτη.

Πιο συγκεκριμένα, ο οπτικός διαχωρισμός έδωσε τα παρακάτω εμπορεύσιμα προϊόντα

- Για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm

Συμπύκνωμα με περιεκτικότητα 93.7% σε μαγνησίτη και ανάκτηση 75.9%. Επίσης, εμπορεύσιμο προϊόν προκύπτει και από την ανάμιξη του συμπυκνώματος με το ενδιάμεσο, έχοντας περιεκτικότητα σε μαγνησίτη 91.1% και ανάκτηση 91.4%.

- Για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm

Συμπύκνωμα με περιεκτικότητα 97% σε μαγνησίτη και ανάκτηση 68.1%, ένα ενδιάμεσο προϊόν με περιεκτικότητα 85.2% σε μαγνησίτη και ανάκτηση 23.9%. Επίσης, εμπορεύσιμο προϊόν προκύπτει και από την ανάμιξη του συμπυκνώματος με το ενδιάμεσο, έχοντας περιεκτικότητα σε μαγνησίτη 93.6% και ανάκτηση 92%.

Αντίστοιχα, ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός του κοκκομετρικού κλάσματος -2.36mm έδωσε συμπύκνωμα με περιεκτικότητα σε μαγνησίτη 95% και ανάκτηση 72.2%.

Η παραγωγή εμπορεύσιμου συμπυκνώματος μαγνησίτη από το απόρριμμα χειροδιαλογής έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη αξιοποίηση του κοιτάσματος, τη βελτίωση των οικονομικών της συνολικής εκμετάλλευσης και τη μείωση του όγκου των απορριμμάτων.

Summary

The present Diploma Thesis deals with the valorization of the tailings from hand-sorting of magnesite deposit from Gerorema Evoia area.

Three methods of concentration were examined for this purpose: optical separation (as manual sorting), gravity separation with heavy liquids, and magnetic separation.

From the results of the afore mentioned methods it derives that optical and gravity separation can be successfully applied on the tailings of hand-sorting, as high-grade magnesite concentrates are produced with considerable recovery.

The optical separation yielded the following marketable products

- For the particle fraction +10mm

A high-grade magnesite concentrate with 93.7% magnesite content and recovery of 75.9%,

Marketable product also results by mixing the concentrate with the middling product, having content in magnesite 91.1% and recovery 91.4%.

- For the particle fraction -10mm +4.75mm

A high-grade magnesite concentrate with 97% magnesite and recovery of 68.1%, a middling product containing 85.2% magnesite and recovery of 23.9%. Also, a marketable product results by mixing the concentrate with the middlings, having content 93.6% in magnesite and recovery 92%.

The gravity separation of the particle fraction -2.36mm gave a concentrate containing 95% magnesite with a corresponding recovery 72.2%

The production of marketable concentrate from the tailings of hand-sorting results in the increased valorization of the deposit, the improvement of process economics and the volume reduction of the tailings for disposal.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Λίγα λόγια για το μαγνησίτη [1]

Ο **μαγνησίτης** ($MgCO_3$) είναι το σημαντικότερο από τα ορυκτά του μαγνησίου. Το Mg καταλαμβάνει την 8η θέση κατά σειρά αφθονίας στο στερεό φλοιό της γης και την 3η θέση στο θαλασσινό νερό. Ο μαγνησίτης είναι ανθρακικό άλας του μαγνησίου και μαζί με το δολομίτη $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ και τα ορυκτά των εβαποριτών καρναλλίτη ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$), μπισοφίτη ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) και κιζερίτη ($MgSO_4 \cdot H_2O$), είναι ένα από τα σημαντικότερα **μη πυριτικά** ορυκτά του Mg.

Το χρώμα του μαγνησίτη, όταν δεν περιέχει ξένες προσμίξεις, είναι άσπρο και μοιάζει με τον ασβεστίτη. Γι' αυτό, ενώ το ορυκτό ήταν γνωστό πριν από πολλούς αιώνες, δεν είχε διακριθεί από τον ασβεστίτη μέχρι το 1755, όποτε και αναγνωρίστηκε ως ένα ξεχωριστό ορυκτό.

Στη φύση ο μαγνησίτης απαντά με δύο τύπους, τον **στιφρό μαγνησίτη ή λευκόλιθο** και τον **κρυσταλλικό μαγνησίτη**.

Πίνακας 1: Στοιχεία για τον μαγνησίτη

Χημική σύσταση:	$MgCO_3$ (MgO: 47.8%, CO_2 : 52.2%)
Μοριακό βάρος:	84.3
Ειδικό βάρος:	2.8 – 3.1 g/cm ³
Σκληρότητα:	~4 (3.75-4.25, ανάλογα με την κρυσταλλογραφική διεύθυνση)
Χρώμα:	Λευκό (το καθαρό ορυκτό)

Ο **λευκόλιθος** είναι μικροκρυσταλλικός, με μέγεθος κόκκων 4-10 μm. Συνήθως, εμφανίζεται με μορφή βοτρυοειδών συσσωματωμάτων, είναι συμπαγής και παρουσιάζει κογχώδη θραύση.

Ο **κρυσταλλικός μαγνησίτης** απαντά υπό μορφή ευμεγεθών κρυστάλλων, των οποίων το μέγεθος μπορεί να φτάσει και αρκετά εκατοστά.

Οι δύο τύποι μαγνησίτη, διαφέρουν ως προς την καθαρότητα, τη σκληρότητα και το ειδικό βάρος. Ο κρυσταλλικός μαγνησίτης σπάνια βρίσκεται με τη μορφή διαυγών κρυστάλλων, είναι

βαρύτερος και λιγότερο σκληρός (ε.β.>3.02 g/cm³, Η:3.5-4.0) από το λευκόλιθο, ο οποίος είναι περισσότερο καθαρός, με μικρότερο ειδικό βάρος και μεγαλύτερη σκληρότητα (ε.β:2.8-3.0 g/cm³, Η:3.5-5.0). Το μεγαλύτερο ειδικό βάρος του κρυσταλλικού μαγνησίτη οφείλεται στην παρουσία σιδηρίτη, που μαζί με τα CaCO₃, Al₂O₃ και SiO₂ βρίσκονται στο μαγνησίτη υπό μορφή ξένων προσμίξεων.

Στον Πίνακα 2 φαίνεται ότι εκτός από το MgO και το CO₂, που είναι τα κύρια συστατικά του, ορισμένοι μαγνησίτες περιέχουν και FeO, που κυμαίνεται από 0.02-7.22 %, με τη μορφή FeCO₃ (5-30%). Οι πλούσιες σε FeO ποικιλίες ονομάζονται **μπρουνερίτες** (5-30% FeCO₃) και αποτελούν ενδιάμεσα μέλη μιας ισόμορφης σειράς, η οποία έχει ως ακραία μέλη το **μαγνησίτη** (MgCO₃) και το **σιδηρίτη** (FeCO₃).

Πίνακας 2: Τοπικές χημικές αναλύσεις μαγνησίτη [1]

	1	2	3	4	5	6	7	8
MgO	47.46	46.62	46.37	45.43	45.25	44.11	44.10	41.62
FeO	0.02	0.56	0.12	0.07	2.69	3.84	4.96	7.22
CaO	0.52	0.43	0.81	1.66	0.33	0.43	-	0.00
MnO	-	0.12	-	-	0.02	0.24	0.22	0.90
NiO	tr.	-	0.11	-	-	-	-	-
CO ₂	51.93	51.93	51.55	51.35	51.66	51.15	50.89	50.68
H ₂ O	0.13	-	0.10	0.59	-	0.05	-	-
Total	100.14	99.96	99.51	100.05	99.95	99.82	100.17	100.42

Ο όρος “μαγνησίτης”, κατά λέξη αναφέρεται μόνο στο φυσικό ορυκτό. Στο εμπόριο όμως, με τον όρο “μαγνησίτης” εννοούνται και τα προϊόντα του, η **καυστική** και η **δίπυρη μαγνησία** και μερικές φορές και ο μπρουνερίτης. Στην παρούσα εργασία, από το Κεφάλαιο 2 και μετά, η χρήση του όρου «μαγνησίτης» αναφέρεται στο λευκόλιθο.

Η καυστική μαγνησία (MgO) ή καυστικός φρυγμένος μαγνησίτης (caustic calcined magnesia), είναι το προϊόν που παράγεται, όταν θερμανθεί ο μαγνησίτης στους **620 - 660 °C** [2], οπότε το μεγαλύτερο τμήμα του CO₂ απομακρύνεται, ενώ παραμένει 2-7% CO₂, ανάλογα με τη

θερμοκρασία έψησης. Στην πράξη όμως, η θερμοκρασία έψησης στη ζώνη πύρωσης επιλέγεται να είναι μεγαλύτερη, προκειμένου να έχουμε μεγαλύτερη ταχύτητα διάσπασης του $MgCO_3$ για μεγαλύτερη παραγωγικότητα του κλιβάνου. Συνήθως, η θερμοκρασία είναι μεταξύ 900-1100 °C ανάλογα με τη χρήση του προϊόντος.

Με περαιτέρω θέρμανση, **πάνω από 1450 °C** και για αρκετό χρόνο (συνήθως στους 1800°C ή και περισσότερο), παράγεται η **δίπυρη μαγνησία** (ή πυρίμαχη μαγνησία ή πλήρως καμένος μαγνησίτης), που έχει λιγότερο από 0.5 % CO_2 .

Η καυστική και η δίπυρη μαγνησία διαφέρουν, κύρια, στην πυκνότητα, στη δομή του κρυστάλλου και στο σημείο τήξης.

Η δίπυρη μαγνησία έχει το κρυσταλλικό πλέγμα του ορυκτού **περίκλαστο** (MgO , σ.τ. 2800 °C), το οποίο θεωρείται ότι μαζί με τον **στισοβίτη** (πολύμορφο του χαλαζία), είναι από τα κύρια συστατικά του κατώτερου μανδύα. Το περίκλαστο εμφανίζεται σπάνια στη φύση.

1.2 Χρήσεις μαγνησίτη [1]

Ο μαγνησίτης χρησιμοποιείται, κύρια, στη **βιομηχανία πυρίμαχων υλικών**. Με την προσθήκη πυρίμαχου χρωμίτη ($Cr_2O_3 + Al_2O_3 > 57\%$ και $Cr_2O_3 > 30\%$) παράγονται τα **χρωμιο-μαγνησιούχα πυρίμαχα**, τα οποία βρίσκουν ευρεία χρήση στην επένδυση εσωτερικών επιφανειών φούρνων.

Στη βιομηχανία των πυριμάχων, εκτός από το μαγνησίτη, χρησιμοποιούνται επίσης και τα μαγνησιούχα ορυκτά δολομίτης ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), ολιβίνης (Mg_2SiO_4), σερπεντίνης ($H_4Mg_3Si_2O_9$), τάλκης ($H_2Mg_3Si_4O_{12}$), δεδομένου ότι το MgO είναι άριστο πυρίμαχο υλικό.

Ο μαγνησίτης χρησιμοποιείται, επίσης, στη **βιομηχανία χάλυβα**, στην **τσιμεντοβιομηχανία**, στη **βιομηχανία θειϊκού οξέος και ζάχαρης**, στην κατασκευή **λιπασμάτων**, στη **φαρμακοβιομηχανία**, στην κατασκευή **ελαστικών**, στην **παραγωγή μεταλλικού μαγνησίου** κ.λ.π.

Μετά από ειδική επεξεργασία δίνει βιομηχανικά κράματα, όπως:

- **Ηλεκτρονικά μέταλλα** με 90% Mg και το υπόλοιπο με Al, Zn, Mn και άλλα στοιχεία.
- **Μαγνάλιο** με 10-30% Al και 90-70% Mg.
- **Ντουραλουμίνιο** με 0.5-2% Mg και το υπόλοιπο Al και λίγο Si.

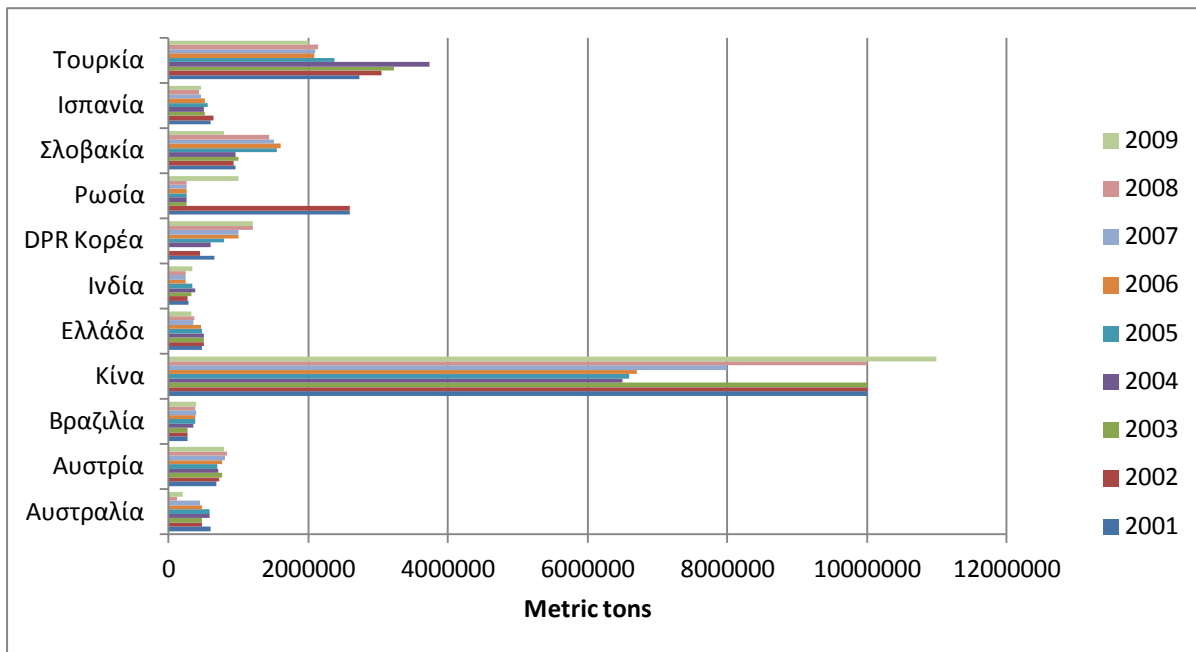
Η καυστική μαγνησία χρησιμοποιείται, κύρια, στη βιομηχανία δομικών υλικών για την κατασκευή Sorel τσιμεντών. Αναμεμιγμένη με $MgCl_2$ δίνει ειδικά υλικά στίλβωσης δαπέδων.

Χρησιμοποιείται, επίσης, στη χημική βιομηχανία, ως χημικός επιταχυντής, στην κατασκευή ελαστικών και χυτεύεται σε σωλήνες και μονωτικά καλύμματα.

Η δίπτυρη μαγνησία θεωρείται υψηλού βαθμού πυρίμαχο. Για την παρασκευή της, εκτός από τον μαγνησίτη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και δολομίτης. Η υψηλού βαθμού καθαρότητας μαγνησία περιέχει **MgO>96%** και έχει **πυκνότητα >3.2 g/cm³**.

Η ποιότητα της Ελληνικής δίπτυρης μαγνησίας προτιμάται στις αγορές, δεδομένου ότι, το παραγόμενο προϊόν έχει χαμηλές περιεκτικότητες σε SiO₂, Fe₂O₃ και CaO, γεγονός που δεν οφείλεται στη μεταλλουργική επεξεργασία, αλλά στην ποιότητα του πρωτογενούς μεταλλεύματος.

Στο Διάγραμμα 1, φαίνεται η παραγωγή μαγνησίτη για 11 από τις μεγαλύτερες παραγωγούς χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας για την περίοδο 2001-2009 [3].



Διάγραμμα 1: Παραγωγή μαγνησίτη για 11 χώρες κατά την περίοδο 2001-2009

1.3 Ο Λευκόλιθος στην Ελλάδα [2]

Όλα τα πρωτογενή κοιτάσματα λευκολίθου της Ελλάδας απαντούν μέσα σε σερπεντινωμένους περιδοτίτες. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βρίσκονται στη Χαλκιδική (Βάβδος, Πολύγωνο, Γερακινή, Σήμαντρα) και στην Εύβοια (Μαντούδι, Προκόπι, Λίμνη, Αφράτι, Βασιλικά) με βέβαια αποθέματα της τάξης των 50 Mt ενώ τα πιθανά ανέρχονται σε 60 Mt και τα δυνατά σε 80 Mt. Μικρότερα κοιτάσματα απαντούν στη Λέσβο (Βασιλικά, Βουβάρι), στις Σέρρες (Νιγρίτα), στην Αταλάντη, στα Γρεβενά και στην Κοζάνη.

Τα συνολικά αποθέματα στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας υπολογίζονται στους 500.000 t. Το μεγαλύτερο κοιτάσμα λευκολίθου της Ελλάδας, βρίσκεται στο χωριό Βάβδος της Χαλκιδικής. Ο λευκόλιθος απαντά εδώ, όπως και στις άλλες περιοχές της Χαλκιδικής, μέσα σε σερπεντινωμένο περιδοτίτη υπό μορφή φλεβών πάχους 0.1m – 1.5m και υπό μορφή διασταυρουμένων φλεβιδίων (stockworks), με πάχος φλεβιδίων 4 - 40 cm. Η εκμετάλλευση είναι επιφανειακή. Η περιεκτικότητα του πετρώματος σε $MgCO_3$ ανέρχεται σε 10% περίπου. Μετά το πρώτο στάδιο του εμπλουτισμού, που γίνεται με χειροδιαλογή ή με φωτοκύτερα, ακολουθεί το κύριο στάδιο του εμπλουτισμού που βασίζεται στο διαφορετικό ειδικό βάρος του καθαρού λευκόλιθου ($2.8-3.1\text{ g/cm}^3$) από το μη αμιγή λευκόλιθο που περιέχει προσμίξεις $CaCO_3$ και SiO_2 και του οποίου το ειδικό βάρος, κυμαίνεται από $2.5-2.7\text{ g/cm}^3$.

1.4 Ο λευκόλιθος που χρησιμοποιήθηκε [2]

Τα δείγματα λευκολίθου, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, προερχόντουσαν από τη θέση Γερόρεμα στο Μαντούδι Ευβοίας.

Στην Εύβοια, ο λευκόλιθος απαντά μέσα σε περιδοτίτες σερπεντινωμένους. Καταλαμβάνει μια ζώνη μήκους 18km, πάχους 200-250 m και απαντά με τη μορφή φακών, φλεβών ή διασταυρουμένων φλεβιδίων (stockwerks).

Η μεγάλη περιδοτιτική – σερπεντινική μάζα, η οποία διασχίζει εγκάρσια την κεντρική Εύβοια από τη Λίμνη μέχρι το Μαντούδι και το Πήλι, κατά τον Depprat, περιορίζεται προς τον βορρά από την φλύσχη του ανώτερου κρητιδικού και από τα ιζήματα του Νεογενούς, προς το νότο δε, από ασβεστόλιθους του Ανώτερου Κρητιδικού.

Ο Petrascheck διαφωνεί με την άποψη του Deprat και υποστηρίζει ότι η σερπεντινική αυτή μάζα, προς βορρά μεν είναι επωθημένη σε πετρώματα της σειράς σχιστολίθων - κερατολίθων, προς νότο δε, οι σχιστόλιθοι έχουν επικαθίσει σε περιδοτίτες – σερπεντίνες και σε αυτούς ασβεστόλιθοι μεγάλου πάχους με απολιθώματα Cladocoropsis (Ιουρασικού) .

Σε ότι αφορά την ηλικία της περιδοτιτικής μάζας, ο Petrascheck υποστηρίζει ότι αυτή είναι προ-ανωτριάδικη, όχι όμως παλαιότερη του Ανωπαλαιozoϊκού, δεδομένου ότι οι περιδοτίτες εμφανίζονται να διασχίζουν σχιστόλιθους, πιθανότατα περμικούς.

Οποσδήποτε, οι υπερκείμενοι ανωτριάδικοί ασβεστόλιθοι ουδεμία μεταμόρφωση ή ανακρυστάλλωση παρουσιάζουν.

Η έκταση που καλύπτεται από τον περιδοτίτη – σερπεντίνη στη ζώνη αυτή της κεντρικής Εύβοιας είναι περίπου 120 τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Κατά τον Petrascheck, το πάχος του υπερβασικού λακκόλιθου, στο κέντρο της περιδοτιτικής μάζας, κυμαίνεται μεταξύ 300 και 400 μέτρων.

Γεωλογία και πετρογραφία της περιοχής.

Γεωτεκτονικά η περιοχή ανήκει στη ζώνη της ανατολικής Ελλάδας. Στην ευρύτερη περιοχή από το όρος Καντήλι μέχρι το Τρούπι – Μαντούδι απαντούν, εκ των κάτω προς τα άνω, οι εξής γεωλογικοί σχηματισμοί:

- ✧ **Σχιστόλιθοι παλαιοζωϊκοί ημιμεταμορφωμένοι**
- ✧ **Ασβεστόλιθοι κατωτέρου – μέσου Ιουρασικού**
- ✧ **Ασβεστόλιθοι ανωτέρου Ιουρασικού**
- ✧ **Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφειόλιθους**

Η διάπλαση των σχιστοκερατολίθων αποτελείται από ερυθρούς ή κεραμόχρους κερατόλιθους, αργλικούς σχιστόλιθους, με ενστρώσεις ασβεστολιθικές και κοίτες από οφιολίθους (κυρίως σερπεντίνες και διαβάσεις). Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση υπέρκειται σε συμφωνία στρώσεως των ιουρασικών ασβεστολίθων. Η έναρξη της απόθεσης της σειράς αυτής, τοποθετείται στο Ανώτερο Ιουρασικό (Κιμμερίδιο). Στη σειρά αυτή των σχιστοκερατολίθων επίκεινται οφιοίλιθοι λόγω επώθησης.

Ακολουθούν τα παλαιοτεταρτογενή ιζήματα «χερσαίας φάσης», από πηλούς και κροκαλοπαγή, τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος του κεντρικού τμήματος της Εύβοιας.

Το μεγαλύτερο τμήμα της περιδοιτικής – σερπεντινικής μάζας αποτελείται από πυροξενικό περιδοίτη. Το πέτρωμα αυτό στο μικροσκόπιο εμφανίζεται αποτελούμενο κυρίως από ολιβίνη και βρονζίτη, ενώ σε μικρή αναλογία απαντώνται πυρόξενιοι και των δύο ομάδων, δηλαδή ορθοπυρόξενιοι και κλινοπυρόξενιοι.

Σερπεντίνη και οξείδια συναντώνται σε μικρότερη αναλογία μέσα στο πέτρωμα που προέρχεται από εξαλλοίωση αυτού.

Επίσης, συναντώνται λίγοι ιδιόμορφοι κρύσταλλοι σπινελίου. Ο άλλος ουσιώδης σχηματισμός της υπερβασικής μάζας, ο σερπεντίνης, συναντάται, κυρίως στην άμεση γειτνίαση με τα κοιτάσματα μαγνησίτη.

Από ορυκτολογικής πλευράς, αποτελείται κυρίως από σερπεντίνη, μέσα δε σε αυτόν συναντώνται και υπόλοιπα του ολιβίνη και του πυρόξενου, που εξαλλοιώθηκαν, ως και οξείδια σιδήρου, που σχηματίστηκαν κατά την εξαλλοίωση (σερπεντινίωση) του περιδοίτη.

Σε ορισμένες θέσεις, στα ανώτερα τμήματα της μάζας, παρουσιάζεται έντονη και χαρακτηριστική οπαλιτίωση. Ο οπάλιος αναπτύσσεται υπό μορφή πλέγματος από λεπτά φλεβίδια.

Συχνά δε, κάτω ακριβώς του ορίζοντα της οπαλιτίωσης αναπτύσσονται οι πλείστες εμφανίσεις του μαγνησίτη.

Δεν είναι δυνατόν να αποκλειστεί η ύπαρξη γενετικής σχέσης του οπαλιτωμένου αυτού ορίζοντα και των υποκειμένων εμφανίσεων μαγνησίτη.

Συμπεράσματα από τη γεωλογία και μεταλλογένεση του μαγνησίτη

Μετά το σχηματισμό του ιουρασικού οφιολιθικού συμπλέγματος, η περιοχή υπέστη την επίδραση των Πυρηναίων πτυχώσεων κατά το Ηώκαινο, κατά τη διάρκεια των οποίων σχηματίστηκαν γραμμές ρηγμάτων. Οι γραμμές αυτές υπήρξαν ευνοϊκές για την κυκλοφορία υδάτων, που περιείχαν ανθρακικό οξύ και που προερχόντουσαν από το βάθος.

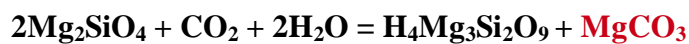
Την από το βάθος προέλευση των οξυανθρακούχων αυτών εκπομπών στηρίζουν οι εξής παρατηρήσεις:

A) Το βάθος των κοιτασμάτων μαγνησίτη στον Κάκαβο, που είναι πάνω από 130 μέτρα.

B) Στα βαθύτερα σημεία ο πλευρικός σερπεντίνης των κοιτασμάτων δεν παρουσιάζει ίχνη αλλοίωσης και παραμένει άθικτος.

Οι δύο αυτές παρατηρήσεις είναι ικανές να πείσουν ότι δεν είναι δυνατόν το κοίτασμα να προέκυψε από επιφανειακά ύδατα δια αποσθρώσεων. Επομένως, τα προερχόμενα από το βάθος οξυανθρακούχα ύδατα κυκλοφόρησαν δια μέσου των γραμμών των ρηγμάτων και επέδρασαν στην αρχή επί της βασικής μάζας του περιδοτίτη, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό σερπεντίνη και μαγνησίτη από την αλλοίωση των συστατικών του περιδοτίτη, ολιβίνη και βρονζίτη.

Η αντίδραση της επίδρασης αυτής είναι η εξής:



Ο σχηματισμός των κοιτασμάτων μαγνησίτη στην υπό μελέτη περιοχή, δεν πρέπει να οφείλεται μόνο σε αυτή την επίδραση, διότι ο μαγνησίτης βρίσκεται σαφώς μέσα στον σερπεντίνη και όχι διασκορπισμένος μέσα σε αυτόν, όπως θα αναμενόταν, εάν είχε σχηματισθεί το κοίτασμα μόνο κατά την ανωτέρω επίδραση.

Το γεγονός αυτό καθώς και οι παρακάτω δύο παρατηρήσεις:

- ♣ Εμφάνιση του σερπεντίνη μέσα στον καθαρό μαγνησίτη υπό μορφή πυρήνων.
- ♣ Τον σερπεντίνη διαπερνούν λεπτά φλεβίδια, των οποίων το πάχος συνεχώς μειώνεται οδηγούν στην παραδοχή ότι στην συνέχεια, μετά την παραπάνω αντίδραση, έλαβε χώρα η επίδραση του CO_2 των διαλυμάτων επί του σερπεντίνη που σχηματίστηκε, με αποτέλεσμα το σχηματισμό MgCO_3 και SiO_2 (διοξειδίου του πυριτίου) κατά την αντίδραση:



Έτσι, έγινε σχεδόν ολική αντικατάσταση του σερπεντίνη, απέμειναν δε μόνο πυρήνες αυτού μέσα στο λευκό μαγνησίτη.

Ο σχηματισμός των φλεβιδίων έγινε με την πλήρωση των ρωγμών, που προϋπήρχαν μέσα στον περιδοτίτη και στα όρια κυρίως των ρηγμάτων. Η συνεχής μείωση του πάχους και τελικά η σβέση αυτών, οφείλεται στην συνεχώς εξασθενούμενη οξυανθρακούχο δράση, της οποίας το κέντρο δράσης βρίσκεται μέσα στα ρήγματα.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι μετά το σχηματισμό των κοιτασμάτων μαγνησίτη καμία ρηγματώση της περιοχής δεν έγινε, διότι, εάν συνέβαινε κάτι τέτοιο, θα έπρεπε να παρατηρηθούν ρήγματα και μέσα στα φλεβοειδή κοιτάσματα μαγνησίτη.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- ▲ Τα περιβάλλοντα πετρώματα μέσα στα οποία θα οργανωθεί η εκμετάλλευση είναι:
 - Τριτογενή ιζήματα
 - Αποσαθρωμένος σερπεντίνης
 - Σερπεντίνης
 - Δουνίτης – Περιδοτίτης
- ▲ Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται μέσα σε ρήγματα και ρωγματωμένες ζώνες και είναι δύο τύπων:
 - Συμπαγείς φλέβες
 - Διασταυρούμενες (Συμπεπλεγμένες) φλέβες

Έτσι φαίνεται, ότι ως προς την εκμετάλλευση και τον εμπλουτισμό, εκτός από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στο διαχωρισμό της συμπαγούς μεταλλοφορίας, από τη μεταλλοφορία των διακλαδούμενων φλεβών, καθώς επίσης στο είδος του στείρου υλικού που συνοδεύει τον μαγνησίτη στον εμπλουτισμό.

Έτσι, κατά το σχεδιασμό της εκμετάλλευσης θα πρέπει να ληφθεί πρόνοια, ώστε, αν είναι δυνατόν, να περιχαραχθούν και να υποστούν εκμετάλλευση τμήματα κοιτάσματος, τα οποία να είναι ενός τύπου μεταλλοφορίας και ενός είδους στείρου.

2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1 Εισαγωγή

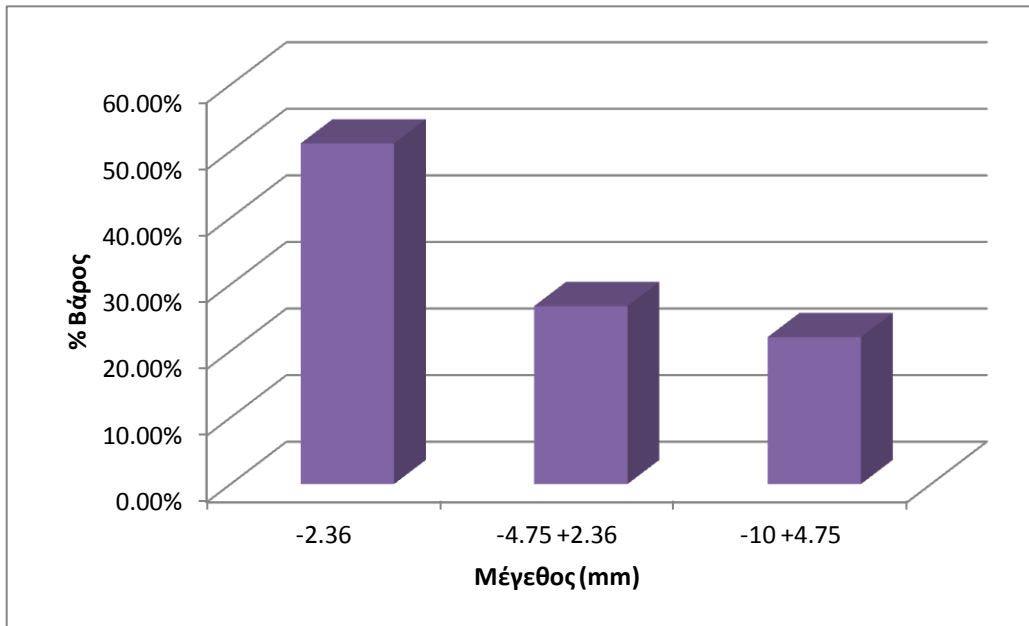
Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται οι προκαταρκτικές αναλύσεις και τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Τα πειράματα αυτά περιλαμβάνουν τις δοκιμές οπτικού διαχωρισμού (χειροδιαλογή), βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βαριά υγρά και μαγνητικού διαχωρισμού. Οι προκαταρκτικές αναλύσεις περιλαμβάνουν την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού, τη μελέτη βαθμού αποδέσμευσης, καθώς και τις ορυκτολογικές αναλύσεις με χρήση διαγραμμάτων TG, DTA και XRD.

2.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Τα κοκκομετρικά κλάσματα, τα οποία επελέγησαν ήταν τα εξής:

- +10mm
- -10mm + 4.75mm
- -4.75mm +2.36mm
- -2.36mm

Από το εργοστάσιο εστάλησαν δύο τσουβάλια με δείγματα. Το ένα περιείχε το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm και το δεύτερο το -10mm. Στο δείγμα +10mm δεν έγινε κοκκομετρική ανάλυση. Για το δείγμα -10mm τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στο Διάγραμμα 2 και δίνονται στον Πίνακα 3.



Διάγραμμα 2: Κοκκομετρική ανάλυση του αρχικού δείγματος -10mm.

Πίνακας 3: Κοκκομετρική ανάλυση του αρχικού δείγματος -10mm

Μέγεθος (mm)	% Βάρος
-10 +4.75	22.0
-4.75 +2.36	27.0
-2.36	51.0
Σύνολο	100.0

Η σημασία του βαθμού αποδέσμευσης [4]

Ο βαθμός αποδέσμευσης έχει διττή οικονομική σημασία. Εκφράζεται με το κόστος κατάτμησης και την απώλεια σε χρήσιμα συστατικά. Γι' αυτό και ο ακριβής προσδιορισμός του στην πράξη, για την επίτευξη συγκεκριμένου αποτελέσματος, έχει μεγάλη επίπτωση στους οικονομικούς υπολογισμούς για την αξιοποίηση ενός κοιτάσματος.

Μια υπερκατάτμηση πιθανόν να εξασφαλίσει την αποδέσμευση του χρήσιμου συστατικού, αλλά ταυτόχρονα θα αυξήσει σημαντικά το κόστος λειοτρίβησης, αλλά και την απώλεια σε χρήσιμο συστατικό στα πολύ λεπτομερή τεμαχίδια, τα οποία συνήθως πολύ δύσκολα εμπλουτίζονται και χάνονται.

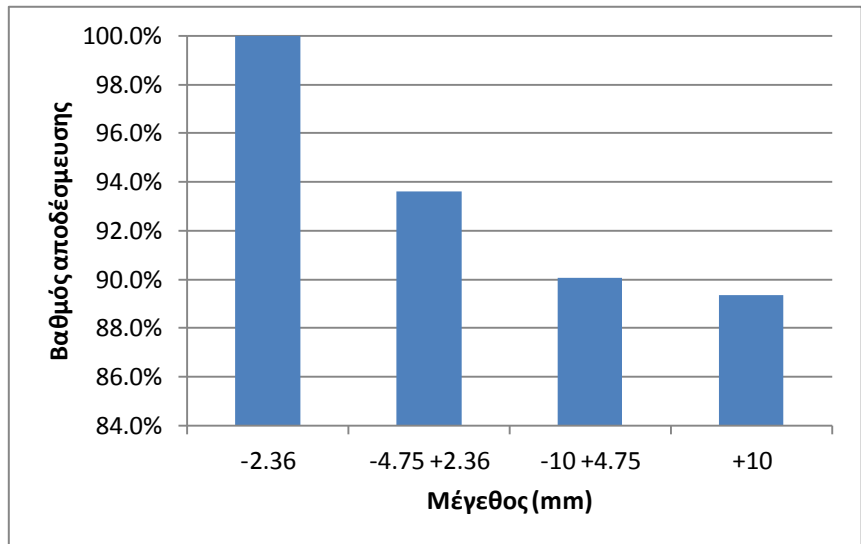
Από την άλλη μια υποκατάτμηση θα περιορίσει το κόστος λειοτρίβησης και τις απώλειες στα πολύ ψιλά τεμαχίδια, αλλά ταυτόχρονα, αν απαιτείται αυξημένη περιεκτικότητα στο συμπίκνωμα, το απόρριμμα θα περιέχει δεσμευμένα τεμάχια, με αποτέλεσμα την αυξημένη απώλεια σε χρήσιμο συστατικό από άλλη αιτία. Εάν καταβληθεί προσπάθεια να περιοριστεί η απώλεια στο απόρριμμα, τότε τα δεσμευμένα τεμάχια (ενδιάμεσα τεμάχια) θα οδηγηθούν στο συμπίκνωμα με αντίστοιχο αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητάς του.

Η βελτιστοποίηση του βαθμού αποδέσμευσης μπορεί να επιτευχθεί ανεξάρτητα από την εφαρμογή διάφορων μεθόδων υπολογισμού, με την παράλληλη εκτέλεση σημαντικού αριθμού δοκιμών εμπλουτισμού στα αντίστοιχα κοκκομετρικά κλάσματα.

Με την συγκριτική μελέτη της δαπάνης για περαιτέρω λειοτρίβηση και του αποτελέσματος που προέκυψε από τον εμπλουτισμό σε σχέση με την ανάκτηση, προσδιορίζεται ο οικονομικός βαθμός αποδέσμευσης, ο οποίος αποτελεί ένα από τα κριτήρια για τη βιομηχανική εφαρμογή.

2.3 Μελέτη βαθμού αποδέσμευσης

Τα αποτελέσματα από τη μελέτη του βαθμού αποδέσμευσης φαίνονται στο Διάγραμμα 3 και δίνονται στον Πίνακα 4.



Διάγραμμα 3: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μελέτης του βαθμού αποδέσμευσης

Πίνακας 4: Αποτελέσματα μελέτης βαθμού αποδέσμευσης

Μελέτη Βαθμού Αποδέσμευσης				
	Κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm	Κοκκομετρικό κλάσμα -4.75mm +2.36mm	Κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm	Κοκκομετρικό κλάσμα +10mm
Πλήρως Αποδεσμευμένα	38	133	183	203
Λευκά μη αποδεσμευμένα	0	9.1	20.2	24.2
Σύνολο λευκών	38	142.1	203.2	227.2
Βαθμός Αποδέσμευσης	100%	93.6%	90.1%	89.3%

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη του βαθμού αποδέσμευσης για τα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα συνοψίζονται στα εξής:

1. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι τα αποτελέσματα του βαθμού αποδέσμευσης ήταν πάρα πολύ ικανοποιητικά για τις συγκεκριμένες κοκκομετρίες.
2. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 3, όσο αυξάνει το μέγεθος των τεμαχιδίων, τόσο μειώνεται ο βαθμός αποδέσμευσης. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο. Ωστόσο η μείωση αυτή δεν ελαττώνει το βαθμό αποδέσμευσης κάτω από 89.3%, βαθμός ο οποίος κρίθηκε ικανοποιητικός

Οπτική – ηλεκτρομηχανική διαλογή [4]

Η οπτική ηλεκτρομηχανική διαλογή αποτελεί μια ενδιαφέρουσα εξέλιξη στις μεθόδους εμπλουτισμού σε αντικατάσταση της χειροδιαλογής.

Το μέταλλευμα μετά από σχετική έκπλυση με κατάλληλο μηχανισμό διανέμεται στην επιφάνεια τροφοδοσίας με κανονική σειρά από ένα ένα τεμάχιο. Κατά την τροχιά της πτώσης του από την ταινία, παρατηρείται από σύστημα φακών, φίλτρων και φωτοκύτταρων. Το χρώμα για το οποίο έχει ρυθμιστεί η μηχανή να διεγείρεται, μετατρέπεται σε εκτόξευση ισχυρού ρεύματος πιεσμένου αέρα μέσα από ταχύρυθμα ακροφύσια.

Κατά τη στιγμή της διέλευσης μπροστά από τα ακροφύσια, εάν το σήμα είναι θετικό, τίθεται σε λειτουργία το ακροφύσιο και με την απότομη εκτόξευση του ρεύματος του αέρα, εκτρέπεται από την κανονική του τροχιά και διαχωρίζεται από τα άλλα. Εάν το σήμα είναι αρνητικό το τεμάχιο συνεχίζει την κανονική του τροχιά.

Μια κατηγορία ποιο εξελιγμένων μηχανημάτων για οπτική διαλογή είναι οι φωτομετρικοί διαλογείς, η λειτουργία των οποίων βασίζεται σε ακτίνες laser. Τα τεμάχια σε αυτήν την περίπτωση σαρώνονται από ακτίνα laser, από ένα σύστημα περιστρεφόμενου κατόπτρου φωτοπολλαπλασιαστή. Η ευαισθησία των laser εξασφαλίζει απόδοση μέχρι και 97%.

2.4 Οπτικός διαχωρισμός

Τα κοκκομετρικά κλάσματα που χρησιμοποιήθηκαν στον οπτικό διαχωρισμό (χειροδιαλογή) ήταν τα $-10\text{mm} +4.75\text{mm}$ και $+10\text{mm}$.

Παρά το γεγονός ότι η χειροδιαλογή στην πράξη δεν χρησιμοποιείται για τόσο λεπτομερή κλάσματα, στην προκειμένη περίπτωση εφαρμόστηκε, γιατί δεν υπήρχε το αντίστοιχο μηχάνημα οπτικού διαχωρισμού.

Διαδικασία: Πρώτα πλύθηκαν τα δείγματα με νερό και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στην τράπεζα της χειροδιαλογής, με τυχαίο τρόπο αλλά έτσι ώστε να μην καλύπτει το ένα το άλλο, όπως φαίνεται στη Φωτογραφία 1. Προκειμένου να προσομοιωθεί η διαδικασία της χειροδιαλογής με φωτομετρική διαλογή, η διαλογή των τεμαχιδίων γινόταν πάντα από σταθερό σημείο όπως θα συνέβαινε με το φωτοκύτταρο. Η διαδικασία αυτή έδωσε τρία προϊόντα: απόρριμμα, ενδιάμεσο και συμπύκνωμα μαγνησίτη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται στους Πίνακες 5 και 6 και φαίνονται στο Διάγραμμα 4.



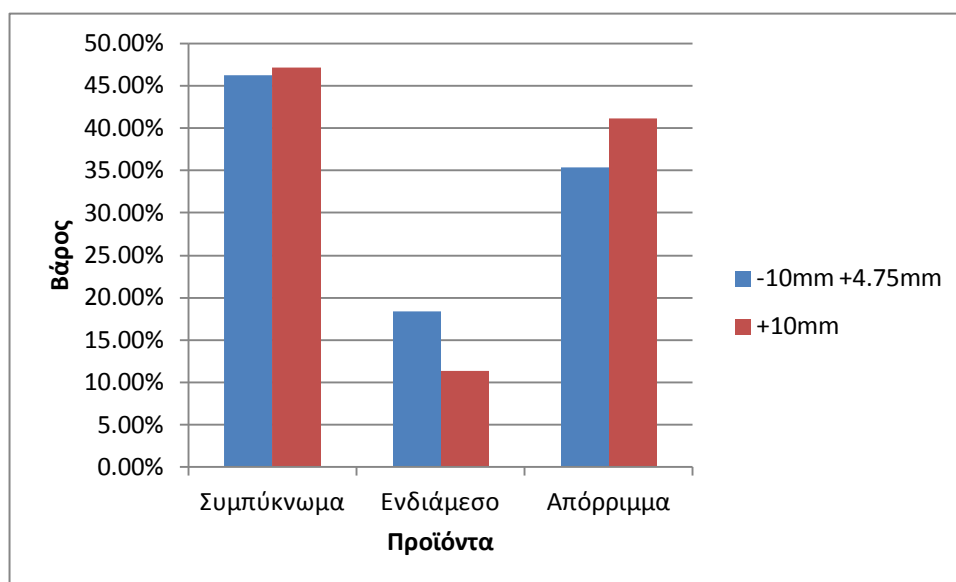
Φωτογραφία 1: Υλικό προς χειροδιαλογή

Πίνακας 5: Βάρος των προϊόντων της χειροδιαλογής του κοκκομετρικού κλάσματος -10mm+4.75mm

Προϊόντα	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	46.2
Ενδιάμεσο	18.4
Απόρριμμα	35.4
Σύνολο	100.0

Πίνακας 6: Βάρος των προϊόντων της χειροδιαλογής του κοκκομετρικού κλάσματος +10mm

Προϊόντα	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	47.2
Ενδιάμεσο	11.3
Απόρριμμα	41.5
Σύνολο	100.0

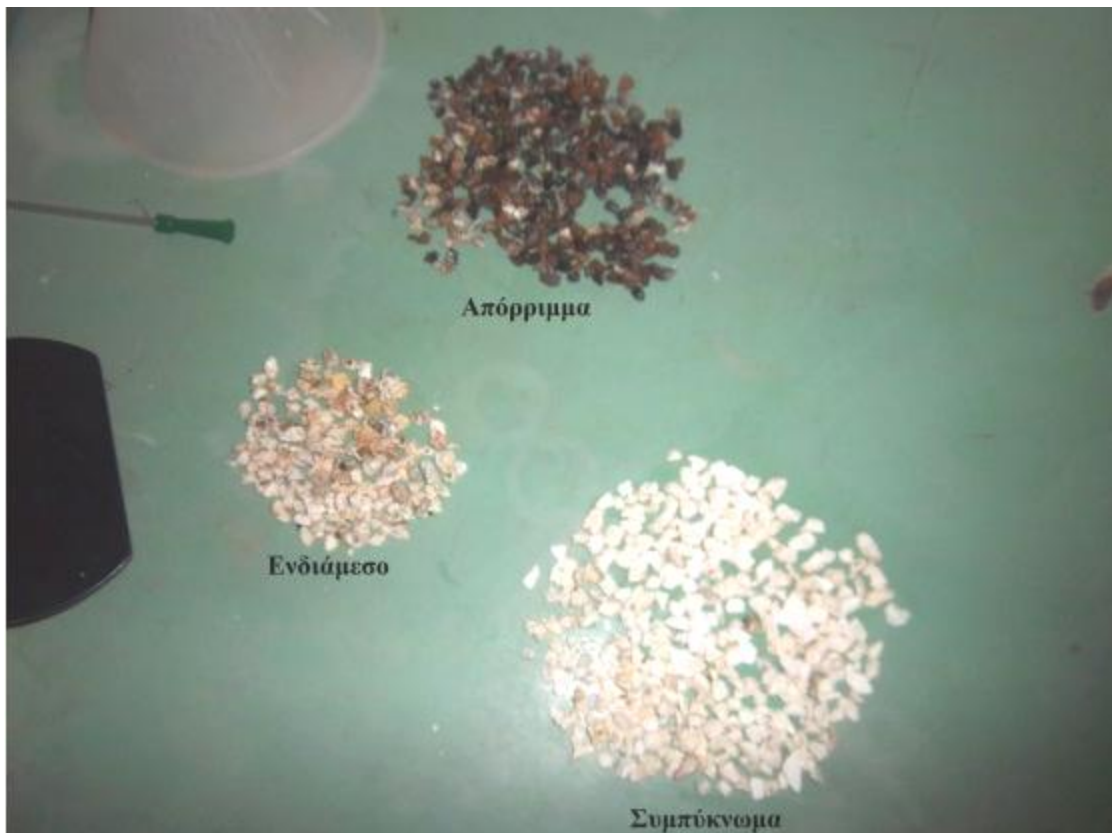


Διάγραμμα 4: Προϊόντα διαχωρισμού κοκκομετρικών κλασμάτων +10mm και -10mm +4.75mm

Παρατηρείται ότι σχεδόν το μισό υλικό και στα δύο κοκκομετρικά κλάσματα αποτελείται από μαγνησίτη (συμπύκνωμα).

Από το Διάγραμμα 4 παρατηρείται ότι παρ' όλο που το % βάρος του χρήσιμου συστατικού και στα δύο κοκκομετρικά κλάσματα είναι περίπου το ίδιο, ωστόσο υπάρχει διαφορά στο απόρριμμα και στο ενδιάμεσο της τάξεως του 6%-7%. Μάλιστα, το ενδιάμεσο προϊόν για το +10mm είναι περίπου 7% λιγότερο από το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm. Μια αύξηση η οποία εμφανίζεται σχεδόν εξολοκλήρου στο απόρριμμα του κλάσματος +10mm. Το κλάσμα +10mm έχει περίπου 6% περισσότερο απόρριμμα από το -10mm+4.75mm. Δεδομένου ότι ο βαθμός αποδέσμευσης είναι μεγαλύτερος, στο μικρότερο κοκκομετρικό κλάσμα, αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε δύο παράγοντες. Ο πρώτος είναι η ανθρώπινη υποκειμενικότητα, η οποία δεν μπορεί να εξαλειφθεί 100%. Έτσι, τεμάχια, τα οποία για το ένα κοκκομετρικό κλάσμα, με βάση το χρώμα τους θα καταλήγανε στα ενδιάμεσα προϊόντα, τα αντίστοιχα στο άλλο κλάσμα πιθανώς περνούσαν στο απόρριμμα. Ένας άλλος παράγοντας θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι επειδή το +10mm είναι πιο ευδιάκριτο στο μάτι, ήταν πιο εύκολος ο διαχωρισμός των τεμαχιδίων της τροφοδοσίας στο συμπύκνωμα ή στο απόρριμμα και έτσι έμεναν λιγότερα «αμφιλεγόμενα» τεμάχια.

Καθ' όλη τη διαδικασία του οπτικού διαχωρισμού υπήρξε προσπάθεια το συμπύκνωμα να είναι όσο το δυνατόν υψηλότερης περιεκτικότητας. Στη Φωτογραφία 2 φαίνονται κάποια από τα τεμάχια, τα οποία έχουν κατηγοριοποιηθεί στο συμπύκνωμα, στο ενδιάμεσο και στο απόρριμμα για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm.

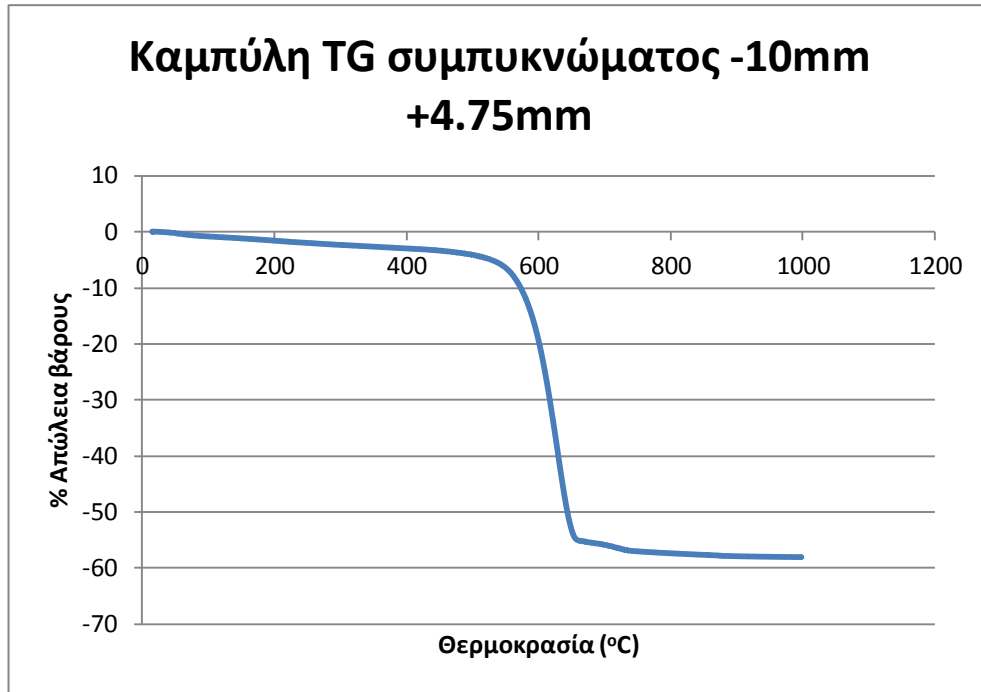


Φωτογραφία 2: Συμπύκνωμα, απόρριμμα και ενδιάμεσο προϊόν οπτικού διαχωρισμού με χειροδιαλογή

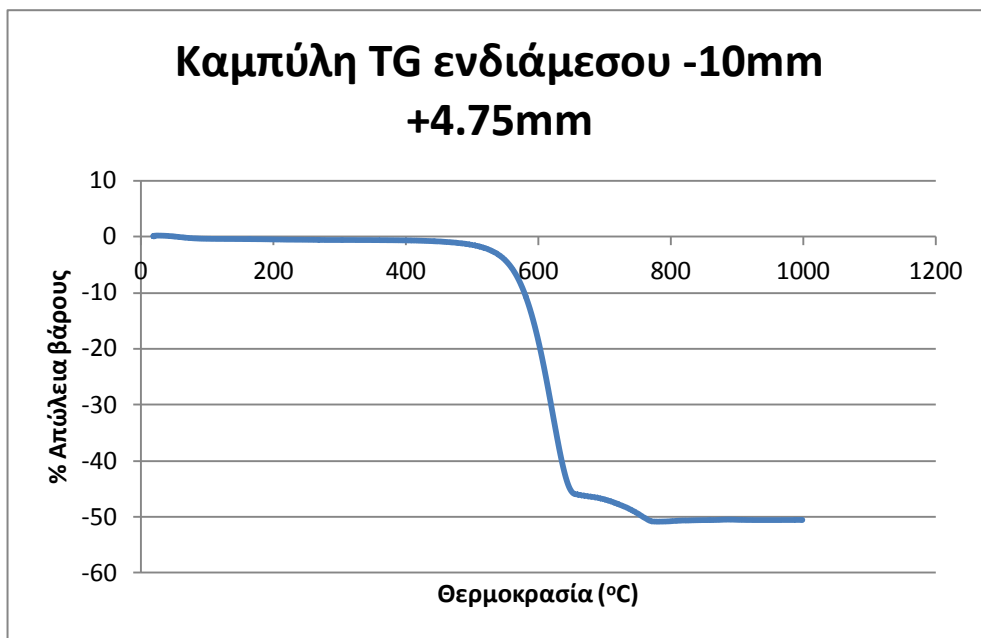
Στη συνέχεια, αντιπροσωπευτικό δείγμα από κάθε προϊόν εστάλη για θερμοσταθμική (TG) ανάλυση. Τα διαγράμματα TG, παρουσιάζονται και αναλύονται παρακάτω.

2.4.1 Διαγράμματα TG και συμπεράσματα για τον οπτικό διαχωρισμό

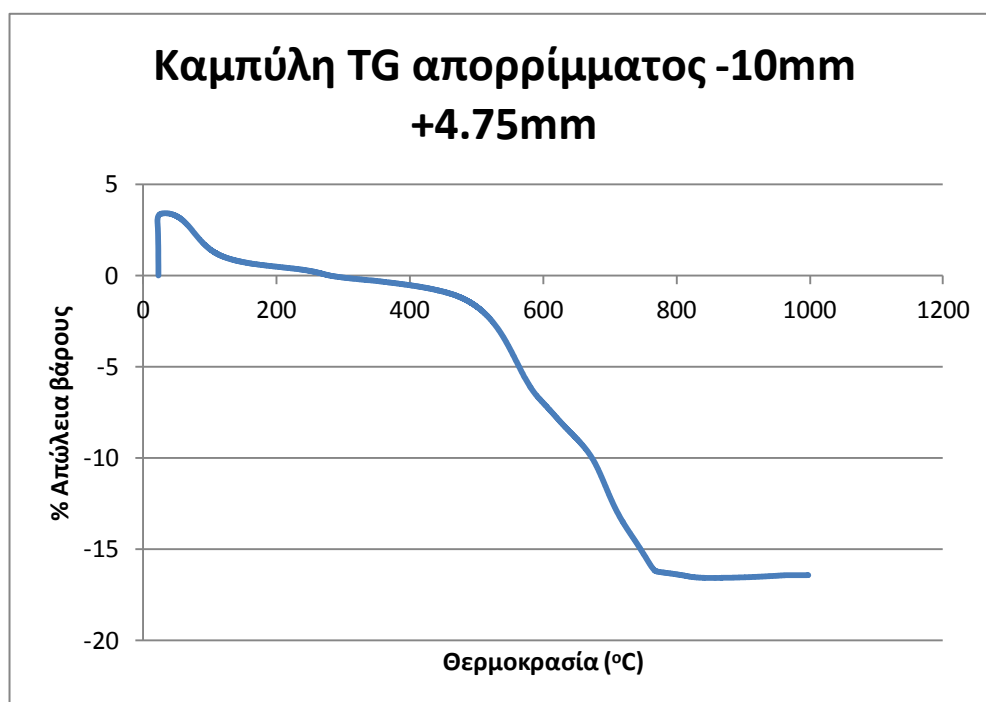
Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας σε μαγνησίτη στο συμπύκνωμα, ενδιάμεσο, αλλά και στο απόρριμμα, χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα TG, τα οποία φαίνονται παρακάτω.



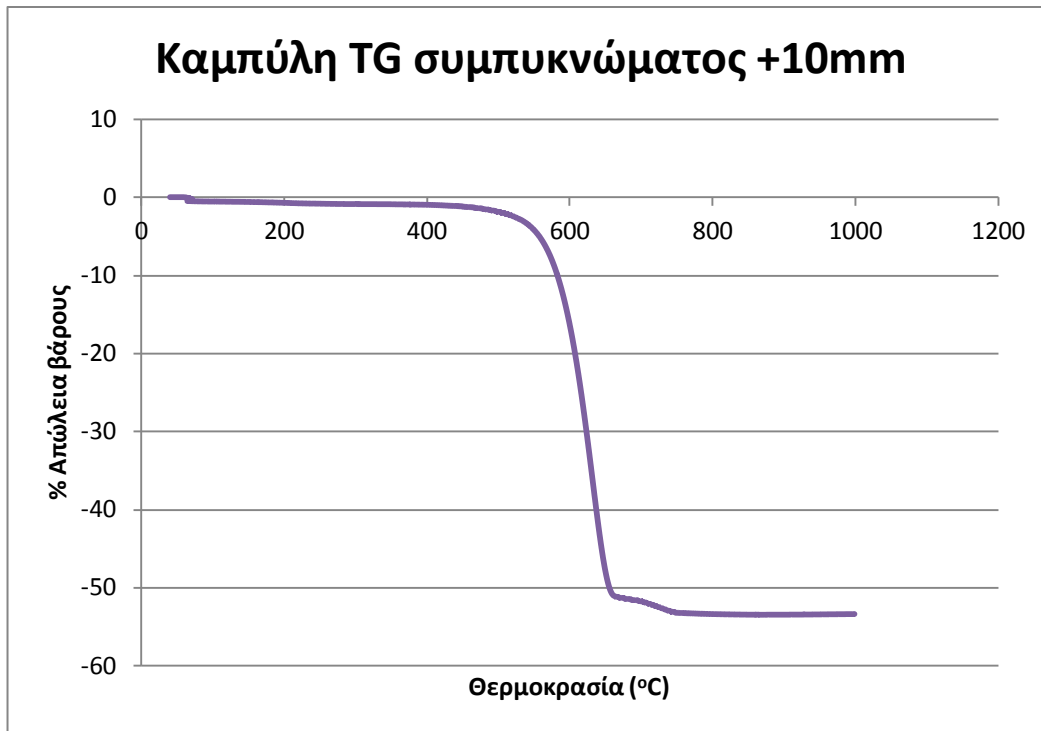
Διάγραμμα 5: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm



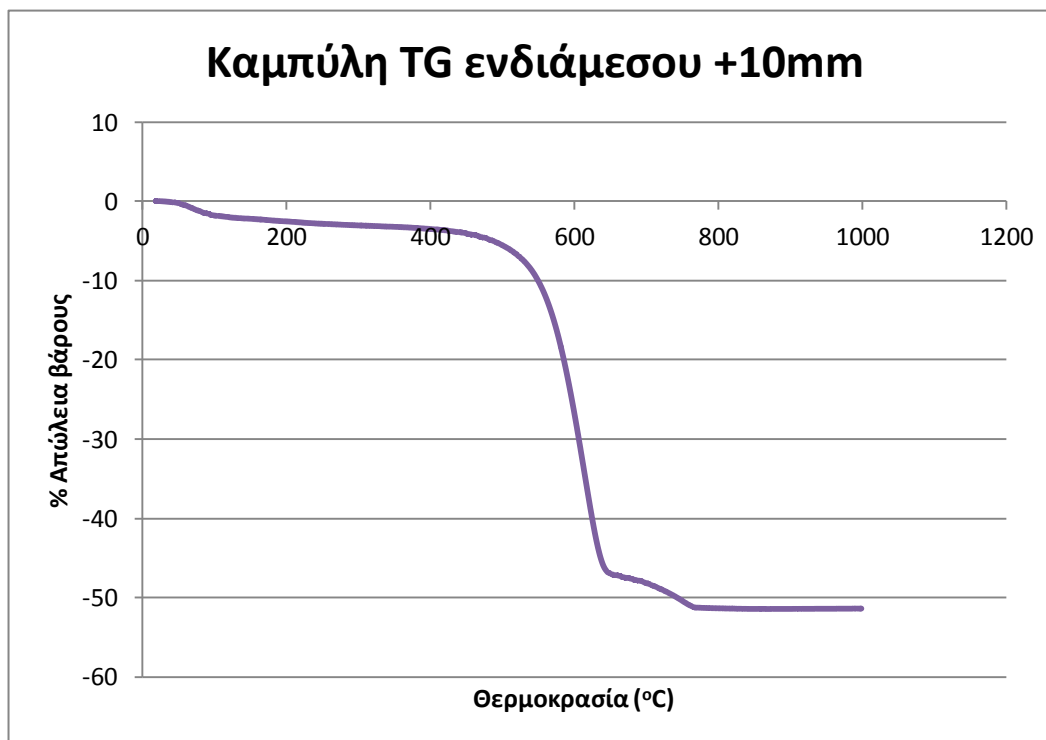
Διάγραμμα 6: Καμπύλη TG ενδιάμεσου προϊόντος για το κλάσμα -10mm +4.75mm



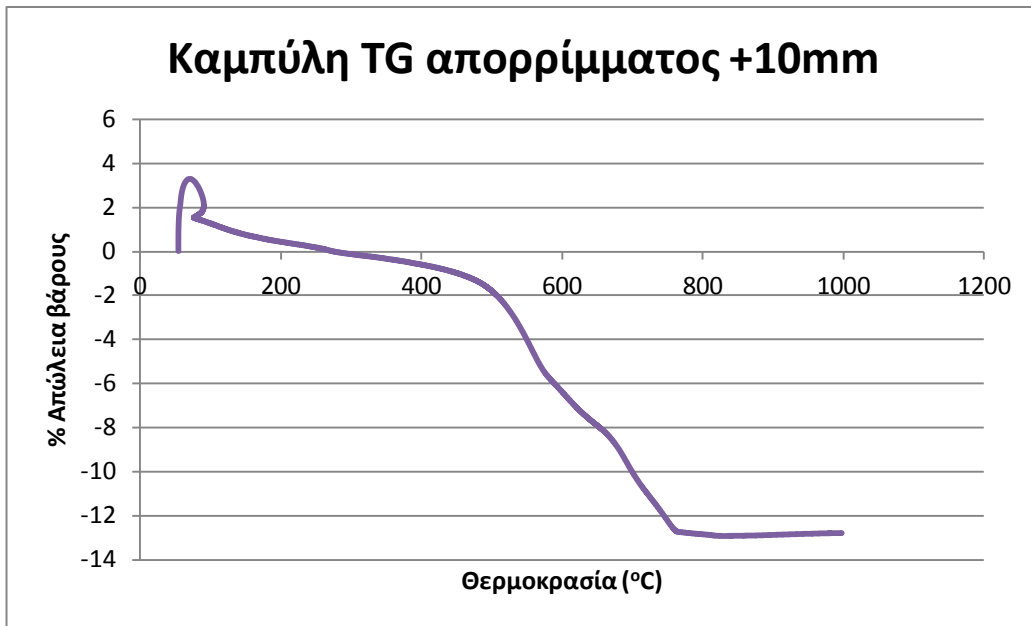
Διάγραμμα 7: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm



Διάγραμμα 8: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα +10mm

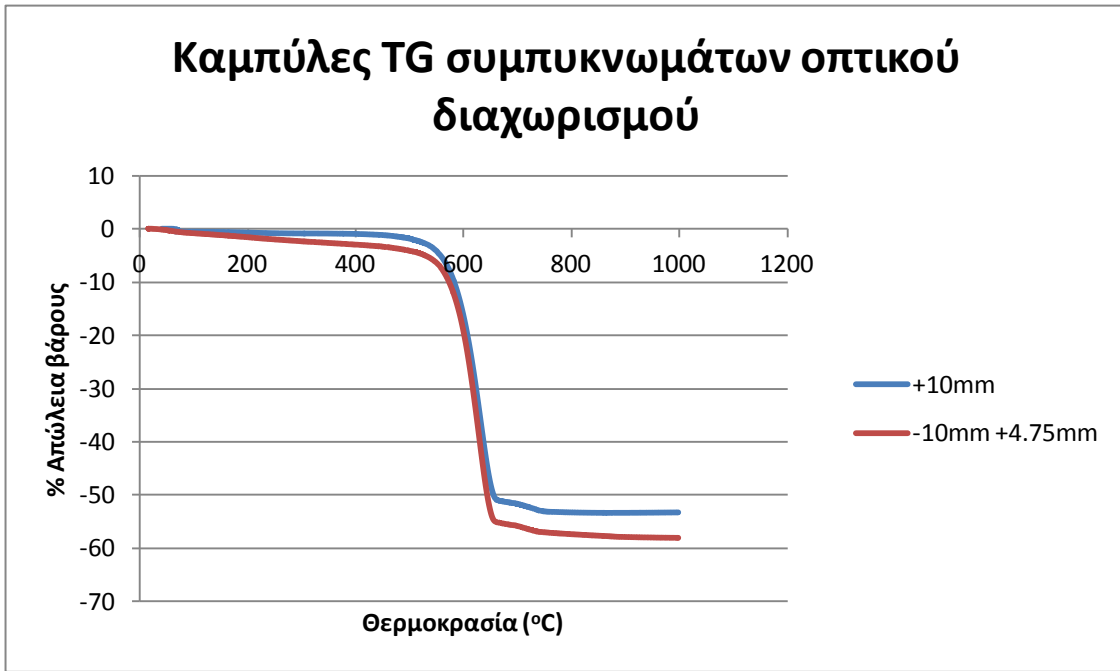


Διάγραμμα 9: Καμπύλη TG ενδιάμεσου προϊόντος για το κλάσμα +10mm

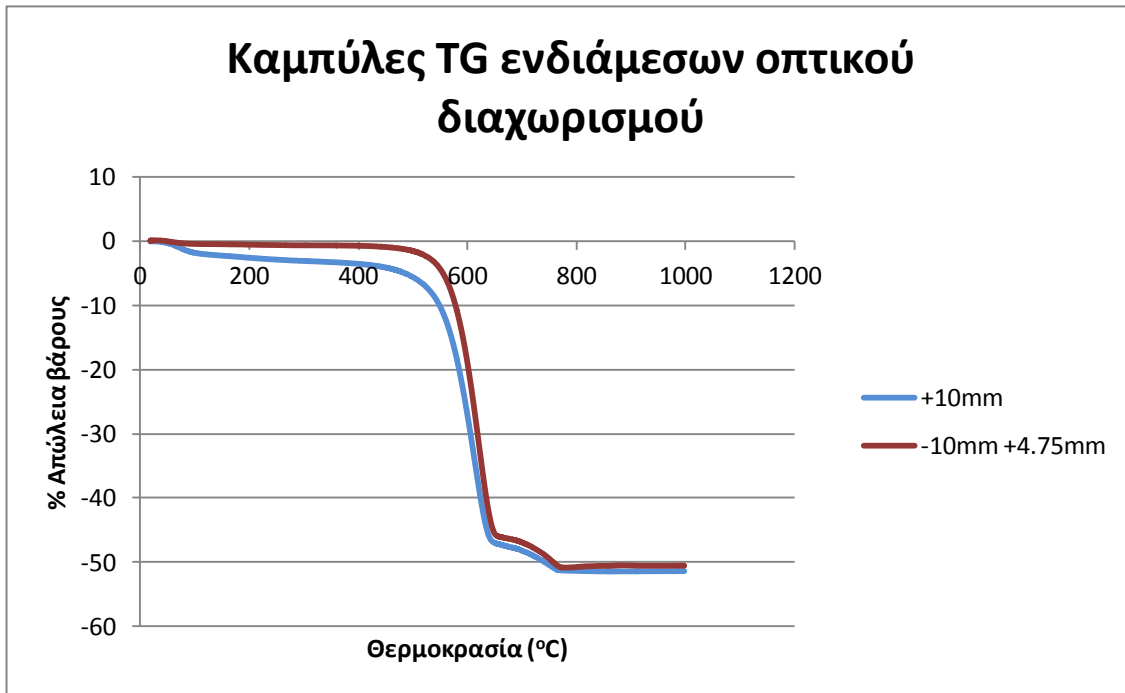


Διάγραμμα 10: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα +10mm

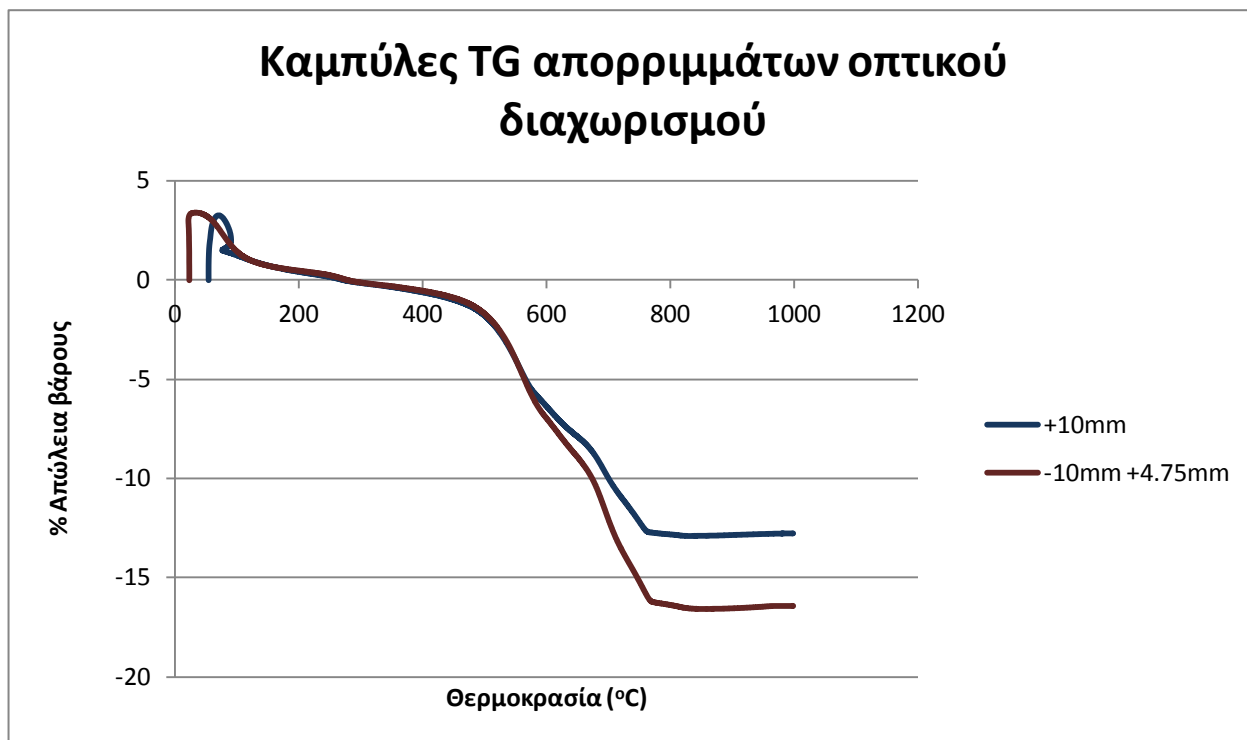
Ακολουθούν διαγράμματα σύγκρισης των καμπυλών TG των δύο κοκκομετρικών κλασμάτων.



Διάγραμμα 11: Καμπύλες TG συμπυκνωμάτων οπτικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 12: Καμπύλες TG ενδιάμεσων προϊόντων οπτικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 13: Καμπύλες TG απορριμμάτων οπτικού διαχωρισμού

Από τη γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων TG προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

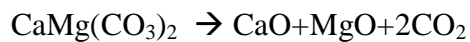
- Από το Διάγραμμα 11, το οποίο συγκρίνει τα αποτελέσματα των συμπυκνωμάτων των δύο κοκκομετρικών κλάσματος, αναμένεται μεγαλύτερη περιεκτικότητα στο μικρότερο κοκκομετρικό κλάσμα, δεδομένου ότι η αντίστοιχη καμπύλη βρίσκεται χαμηλότερα από αυτή του κλάσματος +10mm. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερες απώλειες σε CO₂ στην περιοχή διάσπασης του μαγνησίτη και άρα μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αυτόν. Αυτό είναι κάτι το αναμενόμενο λόγω του ότι το μικρότερο κλάσμα είχε μεγαλύτερο βαθμό αποδέσμευσης.
- Από το Διάγραμμα 12, φαίνεται ότι τα ενδιάμεσα προϊόντα αναμένεται να έχουν σχεδόν την ίδια περιεκτικότητα σε μαγνησίτη.
- Από το Διάγραμμα 13 αντίστοιχα, αναμένεται μεγαλύτερη περιεκτικότητα μαγνησίτη στο απόρριμμα του κλάσματος -10mm +4.75mm.

- Από τα Διαγράμματα 11 και 12 παρατηρείται ότι οι απώλειες CO₂ είναι κοντά στο 50%, και δεδομένου ότι ο λευκόλιθος έχει 52.2% περιεκτικότητα σε CO₂ αναμένονται μάλλον εμπορεύσιμα προϊόντα¹.

Η απώλεια βάρους που υπάρχει στη θερμοκρασιακή περιοχή των 500-660 °C οφείλεται κυρίως στην απώλεια CO₂ από τον μαγνησίτη, με βάση την παρακάτω χημική αντίδραση διάσπασης του μαγνησίτη:



Από τους 650-660 °C και μετά έχουμε τη διάσπαση του δολομίτη με βάση τη χημική αντίδραση:



Από τις δύο παραπάνω αντιδράσεις, προκύπτει ότι ο μαγνησίτης έχει 52.2% περιεκτικότητα σε CO₂ και ο δολομίτης 47.73%.

Γνωρίζοντας το ποσοστό CO₂ που περιέχει ο καθαρός μαγνησίτης και έχοντας από τα διαγράμματα TG τις απώλειες διοξειδίου στην θερμοκρασιακή περιοχή διάσπασής του (Παράρτημα, Διάγραμμα 38), υπολογίζεται ο παρακάτω Πίνακας 7.

Πίνακας 7: Περιεκτικότητες σε μαγνησίτη και στείρο των προϊόντων

	+10mm	-10mm+4.75mm	
Συμπύκνωμα	93.7%	97.0%	Μαγνησίτης
	6.3%	3.0%	Στείρο
Σύνολο	100.0	100.0	
Ενδιάμεσο	80.0%	85.2%	Μαγνησίτης
	20.0%	14.8%	Στείρο
Σύνολο	100.0	100.0	
Απόρριμμα	12.0%	15.0%	Μαγνησίτης
	88.0%	85.0%	Στείρο
Σύνολο	100.0	100.0	

¹ Εμπορεύσιμο είναι το συμπύκνωμα με 85% μαγνησίτη και άνω.

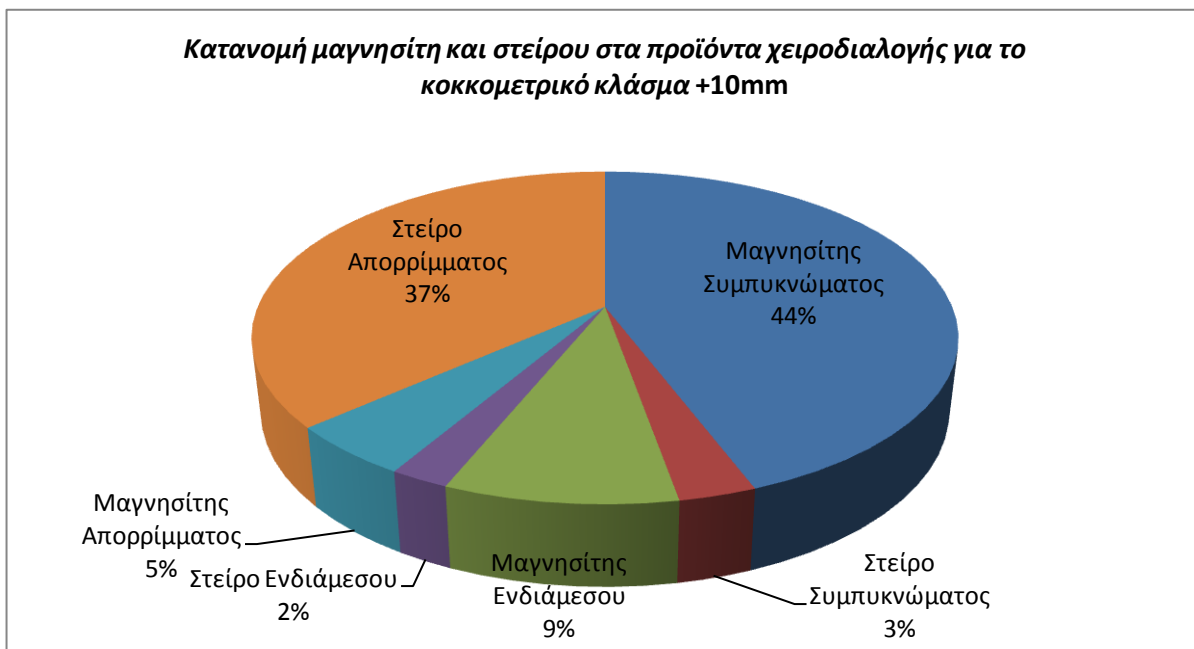
Οι παραπάνω τιμές δεν είναι απόλυτες, γιατί στη θερμοκρασιακή περιοχή των 650 °C ξεκινάει και η διάσπαση του δολομίτη. Συνεπώς, οι απώλειες που έχουμε περίπου στους 650-680 °C, πιθανόν να μην οφείλονται αποκλειστικά σε συγκεκριμένο ορυκτό. Για παράδειγμα, ένα σχετικά μεγάλο τεμάχιο μαγνησίτη πιθανό να χρειάζεται να φτάσει και στους 680 °C για να ολοκληρωθεί η αντίδραση, ενώ ένα λίγο μικρότερο τεμάχιο δολομίτη να έχει αντιδράσει με το που απέκτησε τη θερμοκρασία των 650 °C. Τέλος, στη θερμοκρασιακή περιοχή πριν τους 500 °C, οι όποιες απώλειες μπορούν να οφείλονται στην απώλεια της φυσικής υγρασίας του υλικού, του κρυσταλλικού νερού και τυχόν οξειδίων, τα οποία διασπώνται σε μικρότερες θερμοκρασίες. Στο στείρο, εκτός από το δολομίτη, μπορεί να έχουμε και κάποια άλλα φυλοπυριτικά ορυκτά, όπως ο σηπιόλιθος, μικρή ποσότητα του οποίου εντοπίστηκε στο XRD του συμπυκνώματος (Παράρτημα, Διάγραμμα 35), καθώς επίσης και κάποια σερπεντινικά ορυκτά.

Με βάση τον Πίνακα 7 αλλά και τους Πίνακες 5 και 6, στο σύνολο του δείγματος υπάρχει:

- Για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm:
 - Στο συμπίκνωμα, το οποίο αποτελεί το 47.2% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $93.7\% * 47.2\% = 44.2\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $6.3\% * 47.2\% = 3\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
 - Στο ενδιάμεσο, το οποίο αποτελεί το 11.3% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $80\% * 11.3\% = 9\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $20\% * 11.3\% = 2.3\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
 - Στο απόρριμμα, το οποίο αποτελεί το 41.5% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $12\% * 41.5\% = 5\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $88\% * 41.5\% = 36.5\%$ στείρο του συνόλου του δείγματος
- Στο κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm:
 - Στο συμπίκνωμα, το οποίο αποτελεί το 46.2% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $97\% * 46.2\% = 44.8\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $3\% * 46.2\% = 1.4\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
 - Στο ενδιάμεσο, το οποίο αποτελεί το 18.4% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $85.2\% * 18.4\% = 15.7\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $14.8\% * 18.4\% = 2.7\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος

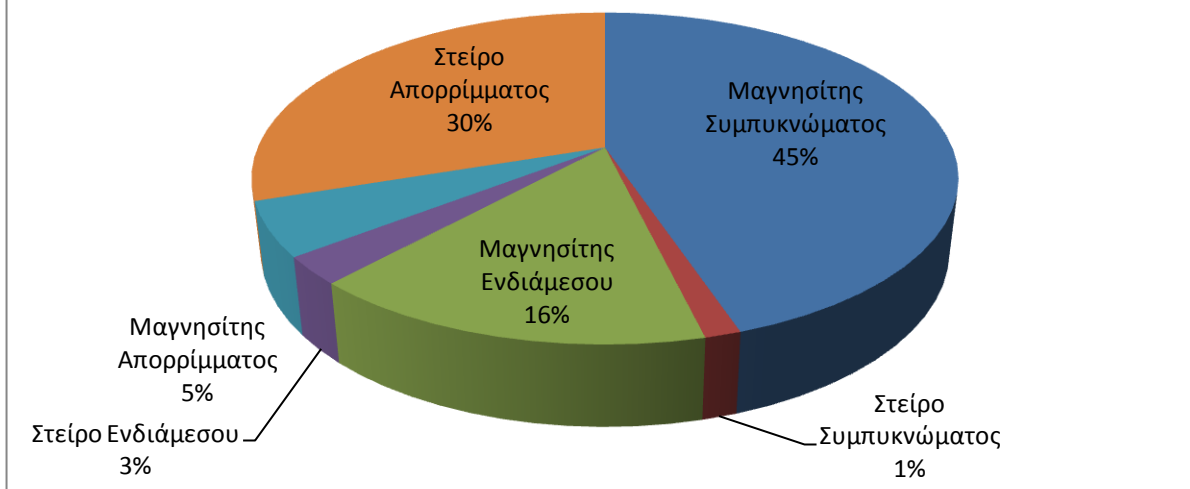
- Στο απόρριμμα, το οποίο αποτελεί το 35.4% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $15\% * 35.4\% = 5.3\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $85\% * 35.4\% = 30.1\%$ στείρο του συνόλου του δείγματος

Τα παραπάνω αναπαρίστανται γραφικά στο Διαγράμματα 14 και 15. Η πίτα αναπαριστά το συνολικό δείγμα για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα.



Διάγραμμα 14: Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα χειροδιαλογής για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm

Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα χειροδιαλογής για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm



Διάγραμμα 15: Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα χειροδιαλογής για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm

Τα ισοζύγια μάζας φαίνονται συνοπτικά στους παρακάτω Πίνακες 8 και 9.

Πίνακας 8: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος +10mm

	Βάρος (%)		
	Συνολικό	Μαγνησίτης	
Συμπύκνωμα	47.2	44.2	Μαγνησίτης
		3.0	Στείρο
Ενδιάμεσο	11.3	9.0	Μαγνησίτης
		2.3	Στείρο
Απόρριμμα	41.5	5.0	Μαγνησίτης
		36.5	Στείρο
Σύνολο	100.0	100.0	

Πίνακας 9: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -10mm +4.75mm

	Βάρος (%)		
	Συνολικό	Μαγνησίτης	
Συμπύκνωμα	46.2	44.8	Μαγνησίτης
		1.4	Στείρο
Ενδιάμεσο	18.4	15.7	Μαγνησίτης
		2.7	Στείρο
Απόρριμμα	35.4	5.3	Μαγνησίτης
		30.1	Στείρο
Σύνολο	100.0	100.0	

Από το σύνολο του μαγνησίτη που περιέχεται στο δείγμα, η κατανομή του είναι ως ακολούθως:

- Στο κοκκομετρικό κλάσμα +10mm
 - Στο συμπύκνωμα το $44.2\% / (44.2\% + 9\% + 5\%) = 75.9\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στο δείγμα.
 - Στο ενδιάμεσο το $9\% / (44.2\% + 9\% + 5\%) = 15.5\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στο δείγμα.
 - Στο απόρριμμα το υπόλοιπο 8.6%.

- Στο κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm
 - Στο συμπύκνωμα το $44.8\% / (44.8\% + 15.7\% + 5.3\%) = 68.1\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στο δείγμα.
 - Στο ενδιάμεσο το $15.7\% / (44.8\% + 15.7\% + 5.3\%) = 23.9\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στο δείγμα.
 - Στο απόρριμμα το υπόλοιπο 8%.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του Πίνακα 10.

Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα οπτικού διαχωρισμού

Μέγεθος τεμαχίων (mm)	Είδος προϊόντος	Βάρος (%)	MgCO ₃ (%)	Κατανομή (%)
+10	Συμπύκνωμα	47.2	93.7	75.9
	Ενδιάμεσο	11.3	80.0	15.5
	Ενδιάμεσο και Συμπύκνωμα	58.5	91.1	91.4
	Απόρριμμα	41.5	12.0	8.6
	Τροφοδοσία	100.0	58.2	100.0
-10+4.75	Συμπύκνωμα	46.2	97.0	68.1
	Ενδιάμεσο	18.4	85.2	23.9
	Ενδιάμεσο και Συμπύκνωμα	64.6	93.6	92
	Απόρριμμα	35.4	15.0	8.0
	Τροφοδοσία	100.0	65.8	100.0

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι ο οπτικός διαχωρισμός έδωσε δύο πολύ καλά συμπυκνώματα και ένα εμπορεύσιμο ενδιάμεσο προϊόν, αυτό του κλάσματος -10mm +4.75mm με μικρότερη όμως περιεκτικότητα. Όπως ήταν αναμενόμενο, το μικρότερο κοκκομετρικό κλάσμα, το οποίο είχε μεγαλύτερο βαθμό αποδέσμευσης, έδωσε και τα καλύτερα αποτελέσματα. Αν αναλογιστεί κανείς ότι με την χειροδιαλογή εξετάζεται η επιφάνεια του τεμαχιδίου, σε αντίθεση με έναν φωτομετρικό διαλογέα, ο οποίος σαρώνει περιμετρικά τα τεμαχίδια, γίνεται αντιληπτό ότι, αν χρησιμοποιηθεί φωτομετρικός διαλογέας, τα αποτελέσματα αναμένονται να είναι σαφώς καλύτερα ενώ οι πιθανότητες να έδινε και το δεύτερο ενδιάμεσο προϊόν ως εμπορεύσιμο είναι μάλλον οι επικρατέστερες.

Ωστόσο, αναλόγως τη ζήτηση και τις προδιαγραφές του προϊόντος, υπάρχει πάντα η δυνατότητα να αναμειχθούν το συμπύκνωμα και το ενδιάμεσο και να ληφθούν δυο άλλα εξίσου καλά προϊόντα με περιεκτικότητες 91.1% και 93.6% για τα κλάσματα +10mm και -10mm +4.75mm αντίστοιχα.

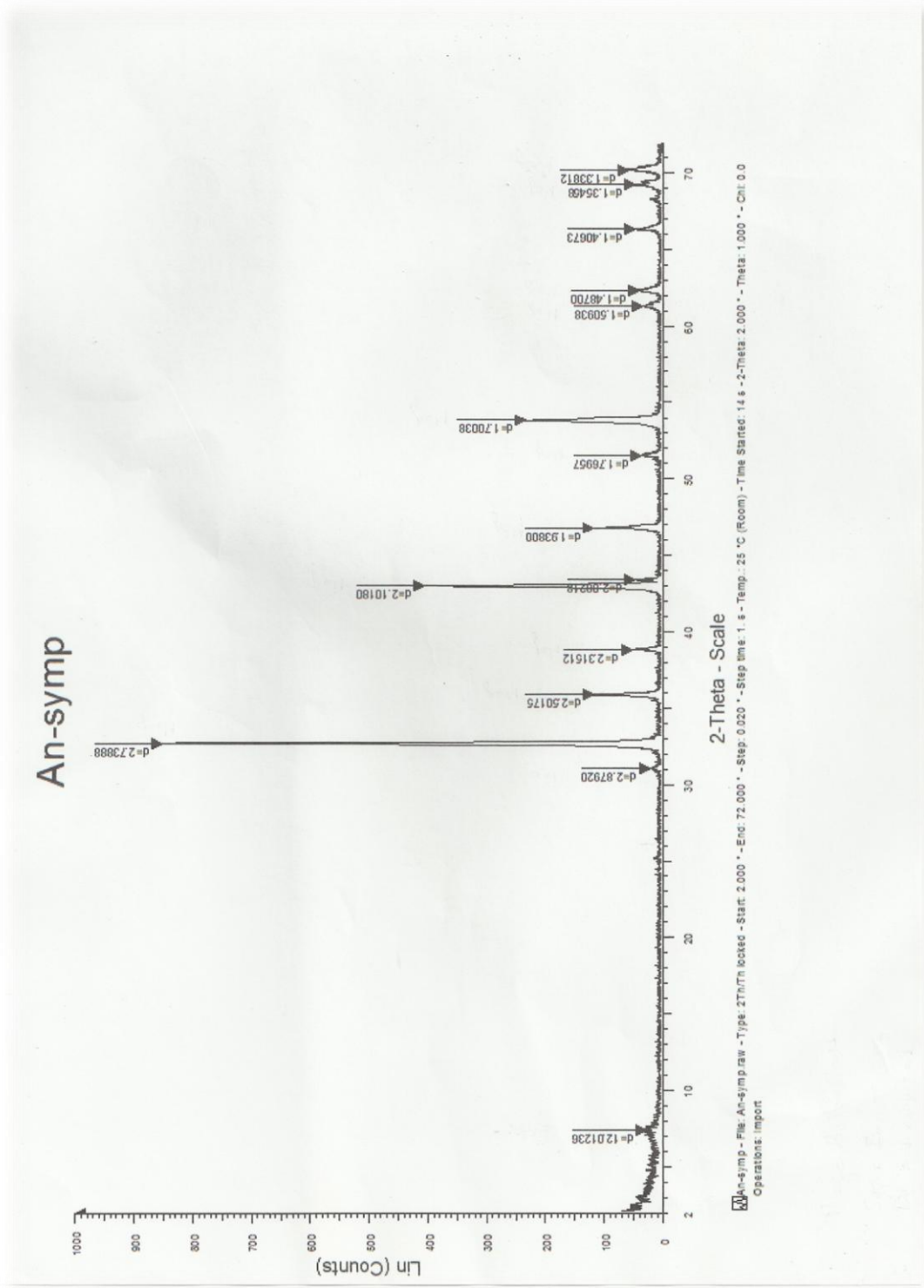
2.4.2 Επαλήθευση υποθέσεων

Για τον οπτικό διαχωρισμό, όπως και για όλες τις επόμενες μεθόδους, η περιεκτικότητα του συμπυκνώματος σε μαγνησίτη προσδιορίστηκε από τις αναλύσεις TG. Ωστόσο υπήρξαν κάποιες παραδοχές. Κάποιες από αυτές ήταν, ότι κάθε συμπύκνωμα αποτελείται από τα ίδια ορυκτά, όταν εμπλουτίζεται, και με βάση αυτά τα ορυκτά, η απώλεια βάρους που παρατηρείται στη θερμοκρασιακή περιοχή 500-660 °C περίπου, οφείλεται αποκλειστικά στο μαγνησίτη.

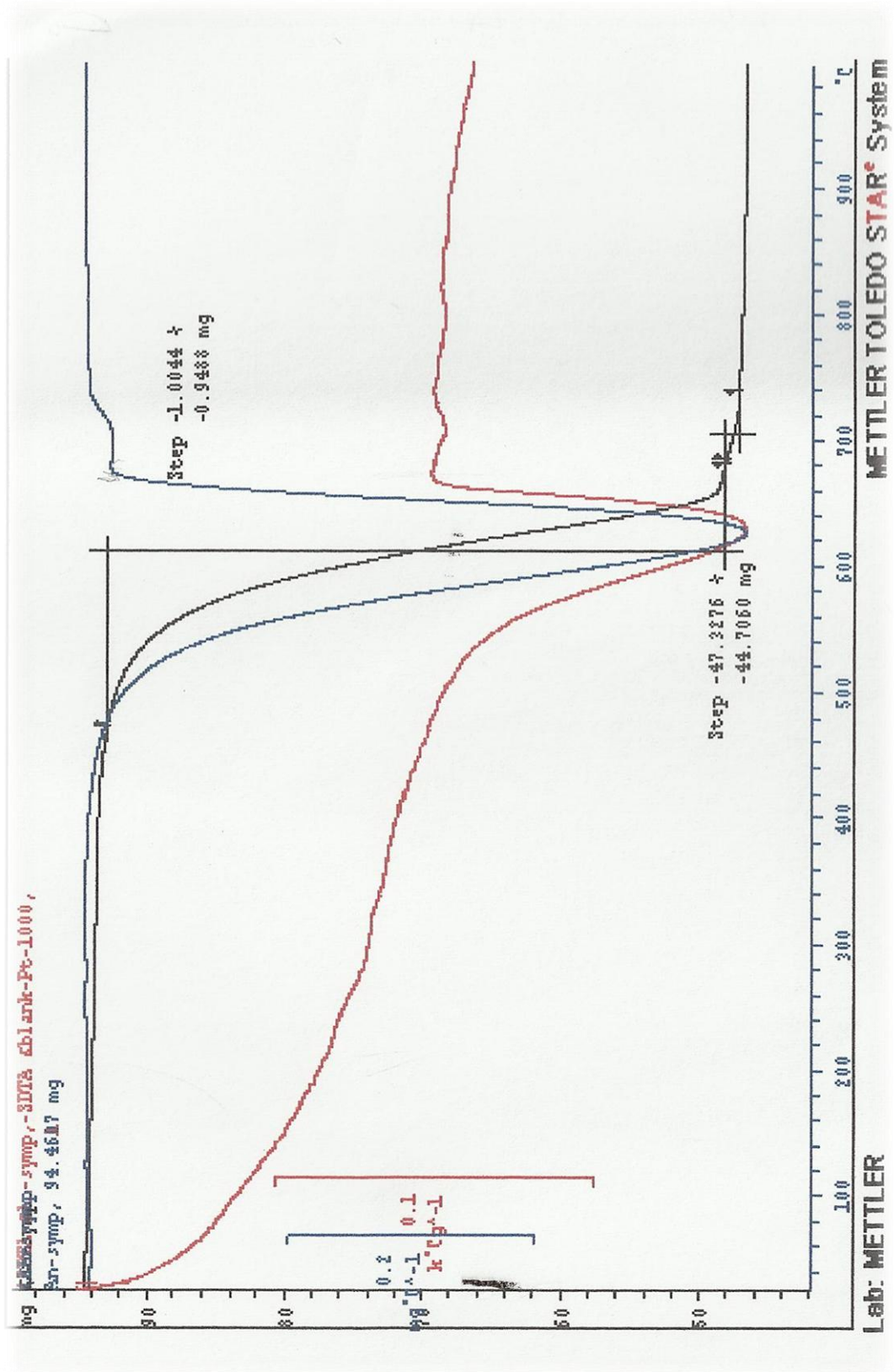
Για επαλήθευση της θερμοκρασιακής περιοχής, αλλά και των περιεκτικότητων του συμπυκνώματος, τα συμπυκνώματα υπεβλήθησαν στις εξής αναλύσεις: θερμοσταθμική (TG), διαφορική θερμοσταθμική (DTG) και διαφορική θερμική ανάλυση (DTA). Επίσης, το συμπύκνωμα, του κοκκομετρικού κλάσματος -10mm +4.75mm υπεβλήθη σε ορυκτολογική ανάλυση XRD.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων φαίνονται στα Διαγράμματα 16² και 17.

² Η ερμηνεία των διαγραμμάτων XRD παρουσιάζεται στο Παράρτημα



Διάγραμμα 16: Ακτινοδιάγραμμα XRD του συμπκνώματος για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm του οπτικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 17: Καμπύλες TG, DTG, DTA του συμπυκνώματος για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm του οπτικού διαχωρισμού

Όπως φαίνεται από το ακτινοδιάγραμμα (Διάγραμμα 16), τα ορυκτά τα οποία υπάρχουν στο συμπύκνωμα, είναι πρωτίστως μαγνησίτης, λίγος δολομίτης και ακόμη λιγότερος σηπιόλιθος.

Με βάση αυτά τα ορυκτά, η απώλεια σε CO₂, η οποία υπάρχει στη θερμοκρασιακή περιοχή που δίνει η καμπύλη DTG, οφείλεται στο μαγνησίτη. Η θερμοκρασιακή περιοχή, στην οποία προκύπτει αυτή η απώλεια, είναι 500-680 °C, η οποία άλλωστε είναι πρακτικά η θερμοκρασιακή περιοχή που χρησιμοποιήθηκε στον οπτικό διαχωρισμό, αλλά και στις μεθόδους που ακολουθούν, για να υπολογιστούν οι περιεκτικότητες των προϊόντων σε μαγνησίτη και στείρο.

2.5 Βαρυτομετρικός διαχωρισμός με βαριά υγρά

Οι βαρυτομετρικές μέθοδοι βασίζονται στη διαφορά ειδικού βάρους που έχουν μεταξύ τους τα διάφορα ορυκτά ή μεταλλεύματα. Όταν η μέθοδος αυτή ακολουθείται με τη χρήση βαρέων διαμέσων, τα ορυκτά ή τα μεταλλεύματα τοποθετούνται σε πολφό ενδιάμεσου ειδικού βάρους και έτσι τα βαρύτερα καταβυθίζονται, ενώ τα ελαφρύτερα επιπλέουν και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός. Δεδομένου του βαθμού αποδέσμευσής του, ο βαρυτομετρικός διαχωρισμός με βαριά υγρά εφαρμόστηκε στο κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm.

Από την ανάλυση XRD (Παράρτημα, Διάγραμμα 37), που έγινε σε αντιπροσωπευτικό δείγμα του αρχικού που στάλθηκε από το εργοστάσιο, προσδιορίστηκαν τα παρακάτω ορυκτά:

- Δολομίτης με ειδικό βάρος 2.84 g/cm³
- Χρυσοτίλης με ειδικό βάρος 2.60 g/cm³
- Μαγνησίτης με ειδικό βάρος 2.98 g/cm³

Με βάση τα παραπάνω, το υγρό που χρησιμοποιήθηκε για το διαχωρισμό του μαγνησίτη από το στείρο (δολομίτης, χρυσοτίλης) ήταν το βρωμοφόρμιο με ειδικό βάρος 2.88 g/cm³. Μετά το διαχωρισμό, τα προϊόντα ξεπλύθηκαν δύο φορές με αιθανόλη και στη συνέχεια με νερό. Στη συνέχεια, το κάθε προϊόν ξηράνθηκε και αναλύθηκε με TG.

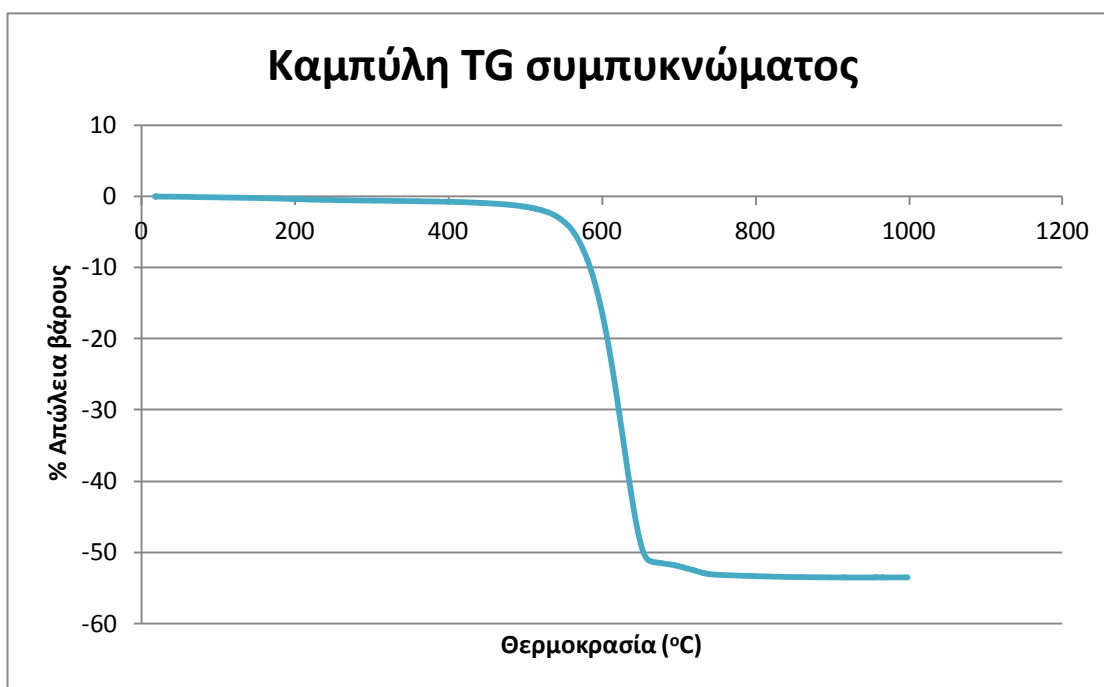
Τα βάρη των προϊόντων δίνονται στον Πίνακα 11.

Πίνακας 11: Βάρος των προϊόντων βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βαριά υγρά

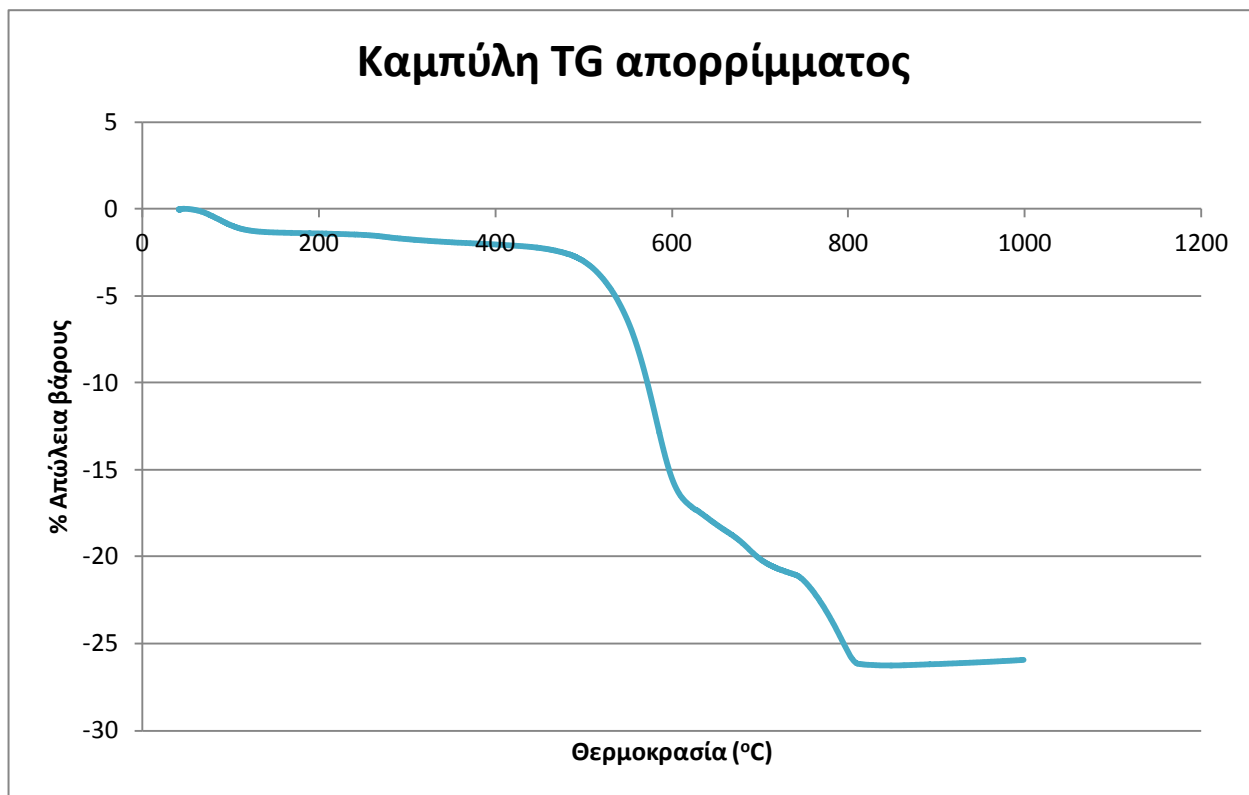
Προϊόντα	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	45.07
Απόρριμμα	54.93

2.5.1 Διαγράμματα TG και συμπεράσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των προϊόντων σε μαγνησίτη έγιναν αναλύσεις TG, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στα Διαγράμματα 18 και 19.



Διάγραμμα 18: Καμπύλη TG συμπυκνώματος του βαρυτομετρικού διαχωρισμού



Διάγραμμα 19: Καμπύλη TG απορρίμματος του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Από τα διαγράμματα αυτά, όπως και στον οπτικό διαχωρισμό, υπολογίστηκαν οι περιεκτικότητες σε μαγνησίτη και σε στείρο για το συμπύκνωμα και το απόρριμμα.

Έτσι βρέθηκε ότι στο εν λόγω συμπύκνωμα η περιεκτικότητα σε μαγνησίτη ήταν της τάξεως του 95% και του δολομίτη της τάξεως του 5%.

Αντίστοιχα, στο απόρριμμα υπήρχε 30% μαγνησίτης και 16% δολομίτης. Το υπόλοιπο 54% είναι φυλλοπυριτικά όπως σηπιόλιθος, ο οποίος εντοπίστηκε στο συμπύκνωμα του οπτικού διαχωρισμού³, και διάφορα άλλα, σερπεντινικά κυρίως ορυκτά τα οποία εντοπίστηκαν, όπως αναφέρεται παρακάτω, στο απόρριμμα του μαγνητικού διαχωρισμού.

³ Ο σηπιόλιθος έχει λευκό χρώμα και έτσι στον οπτικό διαχωρισμό ένα μέρος αυτού πέρασε στο συμπύκνωμα. Στην μέθοδο με την χρήση βρωμοφόρμιου διαχωρίστηκε λόγω της διαφοράς ειδικού βάρους.

Με βάση τα παραπάνω, στο σύνολο του δείγματος υπάρχει:

- Στο συμπύκνωμα, το οποίο αποτελεί το 45.07% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 - $95\% * 45.07\% = \mathbf{42.82\%}$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 - $5\% * 45.07\% = \mathbf{2.25\%}$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
- Στο απόρριμμα, το οποίο αποτελεί το 54.93% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 - $30\% * 54.93\% = \mathbf{16.48\%}$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 - $(16\%+54\%) * 54.93\% = \mathbf{38.45\%}$ στείρο στο σύνολο του δείγματος

Τα παραπάνω αναπαρίστανται γραφικά στο Διάγραμμα 20. Η πίτα αναπαριστά το συνολικό δείγμα:



Διάγραμμα 20: Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού

Τα ισοζύγια μάζας φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Ισοζύγια μάζας

Συμπύκνωμα	45.07%	42.82%	Μαγνησίτης
		2.25%	Στείρο
Απόρριμμα	54.93%	16.48%	Μαγνησίτης
		38.25%	Στείρο
Σύνολο	100%	100%	

Από το σύνολο του μαγνησίτη που περιέχεται στο δείγμα ανακτήθηκε το:

$42.82\% / (42.82\% + 16.48\%) = 72.2\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στο δείγμα.

Το υπόλοιπο **27.8%** χάθηκε στο απόρριμμα.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτουν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του Πίνακα 13.

Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βαρτομετρικού διαχωρισμού

Μέγεθος τεμαχίων (mm)	Είδος προϊόντος	Βάρος (%)	MgCO ₃ (%)	Κατανομή (%)
-2.36	Συμπύκνωμα	45.07	95.0	72.2
	Απόρριμμα	54.93	30.0	27.8
	Τροφοδοσία	100.0	59.28	100.0

Συμπερασματικά λοιπόν, από τη μέθοδο με τη χρήση βαρέως υγρού προέκυψε ένα πολύ πλούσιο συμπύκνωμα σε μαγνησίτη. Παρ' όλα αυτά, από το συνολικό μαγνησίτη που υπήρχε στην τροφοδοσία το 27.8% χάθηκε στο απόρριμμα. Αν αναλογιστεί κανείς πως το ειδικό βάρος του υγρού που χρησιμοποιήθηκε ήταν 2.88 g/cm³ με διαφορά από το ειδικό βάρος του δολομίτη μόλις 0.04 g/cm³ τα αποτελέσματα κρίνονται πολύ ικανοποιητικά.

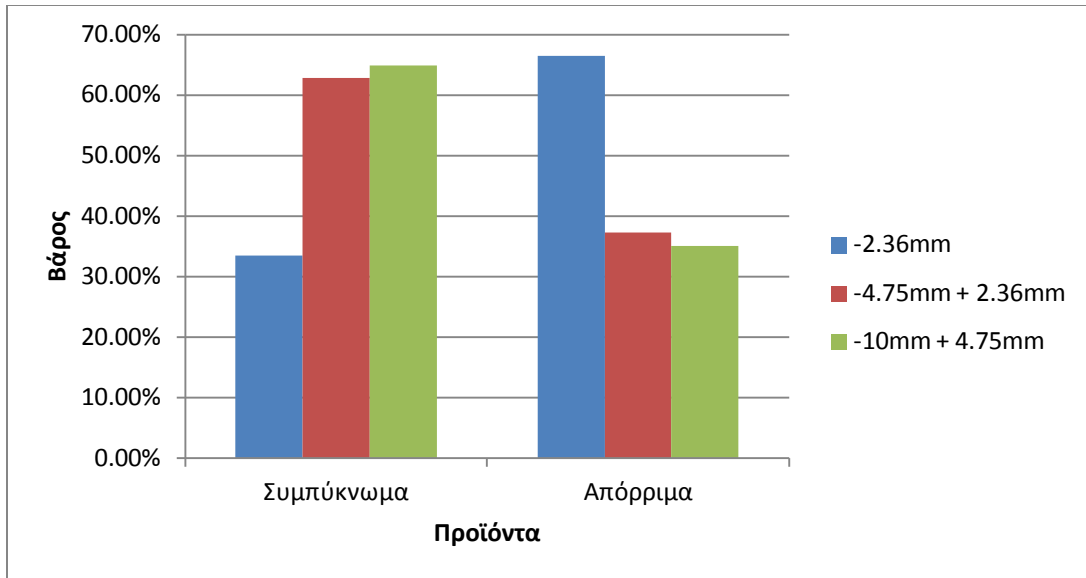
2.6 Μαγνητικός διαχωρισμός

Ο μαγνητικός διαχωρισμός έγινε στα κοκκομετρικά κλάσματα -2.36mm , $-4.75\text{mm} + 2.36\text{mm}$ και $-10\text{mm} + 4.75\text{mm}$ σε μαγνητικό διαχωριστή τυμπάνου χαμηλής έντασης.

Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 14 και φαίνονται στο Διάγραμμα 21.

Πίνακας 14: Βάρος των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού για τα κοκκομετρικά κλάσματα -2.36mm , $-4.75\text{mm} + 2.36\text{mm}$ και $-10\text{mm} + 4.75\text{mm}$

-2.36mm	
Προϊόν	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	33.50
Απόρριμμα	66.50
-4.75mm + 2.36mm	
Προϊόν	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	62.77
Απόρριμμα	37.23
-10mm + 4.75mm	
Προϊόν	Βάρος (%)
Συμπύκνωμα	64.90
Απόρριμμα	35.10



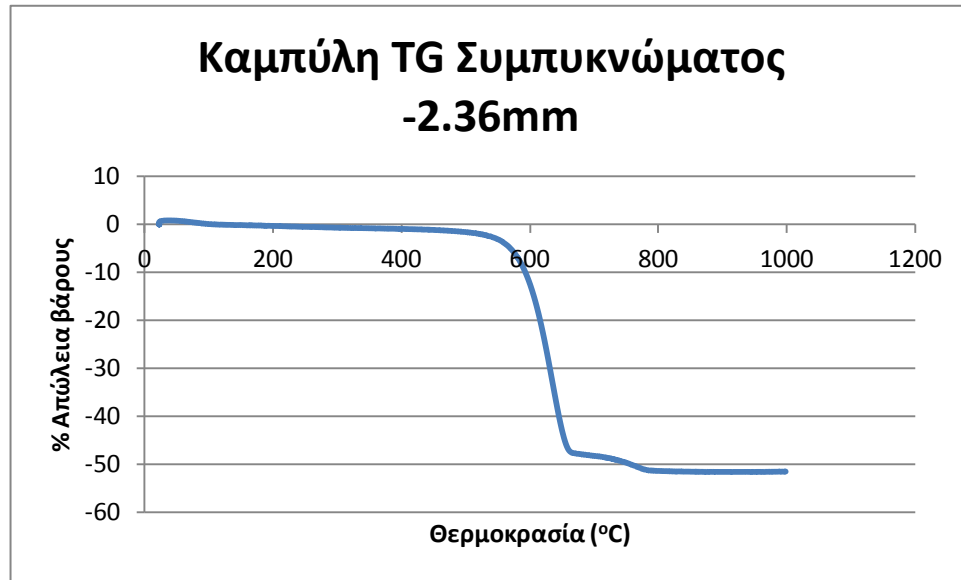
Διάγραμμα 21: Προϊόντα διαχωρισμού κοκκομετρικών κλασμάτων $-2.36mm$, $-4.75mm + 2.36mm$, $-10mm + 4.75mm$

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τον μαγνητικό διαχωρισμό είναι τα εξής:

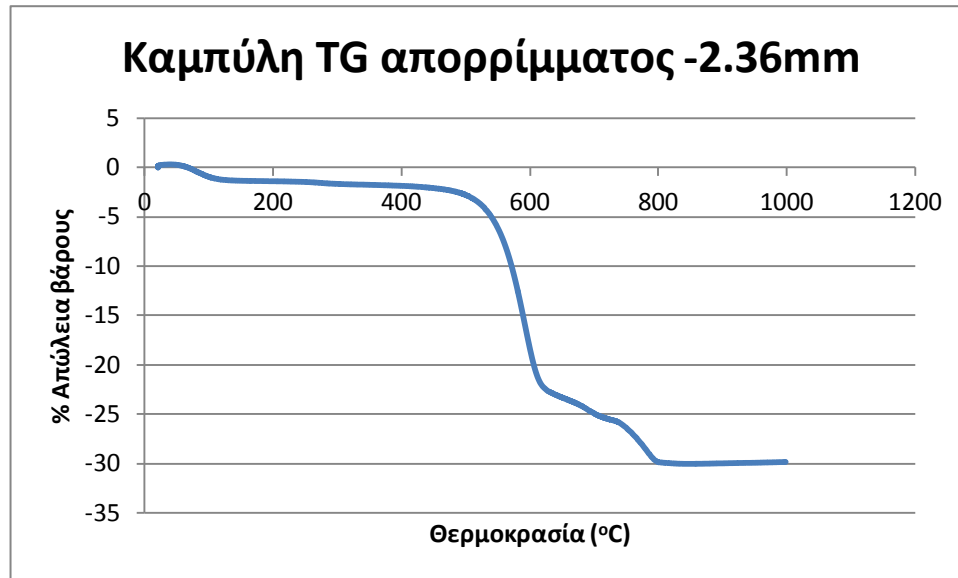
- Όσο αυξάνει το μέγεθος των τεμαχιδίων, τόσο αυξάνει η ποσότητα του συμπυκνώματος (μη μαγνητικό) ενώ μειώνεται αντίστοιχα η ποσότητα του απορρίμματος (μαγνητικό).
- Ενώ σε όλα τα κοκκομετρικά κλάσματα το συμπύκνωμα έχει μεγαλύτερο βάρος από το απόρριμμα, εξαίρεση αποτελεί το κοκκομετρικό κλάσμα $-2.36mm$.

2.6.1 Διαγράμματα TG και συμπεράσματα για το διαχωρισμό με μαγνητικό διαχωρισμό

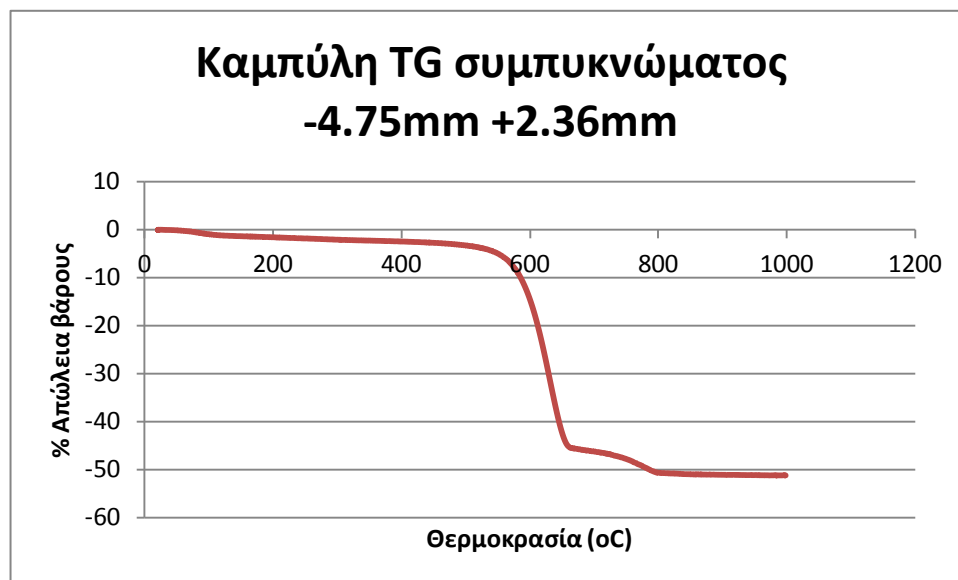
Για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας των προϊόντων σε μαγνησίτη, έγιναν αναλύσεις TG, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στα Διαγράμματα 22-28.



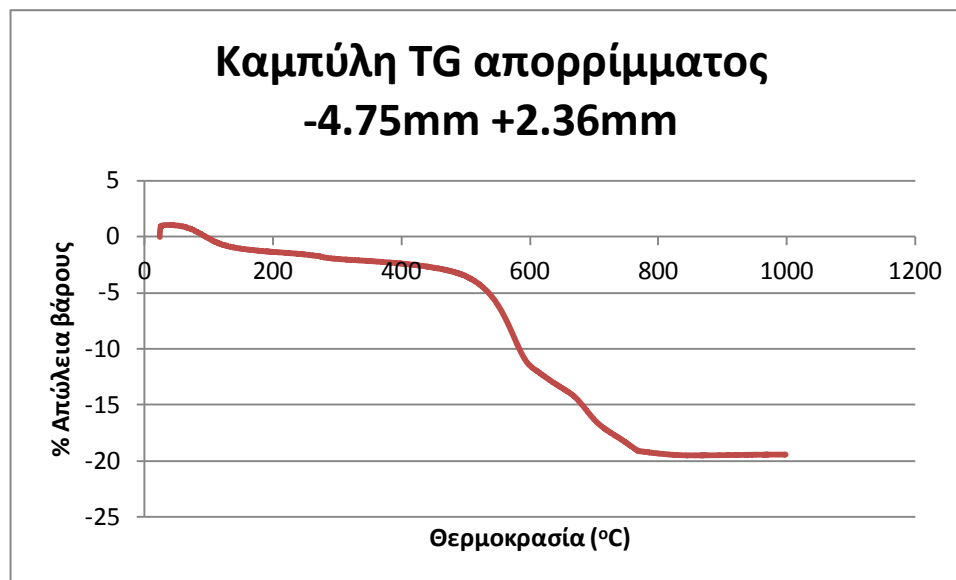
Διάγραμμα 22: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -2.36mm



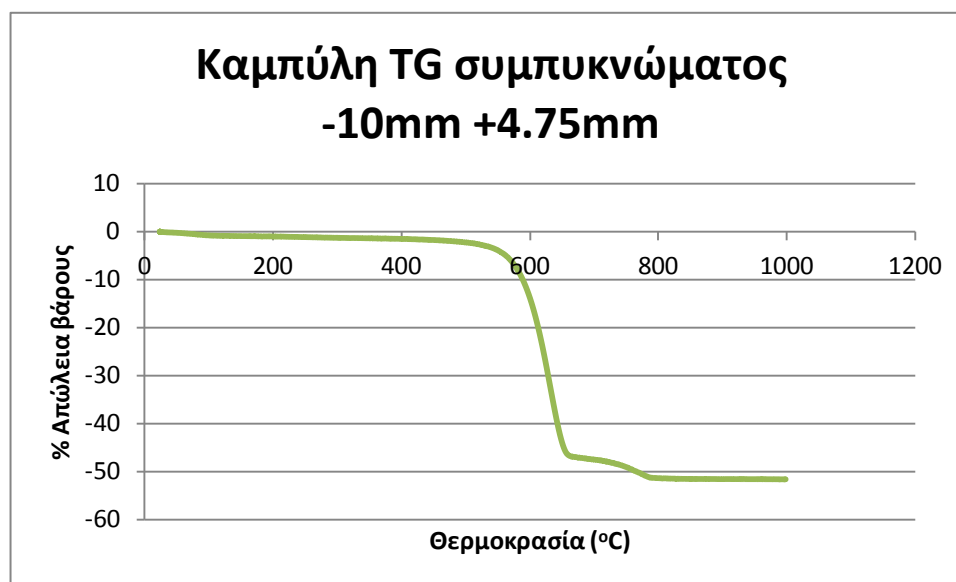
Διάγραμμα 23: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -2.36mm



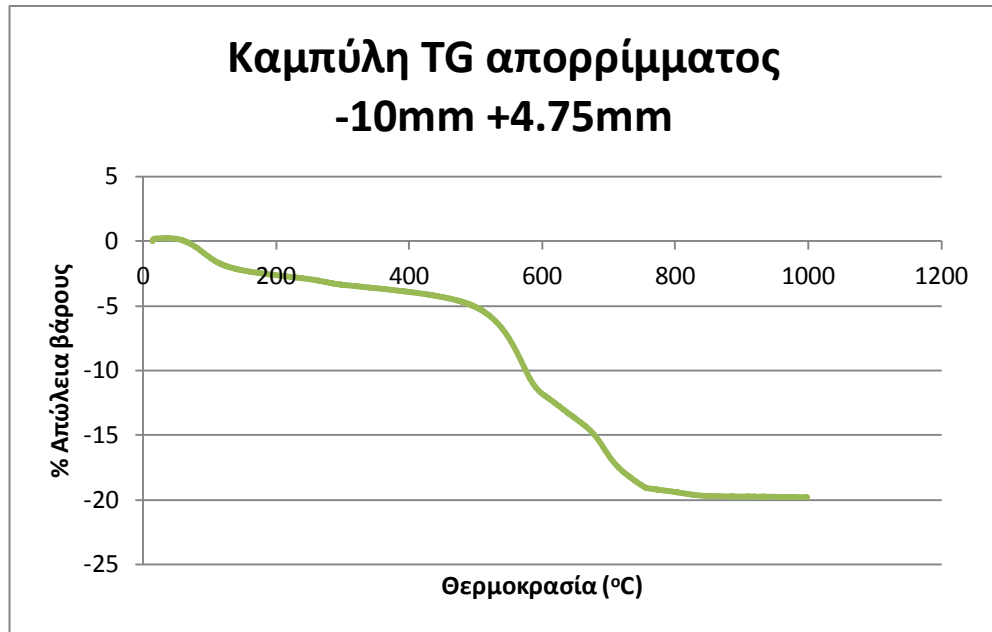
Διάγραμμα 24: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -4.75mm +2.36mm



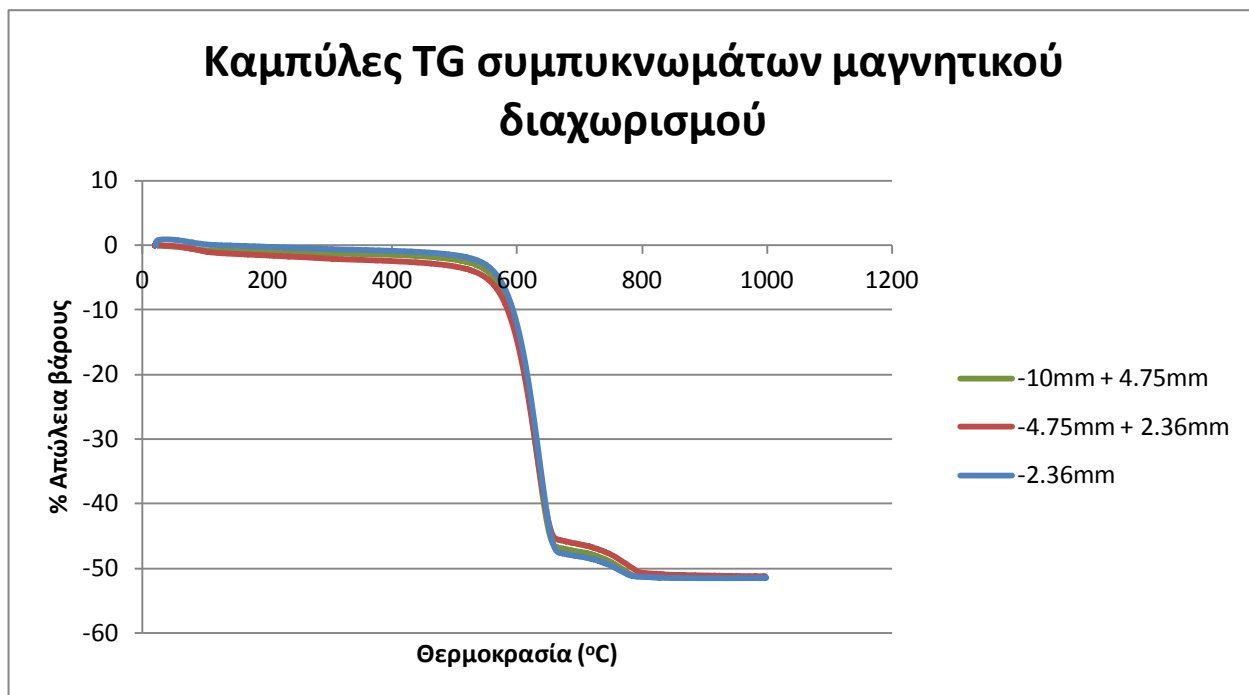
Διάγραμμα 25: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -4.75mm +2.36mm



Διάγραμμα 26: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm



Διάγραμμα 27: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm



Διάγραμμα 28: Καμπύλες TG συμπυκνωμάτων μαγνητικού διαχωρισμού

Από το Διάγραμμα 28 φαίνεται ότι τα συμπυκνώματα (μη μαγνητικό προϊόν) των διαφορετικών κοκκομετρικών κλασμάτων, έχουν σχεδόν την ίδια περιεκτικότητα σε μαγνησίτη με μικρές αποκλίσεις. Επιπλέον, με μια πρώτη αξιολόγηση των διαγραμμάτων των συμπυκνωμάτων, φαίνεται πως το προϊόν θα είναι οριακά εμπορεύσιμο πλην όμως η τελική επιβεβαίωση εναπόκειται στις θερμοσταθμικές αναλύσεις των προϊόντων.

Όπως στον οπτικό διαχωρισμό και στο διαχωρισμό με τη μέθοδο των βαρέων υγρών, έτσι και εδώ, από τα διαγράμματα TG υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε μαγνησίτη και στείρο, στα συμπυκνώματα και στα απορρίμματα. Τα αποτελέσματα δίνονται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Περιεκτικότητες σε μαγνησίτη και στείρο των προϊόντων των διάφορων κοκκομετρικών κλασμάτων

		-10mm +4.75mm	-4.75mm +2.36mm	-2.36mm
		Περιεκτικότητες (%)		
Συμπύκνωμα	Μαγνησίτης	84.8	80.5	86.8
	Στείρο	15.2	19.5	13.2
Απόρριμμα	Μαγνησίτης	12.8	15.3	30.0
	Στείρο	87.2	84.7	70.0

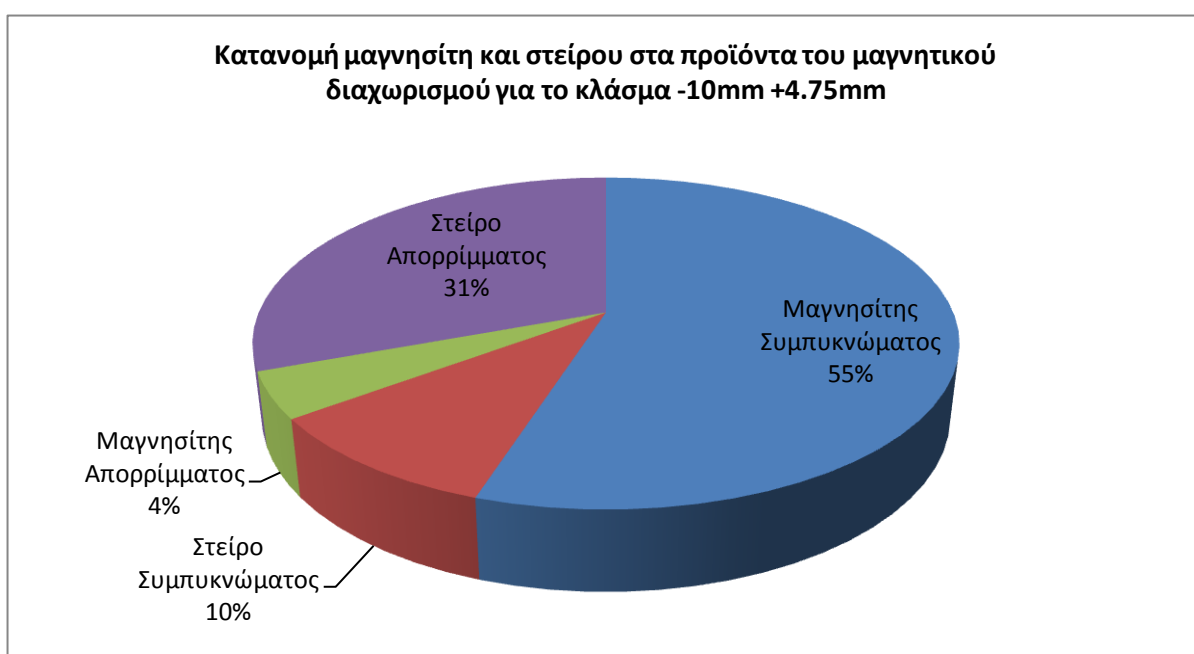
Με βάση τον Πίνακα 14 και 15 υπολογίζουμε ότι στο σύνολο του δείγματος έχουμε.

- Για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm
 - Στο συμπύκνωμα, το οποίο αποτελεί το 64.9% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $84.8\% * 64.9\% = 55\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $15.2\% * 64.9\% = 9.9\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
 - Στο απόρριμμα, το οποίο αποτελεί το 35.1% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $12.8\% * 35.1\% = 4.5\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $87.2\% * 35.1\% = 30.6\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
- Για το κοκκομετρικό κλάσμα -4.75mm +2.36mm
 - Στο συμπύκνωμα, το οποίο αποτελεί το 62.77% του συνολικού δείγματος, υπάρχει: $80.5\% * 62.77\% = 50.53\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $19.5\% * 62.77\% = 12.24\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
 - Στο απόρριμμα, το οποίο αποτελεί το 37.23% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $15.3\% * 37.23\% = 5.7\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $84.7\% * 37.23\% = 31.53\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος
- Για το κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm
 - Στο συμπύκνωμα, το οποίο αποτελεί το 33.5% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $86.8\% * 33.5\% = 29.1\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος

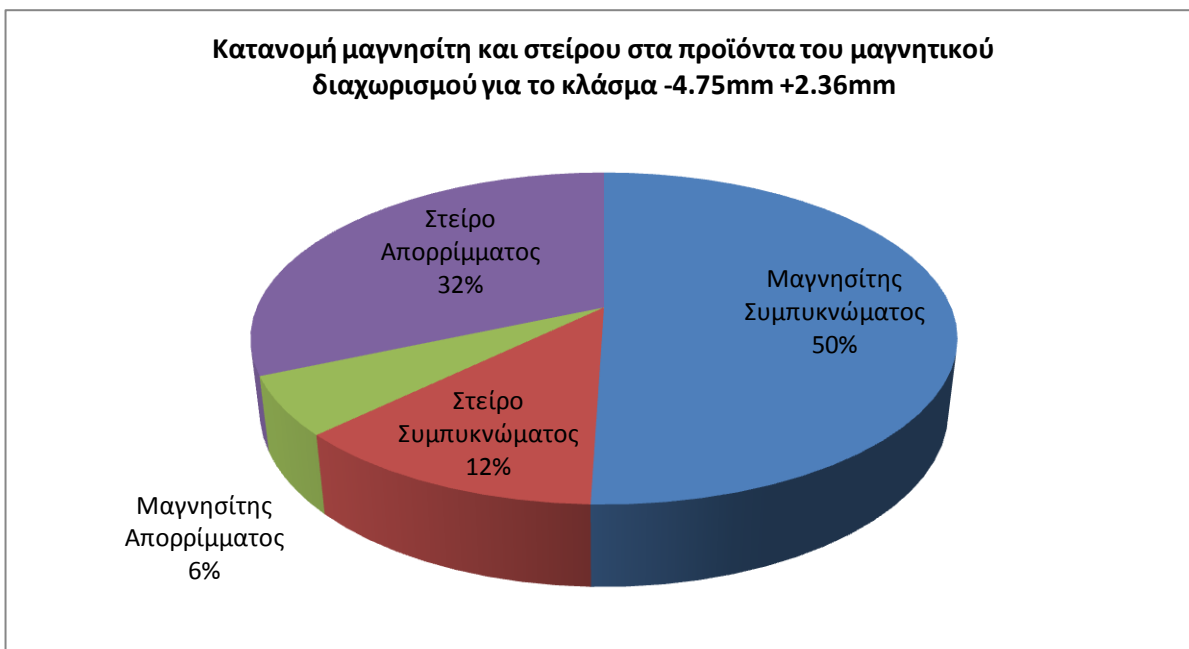
$13.2\% * 33.5\% = 4.4\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος

- Στο απόρριμμα, το οποίο αποτελεί το 66.5% του συνολικού δείγματος, υπάρχει:
 $30\% * 66.5\% = 19.95\%$ μαγνησίτης στο σύνολο του δείγματος
 $70\% * 66.5\% = 46.55\%$ στείρο στο σύνολο του δείγματος

Τα παραπάνω αναπαρίστανται γραφικά στα Διαγράμματα 29-31. Η πίτα αναπαριστά το συνολικό δείγμα για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα.



Διάγραμμα 29: Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα -10mm +4.75mm



Διάγραμμα 30: Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα -4.75mm +2.36mm



Διάγραμμα 31: Κατανομή μαγνησίτη και στείρου στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα -2.36mm

Τα ισοζύγια μάζας φαίνονται συνοπτικά στους Πίνακες 16-18.

Πίνακας 16: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -10mm +4.75mm

	Βάρος (%)		
Συμπύκνωμα	64.9	55.0	Μαγνησίτης Στείρο
		9.9	
Απόρριμμα	35.1	4.5	Μαγνησίτης Στείρο
		30.6	
Σύνολο	100.0	100.0	

Πίνακας 17: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -4.75mm +2.36mm

	Βάρος (%)		
Συμπύκνωμα	62.8	50.53	Μαγνησίτης Στείρο
		12.24	
Απόρριμμα	37.2	5.7	Μαγνησίτης Στείρο
		31.53	
Σύνολο	100.0	100.0	

Πίνακας 18: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -2.36mm

	Βάρος (%)		
Συμπύκνωμα	33.5	29.1	Μαγνησίτης Στείρο
		4.4	
Απόρριμμα	66.5	19.95	Μαγνησίτης Στείρο
		46.55	
Σύνολο	100.0	100.0	

Σε σχέση με την τροφοδοσία, η ανάκτηση του μαγνησίτη στο αντίστοιχο συμπύκνωμα των διαφόρων κοκκομετρικών κλασμάτων είναι:

- Στο κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm
 $55\% / (55\% + 4.5\%) = 92.4\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στην τροφοδοσία.

Το υπόλοιπο 7.6% χάθηκε στο απόρριμμα.

- Στο κοκκομετρικό κλάσμα -4.75mm +2.36mm
 $50.5\% / (50.5\% + 5.7\%) = 89.9\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στην τροφοδοσία.

Το υπόλοιπο 10.1% χάθηκε στο απόρριμμα.

- Στο κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm
 $29\% / (29\% + 20\%) = 59.2\%$ του συνολικού μαγνησίτη που υπάρχει στην τροφοδοσία.

Το υπόλοιπο 40.8% χάθηκε στο απόρριμμα.

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτουν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του Πίνακα 19.

Πίνακας 19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού

Μέγεθος τεμαχίων (mm)	Είδος προϊόντος	Βάρος (%)	MgCO ₃ (%)	Κατανομή (%)
-10+4.75	Συμπύκνωμα	64.9	84.8	92.4
	Απόρριμμα	35.1	12.8	7.6
	Τροφοδοσία	100.0	59.5	100.0
-4.75+2.36	Συμπύκνωμα	62.77	80.5	89.9
	Απόρριμμα	37.23	15.3	10.1
	Τροφοδοσία	100.0	56.2	100.0
-2.36	Συμπύκνωμα	33.5	86.8	59.2
	Απόρριμμα	66.5	30.0	40.8
	Τροφοδοσία	100.0	49.0	100.0

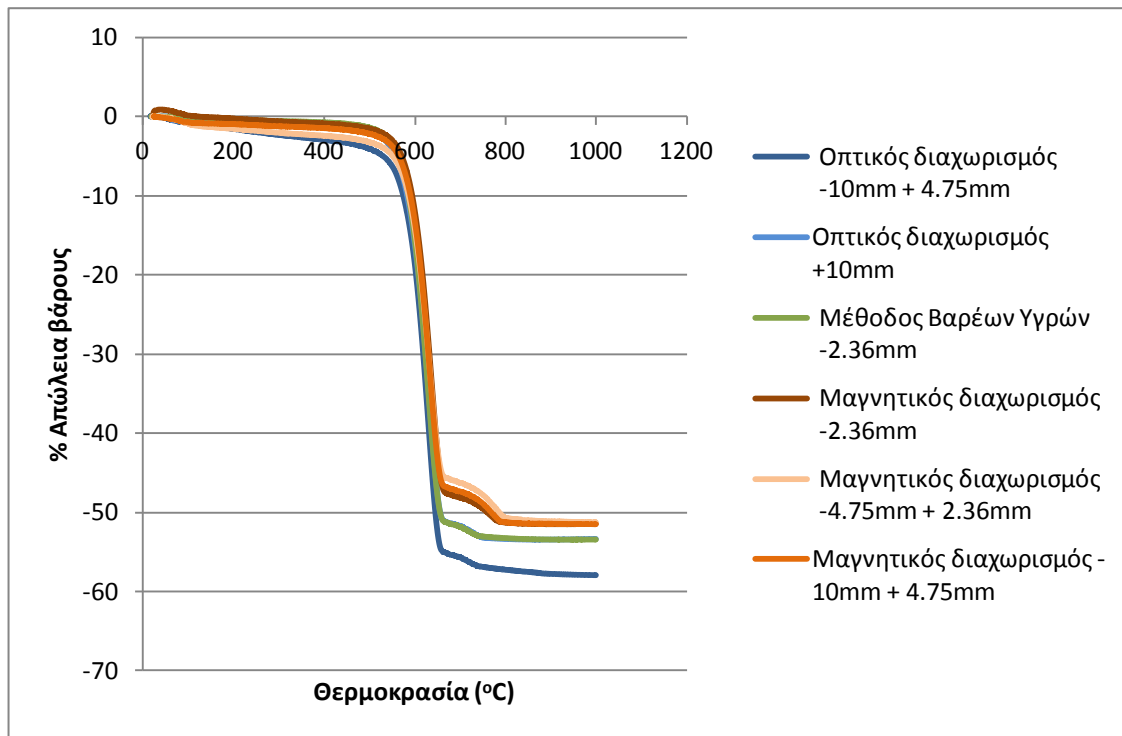
Από τον Πίνακα 19 προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα του μαγνητικού διαχωρισμού ήταν μέτρια. Στο κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm το συμπύκνωμα είναι εμπορεύσιμο αλλά όχι τόσο πλούσιο σε μαγνησίτη, κάτι το οποίο θα έχει αντίκτυπο στην τιμή του προϊόντος. Στο κοκκομετρικό κλάσμα $-10\text{mm} +4.75\text{mm}$ το συμπύκνωμα είναι οριακά εμπορεύσιμο. Για το συγκεκριμένο δείγμα θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω αναλύσεις ώστε να προσδιοριστεί με μεγαλύτερο βαθμό ακριβείας η περιεκτικότητα σε μαγνησίτη, ενώ στο κλάσμα $-4.75\text{mm} +2.36\text{mm}$ το συμπύκνωμα δεν είναι εμπορεύσιμο.

Στο XRD που έγινε στο αρχικό δείγμα που στάλθηκε από το εργοστάσιο (*Παράρτημα Διάγραμμα 37*), τα ορυκτά τα οποία εντοπίστηκαν ήταν δολομίτης, σερπεντίνης και μαγνησίτης. Από αυτά τα ορυκτά ο μαγνησίτης και ο δολομίτης είναι σαφώς μη μαγνητικά, πλην όμως ο σερπεντίνης έχει μεταβλητή μαγνητική συμπεριφορά.

Εκτός από το XRD στο οποίο εντοπίστηκαν τα ορυκτά με μεταβλητή μαγνητική συμπεριφορά, και οι προκαταρκτικές δοκιμές στον μαγνητικό διαχωριστή έδειξαν μαγνητικό υλικό σε μεγάλες περιεκτικότητες.

Το απόρριμμα, το οποίο ήταν το μαγνητικό, εστάλη για ορυκτολογικές αναλύσεις οι οποίες έδειξαν (*Παράρτημα, Διάγραμμα 36*) ορυκτά που είναι φυλλοπυριτικά και σερπεντινικά. Τα ορυκτά αυτά έχουν μεταβλητή μαγνητική συμπεριφορά, εξαιτίας της οποίας ποσότητες από αυτά είναι πιθανό να οδηγηθούν και στο συμπύκνωμα .

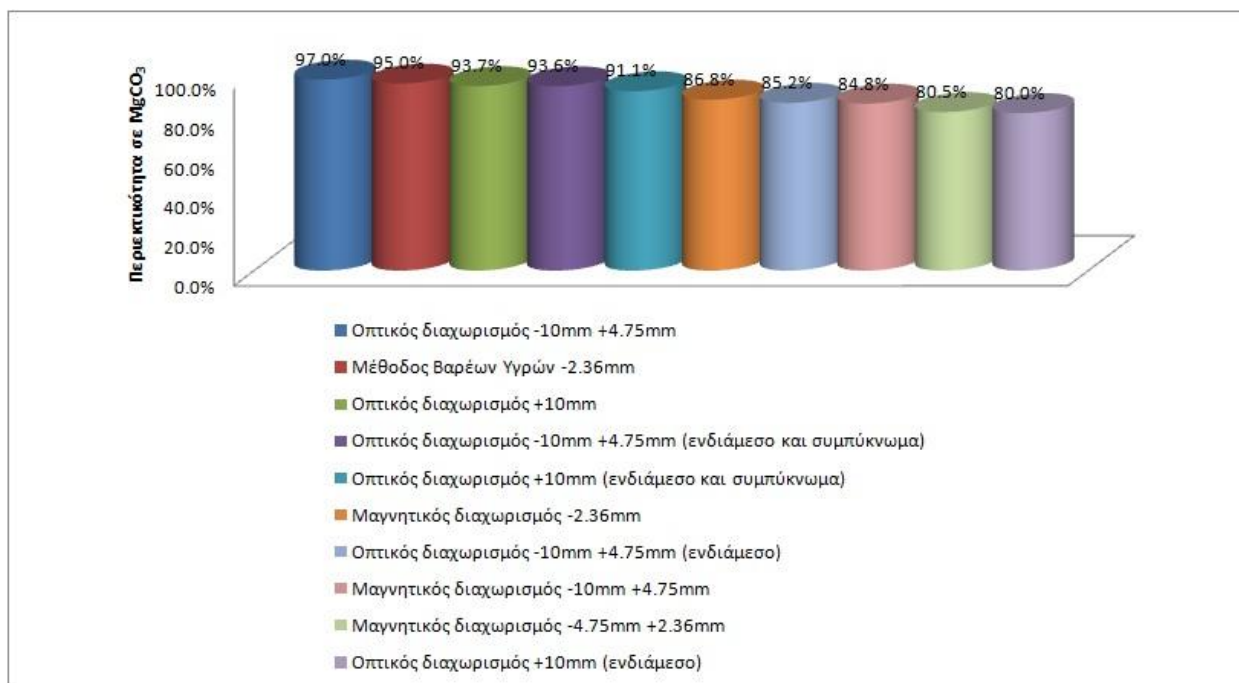
3 Τελικά συμπεράσματα



Διάγραμμα 32: Οι καμπύλες TG όλων των συμπυκνωμάτων

Από το Διάγραμμα 32, το οποίο δείχνει συγκεντρωτικά τις καμπύλες TG όλων των συμπυκνωμάτων, εκ πρώτης όψεως φαίνεται ότι στον οπτικό διαχωρισμό υπήρξαν τα καλύτερα αποτελέσματα. Το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm φαίνεται να δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα συγκριτικά με όλες τις άλλες μεθόδους και κοκκομετρικά κλάσματα, ενώ ακολουθεί η μέθοδος των βαρέων υγρών, στην οποία χρησιμοποιήθηκε το κλάσμα -2.36mm, η οποία σχεδόν ταυτίζεται με την καμπύλη TG του οπτικού διαχωρισμού του κλάσματος +10mm. Με μεγάλη διαφορά, σαφώς χειρότερα αποτελέσματα και από τις δύο προηγούμενες μεθόδους φαίνεται ότι δίνει η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού.

Στο Διάγραμμα 33, συνοψίζονται οι περιεκτικότητες σε μαγνησίτη για κάθε συμπύκνωμα των παραπάνω μεθόδων και για τα ενδιάμεσα του οπτικού διαχωρισμού.



Διάγραμμα 33: Περιεκτικότητες σε μαγνησίτη των συμπυκνωμάτων και ενδιάμεσων προϊόντων

Όπως παρατηρείται, τα αποτελέσματα είναι αυτά που προβλέφθηκαν και από τη σύγκριση των διαγραμμάτων TG. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα έχουν συμπεριληφθεί και τα ενδιάμεσα προϊόντα του οπτικού διαχωρισμού, από τα οποία μόνο το ενδιάμεσο του -10mm +4.75mm είναι εμπορεύσιμο και μάλιστα με μεγαλύτερη περιεκτικότητα από τα συμπυκνώματα του μαγνητικού διαχωρισμού των κλασμάτων -10mm +4.75mm και -4.75mm +2.36mm.

Από τα παραπάνω προϊόντα εμπορεύσιμα δεν είναι αυτά του μαγνητικού διαχωρισμού, του κοκκομετρικού κλάσματος -4.75mm +2.36mm.

Οριακά εμπορεύσιμα και με χαμηλή τιμή πώλησης, λόγω χαμηλής περιεκτικότητας σε μαγνησίτη, είναι τα συμπυκνώματα του μαγνητικού διαχωρισμού των κλασμάτων -2.36mm και -10mm +4.75mm καθώς και το ενδιάμεσο προϊόν του οπτικού διαχωρισμού του κλάσματος -10mm +4.75mm.

Σαφώς εμπορεύσιμα και με μεγάλη περιεκτικότητα σε μαγνησίτη είναι το συμπύκνωμα του διαχωρισμού με τη μέθοδο των βαρέων υγρών (κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm), καθώς και τα συμπυκνώματα του οπτικού διαχωρισμού (κοκκομετρικά κλάσματα +10mm και -10mm +4.75mm). Εμπορεύσιμο και με μεγάλη περιεκτικότητα είναι επίσης το προϊόν που προκύπτει

από την ανάμιξη του συμπυκνώματος και του ενδιάμεσου προϊόντος του οπτικού διαχωρισμού και για τα δύο κοκκομετρικά κλάσματα που εξετάστηκαν.

Από το Διάγραμμα 33 αλλά και από το Διάγραμμα 32, φαίνονται επίσης τα αποτελέσματα από την εφαρμογή διαχωρισμού με βαρύ υγρό και μαγνητικό διαχωρισμό για το κοκκομετρικό κλάσμα -2.36mm. Τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου είναι σαφώς καλύτερα. Επίσης, στο κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm εφαρμόστηκε η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού και του οπτικού διαχωρισμού. Και εδώ παρατηρείται ότι η μέθοδος του μαγνητικού διαχωρισμού υστερεί έναντι του οπτικού, ο οποίος δίνει σαφώς καλύτερα αποτελέσματα.

Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο που παρατηρείται από το Διάγραμμα 33, είναι ότι το καλύτερο συμπύκνωμα του μαγνητικού διαχωρισμού, έχει σχεδόν την ίδια περιεκτικότητα με το ενδιάμεσο προϊόν του οπτικού διαχωρισμού του κλάσματος -10mm +4.75mm. Δεδομένου ότι τα συμπυκνώματα του οπτικού διαχωρισμού έχουν πολύ καλά αποτελέσματα, σε συνδυασμό με την τελευταία παρατήρηση, ο μαγνητικός διαχωρισμός μάλλον δεν συνίσταται ούτε για προεμπλουτισμό του ορυκτού.

Από τους πίνακες του Κεφαλαίου 2 που μας δείχνουν την ανάκτηση σε μαγνησίτη για κάθε κοκκομετρικό κλάσμα σε κάθε μέθοδο, προκύπτει το Διάγραμμα 34 αναφορικά με τις ανακτήσεις.



Διάγραμμα 34: Ανάκτηση σε μαγνησίτη των μεθόδων με την χρήση βαρέως υγρού και του οπτικού διαχωρισμού

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι και οι δύο μέθοδοι έχουν επιτύχει στο συμπύκνωμά τους μια ανάκτηση της τάξης 70-75%. Ωστόσο, το προϊόν που προκύπτει από την ενοποίηση του συμπυκνώματος και του ενδιάμεσου προϊόντος του οπτικού διαχωρισμού, εκτός από την πολύ μεγάλη περιεκτικότητα, έχει και μεγάλη ανάκτηση και για τα δύο κοκκομετρικά κλάσματα.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών, και οι δύο μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν για το διαχωρισμό του στείρου από τον μαγνησίτη.

Η επιτυχής ανάκτηση μαγνησίτη από το απόρριμμα της χειροδιαλογής με ταυτόχρονη παραγωγή εμπορεύσιμου συμπυκνώματος μαγνησίτη έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη αξιοποίηση του κοιτάσματος, τη βελτίωση των οικονομικών της συνολικής εκμετάλλευσης και την μείωση του όγκου των απορριμμάτων.

Βιβλιογραφία

1. Περάκη, Θ. *Βιομηχανικά Ορυκτά & Πετρώματα - OnLine Υλικό Διδασκαλίας*. http://www.metal.ntua.gr/uploads/3472/438/4_magnhsiths.ppt (πρόσβαση 12/3/2012)
2. Χαΐνης, Γ. (1983). *Η κατανομή της περιεκτικότητας μαγνησίτης στο κοίτασμα Νο 4 του Κάκκαβου (Μαντουδίου, Ευβοίας) και η σημασία της στην εκμετάλλευση ανάλογων κοιτασμάτων*. Διδακτορική διατριβή, ανώτατη σχολή μηχανικών μεταλλείων και μεταλλουργών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
3. *Mineral Resources Program*. U.S. Geological Survey: <http://minerals.usgs.gov/> (πρόσβαση 12/3/2012)
4. Φραγκίσκος, Α. Ζ. (1995). *Εμπλουτισμός μεταλλευμάτων και βιομηχανικών ορυκτών (ορυκτουργία)*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

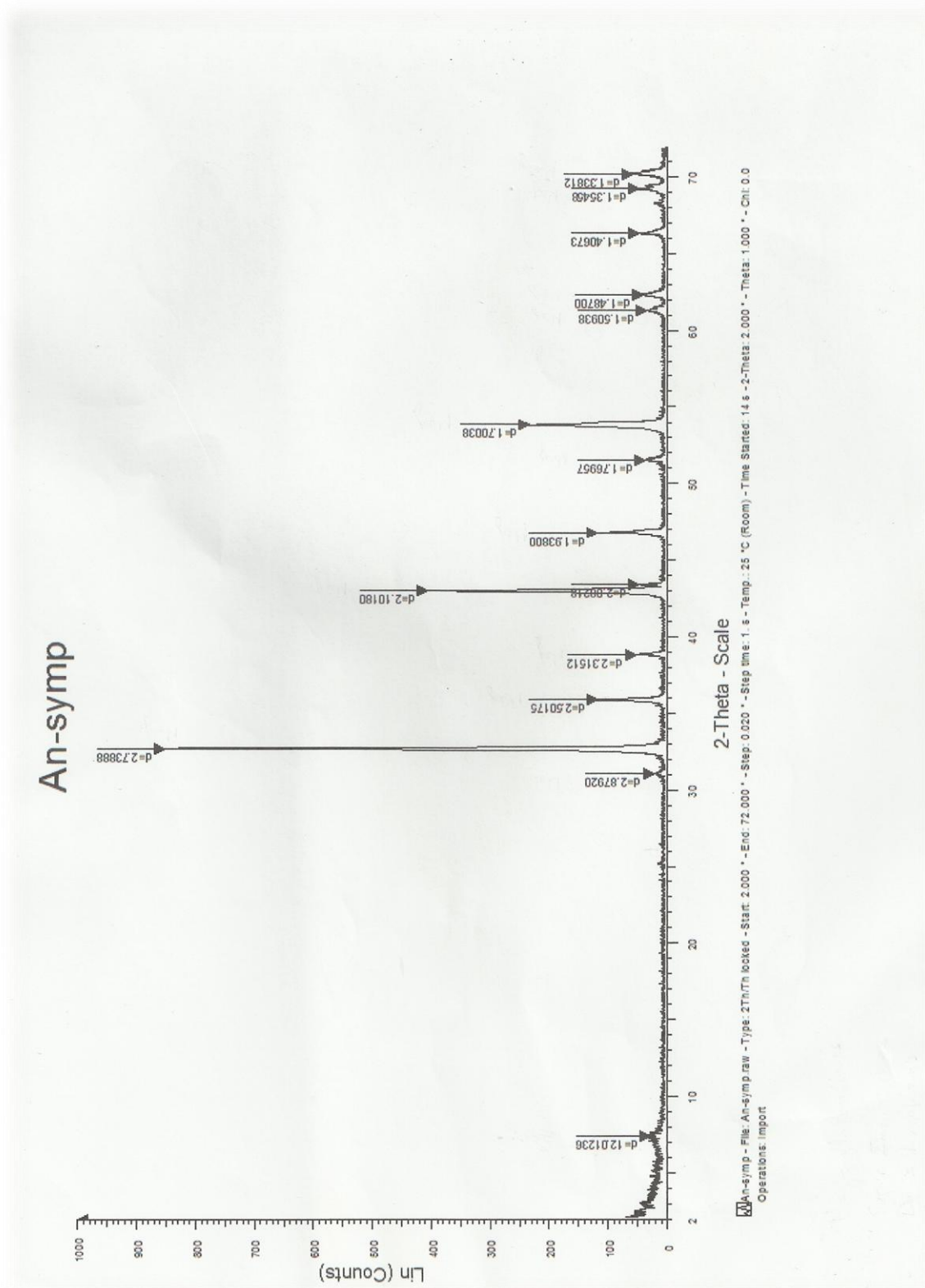
ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ-X (XRD)

Τα δείγματα εξετάστηκαν με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (X-rays diffraction). Για τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Bruker D-8 Focus, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: ακτινοβολία CuK α , ($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$), φίλτρο Ni, ένταση 30 mA, τάση 40 Kv και ταχύτητα γωνιόμετρου 1⁰/min. Η ταυτοποίηση των ορυκτολογικών φάσεων, έγινε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις. Η εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-X έγινε σε κονιοποιημένα δείγματα.

- Το δείγμα “An-Symp” (Διάγραμμα 35) αποτελείται σχεδόν από καθαρό μαγνησίτη (MgCO₃). Περιέχει, επίσης, λίγο δολομίτη [CaMg(CO₃)₂] και ελάχιστο σηπιόλιθο (Mg₂Si₂O₈·2H₂O).

Για τον προσδιορισμό του μαγνησίτη χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις hkl: (104) στα $d=2.74 \text{ \AA}$, (113) στα $d=2.10 \text{ \AA}$, (116) στα $d=1.70 \text{ \AA}$ κ.λ.π.

Για τον προσδιορισμό του δολομίτη, χρησιμοποιήθηκε η κύρια ανάκλαση hkl: (104) στα $d=2.88 \text{ \AA}$, ενώ για το σηπιόλιθο χρησιμοποιήθηκε, αντίστοιχα, η κύρια ανάκλαση hkl: (110) στα $d=12.01 \text{ \AA}$,

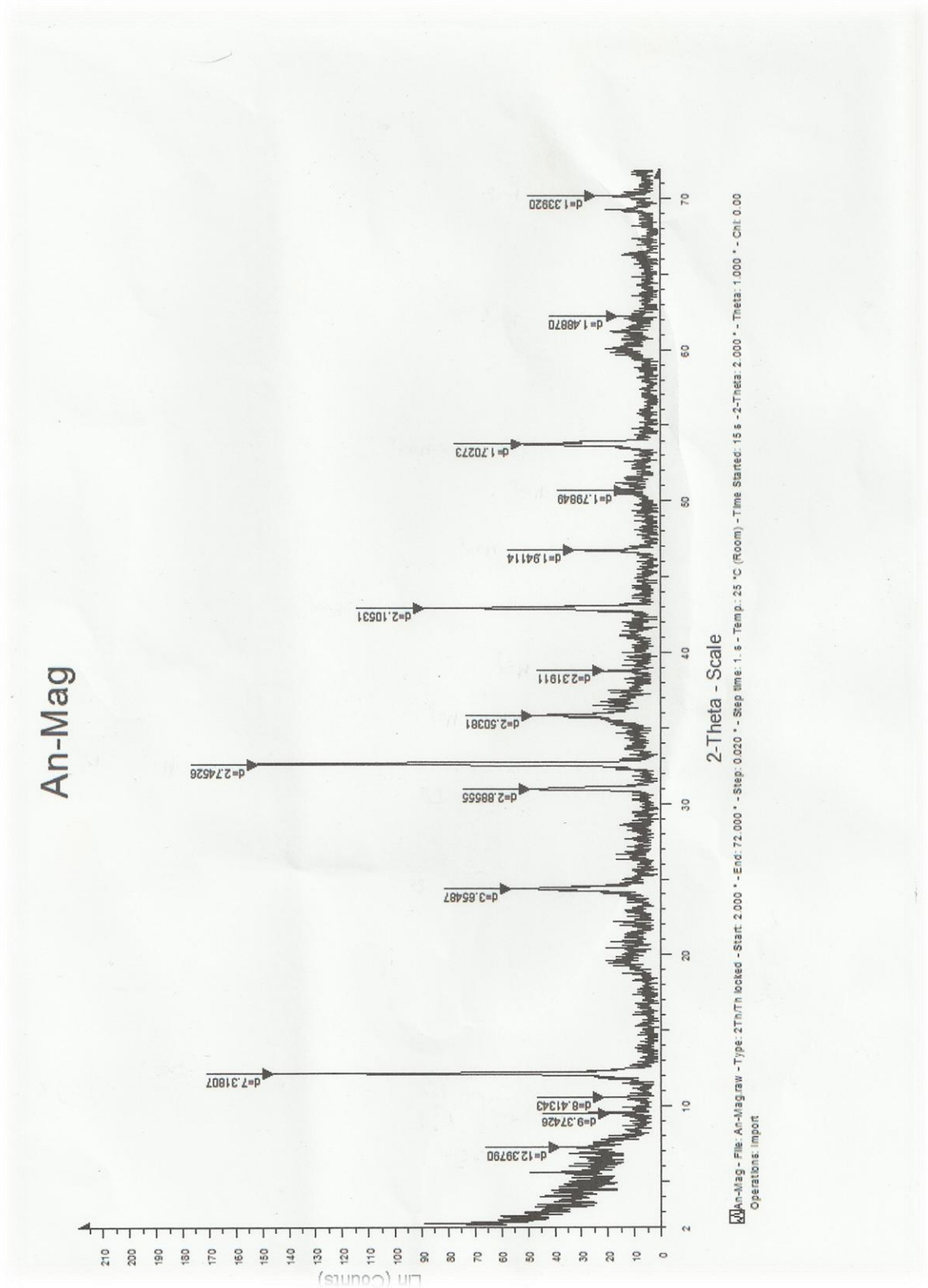


Διάγραμμα 35: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, του κοκκομετρικού κλάσματος -10mm +4.75mm, του συμπυκνώματος του οπτικού διαχωρισμού

- Το δείγμα “An-Mag” (Διάγραμμα 36) περιέχει μαγνησίτη, σε μικρότερη περιεκτικότητα σε σχέση με το δείγμα “An-Symp” και περισσότερο δολομίτη. Έχει, επίσης, αυξημένη περιεκτικότητα σε σερπεντίνη, ενώ ταυτοποιούνται και τα ορυκτά: τάλκης, αμφίβολοι και σηπιόλιθος.

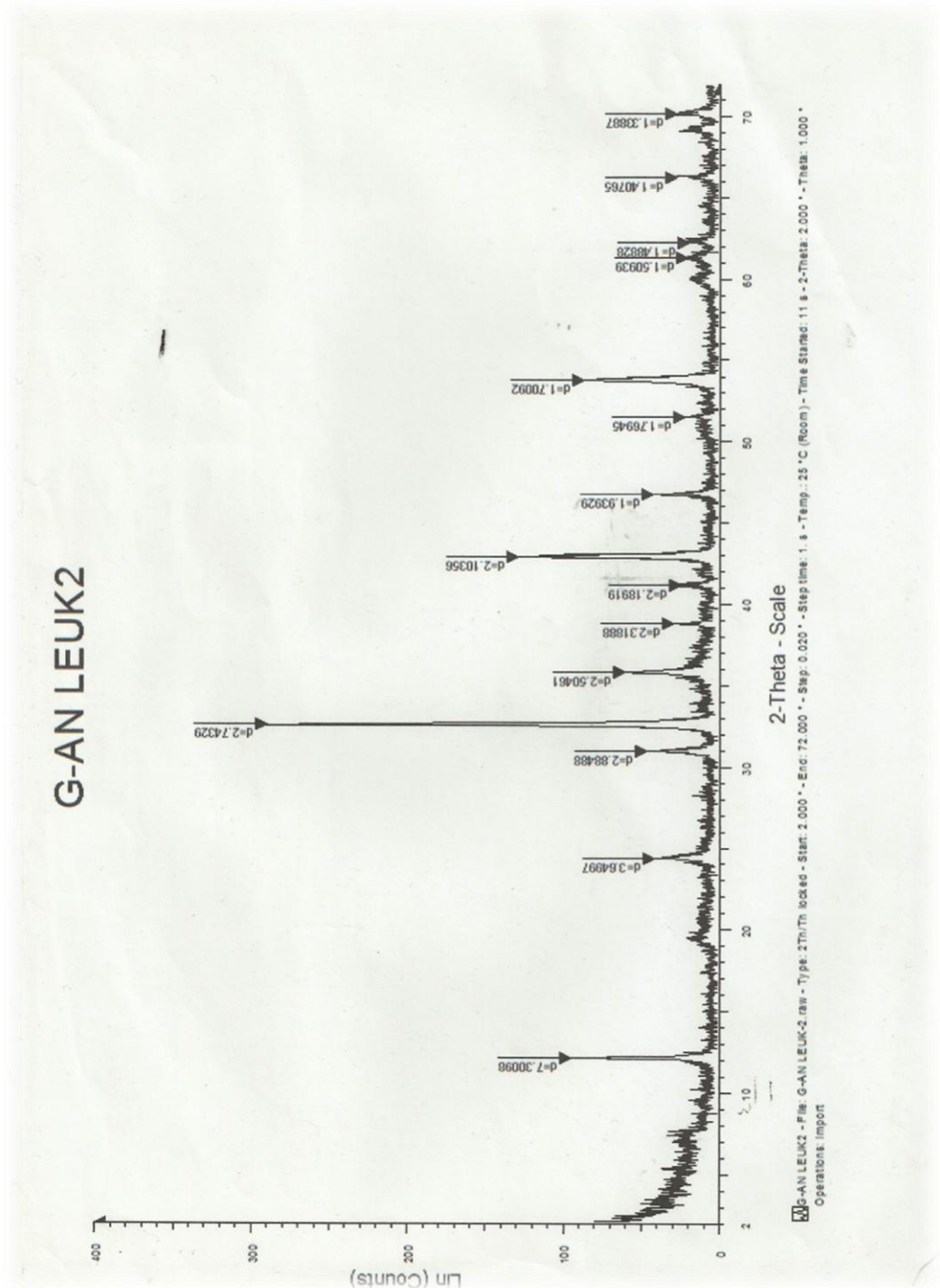
Τα ορυκτά μαγνησίτης, δολομίτης και σηπιόλιθος, ταυτοποιήθηκαν, όπως και στο δείγμα “An-Symp”.

Για τον προσδιορισμό του σερπεντίνης, χρησιμοποιήθηκε η κύρια ανάκλαση hkl: (001) στα $d=7.31 \text{ \AA}$, για τον τάλκη χρησιμοποιήθηκε, αντίστοιχα, η κύρια ανάκλαση hkl: (002) στα $d=9.37 \text{ \AA}$, ενώ για τους αμφίβολους η κύρια ανάκλαση hkl: (110) στα $d=8.41 \text{ \AA}$.



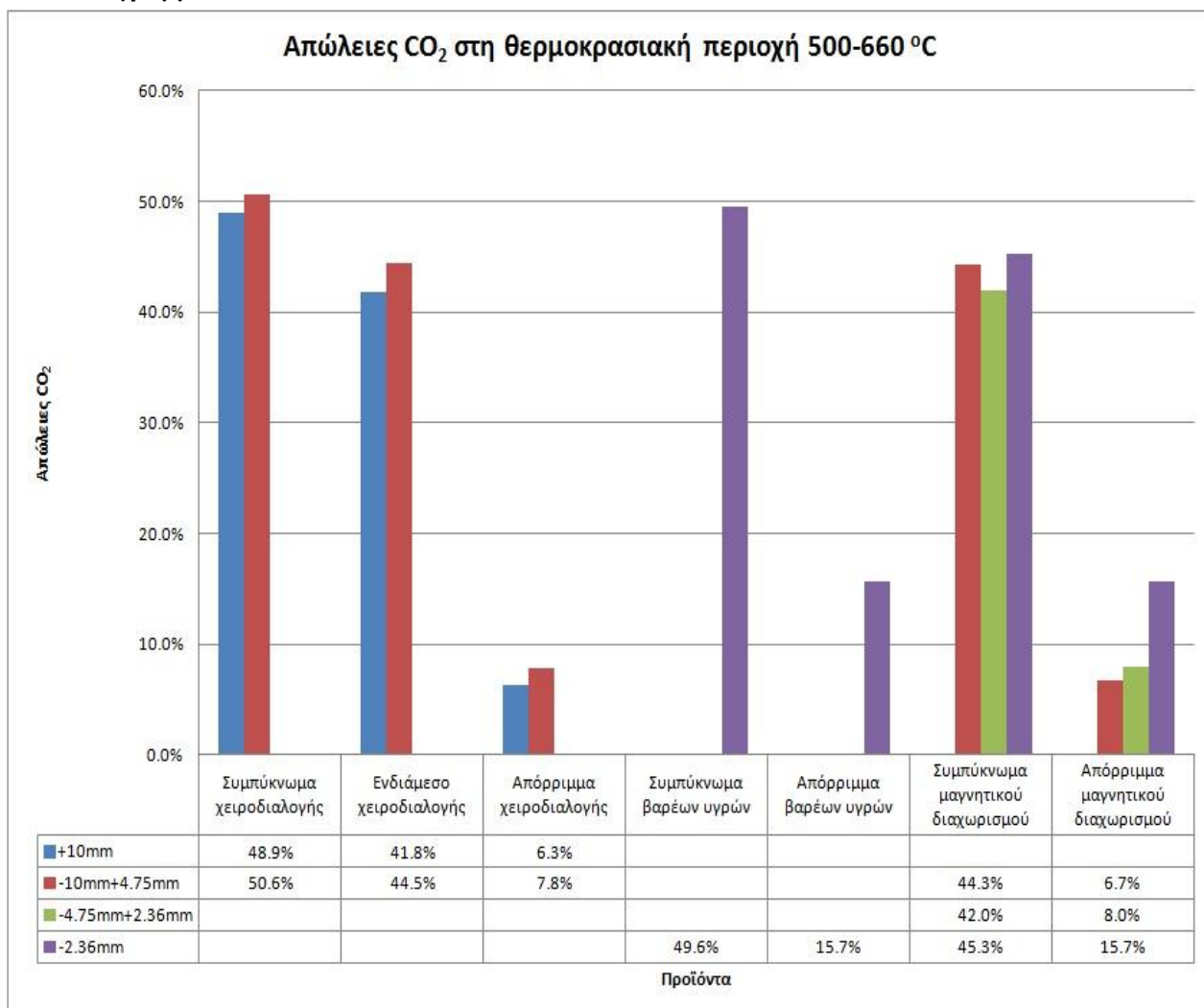
Διάγραμμα 36: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, του κοκκομετρικού κλάσματος -2.36mm, του απορρίμματος (μαγνητικό) του μαγνητικού διαχωρισμού

- Το δείγμα “G-AN LEUK2” (Διάγραμμα 37) περιέχει τα ορυκτά μαγνησίτη, δολομίτη και σερπεντίνη, τα οποία ταυτοποιήθηκαν όπως και παραπάνω.



Διάγραμμα 37: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του αρχικού υλικού που στάλθηκε από το εργοστάσιο για μελέτη

Διάγραμμα Απωλειών CO₂



Διάγραμμα 38: Διάγραμμα απωλειών CO₂ στη θερμοκρασιακή περιοχή 500-660 °C

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Παραγωγή μαγνησίτη για 11 χώρες κατά την περίοδο 2001-2009	12
Διάγραμμα 2: Κοκκομετρική ανάλυση του αρχικού δείγματος -10mm.	19
Διάγραμμα 3: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μελέτης του βαθμού αποδέσμευσης	20
Διάγραμμα 4: Προϊόντα διαχωρισμού κοκκομετρικών κλασμάτων +10mm και -10mm +4.75mm	23
Διάγραμμα 5: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm.....	26
Διάγραμμα 6: Καμπύλη TG ενδιάμεσου προϊόντος για το κλάσμα -10mm +4.75mm.....	27
Διάγραμμα 7: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm	27
Διάγραμμα 8: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα +10mm	28
Διάγραμμα 9: Καμπύλη TG ενδιάμεσου προϊόντος για το κλάσμα +10mm	28
Διάγραμμα 10: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα +10mm.....	29
Διάγραμμα 11: Καμπύλες TG συμπυκνωμάτων οπτικού διαχωρισμού	30
Διάγραμμα 12: Καμπύλες TG ενδιάμεσων προϊόντων οπτικού διαχωρισμού.....	30
Διάγραμμα 13: Καμπύλες TG απορριμμάτων οπτικού διαχωρισμού.....	31
Διάγραμμα 14: Κατανομή μαγνησίτη και σιέριου στα προϊόντα χειροδιαλογής για το κοκκομετρικό κλάσμα +10mm	34
Διάγραμμα 15: Κατανομή μαγνησίτη και σιέριου στα προϊόντα χειροδιαλογής για το κοκκομετρικό κλάσμα -10mm +4.75mm	35
Διάγραμμα 16: Ακτινοδιάγραμμα XRD του συμπυκνώματος για το κοκκομετρικό κλάσμα - 10mm +4.75mm του οπτικού διαχωρισμού	40
Διάγραμμα 17: Καμπύλες TG, DTG, DTA του συμπυκνώματος για το κοκκομετρικό κλάσμα - 10mm +4.75mm του οπτικού διαχωρισμού	41
Διάγραμμα 18: Καμπύλη TG συμπυκνώματος του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	44
Διάγραμμα 19: Καμπύλη TG απορρίμματος του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	45
Διάγραμμα 20: Κατανομή μαγνησίτη και σιέριου στα προϊόντα του βαρυτομετρικού διαχωρισμού	46
Διάγραμμα 21: Προϊόντα διαχωρισμού κοκκομετρικών κλασμάτων -2.36mm,	49
Διάγραμμα 22: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -2.36mm.....	50
Διάγραμμα 23: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -2.36mm	51
Διάγραμμα 24: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -4.75mm +2.36mm.....	51
Διάγραμμα 25: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -4.75mm +2.36mm	52
Διάγραμμα 26: Καμπύλη TG συμπυκνώματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm.....	52
Διάγραμμα 27: Καμπύλη TG απορρίμματος για το κλάσμα -10mm +4.75mm	53
Διάγραμμα 28: Καμπύλες TG συμπυκνωμάτων μαγνητικού διαχωρισμού	54
Διάγραμμα 29: Κατανομή μαγνησίτη και σιέριου στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα -10mm +4.75mm.....	56
Διάγραμμα 30: Κατανομή μαγνησίτη και σιέριου στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα -4.75mm +2.36mm	57
Διάγραμμα 31: Κατανομή μαγνησίτη και σιέριου στα προϊόντα του μαγνητικού διαχωρισμού για το κλάσμα -2.36mm.....	57
Διάγραμμα 32: Οι καμπύλες TG όλων των συμπυκνωμάτων	61
Διάγραμμα 33: Περιεκτικότητες σε μαγνησίτη των συμπυκνωμάτων και ενδιάμεσων προϊόντων	62

Διάγραμμα 34: Ανάκτηση σε μαγνησίτη των μεθόδων με την χρήση βαρέως υγρού και του οπτικού διαχωρισμού	64
Διάγραμμα 35: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, του κοκκομετρικού κλάσματος -10mm +4.75mm, του συμπυκνώματος του οπτικού διαχωρισμού.....	67
Διάγραμμα 36: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, του κοκκομετρικού κλάσματος – 2.36mm, του απορρίμματος (μαγνητικό) του μαγνητικού διαχωρισμού	69
Διάγραμμα 37: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X του αρχικού υλικού που στάλθηκε για από το εργοστάσιο για μελέτη	70
Διάγραμμα 38: Διάγραμμα απωλειών CO ₂ στη θερμοκρασιακή περιοχή 500-660 οC	71

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Στοιχεία για τον μαγνησίτη.....	9
Πίνακας 2: Τυπικές χημικές αναλύσεις μαγνησίτη	10
Πίνακας 3: Κοκκομετρική ανάλυση του αρχικού δείγματος -10mm	19
Πίνακας 4: Αποτελέσματα μελέτης βαθμού αποδέσμευσης	21
Πίνακας 5: Βάρος των προϊόντων της χειροδιαλογής του κοκκομετρικού κλάσματος - 10mm+4.75mm.....	23
Πίνακας 6: Βάρος των προϊόντων της χειροδιαλογής του κοκκομετρικού κλάσματος +10mm ...	23
Πίνακας 7: Περιεκτικότητες σε μαγνησίτη και στείρο των προϊόντων	32
Πίνακας 8: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος +10mm.....	35
Πίνακας 9: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -10mm +4.75mm.....	35
Πίνακας 10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα οπτικού διαχωρισμού.....	37
Πίνακας 11:Βάρος των προϊόντων βαρυτομετρικού διαχωρισμού με βαριά υγρά.....	43
Πίνακας 12: Ισοζύγια μάζας.....	47
Πίνακας 13: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα βαρυτομετρικού διαχωρισμού	47
Πίνακας 14: Βάρος των προϊόντων του μαγνητικού διαχωρισμού για τα κοκκομετρικά κλάσματα -2.36mm, -4.75mm+2.36mm και -10mm+4.75mm	48
Πίνακας 15: Περιεκτικότητες σε μαγνησίτη και στείρο των προϊόντων των διάφορων κοκκομετρικών κλασμάτων	55
Πίνακας 16: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -10mm +4.75mm	58
Πίνακας 17: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -4.75mm +2.36mm	58
Πίνακας 18: Ισοζύγιο μάζας προϊόντων του κλάσματος -2.36mm	58
Πίνακας 19: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μαγνητικού διαχωρισμού	59

Ευρετήριο Φωτογραφιών

Φωτογραφία 1: Υλικό προς χειροδιαλογή.....	22
Φωτογραφία 2: Συμπύκνωμα, απόρριμμα και ενδιάμεσο προϊόν οπτικού διαχωρισμού με χειροδιαλογή.	25