



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

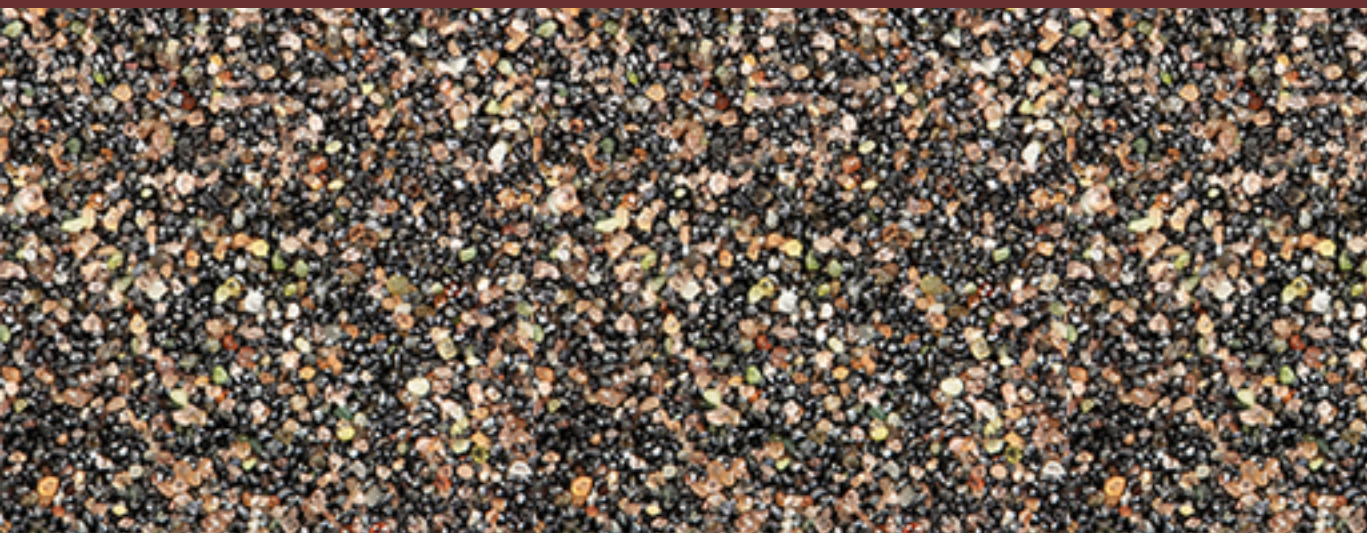
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ:

Τεκτονική, Στρωματογραφία, Περιβαλλοντική Γεωλογία

**«Αναζήτηση πηγών τροφοδοσίας ψαμμιτών  
του Νεογενούς στην ιζηματολογική λεκάνη  
δυτικής Μεσσαράς με χρήση βαρέων ορυκτών»**

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Η. ΠΙΤΣΟΛΗΣ



ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Μανούτσου Εμμανουήλ (επιβλέπων)

Αν. Καθ. Αλεβίζος Γεώργιος

Sen. Assist. Prof. Τσικούρας Βασίλειος (Universiti Brunei Darussalam)

Χανιά, 2017

Η έγκριση της παρούσας διπλωματικής εργασίας από το Πολυτεχνείο Κρήτης, δε  
σημαίνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Νόμος 5343/1932, άρθρο 202).

## Περίληψη

Τα αλπικής ηλικίας πετρώματα της Κρήτης έχουν καλυφθεί, κατά θέσεις ασύμφωνα, από τα μέσα του Νεογενούς με κατεξοχήν κλαστικές ακολουθίες, ετερογενείς στη λιθολογία, κυμαινόμενου πάχους (από 50 μ. μέχρι μεγαλύτερο από 600 μ.). Εντός των μαργών και των ψαμμιτών, που αποτελούν τους κύριους λιθοτύπους των ακολουθιών αυτών, σε διάφορα χρονικά διαστήματα εκπονήθηκαν και στην Κρήτη προγράμματα αναζήτησης υδρογονανθράκων. Παρόλο που μεγάλος αριθμός γεωεπιστημόνων έχει ασχοληθεί με την μελέτη των πετρωμάτων αυτών, υπάρχει σχετικά μικρός αριθμός εργασιών σχετικών με την παλαιογεωγραφική εξέλιξη τους κατά το Νεογενές – Τεταρτογενές, ενώ ταυτόχρονα λείπουν παντελώς εργασίες σχετικές με την ανάλυση προέλευσης (provenance analysis) για τις περιοχές/θέσεις καθώς και τους σχηματισμούς τροφοδοσίας των κλαστικών υλικών που δημιούργησαν αρχικά τα ιζήματα και στη συνέχεια τα πετρώματα αυτά.

Από τα 36 δείγματα που πάρθηκαν από δύο κύριες τομές στην δυτική Μεσσαρά μελετήθηκαν στο κλάσμα των 125 - 90 μm, που ανακτήθηκε με τη μέθοδο των βαρέων υγρών, το σύνολο των βαρέων ορυκτών (με πυκνότητα μεγαλύτερη 2,94 g/cm<sup>3</sup>) και αφού έγινε η ταυτοποίησή τους, ποσοτικοποιήθηκαν με το πρόγραμμα EVA και στη συνέχεια μελετήθηκε η χωρική κατανομή τους. Η μαζική ύπαρξη ορυκτών της ομάδας του επιδότου στην πλειονότητα των δειγμάτων, υποδεικνύει ότι οι σχηματισμοί τροφοδοσίας αυτών, που διαφέρουν μεν σε ηλικία (Σχηματισμοί Βιάννου και Αμπελούζου) αλλά όπως έδειξαν τα αποτελέσματα ιζηματολογικών αναλύσεων αποτέθηκαν σε παραπλήσιο αποθετικό περιβάλλον, θα πρέπει να αναζητηθούν στα μεταμορφωμένα πετρώματα των Ανωτέρων Καλυμμάτων των Εσωτερικών Ελληνίδων και σε δεύτερη θέση στα μεταμορφωμένα πετρώματα του Φυλλιτικού Καλύμματος, που αντιπροσωπεύεται με την παρουσία κυρίως του χλωριτοειδούς.

Τα αποτελέσματα αυτά συνηγορούν στην άποψη, που πριν από δεκαετίες έχει προταθεί αλλά δεν έχει υποστηριχθεί με δεδομένα, ότι η κύρια πηγή τροφοδοσίας των κλαστικών ιζημάτων που πλήρωσαν τις λεκάνες του Νεογενούς στην Κρήτη θα πρέπει να αναζητηθεί βορειότερα της Κρήτης, στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου, που ήταν και είναι ευρέως εξαπλωμένα τα πετρώματα των Ανωτέρων Καλυμμάτων των Εσωτερικών Ελληνίδων. Τα δεδομένα αυτά συμβάλουν στην κατανόηση της πολύπλοκης γεωτεκτονικής εξέλιξης όχι μόνο της νήσου Κρήτης αλλά και της ευρύτερης περιοχής, που βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος στα πλαίσια αναζήτησης υδρογονανθράκων.

## Abstract

The Alpine rocks of Crete have been covered, in discordant positions from middle Neogene essentially in clastic sequences, heterogeneous in lithology, variable thickness (50 m until greater than 600 m). Inside the marls and sandstones, which are the primary lithotype of these sequences at various periods, were prepared and Crete hydrocarbons research and exploration. Although a large number of geoscientists has studied these rocks, only few have related these rocks to their paleogeographic evolution during the Neogene - Quaternary, while there is a lack of work on the provenance analysis for areas / locations and the power configurations of clastic material originally formed sediment and then these rocks. Of the 36 samples that were taken from two main sections in the western Messara studied in the fraction of 125 to 90  $\mu\text{m}$ , which was recovered by the method of heavy liquid, the whole of heavy minerals (density greater than 2,94 g /  $\text{cm}^3$ ), and after becoming their identification, quantified by the EVA program and then their spatial distribution was studied. The massive presence of minerals of subsidizing the plurality of sample groups, indicates that the feed formulations thereof, although differing in age (Viannos and Ampelouzos Formations) but as shown the results sedimentological analyzes were plated on similar depositional environment, should be sought in the transformed rocks of the Upper Nappe of Inner Hellenides and in the metamorphic rocks of Phyllite Nappe, represented mainly by the presence of chloritoid. These results suggest the hypothesis that decades ago has been proposed but not supported by data, that the main source of clastic sediments which feed the Neogene basins of Crete should be present to the north of Crete, in the central Aegean Sea, where the Upper Nappe of Inner Hellenides is widely spread. These data contribute to the understanding of the complex geotectonic evolution not only of the island of Crete but also the wider region, located at the center of interest for hydrocarbon research.



# Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε χάρη στην πολύτιμη συμβολή τόσο των ανθρώπων οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου, όσο και εκείνων που εργάζονται στο Πολυτεχνείο Κρήτης, και συγκεκριμένα τμήμα των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Έτσι, ξεκινώ τις ευχαριστίες από τον επιβλέποντα καθηγητή Καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ για τη στήριξη, τη βοήθεια και τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας και κυρίως για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, με το να δεχτεί να δουλέψει μαζί μου. Εν συνεχεία, θεωρώ σκόπιμο να εκφράσω την χαρά αλλά και τις θερμές μου ευχαριστίες στους καθηγητές Γεώργιο Αλεβίζο και Βασίλειο Τσικούρα που δέχτηκαν να βρίσκονται στην επιτροπή και προσέθεσαν επιπλέον γνώσεις σχετικά με το αντικείμενο μέσα από τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες Ιωάννη Πυλιώτη και Γεώργιο Παναγόπουλο. Τον πρώτο για τις μείζονες σημασίας συμβουλές και το χρόνο που διέθεσε και τον τελευταίο για τη διάθεση δύο δειγμάτων που μελετήθηκαν για την παρούσα εργασία.

Επιπροσθέτως, κρίνεται απαραίτητο να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους βοηθούς του εργαστηρίου Εμπλουτισμού, Βαγγέλη Πετράκη και Όλγα Παντελάκη, τόσο για τη διάθεση χώρου του εργαστηρίου όσο και για τις συνεχείς υποδείξεις γύρω από το εργαστηριακό κομμάτι της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το κύριο Αντώνη Στρατάκη από το εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας για την συμμετοχή του στην μελέτη της αναγνώρισης των ορυκτών καθώς επίσης και την κυρία Ευτυχία Ρεπούσκου για την παραχώρηση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

Ξεχωριστά, αισθάνομαι την ανάγκη να αναφερθώ στον κ. Βασίλη Περδικάτη. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τη βοήθειά του, τον τρόπο που προσπάθησε να μου δώσει «κομμάτια» από την εμπειρία του και την άμεση ανταπόκριση όταν του ζητήθηκαν διευκρινήσεις. Ο κ. Περδικάτης, συνέβαλε στη διεύρυνση των ορυκτολογικών μου γνώσεων ενώ χάρη σε αυτόν οφείλω τη χρήση και γνώση μέρους του προγράμματος EVA. Ως εκ τούτου, πρόκειται για ένα άνθρωπο που συμμετείχε σημαντικά στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και του αξίζουν θερμές ευχαριστίες για τον πολύτιμο χρόνο του, που διέθεσε για εμένα.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω μερικούς φίλους οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα και έκαναν την παραμονή μου στα Χανιά καλύτερη. Ηθικώς, ξεκινώ από τον επιστήθιο φίλο και συνεργάτη στο εργαστηριακό κομμάτι της παρούσας εργασίας, Κώστα Φλουρή για την τέλεια συνεργασία που είχαμε. Κατόπιν, τους επιστήθιους φίλους μου από το εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας, Μαντζιώκα Ηρακλή και Σπαντιδάκη Στυλιανό, αλλά και τον Μιχάλη Γιόφκο τόσο για τη διάθεση των δειγμάτων του όσο και για την άποψη επαγγελματική συνεργασία που είχαμε. Ακολούθως, θερμές ευχαριστίες τους πολύ καλούς φίλους που συνέβαλαν ο καθένας με τον τρόπο του, Ζωντανό Φώτη, Σουβατζή Γεωργία, Τσόλη Χαρά για την ουσιαστική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν. Ξεχωριστά, ευχαριστώ ειλικρινά την κοπέλα μου, Ναυσικά Σταυρουλάκη, για την βοήθεια της στην τελική μορφοποίηση της εργασίας αλλά και επειδή στάθηκε δίπλα μου. Πάνω από όλα όμως οφείλω το πιο μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Ηλία και Αγγελική για την υπομονή και τη στήριξη που έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, χωρίς τη βοήθεια των οποίων δε θα είχα καταφέρει συγγράψω την παρούσα εργασία για αυτό και αφιερώνεται σε αυτούς.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>6</b>
ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....</b>	<b>9</b>
1.1.    ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ.....	9
1.1.1    ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΔΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ .....	9
1.2.    ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ .....	11
1.2.    ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ.....	15
1.2.1.1.    ΑΠΟΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ .....	21
1.2.1.2.    ΑΠΟΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΠΙΚΗ ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ .....	25
1.2.1.3.    ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΔΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>36</b>
2.1.    ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ (PROVENANCE ANALYSIS) .....	36
2.2.    ΙΣΤΟΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ .....	37
2.3.    ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ.....	39
2.4.    ΒΑΡΕΑ ΟΡΥΚΤΑ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ.....	42
2.4.1.    ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ .....	42
2.4.2.    ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ .....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....</b>	<b>51</b>
3.1.    ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ .....	51
3.1.1.    ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	51
3.1.2.    ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	51
3.2.    ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	54
3.3.    ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ .....	54
3.3.1.    ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	54
3.3.2.    ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ LASER.....	57
3.4.    ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ .....	59
3.5.    ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ .....	61
3.5.1.1.    ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΗ XRD.....	63
3.6.    ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ .....	64
3.7.    ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ .....	65
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>68</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>89</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>95</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>101</b>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ .....	102
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ EVA .....	115
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ XRD.....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΤΟΥ ΒΑΡΕΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ .....	165

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανάδυση και η διαμόρφωση του σημερινού τοπογραφικού της ανάγλυφου της Κρήτης έχει ερμηνευτεί ως το αποτέλεσμα αφενός διαχρονικών εναλλαγών και ισορροπιών συμπιεστικής παραμόρφωσης και εφελκυστικών τάσεων της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής Πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, εντός του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου μέχρι και της περιοχής της Μεσογειακής ράχης και αφετέρου κλιματικών εναλλαγών. Στο έντονο σχετικά τοπογραφικό ανάγλυφο της Κρήτης δεσπόζει μια ευρύτερη περιοχή σχετικής ταπείνωσης μεταξύ των ορεινών όγκων του Ψηλορείτη στα βόρεια και των Αστερουσίων στον νότο. Η ευρύτερη αυτή περιοχή γνωστή και ως πεδιάδα της Μεσσαράς αποτελεί το πεδινό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς που ενός αυτής τα αλπικής ηλικίας πετρώματα της νήσου έχουν καλυφθεί κατά τη διάρκεια του Νεογενούς από κατεξοχήν κλαστικές, ετερογενείς στη λιθολογία, ακολουθίες που κατά θέσεις έχουν μεγάλο πάχος (μεγαλύτερο από 600 μ.). Τα πετρώματα αυτά εντάχθηκαν κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '80 στις περιοχές αναζήτησης υδρογονανθράκων που διεξήγαγε το Ελληνικό Δημόσιο. Μετά από πάροδο δεκαετιών για την ίδια περιοχή παρουσιάστηκαν νέα στοιχεία κι δεδομένα στο πεδίο της αναζήτησης υδρογονανθράκων (μεταξύ άλλων Panagoroulos et al., 2011; Πασαδάκης et al., 2013; Maravelis et al., 2013).

Παρόλο που μεγάλος αριθμός ερευνητών, έχει μελετήσει τους προ- νεογενείς αλλά και τους σχηματισμούς του Νεογενούς και Τεταρτογενούς της νήσου, υπάρχει σχετικά μικρός αριθμός εργασιών σχετικών με την παλαιογεωγραφική της εξέλιξη κατά το Νεογενές/Τεταρτογενές και ταυτόχρονα λείπουν παντελώς εργασίες σχετικά με την προέλευση (provenance) δηλαδή τις περιοχές/θέσεις καθώς και τους σχηματισμούς τροφοδοσίας των σχετικά μεγάλων σε όγκο/ποσότητα υλικών που αποτέλεσαν αρχικά τα ιζήματα και στη συνέχεια τα πετρώματα του Νεογενούς.

## ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι η συστηματική μελέτη αναζήτησης πηγών τροφοδοσίας ψαμμιτών και ψαμμιτικών πετρωμάτων του Νεογενούς, με χρήση βαρέων ορυκτών, των οποίων η στρωματογραφική θέση είναι γνωστή σε σχετικές δημοσιευμένες εργασίες. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυσης προέλευσης (provenance analysis) δειγμάτων από τα ανωτέρω αναφερόμενα πετρώματα. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς και συγκεκριμένα στο δυτικό της τμήμα. Τόσο το δυτικό τμήμα όσο και η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς αποτελούν την περιοχή με τις μεγαλύτερες σε έκταση εμφανίσεις ακολουθιών του Νεογενούς στην Κρήτη. Ως εκ τούτου τα αποτελέσματα που προκύπτουν στοχεύουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικών με την προσέγγιση της παλαιογεωγραφικής θέσης των αρχικών ιζημάτων καθώς επίσης και την προσέγγιση του παλαιογεωγραφικού χώρου απόθεσης των αρχικών ιζημάτων που οδήγησαν στην δημιουργία των ψαμμιτών και ψαμμιτικών πετρωμάτων. Η παρούσα εργασία αποτελείται από 5 κεφάλαια τα οποία και αναλύονται συνοπτικά παρακάτω:

✚ **Κεφάλαιο 1:** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στη Γεωγραφία της νήσου της Κρήτης και της λεκάνης της Μεσσαράς, προκειμένου να γίνει κατανοητή η θέση στην οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην Γεωλογία της Κρήτης καθώς επίσης και της λεκάνης της Μεσσαράς αντίστοιχα. Το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται με την παράθεση των απόψεων σχετικών με την τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης κατά το Νεογενές-Τεταρτογενές.

✚ **Κεφάλαιο 2:** Στο κεφάλαιο αυτό εισάγεται η έννοια της ανάλυσης προέλευσης (**Provenance Analysis**) και η εξέλιξη που είχε στο πέρασμα του χρόνου. Επίσης, γίνεται αναφορά στις δυσκολίες που προκύπτουν στο στάδιο της ποσοτικοποίησης καθώς παράγοντες όπως το κλίμα και η μεταφορά καθώς και οι διαδικασίες διαγένεσης επηρεάζουν σημαντικά την περιεκτικότητα των πετρωμάτων σε βαρέα ορυκτά. Τέλος, παρουσιάζεται η σχετική σταθερότητα των βαρέων ορυκτών, δηλαδή το πόσο συχνά εμφανίζονται συγκεκριμένα ορυκτά ως συστατικά ιζηματογενών πετρωμάτων.

✚ **Κεφάλαιο 3:** Στο κεφάλαιο αυτό δίδεται έμφαση στην πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο τη παρούσας εργασίας καθώς και στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκαν

αναλύσεις βαρέων ορυκτών που περιλαμβάνουν απομόνωση, προσδιορισμό και ποσοτική κατανομή βαρέων ορυκτών, κοκκομετρικές αναλύσεις επεξεργασία στατιστικών παραμέτρων για την δημιουργία ιζηματολογικών αναλύσεων και διαγραμμάτων αποθετικού περιβάλλοντος.

✚ **Κεφάλαιο 4:** Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τα αποτελέσματα από:

- το διαχωρισμό μέσω βαρέος υγρού,
- τον προσδιορισμό και την ποσοτικοποίηση που προέκυψε από το πρόγραμμα EVA
- τις ιζηματολογικές αναλύσεις και τα αποθετικά περιβάλλοντα.

✚ **Κεφάλαιο 5:** Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται συζήτηση που αφορά τα βαρέα ορυκτά την σχέση τους με την περιοχή προέλευσης, το πιθανό περιβάλλον απόθεσης και τέλος εξάγονται τα συμπεράσματα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ – ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

### 1.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

*Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί του ελλαδικού χώρου και βρίσκεται στα νότια του Αιγαίου πελάγους. Πρόκειται για μια επιμήκη χερσαία περιοχή με γενική διεύθυνση Α-Δ, με το Κρητικό πέλαγος να βρέχει τις βόρειες ακτές του νησιού και το Λιβυκό πέλαγος να βρέχει τις νότιες. Οι μεγαλύτερες πόλεις βρίσκονται στη βόρεια πλευρά του και είναι από τα δυτικά προς τα ανατολικά τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο, ο Αγ. Νικόλαος και η Σητεία, οι οποίες αποτελούν και λιμάνια που συνδέοντας το νησί με την ηπειρωτική Ελλάδα. Κατά μήκος της νότιας ακτογραμμής συναντώνται μικρότερες πόλεις (Ιεράπετρα, Αγία Γαλήνη, Χώρα Σφακίων).*

*Οι μεγάλοι ορεινοί όγκοι στο νησί είναι τρεις. Τα Λευκά όρη, (2.452 m), στο δυτικό τμήμα της Κρήτης, νότια της πόλης των Χανίων. Ο Ψηλορείτης (Ιδη) (2.456 m) βρίσκεται στην κεντρική Κρήτη, μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Ρεθύμνου και το όρος Δίκτη (2.148 m) βρίσκεται μεταξύ των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, όπου έχει δημιουργηθεί το μεγάλης έκτασης οροπέδιο του Λασιθίου.*

*Ενδιάμεσα των ορεινών όγκων βρίσκονται οι λεκάνες του Ρεθύμνου, του Ηρακλείου και της Ιεράπετρας με μέση διεύθυνση Β-Ν. Ενώ με διεύθυνση κάθετη σε αυτή και στην περιοχή νότια του Ηρακλείου, έχει δημιουργηθεί η λεκάνη της Μεσσαράς, η οποία αποτελεί και την περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.*

#### 1.1.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ

*Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας αποτελεί την πεδιάδα η οποία ανήκει στην ευρύτερη λεκάνη της Μεσσαράς. Η πεδιάδα καλύπτει έκταση 398 km<sup>2</sup> ενώ ολόκληρη η λεκάνη περίπου 1005 km<sup>2</sup> (Κρινής, 2009). Ανήκει διοικητικά στην Περιφέρεια Κρήτης και πιο συγκεκριμένα στο Νομό Ηρακλείου ενώ βρίσκεται σε απόσταση 50km νότια από την πόλη του Ηρακλείου (εικόνα 1.1).*



Εικόνα 1.1 Γεωγραφικός χάρτης της Κρήτης (από Κρινής, 2009)

Η λεκάνη της Μεσσαράς βρίσκεται γεωγραφικά μεταξύ  $34^{\circ} 55'$  και  $35^{\circ} 15'$  Βόρεια του Ισημερινού και  $25^{\circ} 25'$  και  $25^{\circ} 25'$  Ανατολικά του Γκρίνουιτς. Οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους: α) Τδη (2.456 m) στο βορειοδυτικό τμήμα β) Αστερούσια Όρη (1.231 m) στο νότιο τμήμα και γ) Δίκτη (2.148 m) στο ανατολικό τμήμα, ενώ στο δυτικό τμήμα οριοθετείται από την περιοχή της Φαιστού και στο νοτιοανατολικό τμήμα το χωριό Δεμάτι.

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι 445 m και η μέση κλίση 23,7% (Κρινής 2009). Το ανάγλυφο είναι αρκετά έντονο με ήπιες έως μηδενικές κλίσεις στο πεδινό τμήμα της λεκάνης, έντονες κλίσεις στα πιο ορεινά τμήματα, όπως το βορειοδυτικό και το νότιο, και Πολύ έντονες κλίσεις στο ανατολικό τμήμα (εικόνα 1.2).



Εικόνα 1.2 Γεωγραφικός – γεωμορφολογικός χάρτης της λεκάνης Μεσσαράς με κλίμακα υψομέτρου (από Κρινής, 2009)

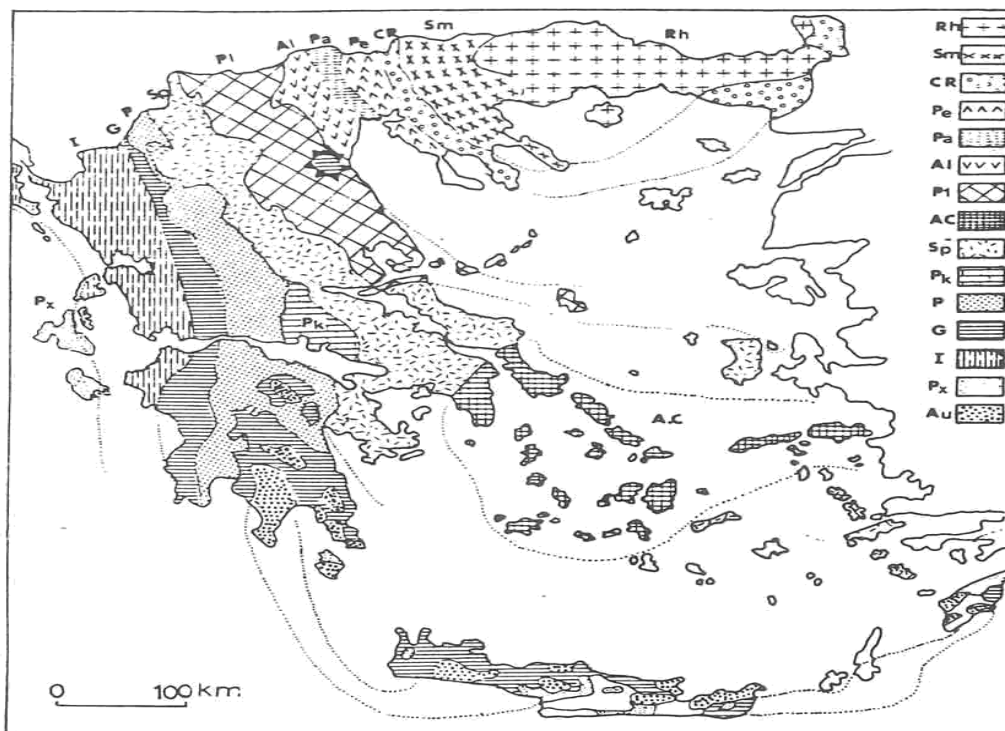
Από τη λεκάνη της Μεσσαράς διέρχονται δύο μεγάλοι ποταμοί, ο Γεροπόταμος (38,4 km) και ο Αναποδιάρης (46 km) που αποστραγγίζουν τη δυτική και ανατολική λεκάνη της Μεσσαράς αντίστοιχα. Άλλοι σημαντικοί ποταμοί της λεκάνης είναι οι δύο παραπόταμοι του Γεροποτάμου, ο Κατσουλίδης και ο Ληθαίος και οι δύο παραπόταμοι του Αναποδιάρη, ο Βαρύτης και ο Κολοκυθάς.



## 1.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

*Οι ερευνητές σήμερα, στηριζόμενοι στις νέες απόψεις της Θεωρίας των Λιθοσφαιρικών Πλακών δέχονται σχεδόν ομόφωνα την άποψη ότι η πλειονότητα των Αλπικών σχηματισμών της νήσου Κρήτης ανήκουν σε έναν ευρύτερο χώρο, το χώρο των Εξωτερικών Ελληνίδων αλλά στη δομή της συμμετέχουν και γεωτεκτονικές ζώνες των Εσωτερικών Ελληνίδων. Οι γεωτεκτονικές ζώνες του Ελλαδικού χώρου (Εικ. 1.3.) διακρίθηκαν ήδη από τον Brunh (1956) σε Εξωτερικές και Εσωτερικές με βάση κυρίως τον ορογενετικό τεκτονισμό που οι σχηματισμοί των ζωνών αυτών έχουν υποστεί. Πιο ειδικά, οι σχηματισμοί των Εξωτερικών ζωνών έχουν υποστεί κατά το Τριτογενές ένα μόνο ορογενετικό τεκτονισμό και κατέχουν το δυτικό και νότιο τμήμα του Ελλαδικού χώρου, ενώ οι σχηματισμοί των Εσωτερικών, εκτός από τον τεκτονισμό του Τριτογενούς, έχουν υποστεί επιπλέον και έναν πρώιμο ορογενετικό τεκτονισμό, που έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό, και κατέχουν το ανατολικό (εσωτερικό) τμήμα του Ελλαδικού χώρου.*

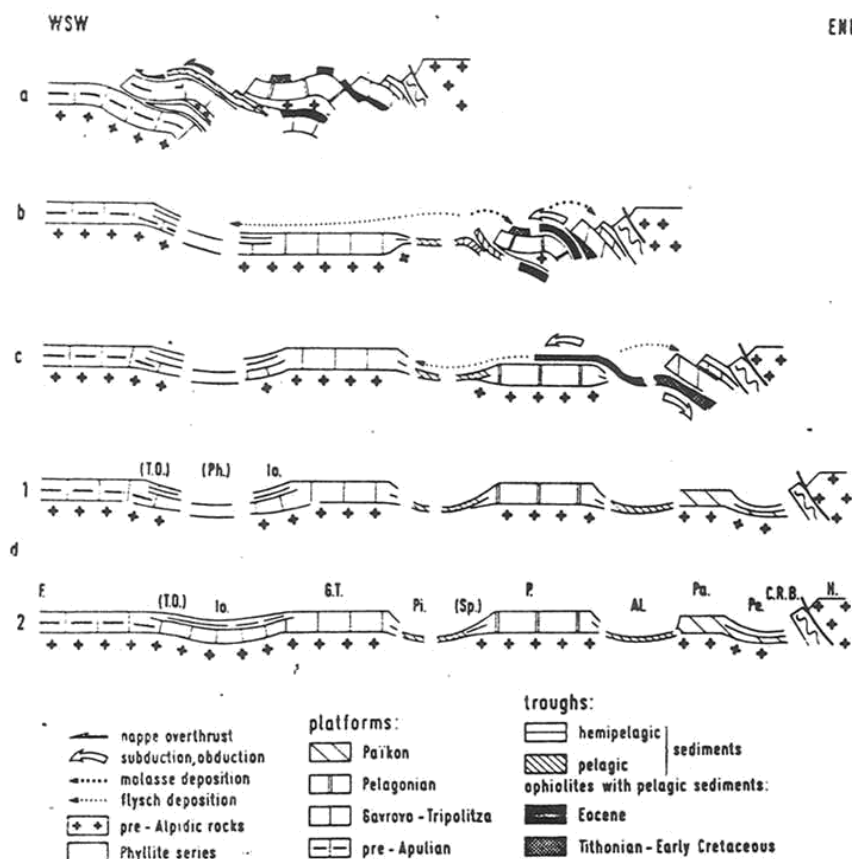
*Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων αποτελούν παλαιογεωγραφικούς χώρους του «Παλαιοωκεανού» της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της υπερηπείρου της Παγγαίας, ενός ηπειρωτικού τεμάχους που δημιουργήθηκε κατά τη Βαρίσκια Ορογένεση. Μέσα στον ωκεάνιο χώρο της Τηθύος η ανάπτυξη μιας μεσοωκεάνιας ράχης που λειτούργησε στο Αιάσιο-Δογγέριο του Ιουρασικού οδήγησε στη διάσπαση της Παγγαίας και στη δημιουργία δύο νέων ηπειρωτικών τεμαχών, της Λαυρασίας και της Γκοτβάνας και ταυτόχρονα στην υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Τηθύος κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της Λαυρασίας. Το τελευταίο γεγονός που ξεκίνησε το Μέσο Ιουρασικό και ολοκληρώθηκε το Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Κρητιδικό οριοθετεί την απαρχή του τελευταίου Ορογενετικού κύκλου του Αλπικού και ταυτόχρονα για τον Ελληνικό χώρο, τη διαφοροποίηση και την τεκτονική εξέλιξη των γεωτεκτονικών Ζωνών των Ελληνίδων οροσειρών.*



**Εικόνα 1.3** Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. (Κατά Mountrakis et al. 1983, από J.Mercier, J.Brunn, J.Aubouin et al., 1971)

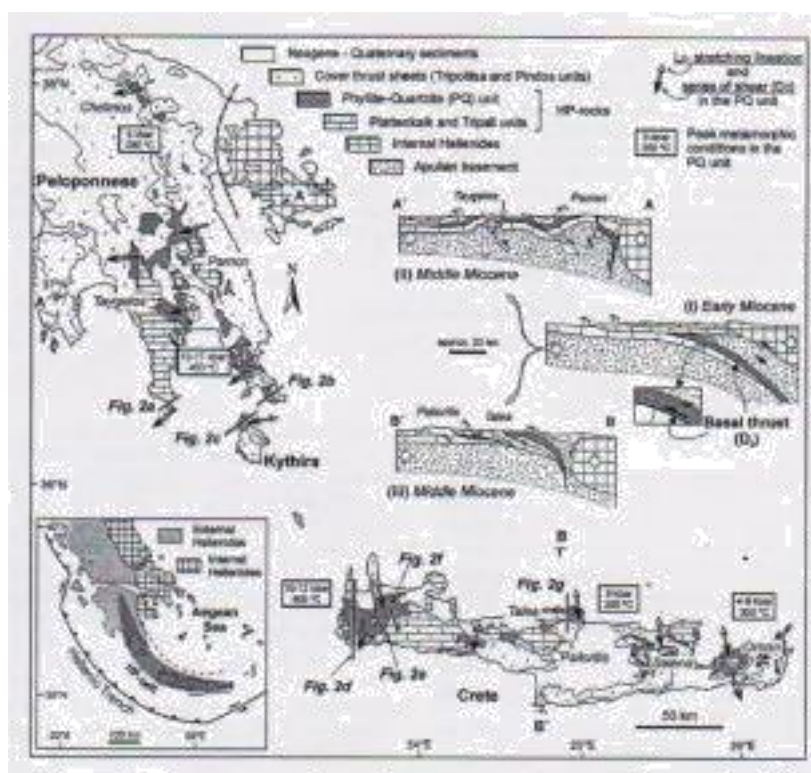
Από τα πρωταρχικά και σημαντικά ερωτήματα με τα οποία απασχολήθηκε η παγκόσμια γεωεπιστημονική κοινότητα ήταν και παραμένει η ακριβής θέση και τα όρια του «μητρικού» αυτού ωκεανού της Τηθύος. Ειδικότερα για τον ευρύτερο χώρο της Ελλάδας το πρόβλημα εντοπίστηκε από την αρχή της διάδοσης και εφαρμογής της νέας θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών στο θέμα, με ποια από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας ταυτίζεται ο ωκεανός της Τηθύος ή καλύτερα ποια ζώνη έχει τους σχηματισμούς που αντιπροσωπεύουν τον κατεστραμμένο ωκεάνιο φλοιό της Τηθύος. Η πρώτη τάση που αναπτύχθηκε στους γεωεπιστήμονες τη δεκαετία του 1970, στο ξεκίνημα της νέας θεωρίας, ήταν ότι ο ωκεάνιος χώρος της Τηθύος ταυτίζονταν με τη ζώνη Ωλονού-Πίνδου που είχε θεωρηθεί από την παλιότερα ισχύουσα «Θεωρία των συζυγών Γεωσυγκλίσεων» ως ο τυπικός ωκεάνιος χώρος, το "Ελληνικό ευγεωσύγκλινο". Σε αντίθεση με τη γενικευμένη αυτήν αντίληψη το πρώτο γεωδυναμικό μοντέλο που προτάθηκε για την εξέλιξη των Ελληνίδων είναι των Jacobshagen et al. (1976), το οποίο προτείνει την ύπαρξη των ωκεάνιων λεκανών Παιονίας, Αλμωπίας, Υποπελαγονικής-Πίνδου και την ύπαρξη της φυλλιτικής σειράς μεταξύ της Ιονίου ζώνης και των «Πλακωδών Ασβεστολίθων»(Plattenkalk) (Εικόνα 1.4). Οι ωκεάνιες αυτές λεκάνες λειτούργησαν σταδιακά και έκλεισαν διαδοχικά από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά από το Μάλμιο μέχρι το Μειόκαινο προκαλώντας τη μετακίνηση της τεκτονογένεσης προς τα Δυτικά επηρεάζοντας διαδοχικά τις Εσωτερικές και Εξωτερικές γεωτεκτονικές Ζώνες. Στον παλαιογεωγραφικό χώρο των εξωτερικών ζωνών των Εξωτερικών Ελληνίδων και ειδικότερα στις ζώνες Παζών και Ιονίου, πάνω από την εβαποριτική ακολουθία ακολούθησε μεγάλου πάχους ανθρακική ιζηματογένεση με παρεμβολές κερατολίθων και μικρού πάχους κλαστικών σχηματισμών, μέχρι την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη κατά το Τριτογενές. Τα πετρώματα των δύο αυτών ισοπικών/γεωτεκτονικών ζωνών εμφανίζονται σε μια ορεογραφική-χωρική διάταξη από τα βόρεια σύνορα της χώρας μέχρι την Κεντρική Πελοπόννησο. Νοτιότερα

εμφανίζονται αντ' αυτών τα μεταμορφωμένα πετρώματα των Εξωτερικών Ελληνίδων. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζονται σε μία ζώνη πάνω από 600 χλμ και σχηματίζουν μία παραβολική καμπύλη κυρτή προς την προχώρα που ακολουθηθεί τη γεωμετρία του ελληνικού ενεργού τόξου σε μια σειρά από τεκτονικά παράθυρα όχι μόνο στην Πελοπόννησο και τα Κύθηρα αλλά κατεξοχήν στην Κρήτη (Εικ. 1.5).



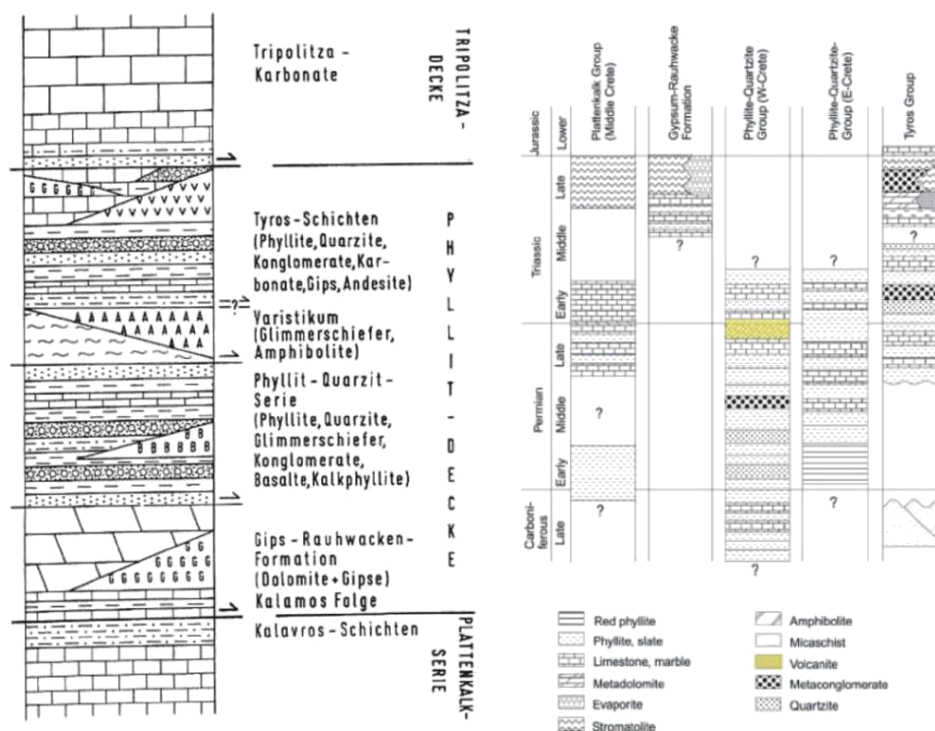
Εικόνα 1.4. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al., 1986). Πιο συγκεκριμένα: α) Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου. β) Περίοδος Μέσου - Άνω Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφιολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολάσσας στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αξιού". γ) Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιροδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφιολίθων πάνω στην Πελαγονική και δ) Περίοδος Μέσου - Άνω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιροδοπική ορογένεση.

ΑΙ = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιροδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, Η = Ενδοχώρα, Ιο = Ιόνιος, Ρ = Πελαγονική, Ρα = Πάικον, Ρε = Παιονίας, Ρh = λεκάνη φυλλιτών, Ρi = Πίνδου, Sb = Υποπελαγονική, T.O. = Σειρά Plattenkalk.



Εικόνα 1.5. Γενικευμένος γεωλογικός χάρτης με σκιασμένη περιοχή που αντιπροσωπεύει τις θέσεις εμφάνισης των υψηλής μεταμόρφωσης πετρωμάτων. Οι τομές είναι από την Πελοπόννησο(ΑΑ) και από την Κρήτη(ΒΒ'). (Xyrolias et al., 2007)

Μετά το Ολιγόκαινο τα πετρώματα αυτά υποβυθίστηκαν κάτω από το υπόβαθρο της ζώνης Τρίπολης με αποτέλεσμα να υποστούν μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων (Seidel et al., 1982). Σύμφωνα με τους Dornsiepen και Manutsoglu (1994) και Dornsiepen et al (2001), το Φυλλιτικό Κάλυμμα των εξωτερικών Ελληνίδων που εμφανίζεται στη Νότιο Πελοπόννησο και Κρήτη αποτελείται από τις τέσσερις υποενότητες (Ει. 1.6).



Εικόνα 1.6. Λιθολογική υποδιαίρεση του Φυλλιτικού καλύμματος κατά Dornsiepen και Manutsoglu (1994) (αριστερά) και δεξιά σχηματικές συγκριτικές λιθοστρωματογραφικές στήλες των μεταμορφωμένων ενοτήτων των εξωτερικών Ελληνίδων (Dornsiepen et al., 2001)

Πάνω σε αυτά τα μεταμορφωμένα πετρώματα αποτέθηκαν ασύμφωνα στις λεκάνες που δημιουργήθηκαν κατά το Νεογενές τα αντίστοιχα ιζήματα διαφορετικής λιθολογίας από όπου και προέκυψαν τα πετρώματα του Νεογενούς.

## 1.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΡΗΤΗΣ

Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, οι γνώσεις μας για τη γεωλογική δομή της Κρήτης έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών στα πλαίσια μεγάλου αριθμού προγραμμάτων ευρωπαϊκών και εθνικών ερευνητικών ιδρυμάτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησε στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης το 1977 σε κλίμακα 1:200.000. Όπως φαίνεται στο χάρτη αυτόν αλλά και στους επόμενους που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:500.000, τμήμα του οποίου παρουσιάζεται στην (Εικόνα 1.7), το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε ακολουθίες μεταμορφωμένων πετρωμάτων η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση, η τεκτονική τους θέση αλλά ακόμη και η ηλικίες τους παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο.



**Εικόνα 1.7. Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000. με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς**

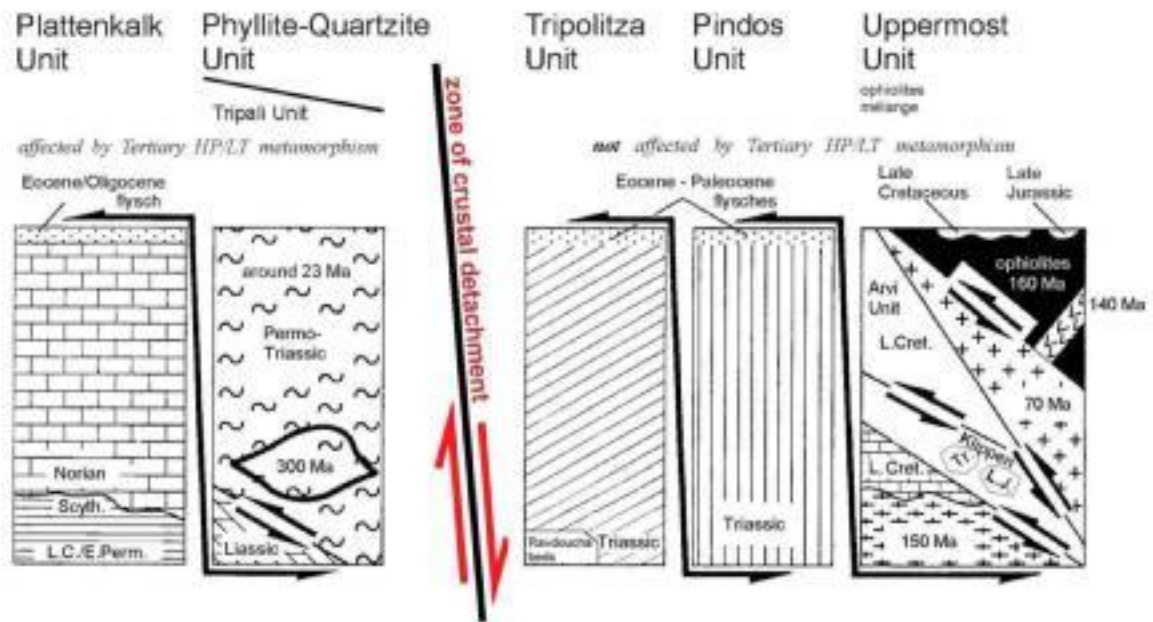
*Η γεωλογία της Κρήτης χαρακτηρίζεται από τη «λεπιοειδή» ανάπτυξη αλληπαλλήλων επωθημένων τεκτονικών καλυμμάτων των Ελληνίδων, που κάθε ένα από αυτά συγκροτείται από διαφορετικούς λιθολογικούς σχηματισμούς και τα οποία συνωθούνται στο μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού, με γενική κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο.*

*Η γενικότερη πολύπλοκη δομή της νήσου, με την καλυμματική διάταξη είναι αποτέλεσμα τόσο των τεκτονικών διεργασιών που κορυφώθηκαν στο Τριτογενές και σχετίζονται με την υποβύθιση της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, όσο και με διαρκή τεκτονική δραστηριότητα ακόμα και στη μεταλλική περίοδο.*

*Γενικά, η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει τη μεταμορφωμένη Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Ολιγόκαινο.*

*Με τεκτονική επαφή, ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο (παρα)αυτόχθονο, με τη μορφή αλληπαλλήλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων, και με χαρακτηριστική λεπιοειδή διάταξη. Τα αλληπαλλήλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο τοποθετούνται με την ακόλουθη σειρά από το υποκείμενο προς το υπερκείμενο: Ενότητα Τρυπαλίου αποτελούμενη από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικό έως Λιάσιο. Ακολουθώς, η Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών (Φυλλιτικό Κάλυμμα κατά Dornsiepen & Manutsoglu 1994) με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουβάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτη και στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.*





Εικόνα 1.8. Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη  
(τροποποιημένη από Seidel et al., 1982)

Έπεται η ενότητα Τρίπολης με το κατώτερο τμήμα να αποτελείται από την αργιλοσχιστολιθική – ανθρακική σειρά Ραβδούχα, το ανώτερο τμήμα από την ανθρακική σειρά της Τρίπολης και τέλος, στο ανώτατο τμήμα της σειράς παρουσιάζεται ο φλύσχης της ενότητας της Τρίπολης. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται στο Μέσο - Άνω Τριαδικό.

Ακολουθεί η Ενότητα Ωλονού – Πίνδου, όπου στην Κρήτη εντοπίζεται με τρεις σειρές: Πίνδου στη Δυτική Κρήτη με την τυπική στρωματογραφική ακολουθία της ενότητας της Πίνδου, Εθιάς στην Κεντρική Κρήτη και Μαγκασσά στην Ανατολική Κρήτη. Η ηλικία της ενότητας τοποθετείται από το Άνω Τριαδικό έως και το Μέσο Παλαιόκαινο (Φυτρολάκης, 1980).

Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των **Εσωτερικών ζωνών**: ένα σύνθετο Πολύμεικτο λιθοφασικά τεκτονικό σύμπλεγμα που αποτελείται από επαλληλία καλυμμάτων (Bonneau 1984). Τα διάφορα καλύμματα τα οποία είναι επωθημένα το ένα επάνω στο άλλο από το υπερκείμενο προς το υποκείμενο είναι τα εξής:



- ✓ Οφιολιθικό κάλυμμα με σερπεντινιωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- ✓ Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοιτικούς γνεύσιους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.
- ✓ Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.
- ✓ Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαζίλαροειδείς λάβες» ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού.

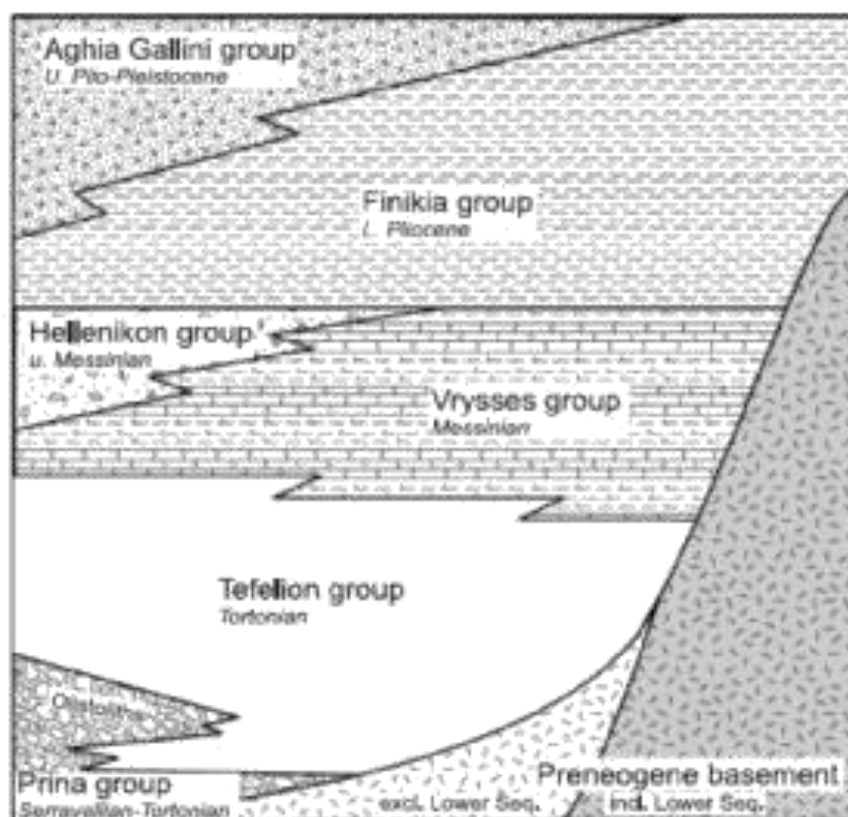
Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται πετρώματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία συνήθως έχουν κυμαινόμενο πάχος και εξάπλωση στις διάφορες περιοχές της Κρήτης. Τα πετρώματα αυτά σχετίζονται με τις μετεορεγενετικές διεργασίες που επέδρασαν στην περιοχή. Οι απόψεις για το είδος, τη διαδοχή και εύρος αυτών των διεργασιών δίδονται στη βιβλιογραφία.

Οι εφελκυστικές τάσεις που έλαβαν χώρα στην περιοχή της Κρήτης είχαν ως συνέπεια τη δημιουργία μεγάλων βυθισμάτων, ως αποτέλεσμα της δράσης μεγάλων ρηγμάτων με κύριες διευθύνσεις B-N και A-. Οι κυριότερες λεκάνες που πληρώθηκαν με ιζήματα του Νεογενούς είναι οι λεκάνες Ηρακλείου, Μεσσαράς, Ιεράπετρας και του βορείου τμήματος Νομών Ρεθύμνου και Χανίων. Τα νεογενή αυτά ιζήματα επικάθονται ασύμφωνα στους αλπικούς σχηματισμούς και είναι χερσαίας, ποτάμιας, υφάλμυρης και θαλάσσιας προέλευσης. Παρουσιάζουν ανομοιομορφία ως προς την ηλικία τους και ως προς τη λιθολογία τους. Κατά Meulenkaamp (1979) οι σχηματισμοί του Νεογενούς έχουν ομαδοποιηθεί σε λιθοφασικές ομάδες:

- ❖ **Η ομάδα Πρίνα** αποτελείται από ασβεστολιθικά μαύρα χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή με ασβεστιτικό υλικό συγκόλλησης ενώ εμπεριέχει ολισθόλιθους προ-νεογενών ασβεστολίθων. Αποτελεί τη βάση των Νεογενών ιζημάτων στις περιοχές της ανατολικής και δυτικής Κρήτης, ή μεταβαίνει πλευρικά ως προς την αμέσως Νεότερη. Η ηλικία της Ομάδας Πρίνα προσδιορίζεται στο Μέσο Μειόκαινο και το περιβάλλον απόθεσης χαρακτηρίζεται μη θαλάσσιο ως υφάλμυρο ή ρηχό θαλάσσιο (Meulenkaamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).
- ❖ **Η Ομάδα Τεφελίου** τοποθετείται ασύμφωνα είτε πάνω στην Ομάδα Πρίνα, είτε απευθείας πάνω στο προ-νεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από χαλαρά θαλάσσια και ποταμολιμναία κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ. Η ηλικία τους τοποθετείται από

το Σερραβάλλιο έως το Άνω Τορτόνιο (Meulenkamp, 1979; Βασιλάκης 2006). Η Ομάδα Τεφελίου αποτελείται από τους σχηματισμούς Βιάννου, Σκινιά και Αμπελούζου.

- ❖ **Η Ομάδα Βρυσών** συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Βαρβάρας και τοποθετείται υπερκείμενη είτε της Ομάδας Τεφελίου είτε του αλπικού υποβάθρου. Αποτελείται από θαλάσσιους βιοκλαστικούς ή υφαλογενείς ασβεστόλιθους εναλλαγές φυλλωδών και ομογενών μαργών, οι οποίες κατά τόπους εμπεριέχουν παρεμβολές γύψων. Η ηλικία της Ομάδας των Βρυσών τοποθετείται στο Άνω Τορτόνιο έως το Κάτω Μεσσήνιο (Meulenkamp, 1979).
- ❖ **Η Ομάδα Ελληνικού** παρουσιάζεται τοποθετημένη ασύμφωνα σε παλαιότερους Νεογενείς σχηματισμούς ή κατά θέσεις, απευθείας επάνω στο υπόβαθρο ή επάνω στην ομάδα Βρυσών στην οποία όμως κατά τόπους παρεμβάλεται. Περιλαμβάνει ερυθρωπά χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες σχετικώς λεπτόκοκκες αποθέσεις και ενίοτε υφάλμυρες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με εμπεριεχόμενα λεπτά στρώματα γύψου. Η Ομάδα Ελληνικού αποτέθηκε κατά τη διάρκεια της κρίσης αλατότητας του Μεσσηνίου με την ηλικία της να προσδιορίζεται στο Άνω Μεσσήνιο. Στις περιοχές της κεντρικής και ανατολικής Κρήτης δεν υπάρχουν εμφανίσεις της Ομάδας Ελληνικού.
- ❖ **Η Ομάδα Φοινικιάς** συντίθεται από το σχηματισμό της Φοινικιάς και τοποθετείται επί των στρωμάτων της Ομάδας Ελληνικού, Βρυσών ή του προ-νεογενούς υποβάθρου. Αποτελείται από ανοιχτής θάλασσας αργίλους και μάργες οι οποίες ενίοτε παρουσιάζουν πυριτικές ενστρώσεις ενώ τμήμα της βάσης της Ομάδας Φοινικιάς, περιέχει ένα λατυποπαγές αποτελούμενο από ιζήματα του Μειόκαινου και του Κατώτερου Πλειόκαινου. Η ηλικία της Ομάδας της Φοινικιάς είναι Πλειοκαινική.
- ❖ **Η Ομάδα Αγίας Γαλήνης** συντίθεται από το σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης και βρίσκεται υπερκείμενη της Ομάδας της Φοινικιάς και κατά ένα μέρος αποτελεί πλευρική αντιστοιχία της. Εμπεριέχει χονδροκλαστικά υλικά, χερσαία ερυθρά κροκαλοπαγή και ποταμοδελταϊκές άμμους και αργίλους. Αποτελεί την τελευταία ενότητα του Νεογενούς στην Κρήτη η οποία ανήκει στο Άνω Πλειόκαινο ή πιθανά στο Άνω Πλειστόκαινο (Meulenkamp, 1979; ten Veen & Kleinspehn, 2003).



Εικόνα 1.9 Σχηματική απεικόνιση της λιθοστρωματογραφίας της Κρήτης, με τις μεγαλύτερες ομάδες σχηματισμών του Νεογενούς και το προνεογενές υπόβαθρο (αδιαίρετο). Παρουσιάζεται η μεταξύ τους σχέση όσο αναφορά την κατακόρυφη και οριζόντια θέση αλλά και την αλληλοπαρεμβολή τους (Meulenkamp, 1979)

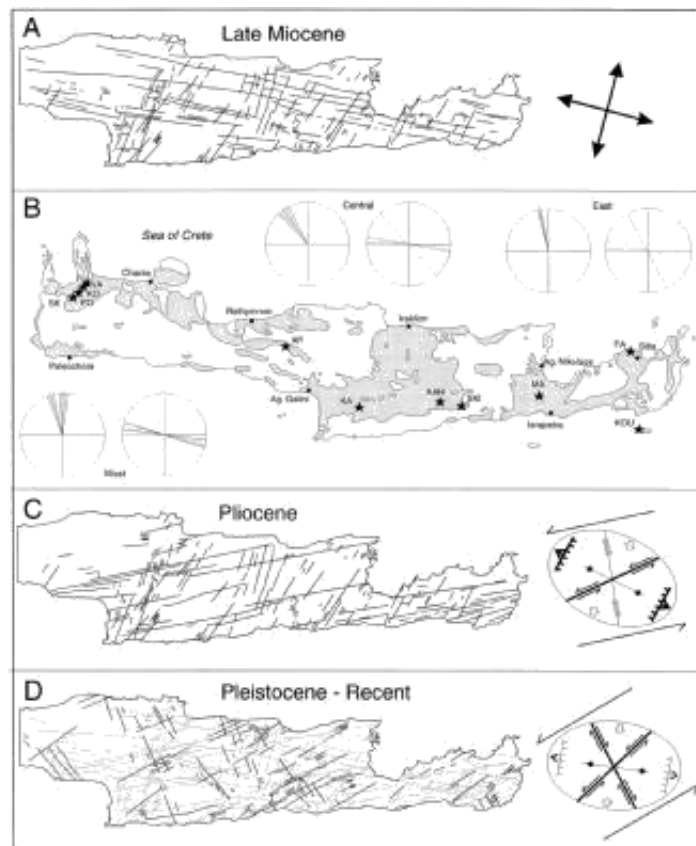
Επάνω στους σχηματισμούς του Νεογενούς ή απευθείας στο προ-νεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται ασύμφωνα τα ιζήματα του Τεταρτογενούς. Πρόκειται για συγκεκολλημένους ή ασύνδετους χερσαίους σχηματισμούς η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Πλειστόκαινο και νεότερη, ενώ οι μορφές τους ποικίλουν σε πλευρικά κορήματα σε κλιτύς, σε αλλουβιακά ριπίδια στις εξόδους χειμάρρων και σε αλλουβιακές αποθέσεις (Meulenkamp, 1979; Φυτρολάκης, 1980).

### 1.2.1.1. ΑΠΟΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Την άποψη του McKenzie (1972, 1978) που οριοθέτησε την εκκίνηση της νέας θεωρίας των Τεκτονικών Πλακών με την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα του Αιγαίου υποστήριξαν μεταξύ των πρώτων οι Pichon & Angelier (1979) που πρότειναν ότι η έναρξη της υποβύθισης κατά μήκος του ελληνικού τόξου φαίνεται να ξεκίνησε 13 εκ. χρόνια πριν και ότι το σύστημα της τάφρου μετακινείται προς τα N-NA, προκαλώντας ένα εφελκυστικό καθεστώ στην περιοχή προ του τόξου, το οποίο οδήγησε σε γενική βύθιση και στο σχηματισμό του σημερινού Αιγαίου.

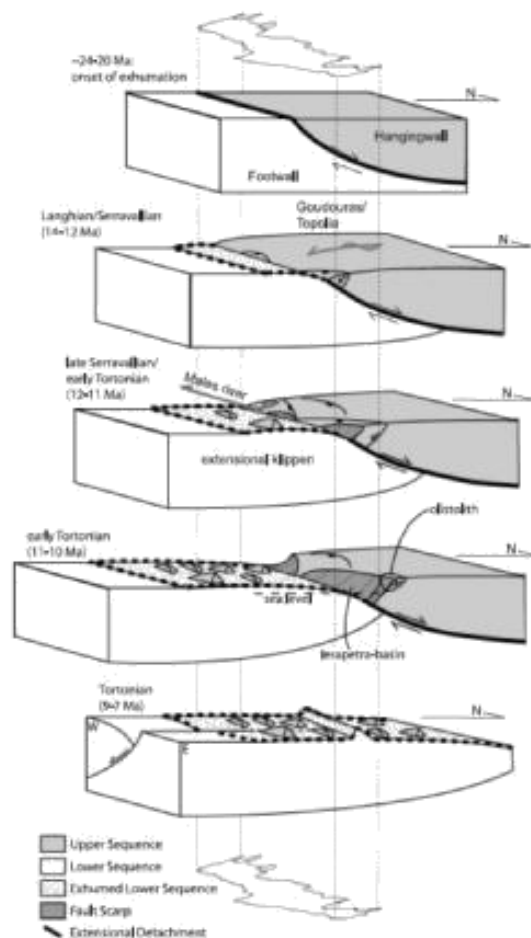
Σε αντίθεση οι Meulenkamp et al. (1988) υποστήριξαν ότι η υποβύθιση έχει ξεκινήσει 26 εκ. χρόνια πριν και ότι οι διεργασίες, όπως ο κατακερματισμός της Κρήτης σε βυθίσματα που αποτέλεσαν τις διάφορες λεκάνες του Νεογενούς, 12 εκ. χρόνια πριν δεν πρέπει να αποδίδονται στην έναρξη της υποβύθισης αλλά σχετίζονται με την έναρξη διαδικασιών οπισθοχώρησης του ορογενούς (N-NN μετανάστευση της ελληνικής τάφρου).

Οι ten Veen & Meijer (1998) περιγράφουν την ύπαρξη πέντε τεκτονικών σταδίων για την κεντρική και ανατολική Κρήτη (Εικ. 1.10) τα οποία είναι τα εξής: 1) Πριν το Άνω Μειόκαινο (Άνω Σερραβάλλιο) η συμπίεση ήταν ο κυρίαρχος τύπος παραμόρφωσης σχηματίζοντας πτυχές διεύθυνσης B130A και B100A. 2) Στο Κατώτατο Τορτόνιο ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων διευθύνσεων B130E και B100E, παρουσιάζοντας ορθορομβική συμμετρία. 3) Το χρονικό διάστημα Κάτω Τορτόνιο έως το Κάτω Μεσσήνιο από παραμόρφωση κατά μήκος κανονικών ρηγμάτων B100A και B020A διεύθυνσης. Η δράση αυτών των ρηγμάτων πυροδότησε τον κατακερματισμό της Κρήτης 4) Στη διάρκεια του Κάτω Πλειόκαινου δημιουργήθηκαν ρήγματα B075A διεύθυνσης, τα οποία αντιπροσωπεύονται από πολλές εκ των γωνιωδών ασυμφωνιών που παρατηρούνται μεταξύ του Μεσσηνίου και του Κάτω Πλειόκαινου. 5) Για το διάστημα από το Πλειστόκαινο έως σήμερα δεν παρέχουν στοιχεία επειδή τα αντίστοιχα ιζήματα είναι φτωχά διατηρημένα και δεν παρείχαν ικανοποιητικά δεδομένα. (από Μπελιβάνη, 2013)



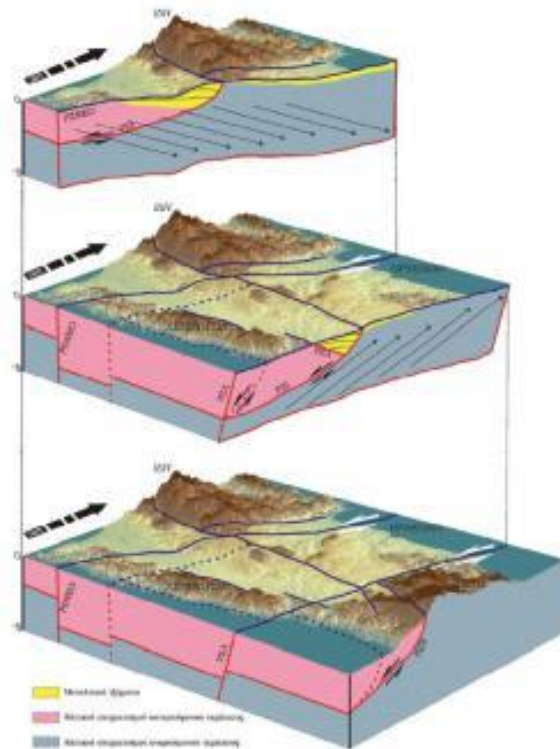
Εικόνα 1.10 Τεκτονοστρωματογραφικά επεισόδια στην κεντρική και ανατολική Κρήτη (Duermeijer et al. 1998)

Κατά τον van Hinsbergen & Meulenkamp (2006) η νεοτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης συνδέεται με μια ζώνη αποκόλλησης που επέτρεψε αφενός την άνοδο των μεταμορφωμένων ενοτήτων της νήσου αλλά αφετέρου τη δημιουργία «τεκτονικών ρακών» και περιοχών ιζηματογένεσης μεταξύ αυτών, χώρων δηλαδή που πληρώθηκαν με ιζήματα κατά και μετά το Νεογενές (Εικ. 1.11)



**Εικόνα 1.11 Σχηματική αναπαράσταση της ζώνης αποκόλλησης στην περιοχή της Κρήτης. Το κατερχόμενο τέμαχος κινήθηκε εφελκυστικά προς το Βορρά (κατά van Hinsbergen & Meulenkamp 2006).**

Σύμφωνα με το Βασιλάκη (2006) οι κύριες διευθύνσεις παραμόρφωσης που εντοπίστηκαν στην λεκάνη της Μεσσαράς συνυπάρχουν σχεδόν σε όλη την περίοδο εξέλιξης της λεκάνης και έχουν άμεση σχέση με την τοποθέτησή της στο νησιωτικό τόξο (εικ 1.12). Πρόκειται για μια συνεχή εξέλιξη των τεκτονικών δομών που δημιουργήθηκαν είτε παράλληλα στη διεύθυνση του ελληνικού τόξου (Α-Δ) είτε στις συζυγείς διευθύνσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ. Οι διευθύνσεις αυτές δεν παρατηρούνται ταυτόχρονα σε όλη την περιοχή της λεκάνης με την ίδια ένταση. Ο βασικός παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει τη διεύθυνση της κύριας παραμόρφωσης σε κάθε περιοχή αφορά τη θέση του κάθε ρηξιτεμάχους ως προς τις τεκτονικές δομές που έχουν δημιουργηθεί λόγω της σχετικής κίνησης της μικροπλάκας του Αιγαίου προς το νότο.



**Εικόνα 1.12 Τμηματικές σχηματικές τρισδιάστατες εξελικτικές δομές της περιοχής της κεντρικής Κρήτης και οι κύριες ρηξιγενείς ζώνες, που έχουν επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης Μεσσαράς μετά το Μέσο Μειόκαινο, με γωνία θέασης προς τα ΒΔ. (Από Βασιλάκη 2006).**

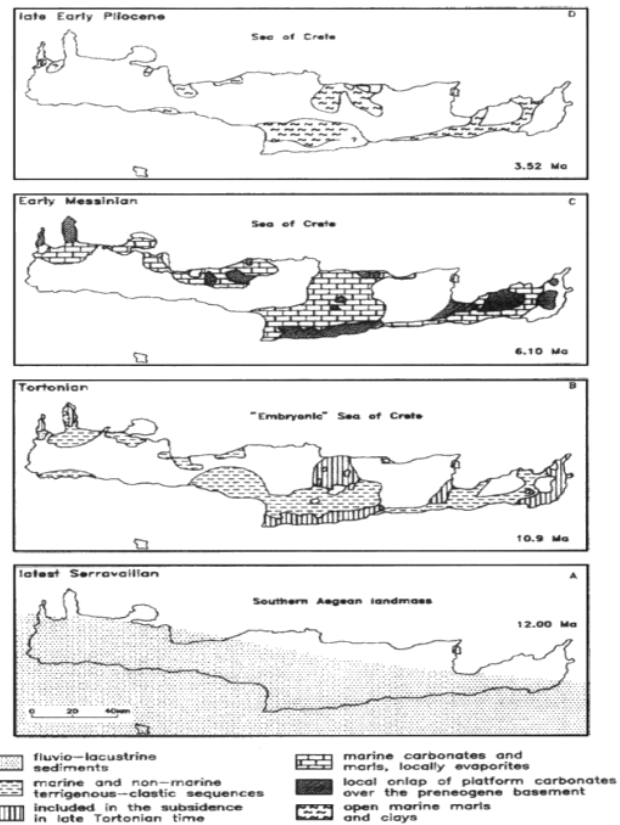
Συμφώνα με τους *Paranikolaou & Vassilakis (2008, 2009)* η παραμορφωτική ιστορία των μονάδων της Κρήτης μπορεί να συνοψιστεί ως εξής: 1) στο Ολιγόκαινο έως το Κάτω Μειόκαινο υπάρχει συμπιεστική παραμόρφωση που παράγει ανάστροφα ρήγματα, παράλληλα με το τόξο, διεύθυνσης Α-Δ, τα οποία κλίνουν Νότια, 2) στο Μέσο Μειόκαινο υπάρχει εφελκυστική παραμόρφωση κατά μήκος, παράλληλων στο τόξο, ρηγμάτων αποκόλλησης διεύθυνσης Α- , με κίνηση της οροφής των ρηγμάτων προς Βορρά και Νότο, 3) στο Άνω Μειόκαινο έως Τεταρτογενές έχουμε εγκάρσια παραμόρφωση εφελκυσμού (*transtensional deformation*), κατά μήκος μεγάλης γωνίας κανονικών και πλαγκοκανονικών ρηγμάτων τα οποία διακόπτουν τις παλαιότερες, παράλληλες προς το τόξο, δομές. (από Μπελιβάνη, 2013)



#### **1.2.1.2. ΑΠΟΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΛΠΙΚΗ ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΚΡΗΤΗΣ**

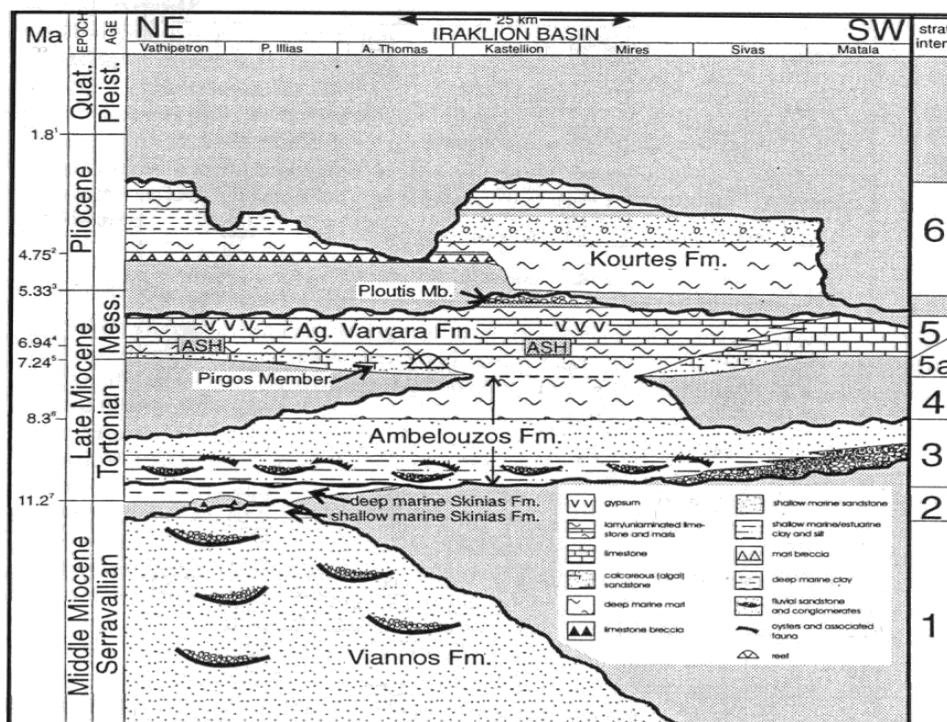
*Για την κατανόηση της στρωματογραφικής εξέλιξης και της στρωματογραφικής θέσης των σχηματισμών του Νεογενούς, δηλαδή των ιζηματολογικών ακολουθιών που αποτέθηκαν τα τελευταία δεκατρία περίπου εκατομμύρια χρόνια, δίνεται μία σύνοψη των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από τις έρευνες που έχουν γίνει μέχρι τώρα για την κεντρική Κρήτη.*

*Στη εικόνα 1.13 παρουσιάζεται μία σειρά από απλοποιημένους παλαιογεωγραφικούς χάρτες. Οι διαδοχικές παλαιογεωγραφικές διατάξεις αντικατοπτρίζουν τέσσερα κύρια επεισόδια κατά την εξέλιξη του ανάγλυφου κατά μήκος της διατομής στην κεντρική Κρήτη. Κατά τη διάρκεια του πρώτου επεισοδίου (Άνω Σερραβάλιο) στην περιοχή λάμβανε χώρα λιμναία ιζηματογένεση και οριοθετούσε την ξηρά του νοτίου Αιγαίου (Southern Aegean landmass). Το δεύτερο και τρίτο επεισόδιο (Ανώτατο Σερραβάλιο -Μεσσήνιο) δημιούργησαν ένα παλαιογεωγραφικό καθεστώς, όπου οι σημερινές κορυφογραμμές που οριοθετούν και διατέμνουν την ευρύτερη λεκάνη του Ηρακλείου που συμπεριλάμβανε και αυτήν της Μεσσαράς, άρχισαν να παίζουν ενεργό ρόλο στην παλαιογεωγραφία και την τοπογραφία του πυθμένα. Κατά τη διάρκεια του Άνω Μειοκαίνου συνεχίστηκε η ανάπτυξη της λεκάνης του Ηρακλείου ενώ οι κορυφογραμμές της κεντρικής Κρήτης με διεύθυνση Α-Δ άρχισαν να διαχωρίζουν την ευρύτερη αυτή λεκάνη στο βόρειο (περιοχή Ηρακλείου) και νότιο τμήμα της (λεκάνη Μεσσαράς). Το τέταρτο επεισόδιο χαρακτηρίζεται από την έντονη άνοδο όλης της περιοχής κατά το Πλείο-Πλειστόκαινο.*



Εικόνα 1.13 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη των Νεογενών ιζημάτων στην Κρήτη (κατά Meulenkamp et al. 1994)

Μία διαφορετική άποψη εκφράσθηκε για την εξέλιξη της περιοχής από τον *ten Veen* (1998). Οι λιθοστρωματογραφικές ακολουθίες (Εικ. 1.14) που σχηματίσθηκαν μπορούν να περιγραφούν ως ακολούθως:



Εικόνα 1.14. Στρωματογραφική εξέλιξη της ευρύτερης λεκάνης του Ηρακλείου κατά ten Veen (1998).

- 1) Μετά την ολοκλήρωση της τεκτονικής ορογενετικής φάσης που οδήγησε στο σχηματισμό του προνεογενούς ηλικίας πακέτου καλυμμάτων των Εξωτερικών Ελληνίδων και κατά συνέπεια και της Κρήτης, η ιζηματογένεση στις λεκάνες του Νεογενούς ξεκίνησε με την απόθεση χερσαίων κλαστικών κατά τη διάρκεια του Μέσο Μειόκαινου. Οι αμμώδεις και ιλυώδεις αποθέσεις με μικρές παρενστρώσεις από κροκαλοπαγή πλήρωσης καναλιού ανήκουν στο σχηματισμό του Βιάννου.
- 2) Περίπου κατά τη μετάβαση από το μέσο προς το-Άνω Μειόκαινο, έλαβε χώρα επαναπόθεση ασβεστολιθικών λατυποπαγών και μαζική τοποθέτηση ασυνήθιστων τεμαχών από παλαιότερους ασβεστόλιθους της ζώνης της Τρίπολης.
- 3) Στο Κατώτερο Τορτόνιο αποτέθηκαν τα κλαστικά του κατώτερου μέρους του σχηματισμού Αμπελούζου. Στρωματογραφικά, αυτός ο σχηματισμός υπέρκειται του σχηματισμού Σκοινιά. Το κατώτερο μέρος του σχηματισμού Αμπελούζου χαρακτηρίζεται από ιζηματογενείς φάσεις που κυμαίνονται από αδρομερή κροκαλοπαγή αλλουβιακού ριπιδίου ως τους ομοιογενείς ψαμμίτες υφαλοκρηπίδας. Μία τάση εμβάθυνσης που αρχίζει να εμφανίζεται μπορεί να τεκμηριωθεί από τους υψηλότερης τάξης κύκλους απόσυρσης/επίκλυσης, όπως απεικονίζεται από τις εναλλαγές αδρόκοκκων με λεπτόκοκκων δελταϊκών αποθέσεων. Το ηπειρωτικό έως ρηχής θάλασσας μέρος του σχηματισμού Αμπελούζου έχει χρονολογηθεί ως Κάτω Τορτόνιο.

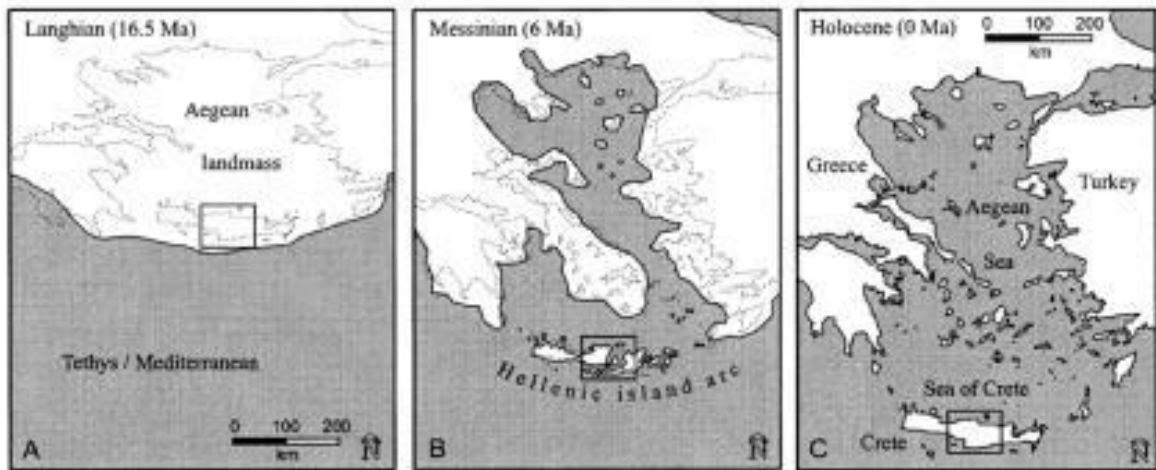
- 4) Κατά τη διάρκεια του Τορτονίου πραγματοποιήθηκε μία μετάβαση από αποθέσεις παράκτιας άμμου σε συσσώρευση μπλε-γκρι μαργών ανοιχτής θάλασσας. Στη στρωματογραφική καταγραφή αυτό εκφράζεται από τη μετάβαση από το χαμηλότερο στο ανώτερο μέρος του σχηματισμού Αμπελούζου. Η λεπτομερής στρωματογραφία δείχνει ηλικία Άνω Τορτονίου για τις αποθέσεις βαθιάς θάλασσας του σχηματισμού Αμπελούζου.
- 5) Την απόθεση χερσαίων κλαστικών ακολούθησε η συσσώρευση των ασβεστόλιθων και μαργών του Μεσσηνίου. Αυτή η αλλαγή είναι φανερή στα ιζήματα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα του Μεσσηνίου. Στα βορειότερα και νοτιότερα μέρη της περιοχής, το χαμηλότερο μέρος του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα αποτελείται από τις μικτές χερσαίες κλαστικές/ασβεστιτικές αποθέσεις. Ρηχής θάλασσας αποθέσεις υπέρκεινται ασύμφωνα του σχηματισμού Αμπελούζου. Στη γύρω περιοχή ο σχηματισμός Πύργος υπέρκειται ασύμφωνα των κεκλιμένων αποθέσεων των σχηματισμών Βιάννου και Αμπελούζου και αποτελείται από ψαμμίτες. Στη βάση της ακολουθίας βρίσκονται κάποιες αδρομερείς χερσαίες αποθέσεις. Στο νότιο μέρος της περιοχής, ο σχηματισμός Πύργος υπέρκειται του σχηματισμού Αμπελούζου, στην κορυφή του οποίου υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι είχε χερσαίψει. Το ανώτερο όριο του μέλος σχηματισμού Πύργος χαρακτηρίζεται από τα χερσογενή κλαστικά και από την αλλαγή προς τους βιογενείς ασβεστόλιθους και μάργες. Στο κεντρικό μέρος της λεκάνης ο σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας χαρακτηρίζεται από ομοιογενείς λαμινοειδείς μάργες, που συσσωρεύονται σε μία βαθιά θαλάσσια λεκάνη.

Οι αποθέσεις στη βάση της κατωφέρειας που είναι πλευρικά ισοδύναμες με τον σχηματισμό Πύργος, εναλλάσσονται με μάργες βαθιάς θάλασσας που ανήκουν στην κορυφή του σχηματισμού Αμπελούζου. Το όριο μεταξύ του σχηματισμού Αμπελούζου βαθιάς θάλασσας και του υπερκείμενου σχηματισμού Αγ. Βαρβάρα χαρακτηρίζεται από την ξαφνική αλλαγή από μπλε-γκρίζες μάργες στις υπόλευκες λαμινοειδείς μάργες. Ο σχηματισμός Πύργος δεν είναι παρόν, παρόλο που εμφανίζονται κροκαλοπαγή πλήρωσης καναλιού στο μεταβατικό τμήμα μεταξύ των δύο σχηματισμών.

- 6) Στο νότιο μέρος της λεκάνης του Ηρακλείου τα ιζήματα του Κατώτατου Πλειοκαίνου υπέρκεινται των ασβεστόλιθων Κάτω Μεσσηνίου. Το κατώτερο Πλειόκαινο αποτελείται από υπόλευκες μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους βαθιάς θάλασσας που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της Πλειοκαινικής επίκλυσης που τερμάτισε την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου. Αυτές οι βαθιάς θάλασσας αποθέσεις περνούν προς τα πάνω σε περισσότερο αμμώδεις και κροκαλοπαγείς αποθέσεις. Η ακολουθία απεικονίζει ρήχυνση, ως και χέρσευση ως αποτέλεσμα στην κλίση των στρωμάτων προς το Βορρά. Στο νότιο τμήμα, η ανύψωση κατά το ανώτερο Κάτω Πλειόκαινο ακολούθηθηκε από την καινούρια ταπείνωση στο κατώτερο Άνω Πλειόκαινο, την οποία ακολούθησε μία δεύτερη ανύψωση κατά το Άνω Πλειόκαινο ως σήμερα. Στο βόρειο τμήμα, τα ιζήματα του Κατώτερου

Πλειόκαινου είναι ενσωματωμένα με τα μαργαϊκά λατυποπαγή, τα οποία απεικονίζουν ένα επεισόδιο τεκτονικής αστάθειας που ακολούθησε την επίκλυση του Κάτω Πλειόκαινου.

Η Welter-Schultes (2000) μελετώντας την κατανομή υπολειμμάτων του χερσαίου σαλιγκαριού *Albinaria* παραθέτει την παλαιογεωγραφική εξελικτική κατανομή στην κεντρική Κρήτη, είτε από τη συρραφή εργασιών (Εικ. 1.15), είτε από τη συρραφή των γεωλογικών φύλλων του ΙΓΜΕ για την περιοχή της κεντρικής Κρήτης (Εικ. 1.16).

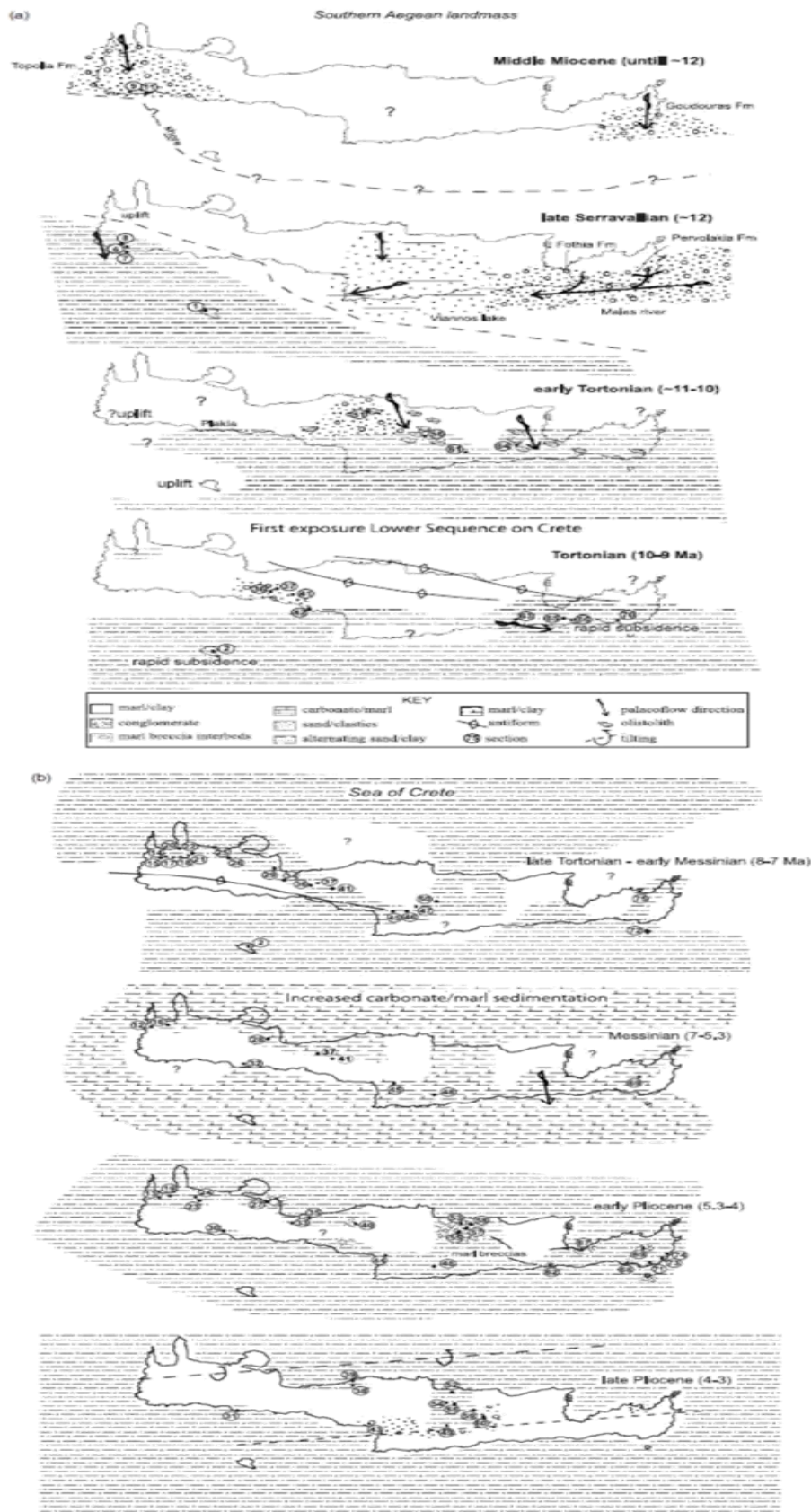


Εικόνα 1.15 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη του Αιγαίου από συρραφή αποτελεσμάτων διαφόρων ερευνητών (κατά Welter-Schultes 2000)

Σύμφωνα με τους Paranikolaou & Vassilakis (2008, 2009) η λεκάνη Μεσσαράς που δημιουργήθηκε κατά το Μέσο Μειόκαινο σε ανταπόκριση της δημιουργίας της ράχης της Μεσογείου και αποτελεί μια από τις πολλές backstop basins που δημιουργήθηκαν σε ανταπόκριση της γεωτεκτονικής εξέλιξης του ελληνικού τόξου. Η υπολεκάνη της Μεσσαράς είναι μια περιορισμένη επιμήκης και στενή υπολεκάνη, η οποία διαχωρίζεται από την κύρια λεκάνη εξαιτίας της ύπαρξης του υβώματος των Αστερουσίων και χαρακτηρίζεται από πέντε εξελικτικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο, κατά τη διάρκεια του Κάτω Τορτόνιο, δημιουργείται ένα λιμναίο περιβάλλον περιορισμένης έκτασης, όπου τα ιζήματα συγκεντρώνονται ασύμφωνα πάνω στο προνεογενές υπόβαθρο και έχουμε την απόθεση του Σχηματισμού του Βιάννου. Στο δεύτερο στάδιο κατά τη διάρκεια του Τορτονίου έχουμε τη δημιουργία ενός περιβάλλοντος ρηχής έως βαθιάς θάλασσας και την απόθεση του Σχηματισμού του Σχοινιά. Το τρίτο και το τέταρτο στάδιο αντιστοιχούν σε λιμνοθαλάσσιο και θαλάσσιο περιβάλλον που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του Άνω Τορτονίου και έχουμε απόθεση του Σχηματισμού του Αμπελούζου. Τέλος το πέμπτο στάδιο σχετίζεται με την κρίση αλμυρότητας του Μεσσηνίου κατά την οποία παρουσιάζεται συσσώρευση εβαποριτών στην υπολεκάνη της Μεσσαράς (Σχηματισμός Αγ. Βαρβάρας). Η σύνδεση μεταξύ της κύριας λεκάνης (ευρύτερη λεκάνη Ηρακλείου) και της υπολεκάνης της Μεσσαράς πραγματοποιούνταν μέσω μιας στενής διαύλου επικοινωνίας (διάυλος Τυμπακίου-Ματάλων) η οποία αναπτύχθηκε από ρήγματα μεταβίβασης, εξαιτίας των οποίων δημιουργήθηκε μια ράχη με μορφολογία κέρατος και η κύρια λεκάνη διαχωρίστηκε σε δυο τμήματα το ανατολικό

και το δυτικό. Οι αλλαγές της στάθμης του επιπέδου της θάλασσας, σχετίζονταν κυρίως με την τοπική τεκτονική δραστηριότητα αυτής της κερατοειδούς ράχης, επηρεάζοντας τα αποθετικά περιβάλλοντα της υπολεκάνης της Μεσσαράς και τη σύνδεση της υπολεκάνης με την κύρια λεκάνη. Επιπλέον, αυτή η ράχη επηρέασε την κατανομή των ιζημάτων από την Κρήτη στα δύο τμήματα της κύριας λεκάνης. Ανεξάρτητα από τα αποθετικά περιβάλλοντα μέσα στην υπολεκάνη της Μεσσαράς (λιμναίο, λιμνοθαλάσσιο και ρηχής θάλασσας), ένα κύριο δέλτα έχτισε την ιζηματογενή ακολουθία που προέλασε προς νότο (από Μπελιβάνη, 2013).

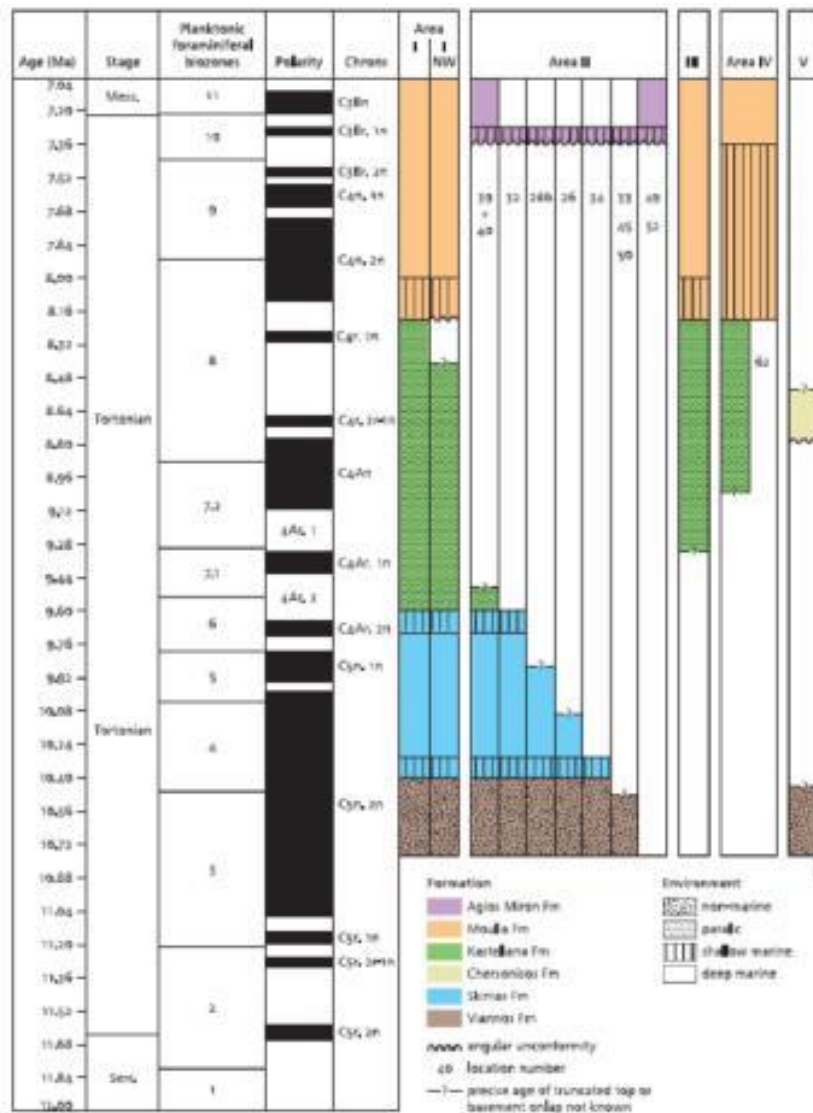
*Η παλαιογεωγραφική εξέλιξη που προτάθηκε από τους van Hinsbergen & Meulenkamp (2006) δίνεται στην εικόνα 1.16.*



Εικόνα 1.16 Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της των περιοχών ιζηματογένεσης κατά τη νεοτεκτονική περίοδο στην Κρήτη σύμφωνα με τους van Hinsbergen & Meulenkamp (2006)

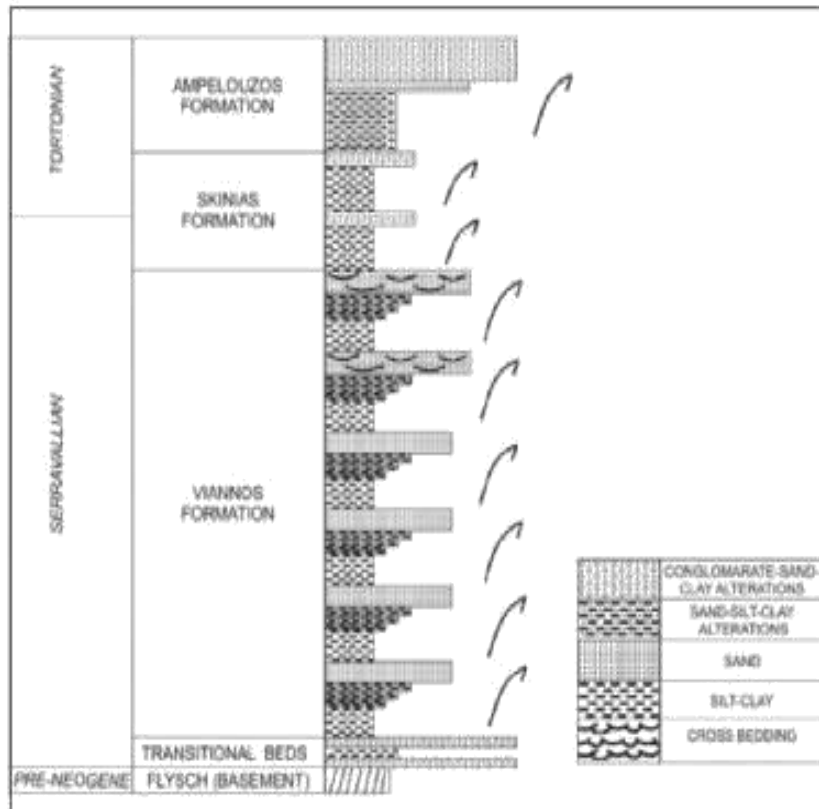


Οι Zachariassse et al. (2011) στηριζόμενοι στα στοιχεία της ομάδας Ολλανδών ερευνητών που για πάνω από τρεις δεκαετίες μελετούν τις περιοχές της Κρήτης πρότειναν αφενός μια λεπτομερή σύγκριση δεδομένων που σχετίζονται με την ηλικία των σχηματισμών που στηρίχθηκε σε βιοστρωματογραφικά, μαγνητοστρωματογραφικά, χρονοστρωματογραφικά και λιθοστρωματογραφικά δεδομένα και συγκρίσεις αυτών (Εικ.1.17)



Εικόνα 1.17. Πίνακας ηλικιών, βιο-, μαγνητο-, χρονο- και λιθοστρωματογραφικών συγκρίσεων στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης κατά Zachariassse et al. (2011).

Μια διαφορετική εξέλιξη προτάθηκε για την Ομάδα του Τεφελίου από τους Panagoroulo et al. (2011), που παρουσιάζεται στην εικόνα 1.18:



**Εικόνα 1.18** Ιζηματολογική εξέλιξη της Ομάδας του Τεφελίου κατά Panagopoulos et al. 2011.

Η ομάδα Τεφελίου είτε υπέρκειται της ομάδας Πρίνα, είτε επικάθεται ασύμφωνα απευθείας στο προ-Νεογενές υπόβαθρο και καλύπτει στρωματογραφικά την περίοδο από το Σερραβάλλιο μέχρι το Ανώτερο Τορτόνιο (Meulenkaamp et al., 1979). Αποτελείται από τρεις επί μέρους σχηματισμούς, το σχηματισμό της Βιάννου, του Σκινιά και του Αμπελούζου. Στην κεντρική περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς (περιοχή νοτίως του Αρκαλοχωρίου) ο σχηματισμός Βιάννου έχει τη μέγιστη επιφανειακή του εμφάνιση στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και έρχεται σε επαφή με τον υποκείμενο φλύσχη.

Με συμφωνία πάνω από το σχηματισμό της Βιάννου αναπτύσσεται ο σχηματισμός του Σκινιά με ορατό πάχος στην περιοχή μελέτης περίπου 200m.. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από δύο ιζηματολογικούς κύκλους με αυξανόμενο κοκκομετρικό μέγεθος προς τα ανώτερα τμήματα, πάχους 80 – 100 μέτρα έκαστος. Κάθε κύκλος αποτελείται από 70-80 μέτρα άστρωτη άργιλο που μεταβαίνει απότομα σε 10-20m με εναλλαγές συνεκτικών αμμούχων στρωμάτων πάχους ~30cm και αργιλικών στρωμάτων πάχους ~15cm. Το χρώμα της αργίλου είναι πιο ανοιχτόχρωμο σε σχέση με αυτό των αργίλων του υποκείμενου σχηματισμού, ενώ η παρουσία της άμμου είναι μικρότερη. Χαρακτηριστικές δομές (bad lands), που δημιουργούνται εξ αιτίας της διάβρωσης των αργίλων στο κατώτερο τμήμα κάθε κύκλου, είναι δείκτες της μικρότερης συμμετοχής της άμμου και της μεγαλύτερης συμμετοχής της αργίλου. Ο σχηματισμός του Αμπελούζου έχει τη μεγαλύτερη επιφανειακή ανάπτυξη, σε σχέση με τους προηγούμενους δύο, και καλύπτει κύρια το νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης, έχει μέγιστο πάχος 250-300m και αποτελείται από ένα κύκλο ιζηματογένεσης.

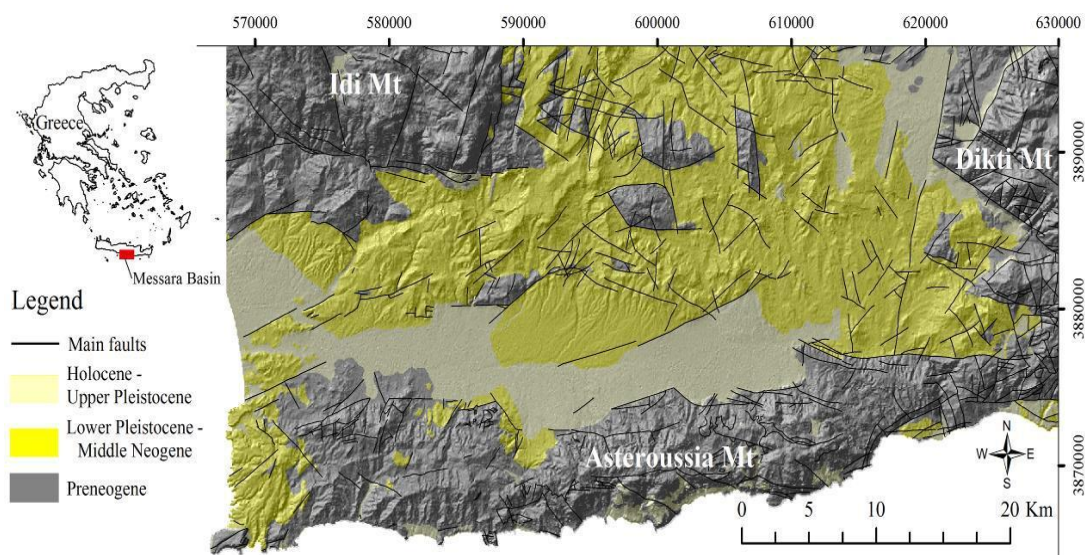
Τα στρώματα και των τριών σχηματισμών κλείνουν νότια γεγονός που δείχνει ότι το κύριο ρήγμα που επηρέαζε τις συνθήκες ιζηματογένεσης ήταν αυτό στα νότια περιθώρια της λεκάνης. Εάν βρισκόταν στις βόρειες παρυφές των Αστερουσίων ή Πολύ νοτιότερα θα πρέπει να απαντηθεί. Οι έξι κύκλοι ιζηματογένεσης κατά την απόθεση του σχηματισμού Βιάννου δείχνουν ότι η λεκάνη βυθίστηκε έξι φορές και αντίστοιχα έξι φορές πληρώθηκε. Το γεγονός ότι οι ανώτεροι δύο κύκλοι έχουν μεγαλύτερους σε πάχους ψαμμιτικούς πάγκους, εντός των οποίων παρατηρήθηκε σκαφοειδής διασταυρούμενη στρώση, δείχνει πως για τους δύο ανώτερους κύκλους στην περιοχή μελέτης η παροχή αδρομερέστερου χερσογενούς υλικού ήταν μεγαλύτερη, σε σχέση με τους κατώτερους τέσσερις κύκλους του σχηματισμού Βιάννου. Το γεγονός ότι η λεκάνη και στο εσωτερικό της επηρεαζόταν από μικρότερα συνθετικά και αντιθετικά ρήγματα, που λειτουργούσαν σύγχρονα με την ιζηματογένεση είχε σαν αποτέλεσμα τον έλεγχο της γεωμετρίας των καναλιών διανομής στο στάδιο της πλήρωσης της παλαιολεκάνης. Έτσι, τα στρώματα της άμμου φαίνεται να μην έχουν μεγάλη πλευρική ανάπτυξη. Η πλευρική ανάπτυξη των καναλιών διανομής φαίνεται ότι φθάνει τα 200-250m. Στις παλαιοκοίτες των καναλιών διανομής είχαμε την απόθεση του πιο αδρομερούς υλικού (ψηφίδες -κροκαλοπαγή), ενώ στις όχθες και στην πεδιάδα πλημμυρίδας είχαμε την απόθεση του πιο λεπτομερούς υλικού (άμμος - πηλός - άργιλος). Επίσης το κοκκομετρικό μέγεθος μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή τροφοδοσίας δηλαδή νότια.

Η επιφανειακή μελέτη των τριών σχηματισμών έδειξε πως σταδιακά όλο το σύστημα (ρυθμοί ιζηματογένεσης/βύθισης της λεκάνης) προελαύνει νότια μεταφέροντας την ακτογραμμή σταδιακά αλλά σταθερά προς το νότο, μειώνοντας έτσι την έκταση της λεκάνης και περιορίζοντάς τη νότια. Τέλος, η συσχέτιση των παραπάνω συμπερασμάτων με τα δεδομένα των γεωτρήσεων δείχνει ότι τα περιβάλλοντα ιζηματογένεσης σταδιακά βαθαίνουν νότια. Τα κανάλια διανομής εκφορτίζουν το αδρομερέστερο υλικό τους στην παράκτια ζώνη, ενώ μόνο μικρές ποσότητες άμμων μεταφέρονται στα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης (Panagopoulos et al, 2011).

### 1.2.1.3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΕΣΣΑΡΑΣ

Η λεκάνη της Μεσσαράς εκτείνεται κατά διεύθυνση Α - και αποτελεί το νότιο τμήμα της λεκάνης του Ηρακλείου (εικόνα 1.19). Αποτελεί μία τεκτονική τάφρο που ορίζεται από τις ρηξιγενείς ζώνες Μαλεβυζίου, Καμαρών, Γέργερης (δυτικά) από τα ρήγματα Καστελίου, Χερσονήσου, Ξενιάκου (ανατολικά) και των Αστερουσίων ορέων (νότια).

Η λεκάνη διακρίνεται σε δυο (2) επιμέρους τεκτονικές ενότητες: Στην πρώτη περιλαμβάνονται οι τεταρτογενείς και οι νεογενείς σχηματισμοί και στη δεύτερη ανήκουν οι προνεογενείς σχηματισμοί των οροσειρών του Ψηλορείτη, της Δίκτης και των Αστερουσίων ορέων, οι οποίες καταλαμβάνουν τα όρια της λεκάνης.



Εικόνα 1.19 Τεκτονοστρωματογραφικός εποπτικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς από συρραφή των χαρτών του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50.000

**Στο υπόμνημα:** με ανοικτό κίτρινο χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσο Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ (PROVENANCE ANALYSIS)

Ο όρος *provenance* στη διεθνή γεωεπιστημονική βιβλιογραφία μπορεί να αποδοθεί στην ελληνική γλώσσα ως «προέλευση». Ως εκ τούτου η έννοια *provenance analysis* μπορεί να μεταφραστεί σαν «μεθοδολογική ανάλυση της προέλευσης» ή απλά «ανάλυση της προέλευσης» που θα μπορούσε κατά τον ευρύτερο ορισμό να συμπεριλάβει το σύνολο των ερευνών που θα βοηθούσαν στην ανασύνθεση της λιθοσφαιρικής εξελικτικής πορείας της Γης (Basu, 2003). Στην πετρολογία όμως των ιζηματογενών πετρωμάτων, ο όρος *provenance* - “προέλευση”, έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει όλους τους παράγοντες κατά και μετά την απόθεση ιζημάτων και τη δημιουργία ιζηματογενών πετρωμάτων, σχετίζονται με τη σύσταση των μητρικών πετρωμάτων, όπως επίσης και στη φυσιογραφία (φυσικοί, χημικοί και μηχανικοί παράγοντες) και το κλίμα της περιοχής ή/και της πηγής προέλευσης του υπό εξέταση ιζήματος ή/και ιζηματογενούς πετρώματος. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι να αναπαράγει και να ερμηνεύσει με το πιστότερο τρόπο των σύνολο των γεωλογικών διεργασιών στην πορεία από τη διάβρωση των μητρικών πετρωμάτων, τη μεταφορά, απόθεση και διαγενετική τους εξέλιξη, κάτω από ένα πολύπλοκο πλαίσιο φυσιογραφικών και κλιματικών παραμέτρων (Πολυχρονάκης, 2015 σελ 38)

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως τα ιζήματα αποτελούν εργαλεία για την κατανόηση και την αναπαράσταση της προέλευσης. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η ανάλυση των παραγόντων εκείνων που συνέβαλαν στην αλλοίωση της σύνθεσης των ιζημάτων. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν τις φυσικές και χημικές διεργασίες που συμβαίνουν κατά τη μεταφορά και την απόθεση. Η ανάλυση της προέλευσης των ιζημάτων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα μεγέθους το οποίο εμπεριέχει κοκκομετρίες με πάνω από 5 τάξεις μεγέθους σε διάμετρο, που προκύπτουν από τη φυσική και χημική αποσάθρωση των μητρικών πετρωμάτων που βρίσκονται πάνω και κοντά στην επιφάνεια της Γης. Το μέγεθος και η σύνθεση των αποσαθρωμένων κόκκων εξαρτάται κυρίως από τις γενετικές τους διεργασίες και μπορεί να αλλάξει κατά τη μεταφορά εξαιτίας μηχανικής σύνθλιψης, χημικής αλλοίωσης και σχηματισμού οξειδωσης κατά το ενταφιασμό <sup>[1]</sup>.

Στην ανάλυση της προέλευσης (*provenance analysis*) επιλέγεται η άμμος ως το καταλληλότερο κλάσμα για την ανάλυση, δεδομένου ότι είναι αρκετά κοινή σε πολλές τεκτονικές και κλιματικές συστάσεις. Τα αδρόκοκκα ιζήματα αποφεύγονται διότι απαιτούν εξαιρετικά υψηλές συνθήκες ενέργειας τόσο κατά την δημιουργία τους όσο

και στη μεταφορά τους. Η ανάλυσή τους μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα πολωτικό μικροσκόπιο. Τα λεπτότερα ιζήματα, ιλύς και άργιλος, είναι δύσκολο να αναγνωρισθούν με ένα πολωτικό μικροσκόπιο, αντιπροσωπεύουν όμως τη μεγαλύτερη ποσότητα ιζημάτων στη Γη, για αυτό και θεωρούνται η μελλοντική εξέλιξη της ανάλυσης προέλευσης, χάρη στην ανάπτυξη και τελειοποίηση νέων τεχνικών<sup>[1]</sup>.

Γνωρίζοντας την πηγή ή τις πηγές τροφοδοσίας των ιζημάτων είναι δυνατό να αντληθούν πληροφορίες τόσο για την παλαιογεωγραφία όσο και για την παλαιοκλιματολογία των περιοχών αυτών. Τα ιζηματογενή κλαστικά πετρώματα είναι το σύνθετο προϊόν των αλληλεπιδράσεων της αρχικής λιθολογίας των πετρωμάτων προέλευσης, της αποσάθρωσης και διάβρωσης τους, της μεταφοράς και της απόθεσής τους σε όμοιες ή διαφορετικές κλιματικές συνθήκες συμπεριλαμβανομένων των συνθηκών διαγένεσής τους<sup>[2]</sup>

Εάν η ανάλυση της προέλευσης μπορεί να αποτελέσει ένα ικανό οδηγό προκειμένου να γίνει κατανοητό το παρελθόν, το τι έχει συμβεί στην εκάστοτε περιοχή δηλαδή, τότε αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την αναπαράσταση της προέλευσης των ιζημάτων, και συνθέτοντας τα αποτελέσματα και τις πληροφορίες που προκύπτουν μπορεί να δοθεί μία ερμηνεία σχετικά με την εξέλιξη της επιφάνειας της Γης στο πέρασμα του χρόνου.

## **2.2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ**

Η ιδέα ότι από τους κόκκους της άμμου μπορούν να αντληθούν πληροφορίες για την αναπαράσταση της γεωλογικής σύστασης της πηγής προέλευσης χρονολογείται από πολύ παλιά. Είναι περισσότερα από 100 χρόνια από τότε που προτάθηκε η κατηγοριοποίηση των αρενιτών και η μελέτη των βαρέων ορυκτών.

Πιο συγκεκριμένα, η αντίληψη ότι πληροφορίες σχετικά με την προέλευση της άμμου μπορεί να δοθούν από τις ορυκτολογικές ιδιότητες των συστατικών της, χρονολογείται από το τέλος του 19ου αιώνα (Sorby, 1880; Phillips, 1881; Artioli, 1891; Dick, 1887; Cayeux, 1929). Οι πρώτες μελέτες ασχολήθηκαν κυρίως με τη μελέτη των επουσιωδών ορυκτών που απαντούν στους ψαμμίτες. Αν και τα επουσιώδη ορυκτά αντιπροσωπεύουν ένα πολύ μικρό ποσοστό των κλαστικών ιζημάτων θεωρήθηκε πως είναι δυνατό να σχετίζονται συχνά με την προέλευση και ως εκ τούτου χαρακτηρίστηκαν καταλληλότερα για μελέτες που σχετιζόταν με αυτή. Αξίζει να σημειωθεί πως εξαιτίας της περιεκτικότητας των κλαστικών ιζημάτων κυρίως σε χαλαζία/άστριους, που αποτελούν και επουσιώδη συστατικά, δημιουργήθηκαν αρχικά επιφυλάξεις σχετικά με τη μελέτη του συνόλου των κλαστικών ιζημάτων (Solomon,

1932). Μετά από μια πρώτη φάση των ποιοτικών μελετών προέλευσης, που επικεντρώθηκε στην αναγνώριση των χαρακτηριστικών «επαρχιών διανομής» (“distribution provinces”) (π.χ. Brammall, σε Milner, 1922), ο Edelmann (1931, 1933), καθιέρωσε για πρώτη φορά μια ποσοτική προσέγγιση (καταμέτρηση των κόκκων) για να ανακτήσει τις σχετικές συχνότητες εμφάνισης συγκεκριμένων ορυκτών. Στις δεκαετίες του 1930 και 1940 αναγνωρίστηκε ότι άλλοι παράγοντες εκτός από την προέλευση ασκούν θεμελιώδεις ελέγχους στη σύνθεση των συνόλων βαρέων ορυκτών. Υδρονομικές (Rubey, 1933) και διαγενετικές διαδικασίες (επιλεκτική μεταφορά, αποσάθρωση και ενδοστρωματική αποσύνθεση) μετατρέπουν την αρχική προέλευση της σύνθεσης του συνόλου των βαρέων ορυκτών (Pettijohn, 1941). Το ενδιαφέρον για την συνολική ορυκτολογική σύσταση των ψαμμιτών αυξήθηκε σημαντικά μετά από το 1940 αφού οι Krynine (1948) και Pettijohn (1948) εισήγαγαν τα συστήματα ταξινόμησης για τους αρενίτες, τα οποία είναι ακόμα σε χρήση. Η έγκαιρη αναγνώριση της σύνδεσης μεταξύ της συνολικής σύστασης των κλαστικών ιζημάτων και των αντίστοιχων πετρωμάτων με την σύσταση των πετρωμάτων των περιοχών τροφοδοσίας, την τεκτονική και το κλίμα (Barrell, 1908; Krynine, 1935, 1936, 1941; Blatt, 1967; Suttner, 1974; Crook, 1974; Schwab, 1975), έλαβε μεγάλη ώθηση με την έλευση της θεωρίας των τεκτονικών πλακών και τις συνεισφορές των W.R. Dickinson (Dickinson, 1974; Dickinson and Suczek, 1979), οι οποίοι κατέδειξαν σαφώς την κύρια επιρροή του τεκτονικού καθεστώτος στην σύσταση των ψαμμιτών

Μια άλλη σημαντική εξέλιξη για το προσδιορισμό της προέλευσης ήταν η χρήση σταθερών χημικών ισότοπων, αναλύσεις συνολικής χημικής σύστασης και ιχνοστοιχείων (Suttner, 1989; Haughton et al. 1991). Τα τελευταία χρόνια μελέτες που συνδυάζουν το ευρύτερο πλαίσιο χημικών αναλύσεων με αναλύσεις βαρέων ορυκτών σε σύγχρονα ιζήματα επιτρέπουν την αναθεώρηση και βελτίωση των κλασικών μοντέλων προέλευσης, ενσωματώνοντας τις επιπτώσεις της πηγής προέλευσης των πετρωμάτων, του κλίματος, της υδραυλικής ταξινόμησης και των λιθοφασικών διαφορών (Garzanti et al., 2000, 2002a, 2002b, 2004a, 2004b, 2005, 2006a, 2006b, 2007a, 2007b) <sup>[1]</sup>.



### 2.3. ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Η κύρια δυσκολία της ανάλυσης της προέλευσης πηγάζει από το γεγονός ότι τα ιζήματα δεν είναι πανομοιότυπα με την πηγή τους, πράγμα που σημαίνει ότι και άλλοι παράγοντες πέραν από τη λιθολογία των μητρικών πετρωμάτων καθορίζουν την τελική τους σύνθεση (e.g., Suttner, 1974; Johnsson 1993; Cox and Lowe, 1995).

Η συγκέντρωση των βαρέων ορυκτών σε ιζήματα ψαμμιτών μπορεί να αλλάξει εξαιτίας πολλών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της προέλευσης, των διαδικασιών των ιζηματογενών, και της διάλυσης μετά την απόθεση. (Mange and Maurer, 1992; Morton and Hallsworth, 1999) Η συγκέντρωση των βαρέων ορυκτών σε κλαστικά ιζήματα στο κλάσμα της άμμου μπορεί να αλλάξει σημαντικά επηρεαζόμενη από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της προέλευσης, των διαδικασιών της ιζηματογένεσης και της διάλυσης μετά την απόθεση (Mange and Maurer, 1992; Morton and Hallsworth, 1999).

Ωστόσο, το συγκεντρωμένο σύνολο βαρέων ορυκτών, μπορεί να προκύψει από την διαλογή εξαιτίας της διαφορετικής πυκνότητας των ορυκτών κατά τις διεργασίες της διάβρωσης, της μεταφοράς και της απόθεσης από ρέματα, που μπορούν να διαχωρίζουν αποτελεσματικά ορυκτά με μικρές διαφορές στην πυκνότητα εντός διακριτών κλασμάτων μεγεθών κόκκων και ιζηματογενών περιβαλλόντων. Αποθέσεις που δείχνουν εμπλουτισμό σε τόσο βαριά ορυκτά (π.χ. μαύρο μίγμα από οξειδίο του σιδήρου, χρυσό, πλατίνα-ομάδα ορυκτού, γρανάτης) ορίζονται προσχωσιγενή (placers). (Komar and Wang, 1984; Reid and Frostick, 1985; Dickinson, 1994; Mallik et al., 1987; Bryan et al., 2007; Ghosh et al., 2012). Αντίθετα συναθροίσεις ορυκτών που δεν είναι εμπλουτισμένα σε βαρέα ορυκτά, μπορούν να προκύψουν από έντονη διάλυση παλαιότερων ψαμμιτών κατά τις διαδικασίες της διαγένεσης. Μεγάλη συγκέντρωση ορυκτών μπορεί να απεμπλουτιστεί από μία τάξη μεγέθους ή και περισσότερο εξαιτίας της επιλεκτικής διαλυτοποίησης και απομάκρυνσης των ασταθών ορυκτών. Σε σύγχρονες παραλίες και δελταϊκούς σχηματισμούς, για παράδειγμα, η συγκέντρωση σε βαρέα ορυκτά παρουσιάζει μία αύξηση συνήθως κατά μία τάξη μεγέθους ή και περισσότερο λόγω της επιλεκτικής απομάκρυνσης των ελαφρύτερων κόκκων από τα κύματα.

Η συγκέντρωση βαρέων ορυκτών στα ιζήματα αντανακλά κατά κύριο λόγο τη λιθολογία των μητρικών πετρωμάτων, και συγκεκριμένα τη σύνθεσή τους, τη μέση πυκνότητα και το τεκτονο-στρωματογραφικό τους επίπεδο. Η αρχική σύνθεση των συναθροίσεων των βαρέων ορυκτών μπορεί να τροποποιηθεί από την αποσάθρωση

που επηρέασε τα μητρικά πετρώματα πριν αυτά ενσωματωθούν στο σύστημα μεταφορών. (Morton and Hallsworth, 1999).

Ο βαθμός στο οποίο οι συναθροίσεις βαρέων ορυκτών τροποποιήθηκαν από την αποσάθρωση στην περιοχή της πηγής εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

Την αρχική σύνθεση της θέσης βαρέων ορυκτών, που ελέγχεται από τη λιθολογία του μητρικού πετρώματος τη φυσιογραφική σύνθεση και το κλίμα (με χαρακτηριστικές παραμέτρους τη θερμοκρασία και τα κατακρημνίσματα, Suttner et al., 1981), που ελέγχει σε ποιο βαθμό σχηματίζεται έδαφος. Αν οι διεργασίες μεταφοράς κατά την απομάκρυνση αποσαθρωμένων ορυκτών είναι ενδεχομένως ταχύτερες από τις αντίστοιχες διαδικασίες αποσάθρωσης στη γένεση των ορυκτών, τότε η διάβρωση λέγεται περιορισμένη διάβρωση. (Johnsson et al., 1991;) Υπό αυτές τις συνθήκες, τα κλάσματα που αφαιρούνται γρήγορα χωρίς σημαντική τροποποίηση με χημική αποσάθρωση, είναι πιθανό η υπογραφή των μητρικών πετρωμάτων να μεταφερθεί σε μεγάλο βαθμό στο σύστημα μεταφοράς. Αντίθετα, όταν ο ρυθμός αποσάθρωσης υπερβαίνει την ικανότητα των διαδικασιών μεταφοράς να αφαιρεί ένα ορυκτό, τότε η διάβρωση είναι περιορισμένης μεταφοράς. (Johnsson et al., 1991).

Σε συνθήκες περιορισμένης μεταφοράς, τα αποσαθρωμένα συστατικά έχουν περισσότερο χρόνο να αντιδράσουν με το έδαφος και τα υπόγεια ύδατα, που επηρεάζουν έντονα τη σύνθεση των κλαστικών υλικών. Στην κατάσταση αυτή, μπορεί να συμβεί εκτεταμένη τροποποίηση της συνάθροισης των βαρέων ορυκτών πριν το ίζημα φτάσει στο σύστημα μεταφοράς. Οι διαδικασίες αποσάθρωσης και τα προϊόντα αυτής, έχουν εξετασθεί εκτενώς, από τους Reiche (1950), Keller (1957) και Oilier (1969). Έχει οριστεί από τους Sanders & Fookes (1970) ως «η διαδικασία μεταβολής των πετρωμάτων κάτω από την άμεση επιρροή της υδρόσφαιρας και της ατμόσφαιρας» ενώ ο Peltier (1950) έχει συνδέσει αυτούς τους τύπους της αποσάθρωσης με την ετήσια βροχόπτωση και τη θερμοκρασία, και τόνισε ότι οποιαδήποτε πειραματική διερεύνηση της αποσάθρωσης των πετρωμάτων πρέπει να αναπαράγει όσο το δυνατό περισσότερο τις φυσικές συνθήκες αποσάθρωσης.

Η αποσάθρωση είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση πολλών διαφορετικών παραγόντων και τα δεδομένα που προκύπτουν είναι πολύπλοκα. Οι πειραματικές έρευνες έχουν επιβεβαιώσει ότι το νερό είναι ένα σημαντικός παράγοντας αποσάθρωσης και ότι η προοδευτική αποσάθρωση επηρεάζεται από την οξείδωση, το pH και σύστημα αποστράγγισης. Οι συνθήκες αποστράγγισης έχουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο που συμβάλλει στον καθορισμό των ορυκτών που συγκρατούνται ή μεταφέρονται (Wilson, 1983).

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την αξιοπιστία των βαρέων ορυκτών και έχουν συζητηθεί σε πολλές δημοσιεύσεις είναι:

- ❖ Το φυσιογραφικό περίγραμμα και το κλίμα της περιοχής προέλευσης. Οι παράγοντες αυτοί ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό την προεπιλογή των κόκκων των ορυκτών κατά τη διάρκεια της αποσάθρωσης των μητρικών και ως εκ τούτου καθορίζουν το είδος των βαρέων ορυκτών στο σύστημα ιζηματογένεσης .
- ❖ Η τριβή και η μηχανική καταστροφή κατά τη διάρκεια της μεταφοράς. Αυτό σχετίζεται με τη μηχανική αντοχή των ίδιων των κόκκων
- ❖ Ο υδραυλικός παράγοντας: Επιδρά κατά τη μεταφορά και ελέγχεται από τις συνθήκες που επικρατούν στο συγκεκριμένο υδραυλικό σύστημα. Τα αποτελέσματα οδηγούν σε επιλεκτική διαλογή των κόκκων σύμφωνα με το μέγεθος, το σχήμα και την πυκνότητα.
- ❖ Μετά την απόθεση διαγενετικά αποτελέσματα: έχει ως αποτέλεσμα την βαθμιαία διάλυση του λιγότερου ασταθούς ορυκτού λόγω ενδοστρωματικής διαλυτοποίησης<sup>[1]</sup>.

Εν κατακλείδι, οι τελικές ιδιότητες του ιζήματος λοιπόν είναι εκείνες που δείχνουν τη λιθολογία των μητρικών πετρωμάτων και μέσω αυτών γίνεται γνωστό όλο το ιστορικό του πετρώματος κατά την αποσάθρωση, την ανακύκλωση, τη μεταφορά, την ανάμειξη, την απόθεση και τη διαγένεση. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ της πηγής και του ιζήματος αποτελεί μία περίπλοκη υπόθεση, εάν συμπεριληφθούν όλοι εκείνοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη σύσταση, τη δομή, την υφή και το κλαστικό φάσμα στην πορεία του από την πηγή στη λεκάνη απόθεσης. Η πολυπλοκότητα αυτών των αλληλεξαρτώμενων τροποποιήσεων θέτει κάποια όρια σχετικά με την ικανότητά μας να διακρίνουμε τα χαρακτηριστικά της πηγής από τις ιδιότητες των προϊόντων τους.

## **2.4. ΒΑΡΕΑ ΟΡΥΚΤΑ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ**

### **2.4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ**

Στις Γεωεπιστήμες ως βαριά ορυκτά χαρακτηρίζονται εκείνα τα ορυκτά των οποίων η πυκνότητα ( $\rho$ ) ξεπερνά τα  $2,90 \text{ gr/cm}^3$  ( $\rho > 2,90 \text{ g/cm}^3$ , Mange and Maurer, 1992).

Η ανάλυση βαρέων ορυκτών είναι από τις πιο ευαίσθητες και ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές στον προσδιορισμό της προέλευσης ιζημάτων. Τα βαρέα ορυκτά είναι υψηλής πυκνότητας επουσιώδη (accessory) συστατικά στα κλαστικά ιζήματα. Στα μητρικά τους πετρώματα, παρουσιάζονται είτε ως ουσιώδη συστατικά σχηματίζοντας ορυκτά (π.χ. αμφίβολου, πυρόξενους) είτε ως επουσιώδη συστατικά όπως το ζirkόνιο, ο απατίτης, ο τουρμαλλίνης που εμφανίζονται σε μία ποικιλία από τύπους ορυκτών. Οι κόκκοι βαρέων ορυκτών σπάνια συναντώνται σε σημαντικές ποσότητες σε λεπτές τομές. Για την ακρίβεια η ποσότητα τους σπάνια ξεπερνά το 1%. Προκειμένου να μελετηθούν τα βαρέα ορυκτά πρέπει να γίνει η συγκέντρωσή τους, και αυτό γίνεται είτε με μαγνητικό είτε με βαρυτομετρικό διαχωρισμό τους, με τη χρήση ενός υγρού υψηλής πυκνότητας. Κλάσματα βαρέων ορυκτών περιέχουν διαφορετικά είδη ορυκτών που ο κάθε κόκκος μεταφέρει τη δική του ιστορία.

Η μελέτη των βαρέων ορυκτών είναι επίσης χρήσιμη σε μελέτες της ιζηματογένεσης που σχετίζονται με την τεκτονική ανύψωση, καθώς η εξέλιξη και η αποδόμηση ορογενετικών ζωνών αντανακλώνονται πιστά στα ιζήματα της προχώρας. Αναλύσεις των βαρέων ορυκτών είναι επίσης σημαντικές στην εδαφολογία καθώς παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το σχηματισμό του εδάφους. Η σύνθεση των συναθροίσεων των βαρέων ορυκτών ελέγχεται κατά κύριο λόγο από την ορυκτολογική σύνθεση της περιοχής προέλευσης, που όμως έχει τροποποιηθεί εξαιτίας άλλων διαδικασιών που συμβαίνουν κατά το κύκλο της ιζηματογένεσης. Από τη στιγμή που τα ορυκτά απελευθερώνονται από τα μητρικά τους πετρώματα, μια σειρά διεργασιών τίθεται σε εφαρμογή, μέχρι που οι συναθροίσεις των βαρέων ορυκτών εξάγονται από το ίζημα για μελέτη. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την αξιοπιστία των βαρέων ορυκτών και έχουν συζητηθεί σε πολλές δημοσιεύσεις (Mackie, 1923; van Andel, 1959; Blatt, 1967; Hubert, 1971; Pettijohn et al., 1972; Morton, 1985)

Συνήθως τα βαρέα ορυκτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για:

- ✓ Τον καθορισμό της προέλευσης: Ανακατασκευή της φύσης και των χαρακτηριστικών της περιοχής προέλευσης
- ✓ Τον εντοπισμό των διαδρομών που ακολούθησε το ιζημα κατά τη μεταφορά
- ✓ Τη χαρτογράφηση προτύπων διασποράς των ιζημάτων
- ✓ Την οριοθέτηση ιζηματογενούς-πετρολογικής προέλευσης
- ✓ Την περιγραφή και συσχέτιση διαφόρων φορέων του κοκκομετρικού μεγέθους της άμμου
- ✓ Την υπόδειξη της δράσης συγκεκριμένων υδραυλικών συστημάτων και των διαδικασιών συγκέντρωσης
- ✓ Την αποσαφήνιση των διαδικασιών διαγένεσης
- ✓ Τον εντοπισμό πιθανών οικονομικών προσχωματικών κοιτασμάτων
- ✓ Τον εντοπισμό υδρογονανθράκων

#### **2.4.2. ΣΧΕΤΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ**

Σχετικά με την ανθεκτικότητα των βαρέων ορυκτών στο βάθος ενταφιασμού υπάρχουν εργασίες σε διάφορες θέσεις στον πλανήτη που έχει παρατηρηθεί μια αύξηση της διαλυτότητας των βαρέων ορυκτών με το βάθος: η περιοχή βόρεια των Απεννίνων στην Ιταλία (Gazzi, 1965), η λεκάνη της Βιέννης στην Αυστρία

(Wieseneder and Maurer, 1958), η λεκάνη του Κλίβελαντ στο Γιόρκσαϊρ του Ηνωμένου Βασιλείου (Smithson, 1941), τα Κρητιδικά-Τριτογενή στην Αλμπέρτα του Καναδά (Rahmani, 1973) και η λεκάνη της Βόρειας Σουμάτρας στην Ινδονησία (Morton et al., 1994). Συνεπώς, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι υπάρχει ένα «σταθερό μοτίβο» (consistent pattern) παγκοσμίως σχετικά με τη μείωση της ποικιλίας των ορυκτών όσο αυξάνεται το βάθος ενταφιασμού των ιζηματογενών λεκανών.

Στις μελέτες αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων (**case studies**), δεν έχουν καθιερωθεί σχέσεις της ποικιλότητας/βάθους των κλαστικών βαρέων ορυκτών. Αυτό οφείλεται εν μέρει στη σχετική έλλειψη κάποιων βαρέων ορυκτών, όπως το κορούνδιο, ο λωζονίτης, ο πουμελυνίτης και το τοπάζιο, κάτι το οποίο περιορίζει την απόκτηση πολύ σημαντικών δεδομένων που σχετίζονται και αναλογούν σε όλο το φάσμα βάθους ενταφιασμού κάθε ιζηματογενούς λεκάνης. Ορισμένα άλλα ορυκτά, όπως ο ανδαλουσίτης ή ο ολιβίνης, απαντούν συχνά σε ιζήματα συγκεκριμένων λιθολογιών, αλλά προς το παρόν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα της σχέσης ποικιλίας/βάθους από ιζήματα που προέρχονται από τέτοιες πηγές τροφοδοσίας. Η σχετική σταθερότητα

τέτοιου είδους ορυκτών μπορεί να μετρηθεί μόνο από το βαθμό ανάπτυξης των υφών λόγω διάβρωσης που αναπτύσσονται στις επιφάνειες των κόκκων, σε σύγκριση με ορυκτά που έχουν γνωστές σχέσεις σταθερότητας.

Τα βαριά ορυκτά αντιδρούν στην διαγένεση ενταφιασμού με αλληλεπικαλυπτόμενες υφές διάβρωσης στην επιφάνεια των κόκκων, διάλυση των ασταθών φάσεων και την ανάπτυξη των δευτερογενών ορυκτών. Αν και αυτά τα δευτερεύοντα ορυκτά δεν έχουν καμία σχέση με την προέλευση, παρέχουν ενδείξεις για τη διαγένεση. Ορισμένα ορυκτά είναι περισσότερο σταθερά από άλλα. Ένα ορυκτό μπορεί να αναγνωριστεί ως ασταθές βάσει της υφής της επιφάνειας του και βάσει της κατανομής του στο υπέδαφος (Morton και Hallsworth, 1999). Περιπτώσιολογικές μελέτες (Case studies) από ιζηματογενείς λεκάνες σε όλο τον κόσμο, έχουν δείξει ένα μάλλον ομοιόμορφο μοτίβο, σχετικής σταθερότητας. Η σειρά της σταθερότητας κατά τη διάρκεια της διαγένεσης ενταφιασμού είναι ολιβίνης (ελάχιστα σταθερός) < ορθοπυρόξενος, κλινοπυρόξενος < νατριούχος πυρόξενος < ασβεστούχοι αμφίβολοι, ανδαλουσίτης, σιλλιμανίτης < επίδοτα < τιτανίτης < κυανίτης < νατριούχοι αμφίβολοι < σταυρόλιθος < αλλανίτης < γρανάτης, χλωριτοειδές < τουρμαλίνης, μοναζίτης, σπινελίου < ρουτίλιο, ανατάση, βρουκίτη, ζirkονίου, απατίτη (πιο σταθερά), (Morton και Hallsworth, 2007).

Η σταθερότητα των ορυκτών δεν είναι ο μόνος παράγοντας που ρυθμίζει τη διάλυση των βαρέων ορυκτών κατά τη διάρκεια ενταφιασμού μεγάλου βάθους. Η θερμοκρασία και σύνθεση των ρευστών των πόρων, η κυκλοφορία στο εσωτερικό των πόρων και ο χρόνος επηρεάζουν επίσης τις διαδικασίες διάλυσης βαρέων ορυκτών

(Morton και Hallsworth, 2007).

Η ενδοστρωματική διάλυση των ορυκτών κάτω από την επιφάνεια μπορεί να αναγνωριστεί με τρεις τρόπους: α) Με την παρουσία διαβρωμένων επιφανειών στα ορυκτά β) από τη συνύπαρξη υψηλής και χαμηλής ποικιλίας στις συναθροίσεις σε παρακείμενους ψαμμίτες τόσο υψηλής όσο και χαμηλής διαπερατότητας και γ) από μια μείωση στην ποικιλία ορυκτών με την αύξηση του βάθους ενταφιασμού εντός της ιζηματογενούς λεκάνης (Morton and Hallsworth, 2007)

Η πιο άμεση ένδειξη της διάλυσης των βαρέων ορυκτών είναι η παρουσία διάβρωσης στην επιφάνεια των κόκκων. Οι διαφορές στη σύνθεση ορυκτών και κρυσταλλικής δομής μπορεί να αποδώσει διαφορετικές υφές στην επιφάνεια. (Nickel, 1973; Berner et al., 1980; Turner and Morton, 2007).

Οι επιπτώσεις κατά τη διαγένεση ενταφιασμού και ενδοστρωματικής διάλυσης μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε λεκάνη όπου η περιοχή προέλευσης έχει παραμείνει η ίδια για μεγάλο χρονικό διάστημα. (i.e. the Alpine foreland or the Indus fan; Garzanti and Andò, 2007a).

Παρακάτω συνοψίζονται οι γνώσεις που υπάρχουν για τη σχετική σταθερότητα των ορυκτών:

### **Ολιβίνης**

Ο ολιβίνης είναι εξαιρετικά σπάνια κλαστική φάση σε ψαμμίτες, παρότι εμφανίζεται σε αφθονία σε κάποια μητρικά πετρώματα (π.χ. βασικά και υπερβασικά πυριγενή πετρώματα). Ο λόγος της σπανιότητάς του είναι σχεδόν σίγουρα η αστάθειά του. Σε ένα δείγμα άμμου από τον πυθμένα της θάλασσας στη δυτική ακτή της Σκωτίας οι ολιβίνες παρουσιάζουν καλά αναπτυγμένες υφές διάβρωσης στην επιφάνεια των κόκκων τους (Turner and Morton, 2007), δείχνοντας συνεχή αποσύνθεση σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος χωρίς ενταφιασμό. Οι κλινοπυρόξενοι στο ίδιο δείγμα δεν παρουσιάζουν καθόλου αποσύνθεση, υποδεικνύοντας ότι ο ολιβίνης είναι πιο ασταθής από το κλινοπυρόξενο. Αυτό επιβεβαιώνει σχετικά μοτίβα σταθερότητας (*stability patterns*) που είχαν δημοσιευτεί παλαιότερα όπως αυτά του Pettijohn (1941, 1975) και του Morton (1984), κάτι το οποίο δείχνει πως ο ολιβίνης είναι ο λιγότερο σταθερός σε σχέση με όλα τα κλαστικά βαρέα ορυκτά.

### **Πυρόξενος**

Ο κλινοπυρόξενος είναι εξαιρετικά ασταθής στους ψαμμίτες, ενώ είναι πιο σταθερός μόνο από τον ολιβίνη (Pettijohn, 1941, 1975; Morton, 1984). Η αστάθεια του κλινοπυρόξενου επιβεβαιώνεται και από στοιχεία από τη λεκάνη Kura, όπου καταστρέφεται πιο γρήγορα από τους ασβεστούχους αμφίβολους και το επίδοτο κατά τη διάρκεια του ενταφιασμού, και από τη γρήγορη δημιουργία υφών διάβρωσης στην επιφάνεια των κόκκων ακόμα και σε μικρά βάθη (Turner and Morton, 2007). Η σχετική σταθερότητα άλλων πυρόξενων είναι λιγότερο γνωστή, λόγω της σπάνιας εμφάνισής τους στα ιζήματα.

Ο ορθοπυρόξενος θεωρείται τόσο ασταθής όσο και ο κλινοπυρόξενος (Pettijohn, 1941, 1975; Morton, 1984). Ο αιγρινίνης, αντιθέτως, παρουσιάζεται πιο σταθερός από τον κλινοπυρόξενο, δεδομένου ότι οι Πολύ φθαρμένοι (*etched*) κλινοπυρόξενοι συνυπάρχουν με καθόλου ή ελάχιστα φθαρμένους αιγινίτες στο ίδιο δείγμα από Πολύ μικρό βάθος στο Rockall Trough (Turner and Morton, 2007). Το ίδιο δείγμα επίσης περιέχει Πολύ φθαρμένους αιγινιματίτες, ένα πυροξενοειδές ορυκτό, δείχνοντας πως ο αιγινιματίτης και ο κλινοπυρόξενος έχουν παρόμοια σταθερότητα. Προς το παρόν δεν έχουμε πληροφορίες



για τη σταθερότητα άλλων πυρόξενων ή πυροξενοειδών ορυκτών, όπως ο ιαδείτης ή ο βολλαστονίτης, οι οποίοι είναι ουσιαστικά μη καταγεγραμμένοι στην κλαστική φάση.



### **Αμφίβολοι**

Οι ασβεστούχοι αμφίβολοι είναι εξαιρετικά ασταθής στο υπέδαφος, παρότι είναι ποιο σταθεροί από τον ολιβίνη και τους πυρόξενους. Η αστάθειά τους επιβεβαιώνεται από τη σχετικά πρόωρη εξαφάνισή τους κατά τον ενταφιασμό στη λεκάνη της Βόρεια Θάλασσας, στη λεκάνη Faeroe-Shetland, στη λεκάνη της Βεγγάλης, στη λεκάνη Kura και στον κόλπο του Περσικού, καθώς επίσης και από τις καλά αναπτυγμένες διαβρωτικές υφές στην επιφάνεια των κόκκων των ψαμμιτών που φέρουν αμφίβολου (Rahmani, 1973; Morton, 1979; Milliken, 2007, Turner and Morton, 2007). Οι ασβεστούχοι αμφίβολοι έχουν ένα ευρύ φάσμα συστάσεων (Deer et al., 1997a), και είναι πιθανόν να έχουν διαφορετικό βαθμό σταθερότητας. Ωστόσο, μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποια αποδεδειγμένη μελέτη της σταθερότητας της ομάδας των ασβεστούχων αμφιβόλων. Πολύ λιγότερες είναι οι γνώσεις για τη σταθερότητα της άλλης ομάδας των αμφιβόλων. Οι σιδηρομαγνησιούχοι αμφίβολοι (όπως ο γρυνερίτης και ο κουμμικτονίτης) και οι νατριούχοι-ασβεστούχοι αμφίβολοι (όπως ο καταφορίτης) είναι σπάνιοι στην κλαστική φάση. Οι νατριούχοι αμφίβολοι (όπως ο γλαυκοφανής και ο ριβεκίτης) εμφανίζονται πιο συχνά, όμως παρά την ευρέα γεωγραφική τους εξάπλωση, η σχετική τους σταθερότητα παραμένει άγνωστη. Οι 52 ελάχιστες πληροφορίες που υπάρχουν δείχνουν ότι είναι Πολύ πιο σταθεροί από τους ασβεστούχους αμφίβολου. Στους ψαμμίτες τύπου δέλτα που δημιουργήθηκαν κατά το Μειόκαινο στην περιοχή Mahakam, ανοικτά του Βόρνεο, συνυπάρχουν Πολύ εξαλλοιωμένοι ασβεστούχοι αμφίβολοι (γλαυκοφανής), εξαλλοιωμένοι σταυρόλιθοι και ελάχιστα εξαλλοιωμένοι γρανάτες (Turner and Morton, 2007), κυανίτες και τιτανίτες είναι είτε σπάνιοι είτε δεν υπάρχουν.

Συνεπώς σε αυτή την ιζηματογενή λεκάνη οι αμφίβολοι φαίνονται να είναι πιο σταθεροί από τους κυανίτες και τους τιτανίτες, και οριακά πιο ασταθής από τους σταυρόλιθους.



### **Επίδοτο**

Σε μελέτες αντιπροσωπευτικών περιπτώσεων που έγιναν στη ιζηματογενή λεκάνη της κεντρικής Βόρειας Θάλασσας, στη λεκάνη Faeroe-Shetland, στη λεκάνη της Βεγγάλης, στη λεκάνη του ποταμού Sava και στο κόλπο του Περσικού, δείχνουν ότι τα ορυκτά της ομάδας του επιδότου είναι ασταθή κατά τον ενταφιασμό. Η αστάθεια του επιδότου επιβεβαιώνεται περαιτέρω από τις έντονες επιφανειακές διαβρώσεις με την αύξηση του

βάθους ενταφιασμού. (Morton, 1984; Turner and Morton, 2007). Τα ορυκτά της ομάδας του επιδότου έχουν ένα ευρύ φάσμα σύστασης (Deer et al., 1997b; Spiegel et al., 2002), με διακυμάνσεις τόσο στα κύρια στοιχεία του (ιδίως Ca, Fe, Mg, Mn και σπάνιες γαίες) όσο και σε ιχνοστοιχεία. Υπάρχουν ωστόσο ελάχιστες πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις στη μεταβολή της σύστασης και στη σταθερότητα του επιδότου. Τα μοναδικά διαθέσιμα στοιχεία είναι αυτά που υπάρχουν από το ορυκτό του επιδότου που περιέχει σπάνιες γαίες, τον αλλανίτη που φαίνεται να είναι σταθερός από οποιοδήποτε άλλο ορυκτό της ομάδας του επιδότου. Αυτό φαίνεται από την επιμονή του αλλανίτη να εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη σε σχέση τα άλλα ορυκτά του επιδότου στη λεκάνη της Βεγγάλης, καθώς και από τη μικρή δημιουργία υφών λόγω αποσάθρωσης στους κόκκους του αλλανίτη σε σύγκριση με τον εξαλλοιωμένο σταυρόλιθο (Turner and Morton, 2007). Συνεπώς ο αλλανίτης είναι πιο σταθερός όχι μόνο από όλα τα ορυκτά της ομάδας του επιδότου αλλά και από τον τιτανίτη, τον κυανίτη και το σταυρόλιθο.



### **Τιτανίτης**

Η σχετική σταθερότητα του τιτανίτη μπορεί να καθοριστεί με βάση διάφορες μελέτες, συμπεριλαμβανομένης αυτής της λεκάνης της κεντρικής Βόρειας Θάλασσας, της λεκάνης Faeroe-Shetland, της λεκάνης της Βεγγάλης, της λεκάνης του ποταμού Sava, και των περιοχών US Gulf Coast and Contessa. Στην πλειοψηφία αυτών των παραδειγμάτων, ο τιτανίτης είναι λιγότερο σταθερός από τον κυανίτη, το σταυρόλιθο και το τοπάζιο, όμως είναι πιο σταθερός από το επίδοτο. Ωστόσο, στη λεκάνη της Βεγγάλης, ο τιτανίτης και ο κυανίτης παύουν να εμφανίζονται σε συγκεκριμένα βάθη, ενώ στο US Gulf Coast και στη λεκάνη του ποταμού Sava η ελάττωση εμφάνισης του κυανίτη συμβαίνει πριν την ελάττωση του τιτανίτη. Ο λόγος αυτής της διαφοροποίησης είναι ασαφής. Είναι πιθανότερο να είναι επίπτωση που σχετίζεται με την προέλευση παρά με τη διαγένεση. Ωστόσο, μπορεί να συμβαίνει και λόγω της διαφορετικής σύστασης του τιτανίτη, μιας και το ορυκτό έχει ευρύ φάσμα σύστασης σε πολλά στοιχεία όπως τα Al, Fe και τα στοιχεία των σπάνιων γαιών (Deer et al., 1997c).



### **Χλωριτοειδές**

Το χλωριτοειδές είναι ένα σχετικά σταθερό βαρύ ορυκτό, αλλά παρόλα αυτά ευπαθές στην αποσύνθεσή σε βαθιά ενταφιασμένους ψαμμίτες, όπου και αποσθρώνεται (Morton and Hallsworth, 1999; Turner and Morton, 2007). Τα στοιχεία που υπάρχουν από τη

λεκάνη της Βεγγάλης δείχνουν ότι το χλωριτοειδές είναι πιο σταθερό από το σταυρόλιθο, δεν παρέχουν όμως πληροφορίες για τη σχετική σταθερότητα του γρανάτη και του χλωριτοειδούς. Στους Κρητιδικούς ψαμμίτες στη λεκάνη Voring (ανοικτά της Νορβηγίας), η ελάττωση του χλωριτοειδούς εμφανίζεται σε παρόμοια βάθη με αυτά του γρανάτη, δείχνοντας ότι το χλωριτοειδές έχει σταθερότητα παρόμοια με αυτή των φτωχών σε ασβέστιο γρανατών. Το χλωριτοειδές παρουσιάζει διακυμάνσεις στη σύστασή του που φαίνεται από τη παρουσία Fe, Mg και Mn, όμως δεν είναι γνωστές οι επιπτώσεις των διακυμάνσεων αυτών στη σταθερότητα του ορυκτού.



### Τουρμαλίνης

Ο τουρμαλίνης θεωρείται ένα από τα πιο σταθερά κλαστικά ορυκτά στους ψαμμίτες (Hubert, 1962; Pettijohn, 1975). Αυτό έχει γίνει αντιληπτό από πολλές στις οποίες τα συστατικά του τουρμαλίνης δε σχετίζονται με το βάθος ενταφιασμού. Ωστόσο, υπάρχουν τεκμήρια που δείχνουν πως ο τουρμαλίνης είναι ασταθής υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Οι Morton and Hallsworth (1999) μελέτησαν έναν εξαλλοιωμένο τουρμαλίνης που προήλθε από Ιουρασικούς ψαμμίτες στο Outer Moray 54 Firth, στη βόρεια θάλασσα και είπαν πως μία πιθανή εξήγηση είναι πως ο τουρμαλίνης είναι ασταθής σε ταμειυτήρες όπου οι υδρογονάνθρακες έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε  $H_2S$ . Μετά από αυτή την πρώτη καταγραφή του εξαλλοιωμένου τουρμαλίνης, όλο και περισσότερες περιπτώσεις έχουν παρατηρηθεί, συμπεριλαμβανομένων των Ιουρασικών ψαμμιτών από τη θάλασσα της Νορβηγίας (Turner and Morton, 2007) και τους ψαμμίτες του Παλαιόκαινου από τη λεκάνη Faeroe-Shetland. Κάθε φορά που βρέθηκε εξαλλοιωμένος τουρμαλίνης, συνέβη σε μεγάλα βάθη ενταφιασμού, περίπου στα 4 χιλιόμετρα, που σημαίνει πως ο τουρμαλίνης γίνεται ασταθής σε βαθιά ενταφιασμένους ψαμμίτες.

Παρόλα αυτά δεν υπάρχουν πάντα εξαλλοιωμένοι τουρμαλίνες σε μεγάλα βάθη, που μπορεί να σημαίνει ότι η αποσύνθεση του τουρμαλίνης, είναι αποτέλεσμα συνδυασμού του υψηλού βάθους και της σύστασης ασυνήθιστων ρευστών όπως η υψηλή περιεκτικότητα σε  $H_2S$ . Φθαρμένος τουρμαλίνης έχει παρατηρηθεί και σε ψαμμίτες που περιέχουν άργυρο (Ολλανδία, Βέλγιο και Γερμανία), οι οποίοι έχουν υποστεί μεγάλου βαθμού αποσάθρωση (Van Loon and Mange, 2007). Ο αυθιγενής τουρμαλίνης έχει παρατηρηθεί να εμφανίζεται σε εβαπορίτες, σιδηρόλιθους και ανθρακικά. Αν και δευτερογενής τουρμαλίνης έχει εντοπιστεί σε ψαμμίτες (π.χ., Stow, 1932), είναι σχετικά σπάνιο και δε φαίνεται να σχετίζεται οπωσδήποτε με διαγένεση ενταφιασμού. Όπως και με την

αποσύνθεση του, ο τουρμαλίνης απαιτεί συγκεκριμένες γεωχημικές συνθήκες προκειμένου να αναπτυχθεί.



### **Σπινέλλιος**

Είναι γνωστό ένα ευρύ φάσμα σπινελλίου με διαφορετική σύσταση αλλά είναι σχετικά λίγα αυτά που αναγνωρίζονται ως κλαστικά βαρέα ορυκτά. Οι πιο κοινοί ημιδιαφανείς κλαστικοί σπινέλλιοι ανήκουν στη σειρά των χρωμιτών (χρωμίτης και μαγνησιούχος χρωμίτης), γνωστά ως χρωμοσπινέλλιοι. Οι κλαστικοί χρωμοσπινέλλιοι είναι γνωστό ότι παρέχουν τη δυνατότητα αξιολόγησης της σταθερότητά τους κατά τη διάρκεια της διαγένεσης λόγω ενταφιασμού. Στο κεντρικό τμήμα της βόρειας θάλασσας την περίοδο του Άνω Ιουρασικού, το οποίο έχει βάθος 2000-6000 μέτρα, δεν υπάρχουν στοιχεία που να υποστηρίζουν τη σχέση μεταξύ βάθους και δείκτη χρωμοσπινέλλιου/ ζirkονίου (CZr). Στα ίδια δείγματα ψαμμιτών και σε βάθος 3500 μέτρα σταματάει να εμφανίζεται ο γρανάτης. Στους βαθιά ενταφιασμένους ψαμμίτες προς το τέλος του Ιουρασικού, βόρεια της θάλασσας υπάρχουν στοιχεία ύπαρξης δημιουργίας διάβρωσης στις επιφάνειες των κόκκων (Turner and Morton, 2007), επειδή όμως είναι μικρής τάξεως ο χρωμοσπινέλλιος θεωρείται ότι είναι εξαιρετικά σταθερή κλαστική φάση. Ο άλλος σπινέλλιος που βρίσκεται στους ψαμμίτες είναι αυτός του ψευδαργύρου, ο γκανίτης. Ωστόσο εμφανίζεται σπανιότερα από το χρωμοσπινέλλιο, με συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών συνήθως χαμηλότερες από 0,5%. Γεγονός που καθιστά δύσκολο να προσδιοριστεί η σχέση βάθους/πληθώρας, με μοναδικό δείκτη της σταθερότητάς του τις επιφανειακές υφές. Όπως απέδειξαν οι Turner και Morton (2007), ο γκανίτης δεν παρουσιάζει κανένα ίχνος διάβρωσης κατά τη διαγένεση λόγω ενταφιασμού, συνεπώς η φάση θεωρείται σταθερή.



### **Ρουτίλιο, Ανατάσης και Μπρουκίτης**

Το ρουτίλιο θεωρείται ένα από τα πιο σταθερά κλαστικά ορυκτά στους ψαμμίτες (Hubert, 1962; Pettijohn, 1975). Σε όλες τις περιπτώσεις που περιγράφηκαν παραπάνω, δεν παρατηρείται ελάττωση εμφάνισης του ρουτιλίου με την αύξηση βάθους του ενταφιασμού. Επιπλέον, δεν υπάρχει ένδειξη στην επιφανειακή του υφή, που να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι (κλαστικοί) κόκκοι του ρουτιλίου αλλοιώνονται με το βάθος ενταφιασμού (Morton, 1979; Turner and Morton, 2007). Οι αποσαθρωμένοι ανατάσης και μπρουκίτης αποτελούν λιγότερο συνήθη ορυκτά στις συναθροίσεις των βαρέων ορυκτών και υπάρχει έλλειψη πληροφοριών για την εδραίωση της σχέσης βάθους και

εμφάνισης αυτών των ορυκτών. Ωστόσο και τα δύο ορυκτά εμφανίζονται ως αυθιγενή, δείχνοντας έτσι ότι είναι σταθερά υπό συνθήκες διαγενετικού ενταφιασμού.

### **Ζιρκόνιο**

Το ζιρκόνιο είναι ένα ακόμα μέλος της ομάδας των ορυκτών που θεωρούνται σταθερά στους ψαμμίτες (Hubert, 1962; Pettijohn, 1975). Δεν υπάρχει ένδειξη εξαλλοίωσης με αύξηση του ενταφιασμού και οι κόκκοι δεν παρουσιάζουν επιφανειακή διάβρωση ακόμα και σε ακραίες συνθήκες στη διάρκεια της διαγένεσης (Morton, 1979; Turner and Morton, 2007). Για αυτό το λόγο, παρότι η αποσύνθεση του ζιρκονίου έχει παρατηρηθεί σε μεμονωμένες περιπτώσεις συγκεκριμένων περιβαλλόντων αποσάθρωσης (Carroll, 1953; Oliva et al., 1999), το ζιρκόνιο θεωρείται εξαιρετικά σταθερό κατά τη φάση του ενταφιασμού. Τα μεταμικτικά ζιρκόνια (αυτά που έχουν υποστεί ζημιές στο κρυσταλλικό τους πλέγμα λόγω ακτινοβολίας) θεωρούνται πιο ευδιάλυτα σε περιβάλλοντα αποσάθρωσης σε σχέση με τα κρυσταλλικά ζιρκόνια (Balan et al., 2001). Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι είναι περισσότερο επιρρεπή σε διάλυση όταν εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες από ρευστά που διαπερνούν τους κόκκους τους κατά τη διαγένεση λόγω ενταφιασμού, παρότι υπάρχει έλλειψη ενδείξεων (Mange and Wright 2007).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### 3.1. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

##### 3.1.1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Η δειγματοληψία αποτελεί σημαντική παράμετρο στο στάδιο της πειραματικής διαδικασίας, διότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τα τελικά αποτελέσματα. Αποτελεί το πρώτο βήμα των πειραμάτων και ως εκ τούτου θα πρέπει να γίνεται συντονισμένα και με ακρίβεια. Καθοριστικό παράγοντα έχει το περιβάλλον απόθεσης που μελετάται. Επομένως πρέπει η διαδικασία της δειγματοληψίας να είναι λεπτομερής. Η πρόχειρη λήψη δειγμάτων μεταβάλλει το αποτέλεσμα της μελέτης και καθιστά τα αποτελέσματα της έρευνας αναξιόπιστα. Τα δείγματα πρέπει να λαμβάνονται αντιπροσωπευτικά στις αλλαγές στη στρωματογραφία, στη λιθολογία, στην όψη, στη σύσταση, στο σύστημα ροής, στο σχηματισμό στρωμάτων κ.τ.λ.

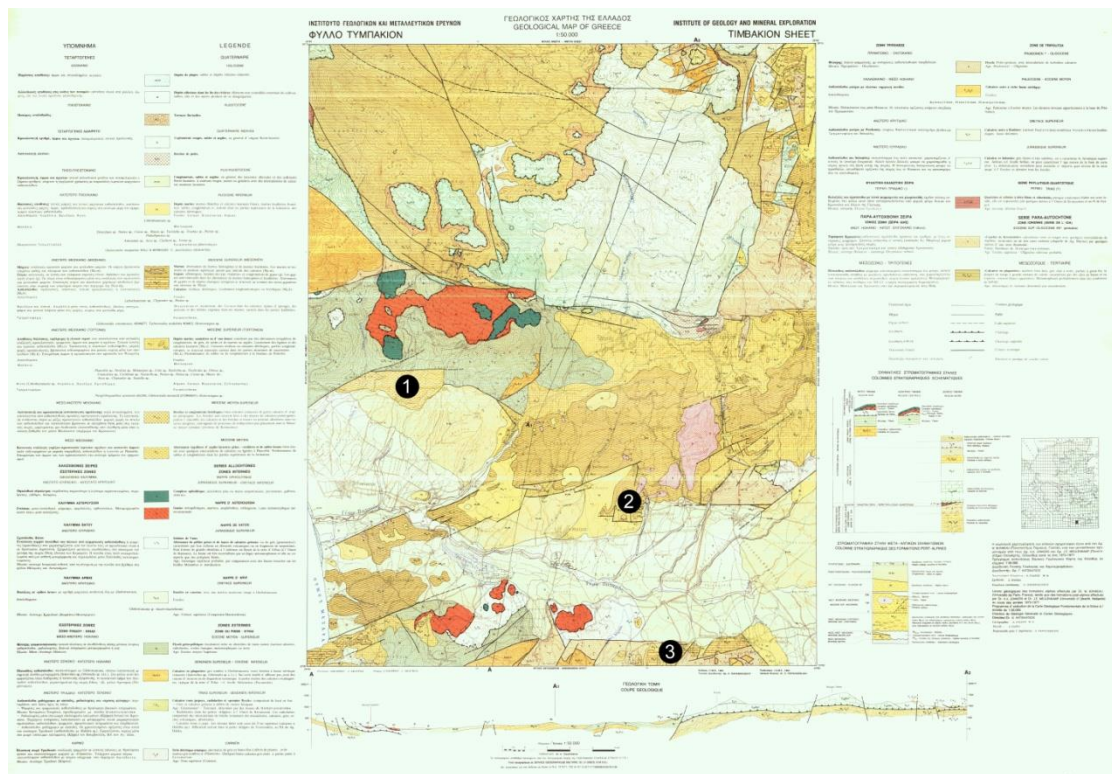
Συνήθως η μάζα κάθε ξηρού δείγματος για ανάλυση βαρέων ορυκτών μπορεί να είναι μεταξύ 1 g – 30 g, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να είναι και 50 g. Η σύνθεση των βαρέων ορυκτών μπορεί να εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων. Προτιμάται το μέγεθος της άμμου ή οι ψαμμίτες διότι παρέχουν το πιο αντιπροσωπευτικό σύνολο βαρέων ορυκτών.

##### 3.1.2. ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ – ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες στις περιοχές του νομού Ηρακλείου Φανερωμένη, Λαγόλιο και Βασιλική, οι οποίες βρίσκονται στη λεκάνη της Μεσσαράς και συγκεκριμένα καλύπτουν το δυτικό της τμήμα. Σε ότι αφορά στη διαδικασία της συλλογής δειγμάτων κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια αναφορά για κάθε περιοχή ξεχωριστά καθώς η καθεμία από τις αναφερόμενες περιοχές παρουσίασαν διαφορές στη μετέπειτα πειραματική διαδικασία. (Εικόνα 3.5)



**Περιοχή Φανερωμένη:** Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με επανειλημμένες επισκέψεις στην ύπαιθρο κατά μήκος του επαρχιακού δρόμου δυτικά του φράγματος της Φανερωμένης. Αν και στο γεωλογικό χάρτη η πρώτη θέση τοποθετείται σε φλύσχη όπως φαίνεται και από την φωτογραφική αποτύπωση η τομή ξεκινάει με εναλλαγές μαργών, ψαμμιτικών πάγκων και κροκαλοπαγών του Τορτονίου που προσομοιάζουν λιθοφασικά τον Σχηματισμό Αμπελούζου με γενικές κλίσεις στρωμάτων προς τα ΒΔ. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 12 στάσεις σε συνολική απόσταση 3 Km περίπου από όπου πάρθηκαν 18 δείγματα ψαμμιτών, από τα οποία δεν 4 δεν συμπεριελήφθησαν στην μελέτη είτε επειδή δεν αποσυμπετρώθηκαν είτε εξαιτίας μη επαρκούς ποσότητας υλικού στο κλάσμα των 125 – 90  $\mu\text{m}$ . (βλέπε εικόνα 3.1)

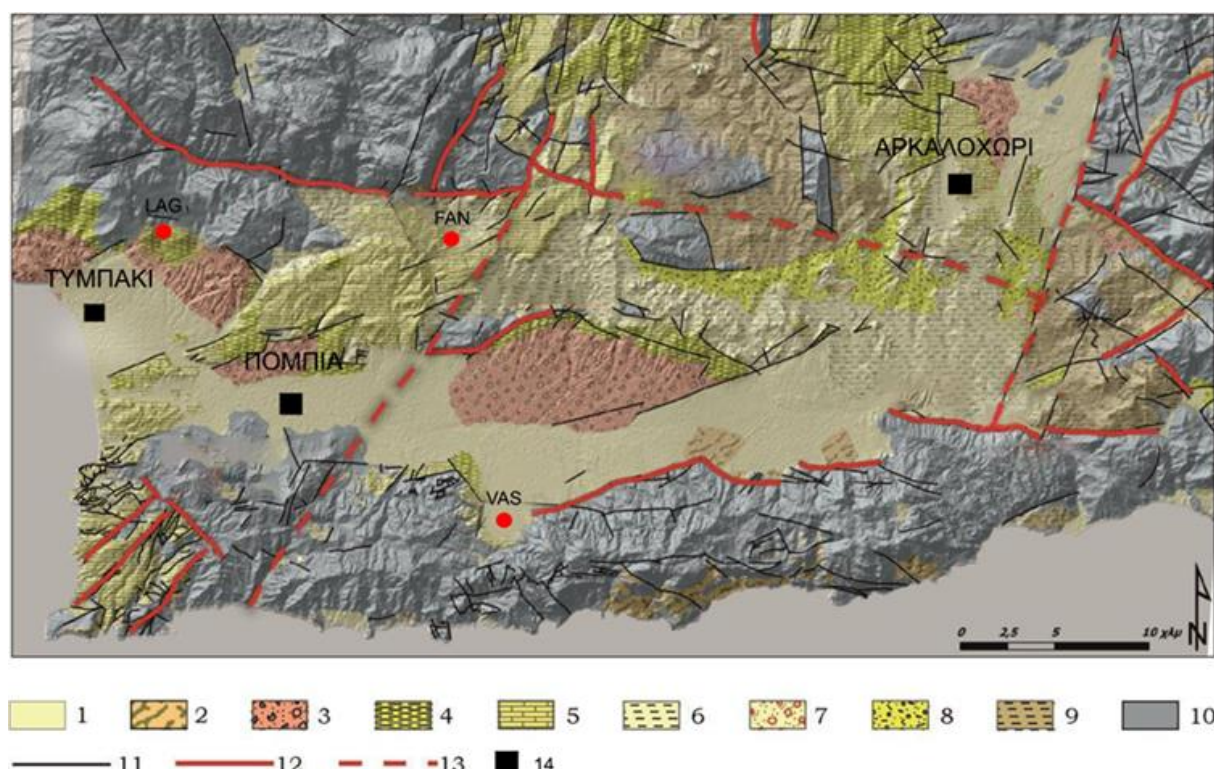


**Εικόνα 3.1.** Γεωλογικός χάρτης φύλλο Τυμπάκιον σε κλίμακα 1:50.000 και η περιοχή δειγματοληψίας με μαύρα στίγματα ενός πλαισίου.



**Περιοχή Λαγόλιο:** Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε στο σχηματισμό Βιάννου και Αμπελούζου που χαρακτηρίζεται από εναλλαγές μαργών, ψαμμιτικών πάγκων και κροκαλοπαγών του Τορτονίου. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 15 στάσεις σε συνολική απόσταση 2,5 Km περίπου από όπου πάρθηκαν 25 δείγματα ψαμμιτών. Από τα 24 αρχικά δείγματα, έμειναν προς μελέτη και διαχωρισμό μέσω βαρέος υγρού τα 20 δείγματα. (βλέπε εικόνα 3.1)

**Περιοχή Βασιλική:** Στην περιοχή αυτή πραγματοποιήθηκαν 2 στάσεις από όπου πάρθηκαν 4 δείγματα από ψαμμίτες του Σχηματισμού Αμπελούζου του Τορτονίου. Αξίζει να σημειωθεί πως και μόλις δύο δείγματα αποσυμπετρώθηκαν μετά την τοποθέτησή τους στο νερό ενώ παράλληλα είχαν αρκετή ποσότητα υλικού στο κλάσμα των 125 - 90 μm ώστε να συμπεριληφθούν στη μελέτη.



Εικόνα 3.2. Εποπτική εικόνα θέσης δειγματοληψιών. Χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης και το υπόμνημα του Βασιλάκη (2006) (υπόμνημα: Τεταρτογενείς αποθέσεις (1), κορήματα (2), σχ. Αγ. Γαλήνης (3), σχ. Φοινικιάς (4), σχ. Σγ. Βαρβάρας (5), σχ. Αμπελούζου (6), σχ. Πρ. Ηλία (7), σχ. Σκινιά (8), σχ. Βιάννου (9) αλπικό υπόβαθρο αδιαίρετο (10), ρήγματα (11), μεγάλες ενεργές ρηξιγενείς ζώνες που παρουσιάζουν σημαντικές κατοπτρικές επιφάνειες και έντονη παρουσία κορημάτων (12) και οι πιθανές ή καλυμμένες ρηξιγενείς ζώνες (13), Πόλεις (14)

## 3.2. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στο δυτικό τμήμα της λεκάνης της Μεσσαράς. Πιο συγκεκριμένα, πάρθηκαν δείγματα από τις περιοχές Λαγόλιο, το ανώτερο τμήμα της Φανερωμένης και της Βασιλικής.

Τα δείγματα αυτά, αφού ζυγίστηκαν έχοντας βάρος 200 g - 300 g, τοποθετήθηκαν σε δοχείο, χωρητικότητας 2 λίτρων (L), με νερό για 24-48 ώρες προκειμένου να αποσυμπετρωθούν. Επιλέχθηκε η βύθιση τους στο νερό, και όχι η χρήση υδροχλωρικού οξέος (HCL), καθώς με τη χρήση του τελευταίου ενδεχομένως να αντιδρούσαν τα ανθρακικά ορυκτά, γεγονός που θα προκαλούσε αλλοιώσεις στις μετρήσεις/παρατηρήσεις και, κατά συνέπεια, στα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια, τα δείγματα που αποσυμπετρώθηκαν, υπεβλήθησαν σε υγρή κοσκίνηση ούτως ώστε να αφαιρεθεί το αργιλικό κλάσμα ( $<63 \mu\text{m}$ ). Το λεπτόκοκκο υλικό τοποθετήθηκε και αποθηκεύτηκε σε ένα δοχείο ενώ αντιστοίχως το αδρόκοκκο υλικό αποθηκεύτηκε σε διαφορετικό δοχείο. Κατόπιν, και τα δύο δοχεία τοποθετήθηκαν στο φούρνο για 12 ώρες (h) σε θερμοκρασία 85 βαθμών Κελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ  $80^{\circ}\text{C}$ -  $105^{\circ}\text{C}$  δεν προκαλούν αντιδράσεις στα ορυκτά, επομένως ελαχιστοποιήθηκε πιθανή απώλεια υλικού.

## 3.3. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

### 3.3.1. ΚΟΣΚΙΝΙΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

*Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του μεγέθους των σωματιδίων. Η καθεμία χρησιμοποιεί διαφορετική ιδιότητα του σωματιδίου προκειμένου να βρεθεί η διάμετρός του. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της κοκκομετρικής ανάλυσης διότι μόνον αυτή μπορεί να δώσει ξεχωριστά δείγματα διαφόρων κλασμάτων μεγέθους για ορυκτολογική ανάλυση. Η κοσκίνηση είναι η πλέον διαδεδομένη και εύχρηστη μέθοδος κοκκομετρικής ανάλυσης. Τα εργαστηριακά κόσκινα είναι συνήθως στρογγυλής διαμέτρου 20 cm και ο πυθμένας τους αποτελείται από συρμάτινο πλέγμα με τετράγωνες ή στρογγυλές οπές. Κατά την κοσκίνηση, τα σωματίδια τοποθετούνται πάνω στο πλέγμα του κοσκίνου, δονούνται με κάποιο μηχανισμό και όσα από αυτά είναι μικρότερα από τους βρόχους του πλέγματος περνούν από το κόσκινο (Εικόνα 3.3).*

Με τον τρόπο αυτό, το δείγμα χωρίζεται στο παραμένον κλάσμα επί του κοσκίνου, που αποτελείται από χονδρά σωματίδια και στο διερχόμενο κλάσμα, που αποτελείται από τα ψιλά

σωματίδια. Εάν κριθεί απαραίτητο να χωριστεί το δείγμα σε περισσότερα κλάσματα διαφόρων μεγεθών, τότε γίνεται χρήση περισσότερων κοσκίνων σε διάταξη το ένα κάτω από το άλλο, των οποίων το άνοιγμα του βρόγχου μειώνεται από πάνω προς τα κάτω. Τέλος, κάτω από το κόσκινο με το μικρότερο άνοιγμα βρόγχου τοποθετείται ένα τυφλό ταψάκι ίδιας διαμέτρου με τα κόσκινα όπου συλλέγεται το πέρασμα του τελευταίου κοσκίνου. Κατά την κοσκίνηση γίνεται μια ταξινόμηση σε κάθε πλέγμα. Οι μεγαλύτεροι κόκκοι από το βρόγχο του πλέγματος παραμένουν επ' αυτού, ενώ οι λεπτότεροι περνούν στο επόμενο κόσκινο. Εδώ οι κόκκοι ταξινομούνται πάλι και οι μεγαλύτεροι από τον αντίστοιχο βρόγχο παραμένουν επί του νέου πλέγματος ενώ οι μικρότεροι περνούν στο επόμενο κόσκινο. Η διαδικασία της ταξινόμησης σε κάθε διαδοχικό κόσκινο συνεχίζεται μέχρι το τελευταίο, τα ψιλά που διέρχονται και από αυτό το κόσκινο συλλέγονται στο ταψάκι. Με τη διαδικασία αυτή χωρίζεται το αρχικό δείγμα σε περισσότερα κλάσματα που το καθένα χαρακτηρίζεται από το μέγεθος του ανοίγματος του βρόγχου από το οποίο πέρασε και από το άνοιγμα του βρόγχου επί του οποίου παρέμεινε.

Η κοσκίνηση μπορεί να γίνει εν ξηρό και εν υγρό. Η υγρή κοσκίνηση έχει το πλεονέκτημα ότι σπάζει τα συσσωματώματα κόκκων και ξεπλένει τους μεγάλους κόκκους από τους μικρούς που συγκαταλέγονται επ' αυτών, έχει όμως το μειονέκτημα της ανάγκης αφυδάτωσης και ξήρανσης των δειγμάτων. Το κατώτερο μέγεθος κοσκίνησης είναι συνήθως 50 – 75  $\mu\text{m}$ . Μετά το τέλος της κοσκίνησης ζυγίζονται τα κλάσματα που παραμένουν σε κάθε κόσκινο, καθώς και το τελευταίο πέρασμα που συγκεντρώνεται στο ταψάκι (Σταμπολιάδης, 2008).

Στην παρούσα εργασία η κοσκίνηση των δειγμάτων έγινε σε 14 κλάσματα. Έτσι, γίνεται αντιληπτό πως η κοσκίνηση συνέβη σε δύο στάδια των 7 κοσκίνων. Στο πρώτο στάδιο η μηχανική κοσκίνηση είχε διάρκεια πέντε λεπτών (5 min), ενώ στο δεύτερο στάδιο η αντίστοιχη διάρκεια ήταν δέκα λεπτά (10 min).

Τα μεγέθη κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

#### 1<sup>η</sup> κοσκίνηση (5min)

Μέγεθος κοσκίνων (mm)						
8000	5600	4000	2830	2000	1400	1000

#### 2<sup>η</sup> κοσκίνηση (10 min)

Μέγεθος κοσκίνων ( $\mu\text{m}$ )							
710	500	355	250	180	125	90	63



**Εικόνα 3.3. Μηχανισμός Ξηρής κοσκίνησης Εργαστηρίου Εμπλουτισμού,  
Πολυτεχνείου Κρήτης**

### **Υγρή κοσκίνηση**

Σε ότι αφορά στην υγρή κοσκίνηση, χρησιμοποιήθηκε ένα κόσκινο με μέγεθος οπής 63  $\mu\text{m}$ . Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το εκάστοτε δείγμα σε μικρές δόσεις στο συγκεκριμένο κόσκινο. Ακολούθησε η προσθήκη νερού. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση υδροβολέα, η επιλογή του οποίου στηρίχθηκε στο γεγονός του ότι ο τρόπος με τον οποίο προστίθεται το νερό προκαλεί ελάχιστες έως μηδαμινές απώλειες υλικού. Το διερχόμενο υλικό κατέληγε σε ένα δοχείο το οποίο ακολούθως έμπαινε στο φούρνο για 12 h. (Εικόνα 3.4)



**Εικ 3.4. Πραγματοποίηση υγρής κοσκίνησης**

### 3.3.2. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ LASER

Πέραν της κοκκομετρικής κατανομής που πραγματοποιήθηκε για το κλάσμα άνω των 63  $\mu\text{m}$ , πραγματοποιήθηκε και κοκκομετρική ανάλυση στο δείγμα που πέρασε το κόσκινο των 63  $\mu\text{m}$  κατά τη διαδικασία της υγρής κοσκίνησης, με τη μέθοδο κοκκομετρικού αναλυτή ακτίνων laser του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η συγκεκριμένη μέθοδος εξυπηρετεί στην επαλήθευση της κοκκομετρικής κατανομής που εξελίχθηκε από τα αποτελέσματα της εν υγρώ κοσκίνησης. (Εικόνα 3.5).

*Αυτή η μέθοδος έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια και στηρίζεται στη σκέδαση ακτίνων laser επί τεμαχιδίων διαφορετικού όγκου και δίδει την αντίστοιχη διάμετρο  $d_v$ . Αυτή η μέθοδος έχει ο πλεονέκτημα ότι είναι γρήγορη και αρκετά ακριβής ενώ το μειονέκτημά της είναι ότι η περιοχή μεγέθους που μπορεί να μετρήσει είναι από 1000  $\mu\text{m}$  – 0,1  $\mu\text{m}$  έτσι προορίζεται κυρίως για λεπτόκοκκα υλικά. (Σταμπολιάδης, 2008).*

Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκτροπή ακτίνων laser από την ευθεία πορεία τους, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος τόσο μικρότερη είναι η γωνία εκτροπής και αντίστροφα.

Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο αναλυτής είναι:

#### 1) Οπτική μονάδα μέτρησης που περιλαμβάνει

- Πομπό που περιλαμβάνει την πηγή του laser
- Δέκτη που περιλαμβάνει τον ανιχνευτή
- Το κελί μέτρησης
- Φακό

#### 2) Μονάδα αιώρησης δείγματος

Στη μονάδα αυτή αναδεύεται το προς εξέταση υλικό μέσα σε νερό ή αλκοόλη. Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για τη διάσπαση των συσσωματωμάτων των κόκκων. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης το αιώρημα με τη βοήθεια αντλίας κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής.

### 3) Καταγραφικό μηχάνημα και λειτουργικό πρόγραμμα.

Το λεπτόκοκκο υλικό, μετά την ξήρανση, μετρήθηκε με laser. Μία μικρή ποσότητα, περίπου 0,5 g, τοποθετήθηκε στο μηχάνημα. Στη συνέχεια, μετρήθηκε ο όγκος των κόκκων. Συνεπώς, τα αποτελέσματα έπρεπε να αναχθούν σε βάρος.



**Εικ. 3.5. Κοκκομετρικός αναλυτής ακτίνων laser του Εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης**



### 3.4. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Αφού ολοκληρώθηκαν οι κοκκομετρικές αναλύσεις κάθε δείγματος, πραγματοποιήθηκε μία μέθοδος διαχωρισμού με βάση την πυκνότητα. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα υγρό, το τετραβρωμοαιθάνιο με πυκνότητα ίση με  $2,94 \text{ gr/cm}^3$ . Αυτό εξασφάλισε τη συλλογή μόνο των βαρέων ορυκτών, δηλαδή εκείνων των οποίων η πυκνότητα ήταν μεγαλύτερη από αυτή του υγρού που χρησιμοποιήθηκε για το διαχωρισμό.

Τα δείγματα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή βαρέων ορυκτών έχουν κοκκομετρικό κλάσμα από 500 μέχρι 63  $\mu\text{m}$ . Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν αυτά τα οποία ανήκαν στο κλάσμα των 125 - 90  $\mu\text{m}$ . Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, πως τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν, αναλύθηκαν και αργότερα έδωσαν πληροφορίες αναφέρονται στο συγκεκριμένο κλάσμα. Δηλαδή, κάποια δείγματα μπορεί να «έδωσαν» αρκετό υλικό στο κλάσμα των 500 - 250, 250 - 125  $\mu\text{m}$ , ωστόσο δεν μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Επομένως, υπήρξε και ένας ακόμη περιορισμός στην επιλογή δειγμάτων, πέρα από την αποσυμπέτρωση τους κατά το πρώτο στάδιο.

Πριν αναλυθούν τα στάδια που ακολουθήθηκαν κατά το διαχωρισμό με βαρέα ορυκτά, κρίνεται απαραίτητο να επισημανθούν κάποιες βασικές προϋποθέσεις. Το βαρύ υγρό που χρησιμοποιήθηκε είναι το τετραβρωμοαιθάνιο. Είναι ένα επικίνδυνο υγρό και απαιτεί προσοχή στη χρήση του. Θα πρέπει λοιπόν να γίνει σαφές ότι όλοι οι διαχωρισμοί θα πρέπει να γίνονται σε καλής ποιότητας απαγωγούς, ενώ η χρήση λαστιχένιων γαντιών, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε επαφή με το δέρμα, καθίσταται απαραίτητη.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για τη συλλογή βαρέων ορυκτών είναι:

**1ο στάδιο:** Επιλέχθηκαν τα δείγματα που στο κλάσμα των 90  $\mu\text{m}$  είχαν βάρος μεταξύ 10 g-20 g. Οι προδιαγραφές αναφέρουν πως τοποθετείται συνήθως υλικό 10 g -30 g. Επομένως, γίνεται αντιληπτό πως έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί μία ποσότητα που αποτελεί μέση τιμή. (Περίπου 15 g κατά μέσο όρο)

**2ο στάδιο:** Τοποθετήθηκαν 200 ml Τετραβρωμοαιθάνιου ( $\rho=2,94 \text{ gr/cm}^3$ ) σε μία χοάνη. Κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων της παρούσας εργασίας υπήρχε η δυνατότητα χρήσης τριών χοανών. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως τοποθετούνταν τρία δείγματα την ημέρα.

**3ο στάδιο:** Τοποθετήθηκε το υλικό σε καθεμία από τις χοάνες. Ακολούθησε συνεχής ανάδευση ανά μισή - μία ώρα. Συνήθως πραγματοποιούνταν έως και τέσσερις αναδεύσεις ημερησίως. Τέλος, το μίγμα αφήνονταν 18 ώρες να ηρεμήσει.



**4ο στάδιο:** Πάρθηκε το υλικό που είχε καθιζάνει στον πυθμένα της (κάθε) χοάνης. Η χοάνη διαθέτει μια βάνα, η χρήση της οποίας επιτρέπει τον έλεγχο της ροής. Η συγκεκριμένη διαδικασία απαιτεί λεπτούς χειρισμούς και υπομονή, διότι εάν ο χειριστής διατηρήσει τη βάνα ανοικτή για περισσότερο χρόνο, είναι δυνατό να επιτρέψει την είσοδο ελαφρύτερων ορυκτών στο υπό μελέτη δείγμα.

**5ο στάδιο:** Χρησιμοποιήθηκε καθαρή ακετόνη προκειμένου να καθαριστεί το υλικό που συλλέχθηκε. Στη συνέχεια το δείγμα αφέθηκε σε συνθήκες περιβάλλοντος προκειμένου να εξατμιστεί η ακετόνη και το υλικό να γίνει απολύτως ξηρό. Τέλος, ακολούθησε η ζύγιση του και η αποθήκευση του σε αεροστεγές δοχείο.

**6ο στάδιο:** Στο στάδιο αυτό αναφέρεται μία πολύ σημαντική παράμετρος. Αυτή της προετοιμασίας του εξοπλισμού για την συνέχεια της πειραματικής διαδικασίας. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η όσο το δυνατόν λιγότερη απώλεια του βαρέως υγρού. Για να συμβεί, απαιτείται υπομονή και συντονισμένες κινήσεις. Μόλις απομακρυνθεί το βαρύ υγρό, το δοχείο στο οποίο περιέχεται μετακινείται σε μία ασφαλή θέση και τη θέση του παίρνει ένα άλλο δοχείο το οποίο χρησιμοποιείται για τη φύλαξη της ακετόνης. Πιο συγκεκριμένα τοποθετείται νέο διηθητικό χαρτί, μέσα στο οποίο καταλήγουν οι κόκκοι που απέμειναν στη χοάνη και χρησιμοποιείται ούτως ώστε να διαχωριστούν οι εναπομείναντες κόκκοι από την ακετόνη. Η ακετόνη αυτή, είναι έτοιμη για επαναχρησιμοποίηση στο επόμενο πείραμα για τον καθαρισμό της χοάνης. (Εικόνα 3.6)



Εικόνα 3.6. Συγκεντρωτικές εικόνες από τη διαδικασία που ακολουθήθηκε: Α) Αριστερα παρουσιάζονται οι χοάνες μέσα στις οποίες τοποθετήθηκε το δείγμα για το διαχωρισμό Β) Διαδικασία της ανάδευσης Γ) Στην τρίτη εικόνα το υλικό που καθιζάνει και πρέπει να συλλεχθεί Δ) Συλλογή υλικού για να ξεπλυθεί με ακετόνη. Ε) Ζύγιση του υλικού πριν αυτό αποθηκευτεί σε αεροστεγές δοχείο ΣΤ) Εικόνα από το δοχείο που περιέχει το βαρύ υγρό

### 3.5. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Ο προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με το περιθλασίμετρο ακτίνων – Χ (XRD) τύπου D8 –Advancetης BruckerAXΣτου εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Σκοπός της μεθόδου είναι ο ποιοτικός προσδιορισμός των συστατικών των ορυκτών του δείγματος. Η γνώση της ορυκτολογικής σύστασης ενός πετρώματος είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι παρ'έχει μία πρώτη ένδειξη για τις μηχανικές αλλά και φυσικοχημικές ιδιότητες που παρουσιάζει το υπό εξέταση δείγμα. Οι ακτίνες Χ αποτελούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που

ανακαλύφθηκε από τον C.W. RONTGEN το 1895. Η πλήρης απόδειξη της κυματικής μορφής των ακτίνων X δόθηκε από τον M.V. LAUE το 1912, με την περίθλαση πάνω σε κρυστάλλους. Σαν ακτίνες X, εννοούνται συνήθως οι ακτίνες εκείνες που καλύπτουν μέρος το μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που βρίσκεται μεταξύ 0,1 και  $10^{-8}$  cm. Όπως όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα οι ακτίνες X είναι δυνατό να παρουσιάζουν φαινόμενα πόλωσης, σκέδασης και περίθλασης, ενώ διεγείρουν φθορίζουσες ουσίες σε φωταύγεια, μαυρίζουν φωτογραφικές πλάκες και παράγουν ένονο ιονισμό σε αέρια. Έχουν επίσης πολύ μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης στην ύλη και κατά την διάθλαση εκτρέπονται όχι προς τη κατεύθυνση της καθέτου επί της οριακής επιφάνειας του πυκνότερου μέσου αλλά απομακρύνονται ελάχιστα από αυτή έτσι που ο δείκτης διάθλασής τους να είναι να είναι ελάχιστα μικρότερος του 1. Πέραν τούτων, όταν οι ακτίνες X προσπίπτουν σε ένα σώμα με πολύ μεγάλη κλίση προς την επιφάνεια του παθαίνουν ολική ανάκλαση. Οι ακτίνες X δημιουργούνται όταν ηλεκτρόνια που έχουν μεγάλη ταχύτητα προσπίπτουν σε ένα σώμα και διακρίνονται ως προς το μηχανισμό της γένεσής τους κυρίως σε δύο κατηγορίες. Τις ακτίνες X του συνεχούς φάσματος και του χαρακτηριστικού φάσματος. Ο Bragg ερμήνευσε κατά απλούστερο τρόπο, την περίθλαση των ακτίνων X στους κρυστάλλους ως ανάκλαση των ακτίνων X, οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία στα πλεγμικά επίπεδα του κρυστάλλου. Έστω ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγμικών επιπέδων τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση (d). Εάν  $E_1, E_2, E_3$ , τα πλεγμικά επίπεδα ενός κρυστάλλου,  $A_1, A_2$  δύο ακτίνες μήκους κύματος  $\lambda$ , θ γωνία με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες και η τάξη της ανάκλασης, σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg θα ισχύει:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \eta \mu \theta$$

Με την μέθοδο του περιθλασίμετρου ακτίνων X, η οποία τυγχάνει ευρείας εφαρμογής, καθίσταται δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα λεπτής κονίας.

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων X είναι η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης, η λυχνία των ακτίνων X, το γωνιόμετρο (σε κατακόρυφη θέση), ο απαριθμητής των ακτίνων X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα. Το παρασκεύασμα τοποθετείται στον δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασίμετρου, ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων X και μάλιστα με τέτοιο τρόπο ώστε το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.

Ταυτόχρονα ως προς τον ίδιο τον άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμητής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα  $2\theta/\text{min}$  και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα  $\theta/\text{min}$  ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή έτσι ώστε με τη σύγχρονη αυτή μετατόπιση του απαριθμητή και την περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής να

σχηματίζει ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και στο σημείο εξόδου των ακτίνων  $X$  της λυχνίας. (Εικόνα 3.7)

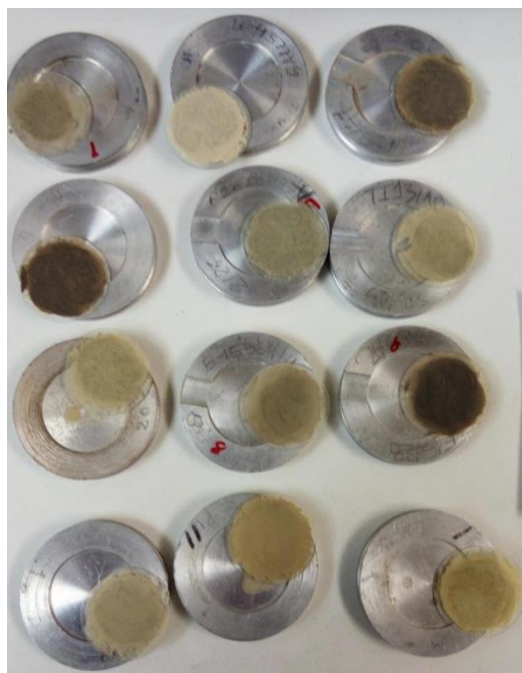
Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων  $X$  των προερχόμενων από τη λυχνία ώστε να πληρούνται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων η εξίσωση του Bragg (Κωστάκης, 1988).



Εικόνα 3.7. Περιθλασίμετρο ακτίνων –  $X$  (XRD) του εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης

#### 3.5.1.1. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΟΚΙΜΗ XRD

Στην εργαστηριακή δοκιμή ακτίνων  $X$  υποβλήθηκαν συνολικά 36 δείγματα. Έτσι μικρή ποσότητα από τα δείγματα, αφού λειοτριβήθηκαν σε αχάτη μέχρις ότου το δείγμα αποκτήσει κοκκομετρία μικρότερη των 45  $\mu\text{m}$ , τοποθετήθηκαν μέσα σε λεπτούς γυάλινους δειγματοφορείς και χρησιμοποιήθηκε ακετόνη (μη αδρανές υλικό) προκειμένου να «κολλήσει» υλικό στο δειγματοφορέα. Κατόπιν τοποθετήθηκαν στο περιθλασίμετρο ακτίνων  $X$ . Οι γυάλινοι δειγματοφορείς χρησιμοποιήθηκαν εξαιτίας έλλειψης ποσότητας υλικού, επομένως γίνεται αντιληπτό ότι δεν θα μπορούσε να υπάρξει αποτέλεσμα στους συνηθισμένους δειγματοφορείς. Τέλος, η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας χαλκού (Cu), φίλτρο νικελίου (Ni), Τάση λυχνίας  $U = 35 \text{ KV}$  και ένταση ρεύματος  $I = 35 \text{ mA}$  (Εικόνα 3.8).



**Εικόνα 3.8. Προετοιμασία δειγμάτων βαρέων ορυκτών για ποιοτική και (ημι)ποσοτική ανάλυση με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X.**

### **3.6. ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ**

Η κλασική μέθοδος που ακολουθείται για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των βαρέων ορυκτών είναι αρχικά η αναγνώρισή τους με δυοφθάλμιο στερεοσκόπιο και στη συνέχεια η καταμέτρηση 300-500 κόκκων. Η κλασική αυτή μέθοδος πέραν του ότι είναι χρονοβόρος απαιτεί πολύ καλές ορυκτολογικές γνώσεις για την αναγνώριση των ορυκτών συναθροίσεων των βαρέων ορυκτών. Πρόσφατα έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ημιποσοτικής προσέγγισης για πολύ μεγάλο αριθμό δειγμάτων Tsikouras et al. (2011) που υποστηρίζονται από συνέργια υπερταχέως ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, φασματομέτρου και υπολογιστικού λογισμικού. Ανάμεσα στις δύο αυτές ακραίες περιπτώσεις, η ποιοτική και (ημι)ποσοτική προσέγγιση των βαρέων ορυκτών με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X αποτελεί μια ασφαλής ενδιάμεση οδός (Πολυχρονάκης, 2015)

Σε ότι αφορά στο κομμάτι της επεξεργασίας έπειτα από την τοποθέτηση των δειγμάτων στο περιθλασίμετρο ακτίνων X, προέκυψαν κάποια ακτινογραφήματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τόσο για την αξιολόγηση όσο και στην ποσοτικοποίηση των βαρέων ορυκτών. Αξίζει να αναφερθεί ότι ως αξιολόγηση εννοείται η αναγνώριση των

ορυκτών μέσω των γωνιών και των εντάσεων των ανακλάσεων που προσπίπτουν σε κάθε ορυκτό. Για την επεξεργασία των ακτινογραφημάτων, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα EVA. Στο παράρτημα 3, παρατίθενται αναλυτικά οι εντολές αλλά και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση και η ποσοτικοποίηση των δειγμάτων με το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

### 3.7. ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ.

Σε προηγούμενες ενότητες έγινε αναφορά στη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε ώστε να παρθούν κάποια δεδομένα για την κοκκομετρική ανάλυση. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των αθροιστικών κοκκομετρικών καμπυλών, στη συνέχεια, καθορίστηκε ο λιθολογικός χαρακτήρας των ιζημάτων με ταξινόμηση κατά FOLLI and Word (1970) ενώ ακολούθησε ο υπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων (διάμεσος Md, αριθμητικός μέσος Mz, τυπική απόκλιση σί, ασυμμετρία, και κύρτωση). Τέλος, κρίνεται απαραίτητο να παρατεθεί ένας πίνακας (Πίνακας 5.1) στον οποίο φαίνεται η ταξινόμηση των κόκκων συγκριτικά με το μέγεθός τους ούτως ώστε να γίνει κατανοητός ο λιθολογικός χαρακτηρισμός των δειγμάτων παρακάτω.

**Πίνακας 3.1. Ταξινόμηση των κόκκων.**

Μέγεθος κόκκων	Ταξινόμηση με βάση το μέγεθος των κόκκων	
>2mm	Κροκάλες - χαλίκια	
2mm – 0.0625 mm	Άμμος (sand)	
0.0625mm – 0.0020 mm	Ιλύς (silt)	Πηλός (mud) = Άργιλος (clay)+50% (silt)
<0.0020 mm	Άργιλος (clay)	

Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή των στατιστικών παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψιν στη δημιουργία των αθροιστικών κοκκομετρικών αναλύσεων.

✓ **Διάμεσος (Median, Md)**

Το 50% κατά βάρος των κομματιών είναι χονδρότερα από τη διάμεσο και το 50% λεπτότερα από αυτήν. Η διάμεσος είναι η διάμετρος που αντιστοιχεί στο σημείο της αθροιστικής καμπύλης 50% και μπορεί να εκφραστεί είτε σε mm είτε σε τιμές φ.

✓ **Αριθμητικός Μέσος (Mean size)**

Ο Inman πρότεινε τη φόρμουλα  $(\phi 16 + \phi 84/2)$  για τον αριθμητικό μέσο, αλλά ο τύπος αυτός δεν είναι αποτελεσματικός σε ασύμμετρες καμπύλες. Ο Γραφικός Μέσος (graphic mean)(MZ) κατά Folk που δίνεται από τη φόρμουλα  $MZ = (\phi 16 + \phi 50 + \phi 84/3)$  είναι Πολύ πιο κοντά στο μέσο που δίνει η μέθοδος των ροπών και δίνει πιο πιστή συνολική εικόνα της κατανομής σε σχέση με τη διάμεσο μια και είναι στηριγμένη σε τρία σημεία.

✓ **Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)**

Η σταθερή απόκλιση εκφράζει την ομοιομορφία ή ταξιθέτηση (sorting) των ιζημάτων. Η φόρμουλα κατά Inman  $(\phi 84 - \phi 16/2)$  δίνει την γραφική σταθερή απόκλιση σG (graphic standard deviation).

✓ **Ασυνμμετρία (skewness / asymmetry)**

Όταν οι τιμές μιας μεταβλητής δεν ισαπέχουν από το σημείο της μέγιστης συχνότητας (επικρατούσα τιμή ή τύπος = Mode) και πάντα από τη μια πλευρά του σημείου μέγιστης συχνότητας (Mode) υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός συχνοτήτων σε σχέση προς την άλλη πλευρά του, τότε η καμπύλη είναι ασύμμετρη.

✓ **Κύρτωση (Kurtosis ή peakedness)**

Η κύρτωση μετρά την αναλογία μεταξύ της διασποράς των τιμών (sorting) στα άκρα και της διασποράς των τιμών στην κεντρική περιοχή της κατανομής, δηλαδή αναφέρεται στο βαθμό συγκέντρωσης των τιμών της μεταβλητής γύρω από το μέσον και τα άκρα ("tails") της κατανομής.

✓ **Επικρατούσα τιμή (Mode)**

Η επικρατούσα τιμή δηλώνει την διάμετρο εκείνη που παρουσιάζει την πιο μεγάλη συχνότητα απάντησης. Αντιστοιχεί στο πιο απότομο σημείο της αθροιστικής καμπύλης και στο υψηλότερο σημείο πάνω στην καμπύλη συχνοτήτων. (Κοντόπουλος, 2007).



**Πίνακας 3.2 Στατιστικές Παράμετροι (από Κοντόπουλος, 2007)**

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ** **ΤΥΠΟΙ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ**

**ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ**

<i>Διάμεσος Md</i>	$\Phi 50$
<i>Αριθμητικός Μέσος Mz</i>	$(\Phi 16 + \Phi 50 + \Phi 84) / 3$
<i>Τυπική Απόκλιση σG</i>	$(\Phi 84 - \Phi 16) / 2$
<i>Τυπική Απόκλιση σi</i>	$((\Phi 84 - \Phi 16) / 4) + ((\Phi 95 - \Phi 5) / 6,6)$
<i>Ασυμμετρία SK1</i>	$((\Phi 16 + \Phi 84 - 2 * \Phi 50) / (2 * (\Phi 84 - \Phi 16))) + ((\Phi 5 + \Phi 95 - 2 * \Phi 50) / (2 * (\Phi 95 - \Phi 5)))$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία .

➤ Σε ότι αφορά στα αποτελέσματα που προέκυψαν από το διαχωρισμό μέσω βαρέος υγρού προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες ανάλογα με την περιοχή:

Περιοχή: Λαγόλιο

Δείγμα	Βάρος (90 μm) (g)	Βάρος χρήσης Δείγματος(g)	Βάρος Βαρέων Ορυκτών(g)	Ποσοστό (%)
LAG 6	21,2	20	0,0575	0,3
LAG 18	23,58	20	0,063	0,3
LAG 19	13,89	13,89	0,0335	0,2
LAG 20(A)	25,21	20	0,0259	0,1
LAG 23	11,87	11,87	0,0584	0,5
LAG 24	21,05	20	0,017	0,1
LAG 25	30,37	20	0,131	0,7
LAG 27	23,11	20	0,075	0,4
LAG 29	24,99	20	0,063	0,3
LAG 30(A)	34,62	20	0,0384	0,2
LAG 30(B)	18,1	18,1	0,0016	0,001
LAG 31	13,4	13,4	0,038	0,3
LAG 32(A)	30,37	20	0,245	1,2
LAG 32(B)	26,09	20	0,151	0,8
LAG 34	31,73	20	0,0044	0,02
LAG 35	37,56	20	0,073	0,4
LAG 36	27,84	20	0,135	0,7
LAG 37	12,35	12,35	0,0083	0,07
LAG 38(A)	35,09	20	0,3903	2,0
LAG 38(B)	35	20	0,0291	0,1

**Πίνακας 4.1. Ποσοστό βαρέων ορυκτών στην Λαγόλιο**

**Περιοχή: Φανερωμένη**

Δείγμα	Βάρος(90μm) (g)	Βάρος χρήσης Δείγματος(g)	Βάρος Βαρέων Ορυκτών(g)	Ποσοστό (%)
FAN 1	17,34	17,34	0,0945	0,5
FAN 3	46,97	20	0,0584	0,3
FAN 4	11,08	11,08	0,0488	0,4
FAN 8	19,74	19,74	0,0117	0,06
FAN 11(A)	34,34	20	0,1021	0,5
FAN 11(B)	31,76	20	0,135	0,7
FAN 11(Γ)	33,15	20	0,188	0,9
FAN 12	23,4	20	0,013	0,07
FAN 14	28,21	20	0,5525	2,8
FAN 15	89,04	20	0,0519	0,3
FAN 16	11,69	11,69	0,0138	0,1
FAN 18(A)	12,28	12,28	0,3672	3,0
FAN 18(B)	11,15	11,15	0,7955	7,1
FAN 18(Γ)	19,44	19,44	0,3131	1,6

**Πίνακας 4.2. Ποσοστό βαρέων ορυκτών στη Φανερωμένη**

**Περιοχή: Βασιλική**

Δείγμα	Βάρος (90 μm) (g)	Βάρος χρήσης Δείγματος(g)	Βάρος Βαρέων Ορυκτών(g)	Ποσοστό (%)
VAS 2	10,4	10,4	0,0031	0,03
VAS 3	16,21	16,21	0,6366	3,9

**Πίνακας 4.3. Ποσοστό βαρέων ορυκτών στην Βασιλική**

- Από την επεξεργασία των ακτινογραφημάτων με το πρόγραμμα EVA, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα όπως παρατίθενται στους αντίστοιχους πίνακες ανά περιοχή:

**Πίνακας 4.4. Στοιχεία της ποιοτικής και (ημι)ποσοτικής ανάλυσης των δειγμάτων στην περιοχή της Φανερωμένης. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν την επί τοις % συμμετοχή του κάθε ορυκτού σύμφωνα με το πρόγραμμα EVA.**

Δείγμα	Amphibole	Albite	Calcite	Chlorite	Chloritoid	Chromite	Epidote	Diaspore	Dolomite	Magnetite	Mica	Quartz	Pyrolusite	Rutile	Serpentine	Spinel	Zircon
FAN 1	8.1	13.2		17.2			22.3				5.3	14.9		12.6		3	
FAN 3	31.3			22.9	27.2			11.9	4.9					1.8			
FAN 4	29			16.5			13.4						4.1	4.5			2.9
FAN 8	19.4		8	15.4				8.3	4.1		20.5			5.5			
FAN 11 A	20.1			9			26.3	8.1			17.3		4.9	6.9			4.8
FAN 11 B	32.5			11.8			19.6			3	20.6			2.9			
FAN 11 C	38.5			11.2			21.5	6			18.6			4.3			
FAN 12	10			11.7	35.7						23.3			10.6			
FAN 14	70.7			10			7.3		6.7								
FAN 15	68.7			6			6.3						11.4			1	
FAN 16	54.8			4.9		4.9		11.1									
FAN 18 A	48.1			24.3						9.3					6.9		
FAN 18 B	71.1			5.5					11		32.7				1.5	10.9	
FAN 18 C	55.8			3.2												8.2	

**Πίνακας 4.5 Στοιχεία της ποιοτικής και (ημι)ποσοτικής ανάλυσης των δειγμάτων στην περιοχή του Λαγόλιου. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν την επί τοις % συμμετοχή του κάθε ορυκτού σύμφωνα με το πρόγραμμα EVA.**

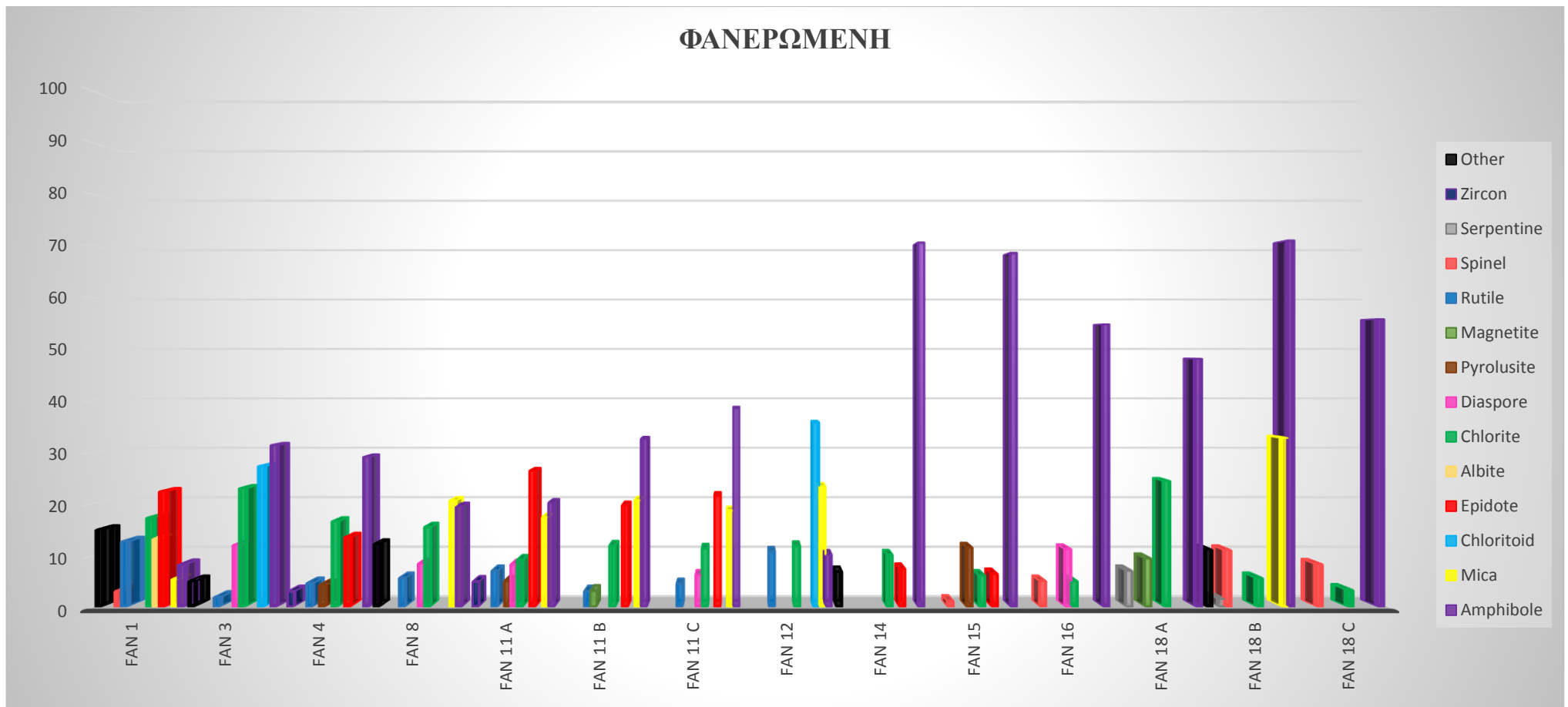
Δείγμα	Amphibole	Albite	Anatase	Anorthite	Chlorite	Chloritoid	Epidote	Hematite	Diaspore	Dolomite	Goethite	Magnesite	Magnetite	Mica	Quartz	Pyrolusite	Rutile	Spinel	Zircon
LAG 6	16.2				10.7	22.1	13.8			4.5			2.2	15.5	5.5	3.8	5.7		
LAG 18	7.7				7.8	41.7				7.1				16.1	10.1		9.4		
LAG 19	9.1				16.5	45.4				3.4				5.2	8.5		5.2		
LAG 20 B	14.9				31.8	24.1	11.5							5.5	6.5		5.7		
LAG 23	21.7				14.6	19.3				4.8	5			24.8	5.8		4.1		
LAG 24	16.9				9	26.6	16.7							14	6.1		5.3		5.4
LAG 25	13.8				5.3	14.9				3.8				8.4	5.8		2		
LAG 27	12.6				14.8	24.1	6.4			3.1		6.2		17.4	6.7		4		
LAG 29	22.7				8	20.6	13.8		6.3	2.6				15.7	6		4.3		
LAG 30 A	11.4				8.8	35.1	10.3		5.7	3.8				13	7.2		4.8		
LAG 30 B	11.4					17.2				4.5			2.7		4.8		3.6	1	3.3
LAG 31	11				8.3	17.2	15.6			3.9		21.2		10.9	6.6		3.4	1.9	
LAG 32 A	9.8				7.7		8.3					33.8		13	7.9		2.3		6.4
LAG 32 B	6.8			2.9	14	25.1				2.1		29.6		9.1	5.2		1.9		
LAG 34	14.7		3.6		15.1	24	20.4			7.8				5.7			4.8		3.9
LAG 35	13.6				13.5	18.9	34.6							6.3	7.9		5.1		
LAG 36	10.8	14.4			13.3	16.3	12.8		6.7	4.1				16.8	7		2.8	1.7	
LAG 37	25.5				9.7	15.9	11.4			3.8				15.8	4.9	2.3	3.9		
LAG 38 A	28.2	10.3			12.7	15.7	8.7	2	6.7	2.9				13	4.6		2		
LAG 38 B	29.9				10.3	20.3				3.5			1.9	18.1	3.4	2.9	3		

Πίνακας 4.6. Στοιχεία της ποιοτικής και (ημι)ποσοτικής ανάλυσης των δειγμάτων στην περιοχή της Φανερωμένης. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν την επί τοις % συμμετοχή του κάθε ορυκτού σύμφωνα με το πρόγραμμα EVA.

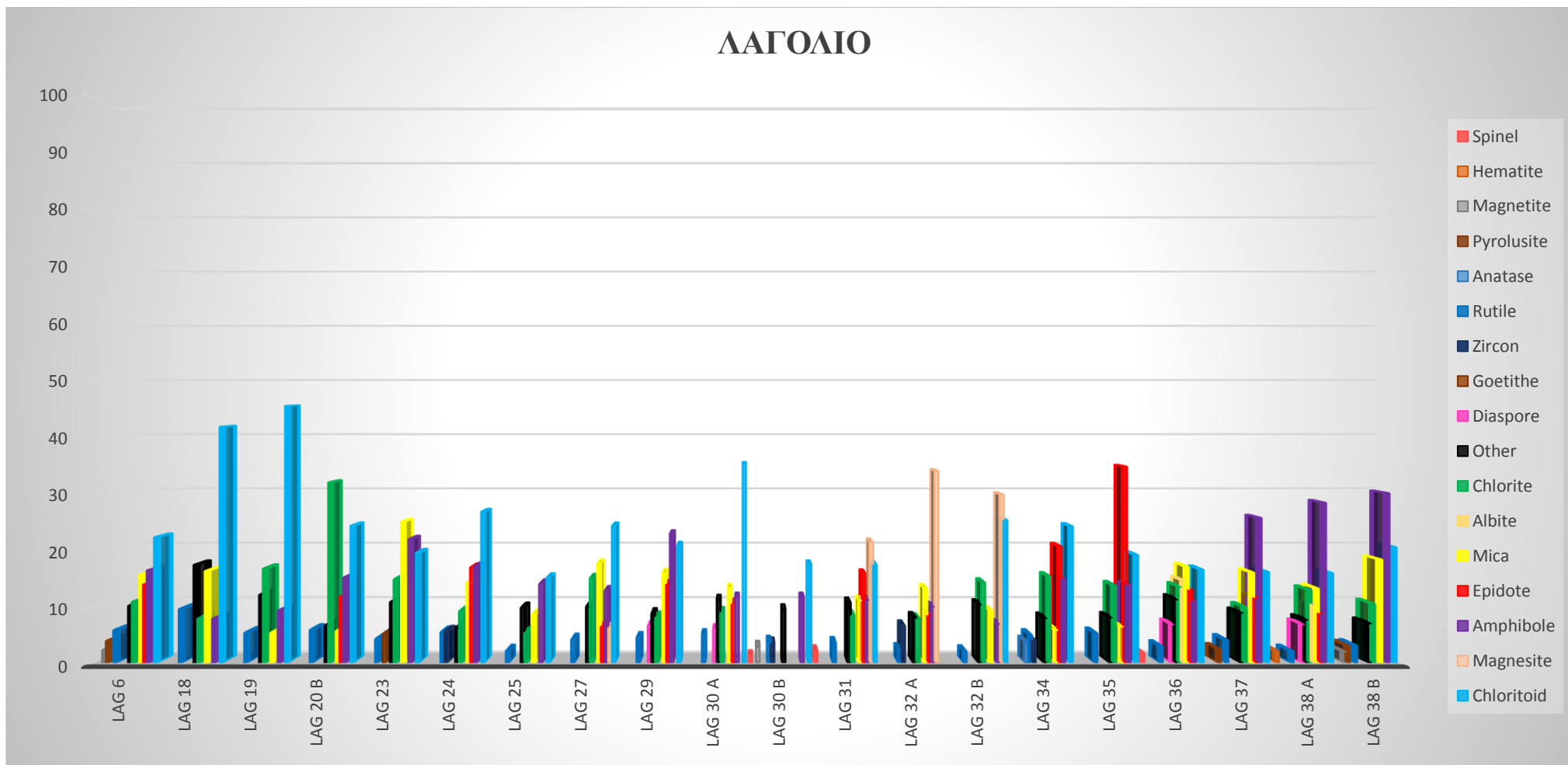
Δείγμα	Amphibole	Apatite	Chlorite	Diaspore	Dolomite	Hematite	Mica	Magnetite	Pyrolousite	Quartz	Spinel	Titanite
VAS 2					24.4	32.7				28.8	14.2	
VAS 3	28.6	12.3	12.3	7.9	11.4		11.2	2.7	6.6	4.4		3.2



Εικόνα 4.1. Συγκεντρωτικό Ραβδόγραμμα στοιχείων της ποιοτικής και (ημι)ποσοτικής ανάλυσης των δειγμάτων στην περιοχή της Φανερωμένης σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 4.4



Εικόνα 4.2. Συγκεντρωτικό Ραβδόγραμμα στοιχείων της ποιοτικής και (ημι)ποσοτικής ανάλυσης των δειγμάτων στην περιοχή του Λαγολίου σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 4.5



➤ Από τις ιζηματολογικές αναλύσεις προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

**Πίνακας 4.7. Χαρακτηρισμός κοκκομετρικών παραμέτρων**

<b>Περιοχή Φανερωμένης</b>			
<b>Δείγμα</b>	<b>Ταξιθέτηση</b>	<b>Ασσυμετρία</b>	<b>Κύρτωση</b>
<b>FAN 1</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Αρνητική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη
<b>FAN 3</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Πολύ λεπτόκυρτη
<b>FAN 4</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη
<b>FAN 8</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>FAN 11 (A)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>FAN 11 (B)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Πολύ λεπτόκυρτη
<b>FAN 11 (C)</b>	Μέτρια ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>FAN 12</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη
<b>FAN 14</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Πολύ λεπτόκυρτη
<b>FAN 15</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Πολύ λεπτόκυρτη
<b>FAN 16</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>FAN 18 (A)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>FAN 18 (B)</b>	Μέτρια ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>FAN 18 (C)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>Περιοχή Λαγόλιου</b>			
<b>LAG 6</b>	Καλή ταξιθέτηση	Πολύ αρνητική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 18</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Πλατύκυρτη
<b>LAG 19</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 20</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 23</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 24</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 25</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 27</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 29</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 30 (A)</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Πλατύκυρτη
<b>LAG 30 (B)</b>	Πολύ φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμετρία	Μεσόκυρτη

<b>LAG 31</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 32 (A)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 32 (B)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμμετρία	Λεπτόκυρτη
<b>LAG 34</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμμετρία	Πολύ λεπτόκυρτη
<b>LAG 35</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 36</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 37</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Θετική ασσυμμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 38 (A)</b>	Φτωχή ταξιθέτηση	Κανονική συμμετρία	Μεσόκυρτη
<b>LAG 38 (B)</b>	Μέτρια καλή ταξιθέτηση	Αρνητική συμμετρία	Πλατύκυρτη
<b>Περιοχή Βασιλικής</b>			
<b>VAS 2</b>	Καλή ταξιθέτηση	Πολύ αρνητική συμμετρία	Μεσόκυρτη
<b>VAS 3</b>	Καλή ταξιθέτηση	Πολύ θετική ασσυμμετρία	Μεσόκυρτη

- **σι:** <0,35φ Πολύ καλή ταξιθέτηση, 0,35φ-0,50φ καλή ταξιθέτηση, 0,50φ-0,71φ μέτρια καλή ταξιθέτηση, 0,71φ-1,00φ μέτρια ταξιθέτηση, 1,00φ-2,00φ φτωχή ταξιθέτηση, 2,00φ-4,00φ πάρα Πολύ φτωχή ταξιθέτηση, >4,00φ άκρως φτωχή ταξιθέτηση.
- **Ski:** (+)1,00-(+)0,30 Πολύ θετική ασσυμμετρία, (+)0,30-(+)0,10 θετική ασσυμμετρία - (+)0,10-(-)0,10 σχεδόν κανονική ασσυμμετρία - (-)0,10-(-)0,30 αρνητική ασσυμμετρία - (-)0,30-(-)1,00 Πολύ αρνητική ασσυμμετρία.
- **KG:** <0,67 Πολύ πλατύκυρτη, 0,67 -0,90 πλατύκυρτη, 0,90-1,11 μεσόκυρτη, 1,11-1,50 λεπτόκυρτη, 1,50-3,00 Πολύ λεπτόκυρτη, >3,00 πάρα Πολύ λεπτόκυρτη.
- **Md:** διάμεσος, **Mz:** αριθμητικός μέσος, **σί:** σταθερή απόκλιση, **Ski:** ασσυμμετρία, **KG:** κύρτωση.

Με βάση τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι το 58,3 % των δειγμάτων παρουσιάζει φτωχή ταξιθέτηση (1,00φ – 2,00φ), ενώ το 25 % χαρακτηρίζεται από πολύ φτωχή ταξιθέτηση (2,00φ – 4,00φ).

Σε ότι αφορά στην ασσυμμετρία, προκύπτει ότι το 47,2 % των δειγμάτων παρουσιάζουν πολύ θετική συμμετρία [(+)0,30 – (+)0,10], το 38,8 % θετική συμμετρία [(+)0,10 – (-)0,10], ενώ ένα ποσοστό της τάξης του 14 % παρουσιάζει αρνητική έως πολύ αρνητική συμμετρία.

Τέλος, αναφορικά με την κύρτωση, το 38,8 % των δειγμάτων αποδίδουν λεπτόκυρτες καμπύλες (1,11 – 1,50), το 36,1 % Μεσόκυρτες (0,90 – 1,11) ενώ το 16% πολύ λεπτόκυρτες καμπύλες (1,50 – 3,00).

**Πίνακας 4.8. Αποτελέσματα Κοκκομετρικών Αναλύσεων των δειγμάτων**

Δείγμα	Χαλίκι %	Άμμος %	Ιλύς %	Πηλός %	Άργιλος %
<b>Περιοχή: Φανερωμένης</b>					
<b>FAN 1</b>	2,2	81,9	15,1	15,9	0,8
<b>FAN 3</b>	0	50,5	45,6	49,5	3,9
<b>FAN 4</b>	6,8	61,3	26,7	31,9	5,2
<b>FAN 8</b>	0	66,1	31,3	33,9	2,6
<b>FAN 11 (A)</b>	0,1	57,5	36,9	42,4	5,5
<b>FAN 11 (B)</b>	2,2	57,7	36,3	40,1	3,8
<b>FAN 11 (C)</b>	0,4	79,6	18,8	20	1,2
<b>FAN 12</b>	0	31	60,6	69	8,4
<b>FAN 14</b>	0	71,9	24,7	28,1	3,4
<b>FAN 15</b>	0	61,3	35,3	38,7	3,4
<b>FAN 16</b>	0	41,9	50,6	58,1	7,5
<b>FAN 18 (A)</b>	0	74,4	22,6	25,6	3
<b>FAN 18 (B)</b>	0	90,2	9,3	9,8	0,5
<b>FAN 18 (C)</b>	0	80,1	17,7	19,9	2,3
<b>Περιοχή: Λαγόλιου</b>					
<b>LAG 6</b>	0,1	74,5	23,1	2,3	25,4
<b>LAG 18</b>	0.0	41.0	49.0	10.0	59.0
<b>LAG 19</b>	0.0	18.2	65.4	16.4	81.8
<b>LAG 20</b>	0.0	67.1	28.3	4.6	32.9
<b>LAG 23</b>	0.0	78.0	19.7	2.3	22.0
<b>LAG 24</b>	0.0	50.6	43.2	6.2	49.4
<b>LAG 25</b>	0.0	48.9	46.3	4.8	51.1
<b>LAG 27</b>	0.8	49.2	43.9	6.2	50.1
<b>LAG 29</b>	0.0	52.9	40.8	6.3	47.1
<b>LAG 30 (A)</b>	0.0	36.5	53.3	10.2	63.5
<b>LAG 30 (B)</b>	0.1	35.9	51.7	12.3	64.0
<b>LAG 31</b>	0.4	52.9	43.8	2.8	46.7
<b>LAG 32 (A)</b>	0.0	34.9	57.0	8.1	65.1
<b>LAG 32 (B)</b>	0.0	32.1	60.3	7.6	67.9
<b>LAG 34</b>	0.0	64.1	31.1	4.6	35.9
<b>LAG 35</b>	0.0	38.1	54.1	7.8	61.9
<b>LAG 36</b>	0.0	36.9	55.1	8.1	63.2
<b>LAG 37</b>	0.0	78.3	20.3	1.3	21.6
<b>LAG 38 (A)</b>	0,0	59,8	37,5	2,7	40,2
<b>LAG 38 (B)</b>	0,0	57,9	39,4	2,7	42,1

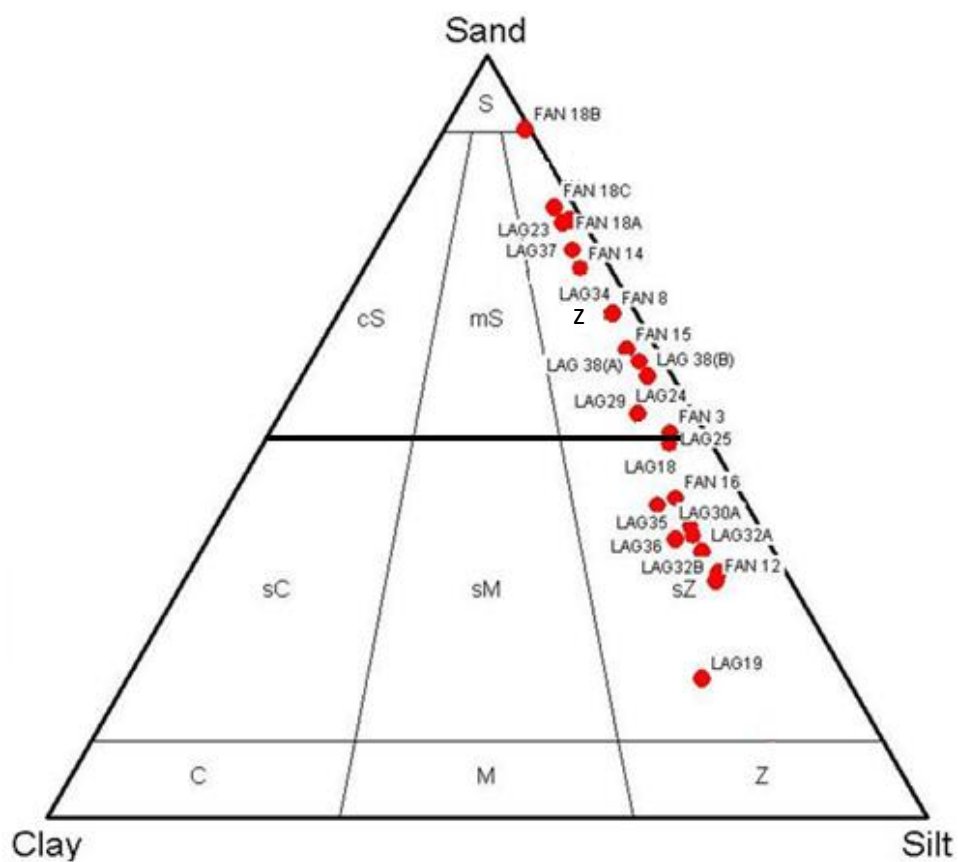
Περιοχή: Βασιλική					
<b>VAS 2</b>	0,9	22,7	57,4	18,9	76,5
<b>VAS 3</b>	26,7	29	38,8	5,5	44,3

Με βάση τα ποσοστά των κλασμάτων που αποδόθηκαν από τις ιζηματολογικές αναλύσεις, τα αναλυθέντα δείγματα προβλήθηκαν σε τριγωνικά διαγράμματα λιθολογικής ονοματολογίας κατά Folk, 1974.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η προβολή των λεπτόκοκκων και χονδρόκοκκων δειγμάτων σε τριγωνικό διάγραμμα Folk.

Η ταξινόμηση σε λιθολογικούς τύπους ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων γίνεται με τη βοήθεια Τριγωνικών διαγραμμάτων Ταξινόμησης και Ονοματολογίας. Σύμφωνα με την εκατοστιαία συμμετοχή των διαφόρων κοκκομετρικών τάξεων τα τριγωνικά συστήματα ταξινόμησης διακρίνονται σε:

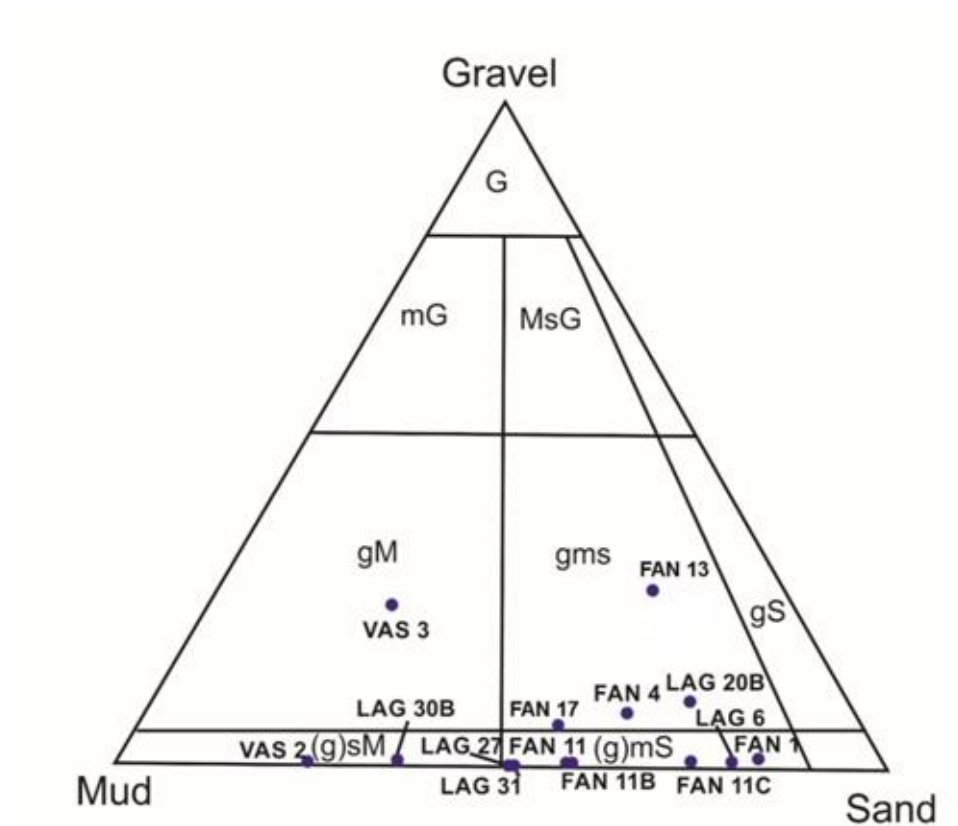
- Διαγράμματα για **λεπτόκοκκα ιζήματα** με  $d < 2 \text{ mm}$  (άμμος-άργιλος-ιλύς)
- Διαγράμματα για **χονδρόκοκκα ιζήματα** με  $d > 2 \text{ mm}$  (ψηφίδες-πηλός-άμμος)



**Εικόνα 4.3. Λιθολογικός χαρακτηρισμός σύμφωνα με το τριγωνικό διάγραμμα λεπτόκκοκων ιζημάτων κατά Folk (1974) για τις περιοχές Φανερωμένη (FAN) και Λαγόλιο (LAG)**

**S** άμμος, **zS** ιλυούχος άμμος, **mS** πηλούχος άμμος, **cS** αργιλούχος άμμος, **sZ** αμμούχος ιλύς, **sM** αμμούχος πηλός, **sC** αμμούχος άργιλος, **Z** ιλύς, **M** πηλός, **C** άργιλος.





**Εικόνα 4.4. Λιθολογικός χαρακτηρισμός σύμφωνα με το τριγωνικό διάγραμμα μεσόκκοκων ιζημάτων για κατά Folk (1974) για τις περιοχές Φανερωμένη (FAN), Λαγόλιο (LAG) και Βασιλική (VAS)**

**G** ψηφίδες, **sG** αμμούχες ψηφίδες, **msG** ιλυσούχες αμμούχες ψηφίδες, **mG** ιλυσούχες ψηφίδες, **gS** ψηφιδούχος άμμος, **gms** ψηφιδούχος ιλυσούχος άμμος, **Gm** ψηφιδούχος ιλύς, **(g)S** ελαφριά ψηφιδούχος άμμος, **(g)mS** ελαφριά ψηφιδούχος ιλυσούχος άμμος, **(g)M** ελαφριά ψηφιδούχος ιλύς, **mS** ιλυσούχος άμμος, **sM** αμμούχος ιλύς, **S** άμμος, **M** ιλύς

Στην συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα που έχουν ως στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το αποθετικό περιβάλλον στις περιοχές όπου πραγματοποιήθηκε η λήψη των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για τα διαγράμματα Passega (1957) και Valia and Cameron (1979). Ωστόσο η δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων προϋποθέτει τη χρήση δεδομένων που προκύπτουν από τις στατιστικές παραμέτρους. Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες 4.9 και 4.10 με τα στατιστικά δεδομένα.

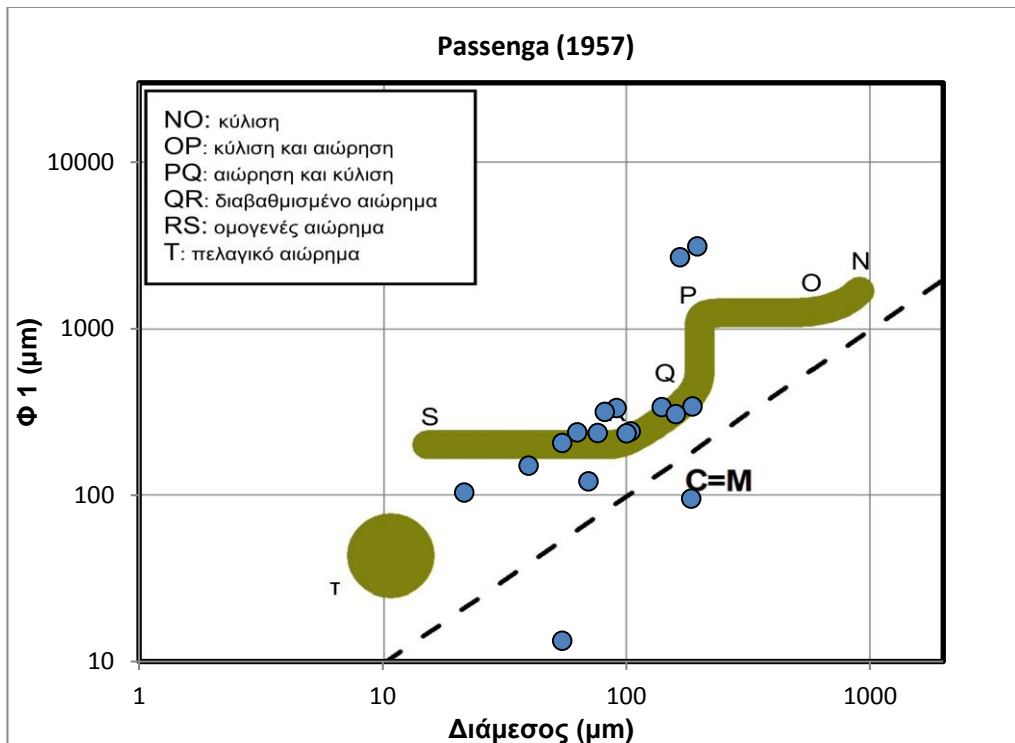
**Πίνακας 4.9. Πίνακας στατιστικών παραμέτρων ιζηματολογικών**

Δείγμα	μ	σ	S	K
<b>Περιοχή: Φανερωμένη</b>				
FAN 1	2,49	1,56	-0,14	1,05
FAN 3	4,12	1,17	0,35	2,16
FAN 4	2,54	2,88	0,16	0,95
FAN 8	3,56	1,51	0,23	1,40
FAN 11	4,15	1,77	0,43	1,22
FAN 11B	3,89	1,68	0,27	1,56
FAN 11C	3,31	0,92	0,12	1,26
FAN 12	5,02	1,94	0,29	1,03
FAN 14	3,61	1,50	0,39	1,57
FAN 15	4,13	1,26	0,45	2,11
FAN 16	4,58	2,09	0,26	1,26
FAN 18A	3,21	1,78	0,38	1,31
FAN 18B	2,52	0,96	0,19	1,17
FAN 18C	2,90	1,45	0,38	1,40
<b>Περιοχή: Λαγόλιο</b>				
LAG 6	3,04	1,59	0,21	1,28
LAG18	4,89	2,12	0,35	0,88
LAG19	5,75	2,07	0,29	0,91
LAG 20 B	2,49	2,61	0,05	1,38
LAG23	2,52	2,09	0,16	1,31
LAG24	4,35	1,89	0,36	1,13
LAG25	4,28	1,58	0,32	1,31
LAG27	4,29	2,05	0,25	1,16
LAG29	4,33	1,94	0,38	1,13
LAG30A	5,14	2,01	0,23	0,86
LAG30B	5,00	2,36	0,19	0,94
LAG31	3,87	1,51	0,11	1,25
LAG32A	4,90	1,88	0,43	1,03
LAG32B	4,92	1,83	0,40	1,26
LAG34	3,96	1,61	0,52	1,59
LAG35	4,89	1,84	0,46	1,05
LAG36	4,87	1,90	0,42	1,09
LAG37	2,73	1,48	0,21	1,02
LAG 38(A)	0,60	1,07	0,00	0,94
LAG 38(B)	-1,54	0,65	-0,20	0,87
<b>Περιοχή: Βασιλική</b>				
VAS 2	5,76	2,52	0,06	1,02
VAS 3	2,57	1,53	0,22	1,19

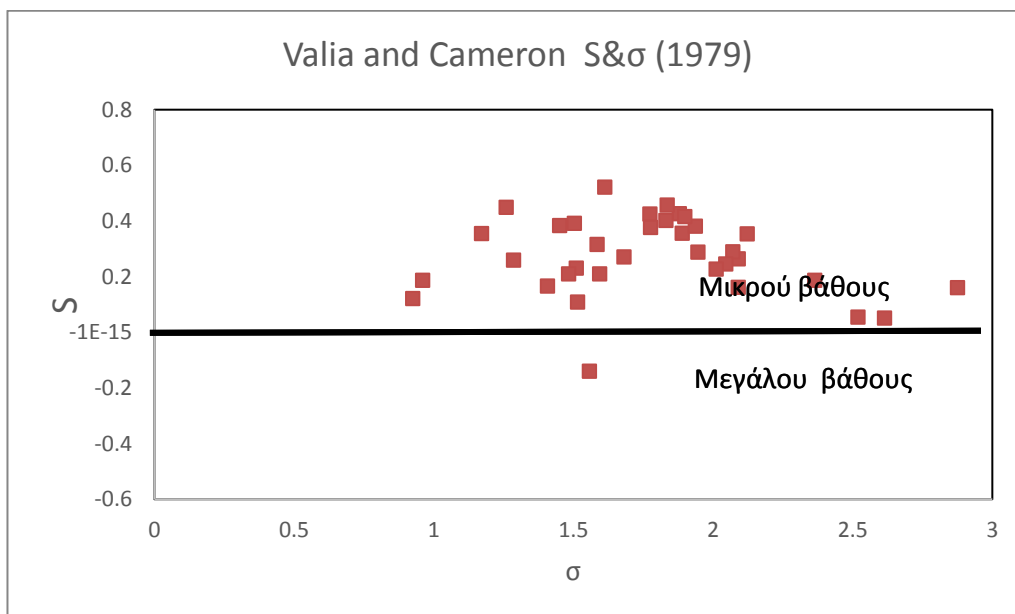
**Πίνακας 4.10. Παρουσίαση παραμέτρων Φ1 και Φ50**

<b>Δείγμα</b>	<b>Φ1</b>	<b>Φ50</b>
<b>Περιοχή: Φανερωμένη</b>		
<b>FAN 1</b>	-1,41978	2,591616
<b>FAN 3</b>	2,070833	3,990733
<b>FAN 4</b>	-1,63756	2,357375
<b>FAN 8</b>	1,590106	3,454403
<b>FAN 11(A)</b>	2,082632	3,713283
<b>FAN 11(B)</b>	1,665509	3,61629
<b>FAN 11(C)</b>	2,056661	3,263489
<b>FAN 12</b>	2,735871	4,657423
<b>FAN 14</b>	2,089226	3,322673
<b>FAN 15</b>	3,051867	3,838775
<b>FAN 16</b>	2,280515	4,199209
<b>FAN 18(A)</b>	1,566944	2,838316
<b>FAN 18(B)</b>	1,557247	2,423034
<b>FAN 18(C)</b>	1,711516	2,649649
<b>Περιοχή: Λαγόλιο</b>		
<b>LAG 6</b>	1,746617	2,976482
<b>LAG18</b>	3,065608	4,359639
<b>LAG19</b>	4,022533	5,332095
<b>LAG 20 B</b>	0,488923	2,525417
<b>LAG23</b>	1,143532	2,436713
<b>LAG24</b>	2,932576	3,971898
<b>LAG25</b>	3,192989	4,026805
<b>LAG27</b>	2,886848	4,001772
<b>LAG29</b>	3,047523	3,878913
<b>LAG30A</b>	3,619108	4,862762
<b>LAG30B</b>	3,400254	4,744303
<b>LAG31</b>	3,077201	3,873355
<b>LAG32A</b>	3,789534	4,340381
<b>LAG32B</b>	3,932239	4,378003
<b>LAG34</b>	3,105784	3,479516
<b>LAG35</b>	3,831826	4,296622
<b>LAG36</b>	3,872221	4,30753
<b>LAG37</b>	2,103809	2,554501
<b>LAG 38(A)</b>	3,495401	3,801379
<b>LAG 38(B)</b>	3,58932	3,851708
<b>Περιοχή: Βασιλική</b>		
<b>VAS 2</b>	3,275417	5,532341
<b>VAS 3</b>	-2,0376	3,595998

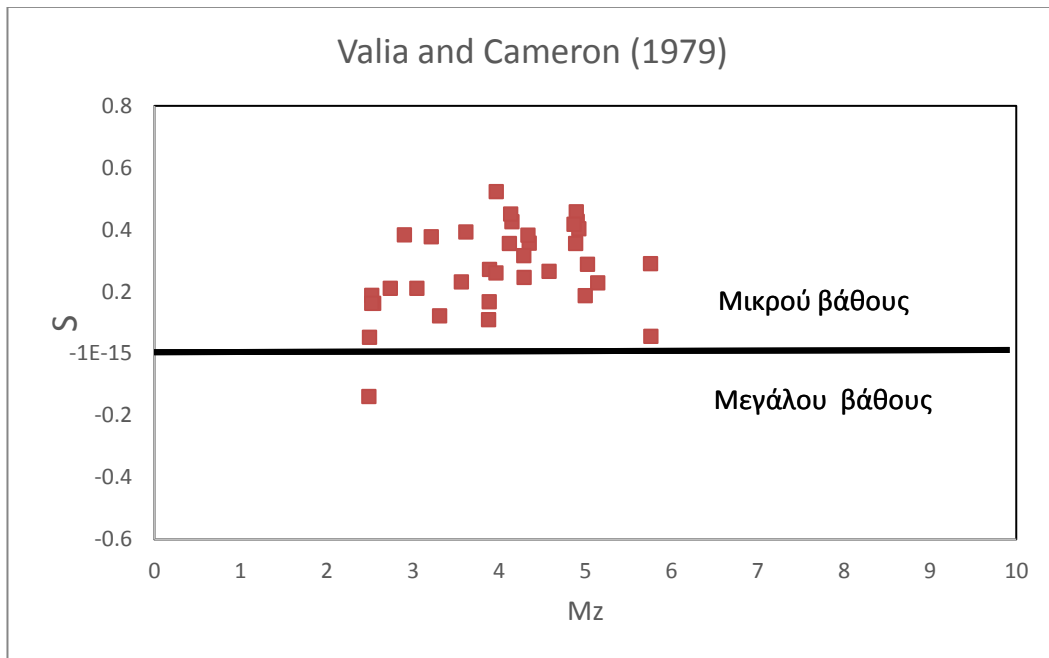
Με βάση τους παραπάνω πίνακες 5.5 και 5.6 προκύπτουν τα διαγράμματα αποθετικού περιβάλλοντος, Passenga (1957) Valia and Cameron (1979)



Εικόνα 4.5. Διάγραμμα Passenga (1957)

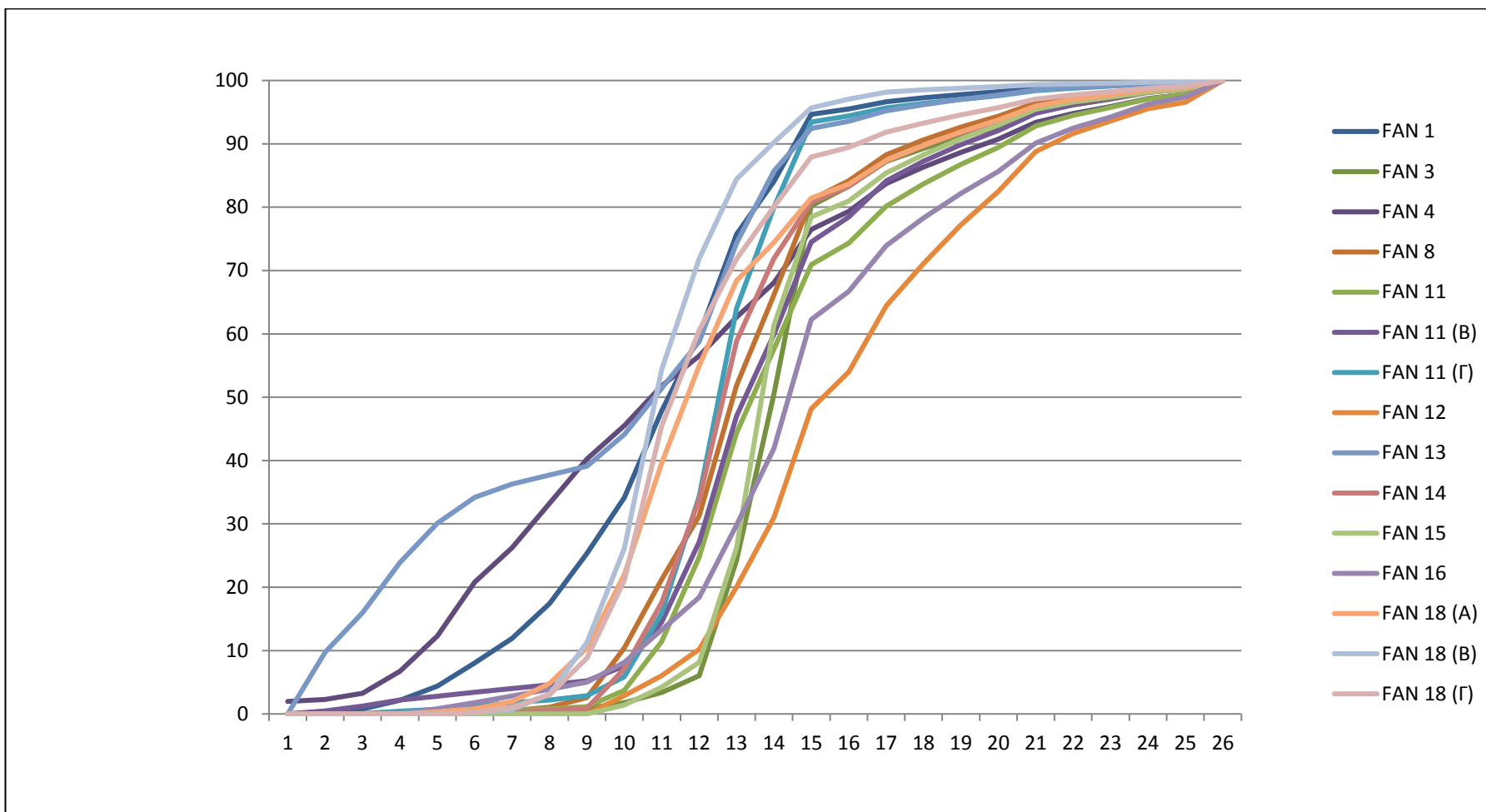


Εικόνα 4.6. Διάγραμμα Valia and Cameron (1979) με χρήση των παραμέτρων S και σ

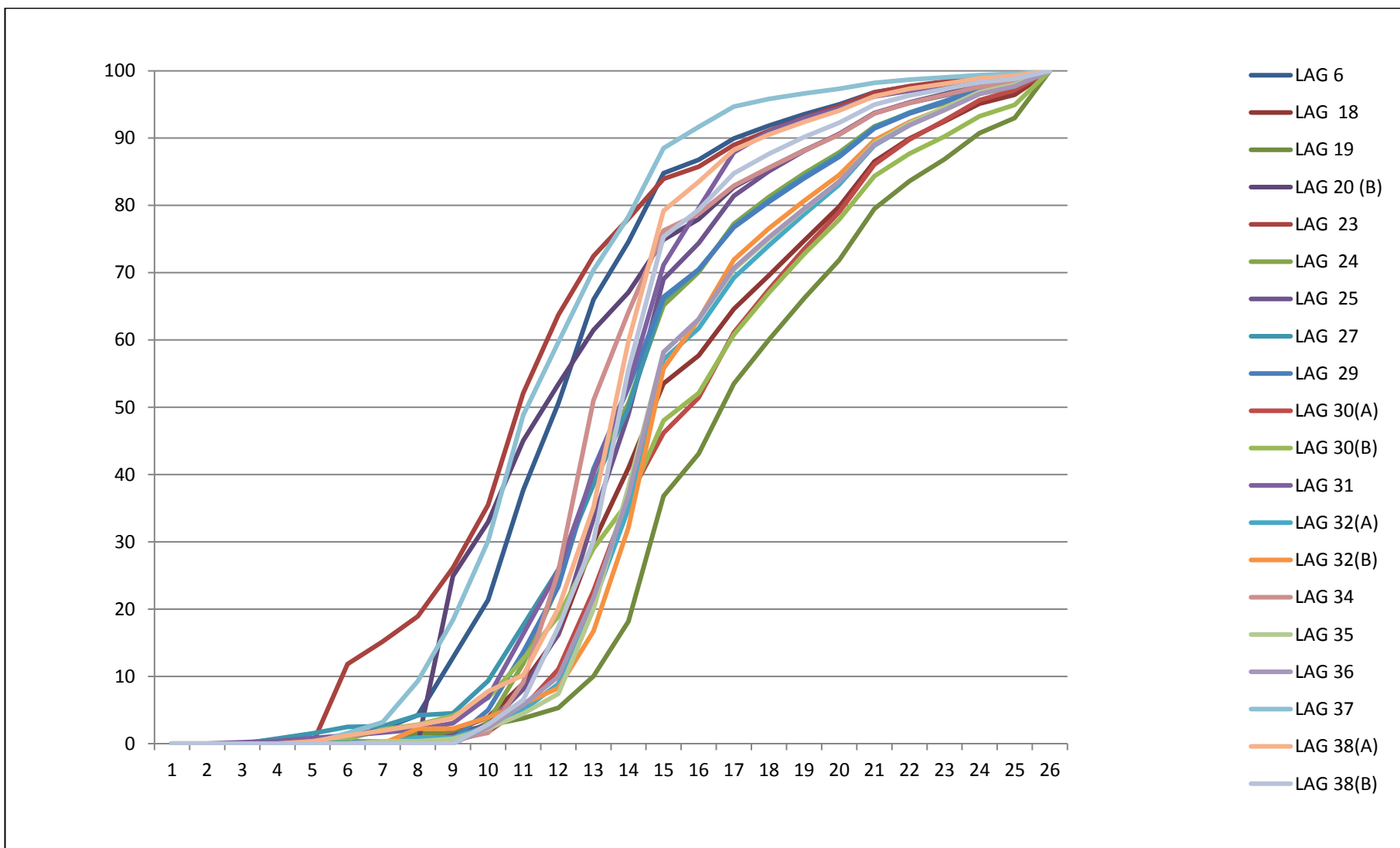


Εικόνα 4.7. Διάγραμμα Valia and Cameron (1979) με χρήση των παραμέτρων  $S$  και

**Παρακάτω παρατίθενται οι αθροιστικές κατανομές ανά περιοχή:**

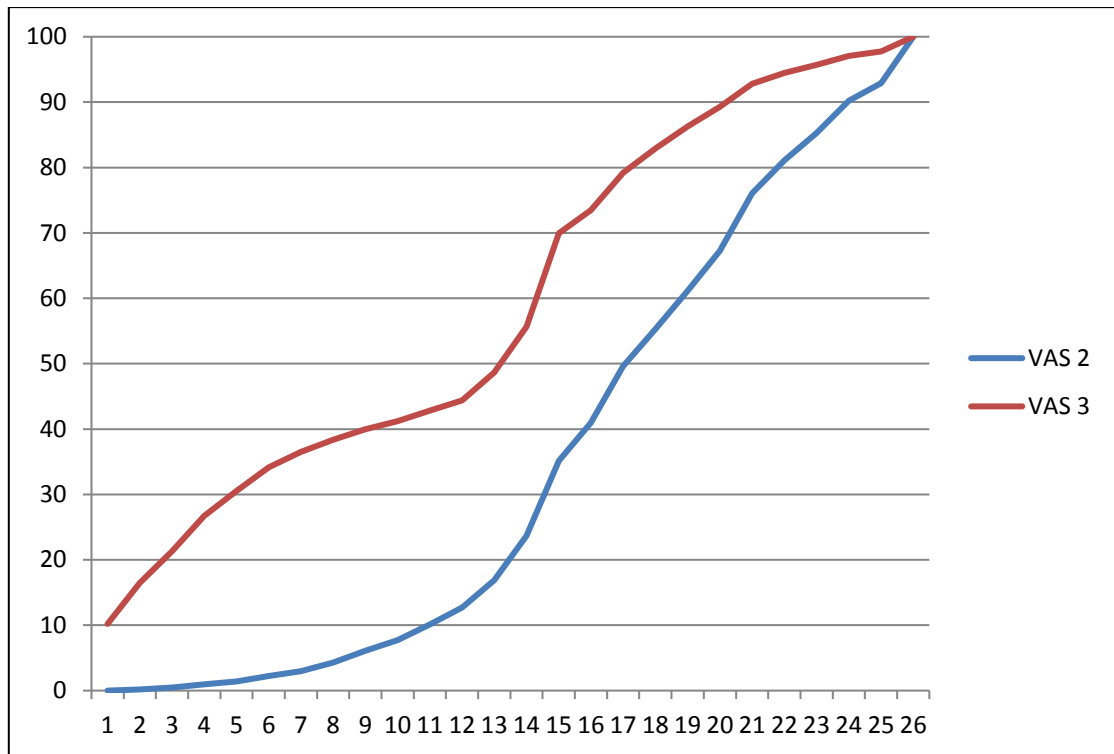


Εικόνα 4.8. Αθροιστικές κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων στην περιοχή της Φανερωμένης.



Εικόνα 4.9. Αθροιστικές κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων στην περιοχή του Λαγόλιου





Εικόνα 4.10. Αθροιστικές κοκκομετρικές αναλύσεις δειγμάτων στην περιοχή της Βασιλικής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

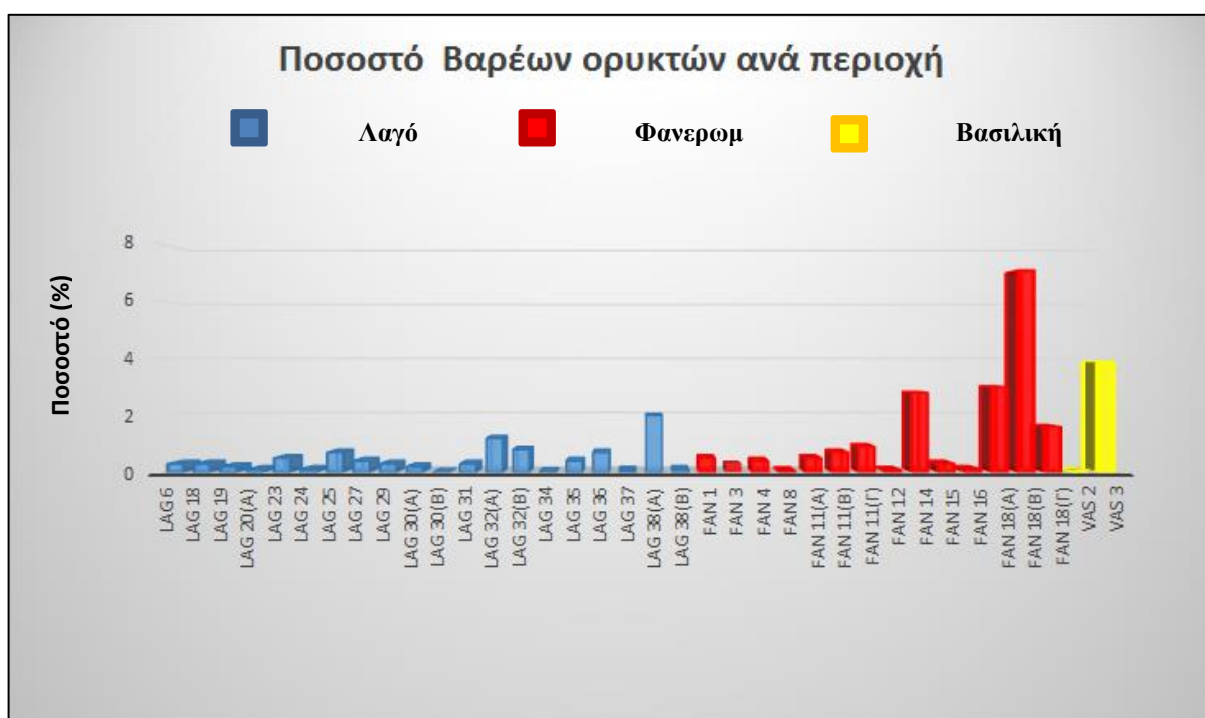
Το μεγαλύτερο μέρος του πεδινού τμήματος της λεκάνης της Μεσσαράς που αποκαλείται και πεδιάδα της Μεσσαράς δομείται και από διαφορετικής λιθολογίας σχηματισμούς κυρίως του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς που καλύπτονται από σύγχρονες προσχώσεις. Αποτελέσματα γεωεπιστημονικών εργασιών που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία τριάντα χρόνια στην περιοχή, πέραν των λιθολογικών, στρωματογραφικών περιγραφών και οριοθετήσεων, προσπάθησαν να συνδέσουν την τεκτονοστρωματογραφική εξέλιξη της νήσου με τη γεωδυναμική εξέλιξη του Νοτίου Αιγαίου, που σχετίζεται άμεσα με την υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας. Η σημαντική αυτή τεκτονική εξέλιξη κατά το Νεογενές συνδέεται με την σταδιακή ανύψωση τμημάτων της προχώρας των Εξωτερικών Ελληνίδων καθώς επίσης με την δημιουργία των αποθετικών περιβαλλόντων των ιζημάτων του Νεογενούς και της εξέλιξής τους. Πέραν των εργασιών που σχετίζονται με την προσέγγιση των διαφορετικών αυτών αποθετικών περιβαλλόντων των ιζημάτων κατά τη γεωλογική αυτή περίοδο (ηπειρωτικό, λιμνοθαλάσσιο, δελταϊκό, ρηχό και βαθύτερο θαλάσσιο) δεν έχει πραγματοποιηθεί μέχρι τώρα συστηματική έρευνα προέλευσης (provenance analysis) της αλπικής ηλικίας ενοτήτων που μετά την αποσάθρωση και διάβρωση τους σε παραπλήσιες κλιματικές συνθήκες στην Κρήτη (Τορτόνιο – ψυχρό/υγρό; Μεσσήνιο θερμό/ξηρό) οδήγησαν στη δημιουργία των δεκάδων λιθοτύπων των πετρωμάτων του Νεογενούς στην ευρύτερη αποθετική λεκάνη της Μεσσαράς.

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής συμβάλλουν σε μία πρώτη συστηματική έρευνα προέλευσης (provenance analysis) των ιζημάτων στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης της Μεσσαράς. Για το σκοπό αυτό πάρθηκαν δείγματα από δύο τομές στο βορειοδυτικό τμήμα της λεκάνης στα όρια των αλπικής ηλικίας σχηματισμών. Η πρώτη ομάδα δειγμάτων πάρθηκε από την ευρύτερη περιοχή του συνοικισμού Λαγόλιο που γειτνιάζει με σχηματισμούς της Ζώνης της Πίνδου και των Ανωτέρων Καλυμμάτων (Άρβης, Βάτου, Αστερουσίων και Οφιολιθικό). Η δεύτερη ομάδα δειγμάτων πάρθηκε από την περιοχή Φανερωμένης σε αντίστοιχους σχηματισμούς (Βιάννου και Αμπελούζου). Για μια πρώτη σύγκριση της συνάθροισης των ορυκτών του βαρέος κλάσματος περιοχών στο βόρειο τμήμα της Μεσσαράς με αυτό του νότιου τμήματος της λεκάνης πάρθηκαν δύο δείγματα προς σύγκριση από τη θέση του συνοικισμού Βασιλική, από τον σχηματισμό Αμπελούζου.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, η ανάλυση της προέλευσης είναι μία μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται τόσο στην αναζήτηση ορυκτών όσο και στην πετρελαϊκή έρευνα. Μια σειρά από μεθοδολογίες (πετρολογικές, γεωχημικές, γεωχρονολογικές κτλ) υποστηρίζουν την εξαγωγή συμπερασμάτων από μια πληθώρα δειγμάτων που τείνουν να είναι αντιπροσωπευτικά όχι μόνο των λιθολογιών των διαφόρων λιθοφάσεων αλλά να καλύπτουν το ευρύ χρονικό και χωρικό φάσμα των παλαιοπεριβαλλόντων, των εξελίξεων τους και των εναλλαγών τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύθηκαν 36 δείγματα. Ο αριθμός των δειγμάτων δεν είναι μεγάλος, ωστόσο παρουσιάστηκε μία σχετική ομοιογένεια ως προς την κατανομή των βαρέων ορυκτών, ικανή ώστε να επιτρέπει κάποια πρόδρομα συμπεράσματα, πέραν αυτών που σχετίζονται με την πειραματική διαδικασία.

- ❖ Σε ότι αφορά στη διαδικασία του διαχωρισμού των βαρέων ορυκτών, προέκυψε ότι ο χρόνος καθίζησης και η ανάδευση του μίγματος είναι ιδιαίτερα σημαντικοί παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν έπειτα από συχνή ανάδευση και περισσότερο χρόνο καθίζησης.

Παρακάτω παρατίθεται ένα συγκεντρωτικό ραβδόγραμμα που δείχνει το ποσοστό των βαρέων ορυκτών ανά περιοχή:



Εικόνα 5.1. Συγκεντρωτικό ραβδόγραμμα περιεκτικότητας σε βαρέα ορυκτά ανά περιοχή

Παρουσιάζεται με μπλε χρώμα η περιοχή του Λαγόλιου, με κόκκινο της Φανερωμένης και με πορτοκαλί της Βασιλικής.

**Στην περιοχή του Λαγόλιου** το μέσο ποσοστό περιεκτικότητας στη συγκεκριμένη περιοχή να κυμαίνεται είναι 0,45% .

**Στην Φανερωμένη** τα περισσότερα δείγματα παρουσιάζουν ποσοστά μεταξύ 0,1-1% με εξαίρεση τα δείγματα FAN 14, FAN 18(A), FAN 18(B), που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά περιεκτικότητας σε βαρέα ορυκτά. Η μέση περιεκτικότητα σε βαρέα ορυκτά στη συγκεκριμένη περιοχή είναι 1,3%

**Στην περιοχή της Βασιλικής**, μελετήθηκαν μόλις 2 δείγματα, οπότε δε μπορούν να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα. Στο πρώτο δείγμα σχεδόν δεν υπάρχει περιεκτικότητα σε βαρέα ορυκτά ενώ στο δεύτερο υπάρχει πάρα πολύ υψηλό ποσοστό με τη μέση περιεκτικότητα να είναι 1,9%.

**Συνολικά, και λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δείγματα, η περιεκτικότητα σε βαρέα ορυκτά είναι 0,8 - 0,9%.**

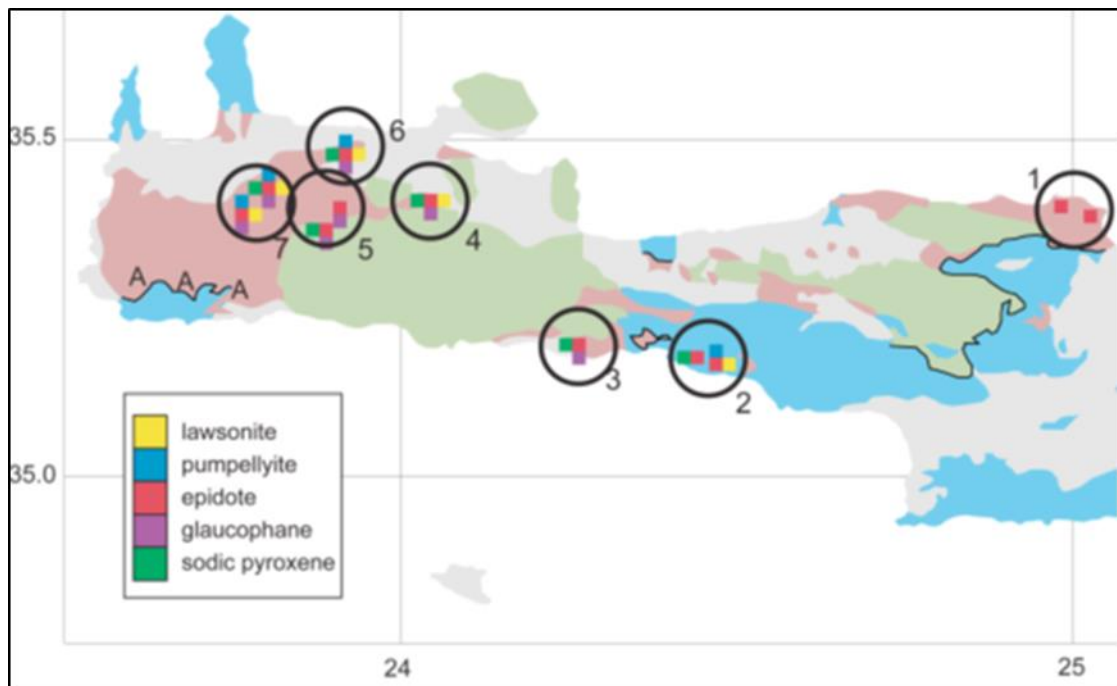
Τέλος, με βάση το λιθολογικό χαρακτηρισμό κατά Folk (1974) παρατηρείται ομοιομορφία στα δείγματα: καθώς το 38% των δειγμάτων χαρακτηρίζεται ως Ιλιούχος άμμος, το 25% ως αμμώδης ιλύς, το 16% ως ελαφριά ψηφιδώδης ιλιούχος άμμος και το 11% ως ψηφιδώδης ιλιούχος άμμος. ( Βλέπε κεφάλαιο 4, Τριγωνικά διαγράμματα Folk (1974) , εικόνες 4.3 & 4.4).

❖ **Σε ότι αφορά στο αποθετικό περιβάλλον και σύμφωνα με τα διαγράμματα Passenga (1957) Valia and Cameron (1979) προέκυψε ότι:**

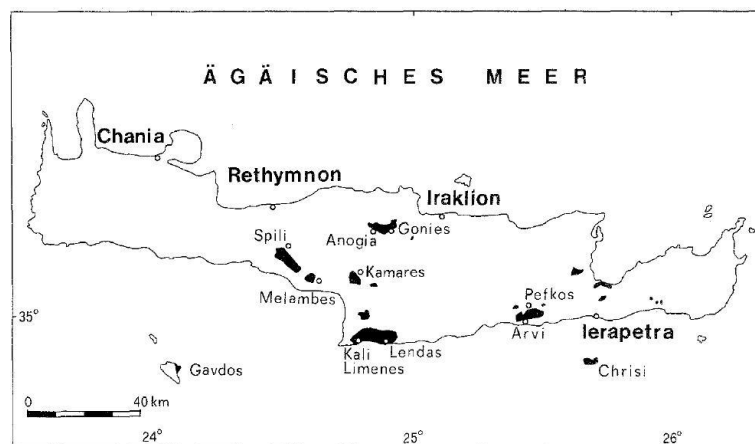
Τα αρχικά ιζήματα των πετρωμάτων του Νεογενούς που δομούν τις περιοχές του Λαγολίου, της Φανερωμένης και της Βασιλικής είναι αποθέσεις μικρού βάθους. Όσον αφορά στο μηχανισμό μεταφοράς πρόκειται ως επί το πλείστον για ομογενές αιώρημα και διαβαθμισμένο αιώρημα. (βλέπε κεφάλαιο 4, Εικόνες 4.5, 4.6, 4.7).

Πέρα από τη διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων για τη δημιουργία των μεγάλου πάχους αποθέσεων των μαργών του Νεογενούς που αποτελεί τον κατεξοχήν και επικρατούντα λιθότυπο, θα πρέπει να αναζητηθεί η πηγή προέλευσης του κλαστικού μη ανθρακικού τμήματος των μαργών που συνυπάρχουν σε εναλλαγή με τα επίσης σε σημαντική συμμετοχή ψαμμιτικά πετρώματα. Λιθότυποι που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν με την διάβρωση τους αυτό το υλικό μπορεί να είναι είτε φλύσχης είτε σχιστόλιθοι είτε φυλλίτες των διαφόρων τεκτονικών καλυμμάτων (από το Φυλλιτικό μέχρι τα Ανώτερα Καλύμματα).

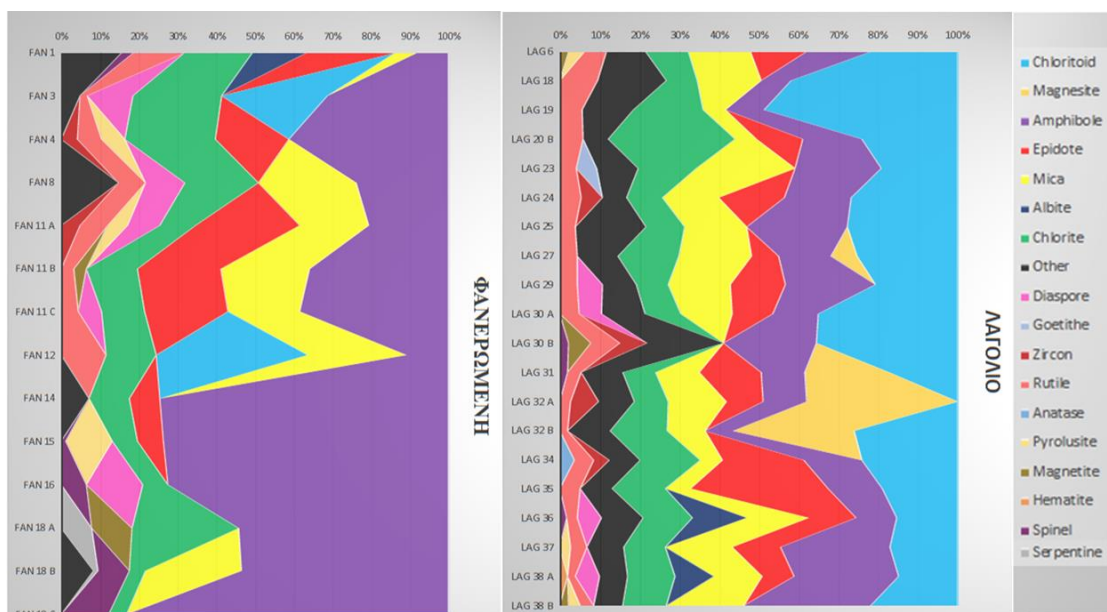
Εάν εστιάσει κανείς στη συμμετοχή των τριών βασικών ορυκτών, το επίδοτο ή για μεγαλύτερη ακρίβεια ορυκτά της ομάδας του επιδότου, ορυκτά της ομάδας των αμφιβόλων και το χλωριτοειδές για την ύπαρξη τους σε τόση «αφθονία» στο κλάσμα των βαρέων ορυκτών αυτής της συνάθροισης, απαιτούνται μεταμορφωμένα πετρώματα ή/και ηφαιστειακά. Αυτή η βασική προϋπόθεση περιορίζει τα πετρώματα τροφοδοσίας, από το σύνολο της στρωματογραφικής - τεκτονικής ακολουθίας της Κρήτης, στις ακόλουθες τεκτονικές ενότητες: Το Φυλλιτικό Κάλυμμα και τα Ανώτερα Καλύμματα. Η χωρική κατανομή των ηφαιστειακών πετρωμάτων του Φυλλιτικού Καλύμματος και των Ανωτέρων Καλυμμάτων φαίνονται στις εικόνες



Εικόνα 5.2. Γεωλογικό σκαρίφημα της δυτικής Κρήτης και οι θέσεις με την κατανομή των κύριων ορυκτών από τους μεταμορφωμένους βασάλτες στη πηγή του Φυλλιτικού καλύματος A=Θέσεις μεταμορφωμένων αραγωνιτών σύμφωνα με τους Theye and Seidel (1993). Από Rahn Manon, (2008) <sup>[3]</sup>



Εικόνα 5.3. Εμφανίσεις των ανώτερων αλλόχθων ενοτήτων της Κρήτης (Koeperke & Seidel, 1984)



**Εικόνα 5.4. Κατανομή των βαρέων ορυκτών στα κλαστικά ιζήματα της περιοχής της Μεσσαράς. Στη θέση 1 προβάλλεται η περιοχή της Φανερωμένης και στη θέση 2 του Λαγολίου. Η περιοχή της Βσιλικής δε συμπεριλαμβάνεται στην παρούσα εικόνα εξαιτίας της έλλειψης επαρκούς αριθμού δειγμάτων.**

Η συντριπτική πλειονότητα των δειγμάτων περιέχει ικανή ποσότητα βαρέων ορυκτών που μπορούν να υποστηρίξουν τη συστηματική τους ανάλυση. Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, χλωριτοειδές εμφανίζεται σε όλα τα δείγματα της περιοχής Λαγόλιο σε αντίθεση με την περιοχή της Φανερωμένης όπου εμφανίζεται μόλις σε 2 δείγματα (FAN 3, FAN 12) έχοντας όμως υψηλό ποσοστό. Και στις δύο γεωλογικές τομές εμφανίζονται κατά κόρον πετρώματα των σχηματισμών Βιάνου μέχρι και Αμπελούζου. Οι δύο γεωλογικές τομές δε βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, παρόλα αυτά παρατηρείται διαφοροποίηση της συμμετοχής χλωριτοειδούς στο κλάσμα των βαρέων ορυκτών.

Από την παράθεση των αποτελεσμάτων του κλάσματος των βαρέων ορυκτών είναι εμφανές ότι υπάρχει εμφανής ποσοστιαία ανισοκατανομή των βασικών βαρέων ορυκτών (Αμφίβολοι, Επίδοτο, Χλωριτοειδές) στις δύο κύριες τομές. Επίσης, παρατηρείται σχεδόν σε όλα τα δείγματα υπάρχουν στο βαρύ κλάσμα δολομίτες και χαλαζίας (εμπεριέχονται στα Other στο διάγραμμα της εικόνας 5.4 ) γεγονός του δεν επιδέχεται ερμηνείας συστηματικού λάθους διότι οι μετρήσεις έγιναν σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα.

Η υπεροχή όμως των αμφιβόλων στο βαρύ κλάσμα υποδεικνύει και τη ευρεία διάβρωση και συμμετοχή στην δημιουργία των ψαμμιτών είτε μεταπηλιτών που περιέχουν αμφιβόλους είτε ματαβασαλτών. Ως εκ τούτου παρά την αφθονία τους στις συναθροίσεις του βαρέως κλάσματος εάν δεν υπάρξουν δεδομένα στοιχειακών αναλύσεων για το ακριβές είδος των αμφιβόλων (μπλε αμφίβολοι και τρεμολίτες εμπεριέχονται στο Φυλλωτικό Κάλυμμα οι εδενίτες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα των Ανωτέρων Καλυμμάτων) δεν μπορούν να υποστηρίξουν την ανάλυση προέλευσης. Το ίδιο θα μπορούσε να ισχύει και για τα ορυκτά της ομάδας του επιδότου μόνο που για αυτήν την ομάδα ορυκτών η ποσότητα είναι σημαντικός παράγοντας. Ενώ το

επίδοτο είναι πραγματικά επουσιώδες συστατικό για το Φυλλιτικό Κάλυμμα είναι ένα από τα κυριότερα και ποιο πλούσια απαντώμενα ορυκτά στα Ανώτερα Καλύμματα με αποτέλεσμα η παρουσία του σε σχετικά αυξημένα ποσοστά να θεωρηθεί ως δείκτης αυτών.

Πέραν των ανωτέρω ορυκτών υπάρχει ως χαρακτηριστικό ορυκτό του Φυλλιτικού Καλύμματος το χλωριτοειδές. Η ύπαρξή του υποδεικνύει ως πηγή προέλευσης το Φυλλιτικό Κάλυμμα ενώ μια λεπτομερής στοιχειακή ανάλυση των αμφίβोलων μπορεί να υποδείξει και τη σημαντικότητα η μη των ανωτέρων τεκτονικά ενοτήτων στη δημιουργία των πετρωμάτων των ενοτήτων του Νεογενούς στη λεκάνη της Μεσσαράς.

Μια δεύτερη ερώτηση που γεννιέται είναι η ακόλουθη: αρκούν τα τεκτονικά ράκη των Ανωτέρων Καλυμμάτων για την τροφοδοσία του συνόλου των νεογενών λεκανών ή είναι απαραίτητη και η σύνδεσή τους με όλη την περιοχή του κεντρικού Αιγαίου, όπου είχαν και τη μεγίστη εξάπλωσή τους; Για την απάντηση αυτού του ερωτήματος θα πρέπει να προσεγγιστούν τα τεκτονικά μοντέλα που έχουν προταθεί για τη δημιουργία των λεκανών του Νεογενούς. Τα τελευταία χρόνια ως μηχανισμός δημιουργίας των λεκανών αυτών έχει προταθεί ένας γενικότερος εφελκυσμός είτε προς το βορρά (συγκρ. Zachariasse et al., 2011), είτε προς τον νότο (Βασιλάκης, 2006) και τη δημιουργία μικρών διαστάσεων νησίδων. Σε αυτές τις περιπτώσεις άμεσα ή έμμεσα αποκλείεται η συνεισφορά υλικού από το κεντρικό Αιγαίο. Σε αυτή την περίπτωση η λιθολογία των νησίδων θα έπρεπε να είναι ίδια και ενιαία. Δεν είναι επίσης πιθανή η διαφοροποίηση των χώρων ιζηματογένεσης που έχουν προτείνει, στηριζόμενοι στην εφελκυστική τεκτονική, οι Zachariasse et al. (2011) κατά τη διάρκεια του μέσου Τορτονίου (8,8 εκ. χρόνια) και το πέρασμα από τη θαλάσσια φάση του σχηματισμού Σχινιά, στην λιμνοθαλάσσια – ποτάμια του Αμπελούζου και την προτεινόμενη χέρσωση του τμήματος βορείως της περιοχής της λεκάνης της Μεσσαράς. Σε αντίθεση με τα ανωτέρω μοντέλα ίσως παραμένει επίκαιρο το μοντέλο που έχει προταθεί πριν τριακονταετία σχετικά με την τροφοδοσία των λεκανών του νεογενούς στο νότιο Αιγαίο από τη «χέρσο του Αιγαίου» (Aegean landmass) μια περιοχή που τροφοδοτούσε το σύνολο του κρητικού πελάγους και της Κρήτης κατά το Νεογενές με λεπτόκκοκα υλικά, η οποία κατά θέσεις στην Κρήτη πιθανώς να είχε μικρές βυθομετρικές διαφοροποιήσεις που επηρεαζόταν και τοπικά από τις εφήμερες ανυψώσεις νήσων, ένα μοντέλο που απαιτεί αρκετά δεδομένα, για να απορριφτεί ή να τεκμηριωθεί.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## Λιθινής

- Amaral, E.J., Pryor, W.A., (1977): Depositional environment of the St. Peter sandstone deduced by textural analysis. Jour. Sed. Petr., V47, No1, 32-52.
- Andrew D. Miall. (1984): Principles of Sedimentary Basin Analysis, .( 154p, 277p, 319p). University of Toronto, Department of Geology, Toronto, M5S 1A1, Canada.
- Angelier J., Lyberis N., Le Pichon X., Barrier P. and Huchon P. (1982):The tectonic development of the Hellenic arc and the Sea of Crete: a synthesis, Tectonophysics, 86, pp. 159-196.
- Barnavas, S.P., (1979): Geochemistry of sediments from the eastern Pacific. Ph. D. Thesis University London pp. 431.
- Bonneau M. (1984): Correlation of the Hellenic Nappes in the south east Aegean and their tectonic reconstruction, Geological Society, London, Special Publications, 17, p 517-527.
- Brunn J.H. (1956): Contribution à l'étude géologique du Pind septentrional et de la Macédoine occidentale. Ann. Géol. Pays Hellen. vol. 7, pp. 1-358.
- Creutzburg N., Papastamatiou J., Sannemann W., Seidel E. and Tataris A. (1977): General Geological Map of Greece, Crete island: 1:200.000, Athens.
- Dornsiepen, U.F. & Manutsoglu, E. (1994): Zur Gliederung der Phyllit Decke Kretas und des Peloponnes. Z. dt. geol. Ges., 145, 286-303.
- Dornsiepen U.F., Manutsoglu E., Mertmann D. (2001): Permian–Triassic palaeogeography of the external Hellenides, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 172, p 327-338.
- Folk, R.L., (1968): Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Co, Austin, Texas, 170p.
- Folk, R.L., and Ward, W.S., (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petr., 27, No1, 3-26.
- Friedman, G.M., (1979): Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. Addendum to IAS Presidential Address. Sedimentology pages 26, 859-862.
- Gaudette, H.E., Flight, W.R., Toner, L., and Folger, D.W., (1974): An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. Jour. Sed. Petr., 44, 249-253.
- Ibach, L.E.J., (1982): Relationship between sedimentation rate and total organic carbon content in ancient marine sediments. Ammer. Ass. Petr. Geol. Bul., 66, No2, 170-188, 12 figs, 4 tabl.
- Jacobchagen, V., Durr, S., Kockel, F., Makris, J., Meyer, W., Romer, P., Schroder, B., Seidel, E., Wachendorf, H. (1986): Geologie von Griechenland, Beitr. Z. region. Geol. der Erde: 363 S., 112 Abb., 3 Tab.: Stuttgart (Borntrager).
- Krijgsman, W., Hilgen, F.J., Langereis, C.G. and Zachariasse, W.J. (1994): The age of the Tortonian/Messinian boundary, Earth and Planetary Science Letters, 121, 533-547.



- Krijgsman, W. (1996): Miocene magnetostratigraphy and cyclostratigraphy in the Mediterranean: extension of the astronomical polarity time scale, 207 pp, University of Utrecht.
- Koepke J. & Seidel E. (1984): Oberkretazisches Kristallin an der Basis von Ophiolithen der Siidag/iis: Charakterisierung der Metamorphose-Fazies, TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt. 33,263-286
- Kukal, Z., (1971): Geology of recent sediments. Academic Press London and New York, 490 pp.
- Le Pichon X. and Angelier J. (1979):The Hellenic Arc and trench system a key to the tectonic evolution of the eastern Mediterranean, Tectonophysics, 60, p 1-42
- Mange A.M. and Mauer H.F.W (1992):Heavy Minerals in Colour, pp. 1-147
- Mange A.M. and Wright D.T. (2007):Heavy Minerals in use, Developments, Sedimentology, 58, p 1-1224.
- Manickam, S., Barbaroux, L., and Ottman, F., (1985): Composition and mineralogy of suspended sediment in the fluvio-estuarine zone of the Loire River, France, Sedimentology 32,721-741
- Maravelis A., G. Panagopoulos, I. Piliotis, N. Pasadakis, E. Manutsoglu and A. Zelilidis (2013): Pre-Messinian (sub-salt) source-rock potential on back-stop basins of the Hellenic Trench System (Messara Basin, Central Crete, Greece). - Oil & Gas Science and Technology.
- McKenzie, D. (1972):Active Tectonics of the Mediterranean Region, Geological Journal of the Royal Society, p 109-185
- McKenzie, D. (1978):Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophys. J. R. Astron. Soc., 55, 217-254
- Meulenkamp, J. E., (Ed.) (1979): Field guide to the Neogene of Crete, 32 pp., Univ. Athens.
- Meulenkamp, J. E., B. W. M. Driever, A. Jonkers, P. Spaak, W. J. Zachariasse, & G.J. van der Zwaan, (1979): Late Miocene-Pliocene climatic fluctuations and marine "cyclic" sedimentation, Ann. Geol. Pays Hell., Tome hors serie, 831- 842.
- Meulenkamp J.E., Jonkers A. and Spaak P. (1977): 'Late Miocene to Early Pliocene development of Crete' Proc. VI Coll. Geol. Aegean Region, Athens, pp. 137-149
- Meulenkamp J.E. (1979):Field Guide to the Neogene of Crete. Publ. Dep. Geol. Pal. Univ. Athens p 1-32
- Meulenkamp, J. E., Wortel M. J. R., van Wamel W. A., Spakman W and E. Hoogerduyn Strating (1988): On the Hellenic subduction zone and the geodynamic evolution of Crete since the late middle Miocene, Tectonophysics, 146, p 203-215.
- Meulenkamp J.E., van der Zwaan G.J. and van Wamel W.A. (1994):On the Late Miocene to Recent vertical motions in the Cretan segment of the Hellenic Arc. Tectonophysics, p. 53-72
- Moila, R.J., and Visser, D., (1968): Textural parameters: an evaluation, Jour. Sed. Petr., V260, p45-63.
- Papanikolaou D. and Vassilakis E. (2008): Middle Miocene E-W tectonic horst structure of Crete through extensional detachment faults, IOP Conf Series, Earth Environ. Sci., 2.
- Papanikolaou D. and Vassilakis E. (2009): Thrust Faults and Extensional Detachment Faults in Cretan Tectono-stratigraphy: Implications for Middle Miocene Extension, Tectonophysics, 488, 233-247.
- Papanikolaou D. and Vassilakis E. (2010):Thrust faults and extensional detachment faults in Cretan tectono-stratigraphy: Implications for Middle Miocene extension, p. 233-247

- [Passega, R., Byramjee, R., \(1969\):](#) Grain-size image of Clastic deposits. *Sedimentology*, 13, 233-253.
- [Reinecke, T., Altherr, R., Hartung, B., Hatzipanagiotou, K., Kreuzer, H., Harre, W., Klein, H., Keller, J., Geenen, E., Bdger, H. \(1982\):](#) Remnants of a Late Cretaceous high temperature belt on the island of Anafi (Cyclades, Greece). *N. Jb. Min. Abh.* 145, 157-182.
- [Ressentini A. \(matr. 044978\):](#) Quantitative provenance analysis of modern sands: bulk petrography, heavy minerals, apatite fission tracks, Laboratory for Provenance Studies Department of Geology and Geotechnology University Milano-Bicocca, Italy
- [Saadallah, A., Kukal, Z., \(1969\):](#) Grain size and carbonate content in costal sediment of Iraq. *Jour. Iraq G. Soc.*, 2, 3-10.
- [Seidel E., H. Kreuzer & W. Harre \(1982\):](#) A late Oligocene/early Miocene high pressure belt in the external Hellenides, *Geol. Jb.*, E23, 165-206
- [Sissingh, W. \(1972\):](#) Late Cenozoic Ostracoda of the South Aegean island arc, *Utrecht Micropal. Bull.*, 6, 187.
- [Stewart, H.B., J.R., \(1958\):](#) Sedimentary reflections of depositional environments in San Miguel Lagoon, Baja California, Mexico: *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.*, V42, p 2567-2618.
- [Ten Veen, J.H. \(1998\):](#) Neogene Outer-Arc Evolution in the Cretan Segment of the Hellenic Arc: Tectonic, Sedimentary and Geodynamic Reconstructions. Ph.D. Thesis, University of Utrecht, *Geol. Ultraiectina*, 160, 192 pp.
- [Ten Veen J.H. and Meijer P.TH. \(1998\):](#) Late Miocene to Recent tectonic evolution of Crete (Greece): geological observations and model analysis, *Tectonophysics*, 191– 208, 298.
- [Ten Veen, J. H., & G. Postma \(1999\):](#) Neogene tectonics and basin fill patterns in the Hellenic outer-arc (Crete, Greece). *Basin Research*, 11, 223-241.
- [Ten Veen J.H. and Kleinspehn K.L. \(2003\):](#) Incipient continental collision and plate boundary curvature: Late Pliocene – Holocene transtensional forearc, Crete, Greece *J. geol. Soc. London*, p. 161-181
- [Theve, T. \(1988\):](#) Aufsteigende Hochdruckmetamorphose in Sedimenten der Phyllit-Quarzit-Einheit Kretas und des Peloponnes. - Dissertation, TU Braunschweig.
- [Trask, P.D., \(1939\):](#) Organic content of recent marine sediments. *Recent marine sediments*, 428-453.
- [Tsikouras B., Pe-Piper G., Piper D. J.W. & Schaffer M. \(2011\):](#) Varietal heavy mineral analysis of sediment provenance, Lower Cretaceous Scotian Basin, eastern Canada, *Sedimentary Geology*, 237, 250-265.
- [Valia, H.S., and Cameron, B., \(1977\):](#) Skewness as an Paleoenviromental indicator. *Jour. Sed. Petr.*, 47, No2, 784-793.
- [Van Hinsbergen, D. and Meulenkamp, J.E. \(2006\):](#) Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex. *Basin Research*, 18, p. 103-124
- [Welter-Schultes, F. W. \(2000\):](#) The paleogeography of late Neogene central Crete inferred from the sedimentary record combined with Albinaria land snail biogeography., *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 157, p. 27-44.
- [Weltje G.J. and von Eynatten H. \(2004\):](#) Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering

and Geosciences, Applied Geology Section, PO Box 5028, NL-2600 GA Delft, The Netherlands, p. 1-11.

- **Willmann, R. (1982):** Biostratigraphisch wichtige Süsswassergastropoden (Prosobranchia, Hydrobiidae) aus dem Neogen des Agaiscs-Raumes, N. Jb.Geol. Palaont. Abh., 162, 304-331.
- **Wilson R. C. L. (1983):**Residual Deposits: Surface related and weathering Processes and materials (pages 19-20,22-23), Published for The Geological Society of London, by Blackwell Scientific Publications Oxford London Edinburgh Boston Melbourne.
- **Xypolias P., Chatzaras V. and Koukouvelas I.K. (2007):**Strain gradients in zones of ductile thrusting: Insights from the External Hellenides: Journal of Structural Geology, v. 29, p. 1522–1537
- **Zachariasse, W. J. (1975):** Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Late Neogene of Crete (Greece), Utrecht Micropal. Bull., 143.
- **Zachariasse W.J., van Hinsbergenw D.J.J. and Fortuin A.R. (2011):**Formation and fragmentation of a late Miocene supradetachment basin in central Crete: implications for exhumation mechanisms of high-pressure rocks in the Aegean forearc, Basin Stratigraphy and Paleontology group, Faculty of Geosciences, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, p. 678-601

## Ελληνική

- **Βασιλάκης Ε.Μ. (2006):** Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης Μεσσαράς, κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεπισκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, Δημοσίευση διδακτορική διατριβή Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος (ΕΚΠΑ) σελ. 13-32, 564, Αθήνα.
- **Γιόφκος Μ. (2016):** Πετροφυσικά Χαρακτηριστικά Ψαμμιτών του Νεογενούς (Περιοχή Τεφελίου – Μεσσαρά, Κρήτη), Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών ορυκτών πόρων, Χανιά.
- **Ζεληλίδης, Α.Μ., (1998):** Μεταμειοκαινική εξέλιξη της ΝΔ Πελοποννήσου, Διδακτορική Διατριβή, σελ. 12-48.
- **Θεοδωρίκας Σ. (2010):** Ορυκτολογία – Πετρολογία, (3<sup>η</sup> έκδοση) Θεσσαλονίκη.
- **ΙΓΜΕ (1983):** Γεωλογικός χάρτης φύλλο Τυμπάκιον σε κλίμακα 1:50.000, Αθήνα
- **Κοντόπουλος Ν. (2007):** Σημειώσεις Ιζηματολογίας της σχολής Θετικών επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών
- **Κοντόπουλος, Ν., (1978):** Περιβάλλοντα αποθέσεως των ιζημάτων του Πηδάσου (ΝΔ Πελοπόννησος). Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα, 90 σελίδες.
- **Κωστάκης Γ (2005):** Γενική Ορυκτολογία, Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- **Μανούτσογλου Ε. (2008):** Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.
- **Μαντζιώκας Η. (2016):** Πετροφυσικά χαρακτηριστικά ψαμμιτών του Νεογενούς (περιοχή Φανερωμένης, Μεσσαρά, Κρήτη), Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών ορυκτών πόρων, Χανιά.
- **Πολυχρονάκης Χ. (2015):** Αναζήτηση πηγών τροφοδοσίας κλαστικών ιζημάτων Νεογενών σχηματισμών της λεκάνης της Μεσσαράς με χρήση βαρέων ορυκτών, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- **Πυλιώτης Ι. (2011):** Ιζηματολογική και Γεωχημική Μελέτη του Σχηματισμού Μετόχια, Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, 157 σελ, Πάτρα.
- **Σταμπολιάδης Η. (2008):** Μηχανική των τεμαχιδίων, Χανιά
- **Φυτρολάκης Ν. (1980):** Η γεωλογική δομή της Κρήτης.-Διατριβή επί υφηγεσία.ΕΜΠ, Αθήνα, 146 σελ.

### Πηγές από το διαδίκτυο:

- [1]: [https://boa.unimib.it/retrieve/handle/10281/50093/75003/phd\\_unimib\\_076180.pdf](https://boa.unimib.it/retrieve/handle/10281/50093/75003/phd_unimib_076180.pdf)
- [2]: <https://boa.unimib.it/handle/10281/19000>
- [3] : [deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/61777/mrmanon\\_1.pdf?...1](https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/61777/mrmanon_1.pdf?...1)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- Παράρτημα 1: Κοκκομετρικές αναλύσεις – Αθροιστικές κατανομές
- Παράρτημα 2: Παράθεση εντολών χρήσης προγράμματος EVA
- Παράρτημα 3: Παράθεση ανακλάσεων με τη μέθοδο XRD
- Παράρτημα 4: Ποσοστιαία κατανομή των ορυκτών του βαρέου κλάσματος

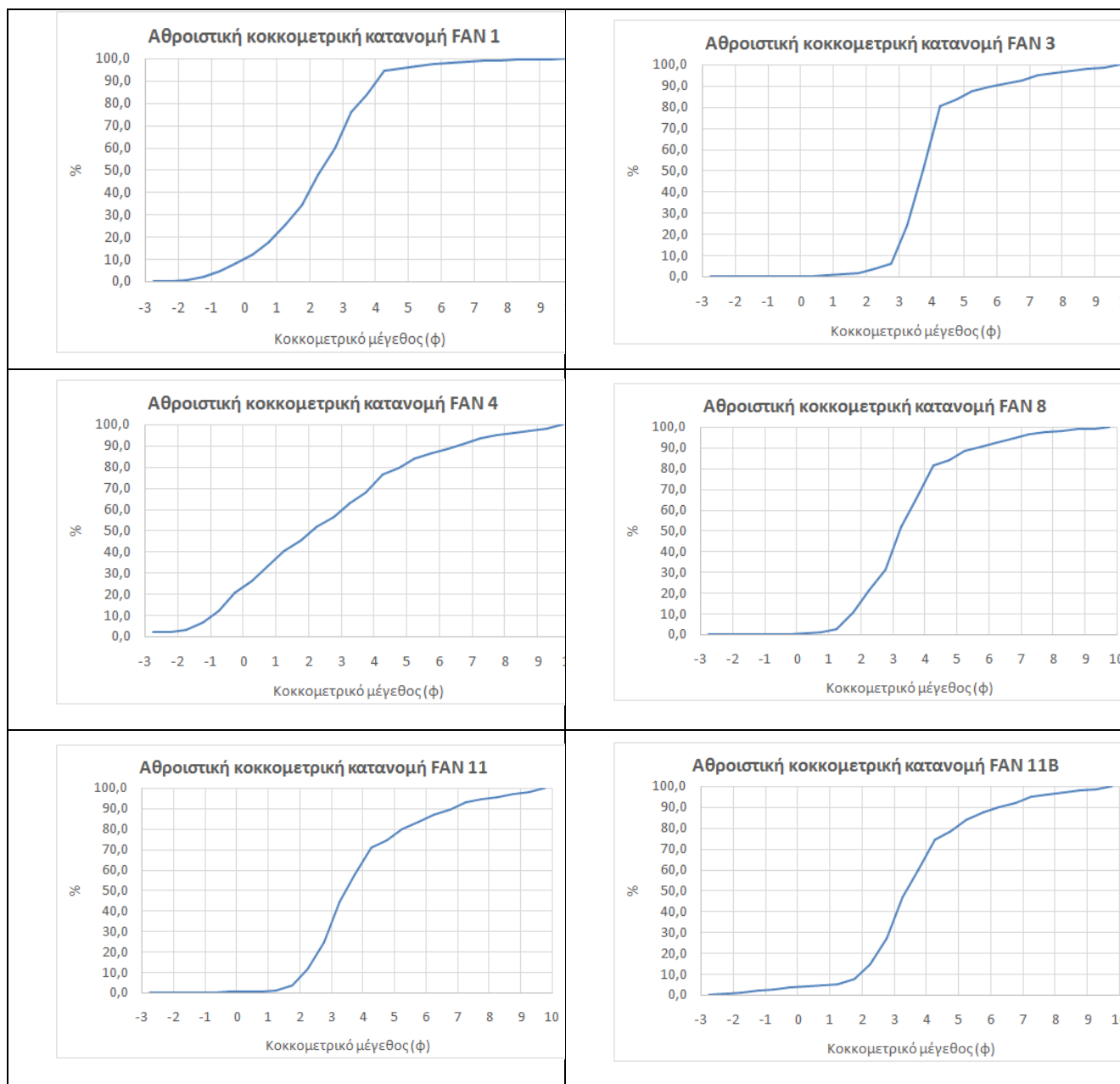
# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

## Παράρτημα 1. Πίνακας 1. Ποσοστιαίες Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων

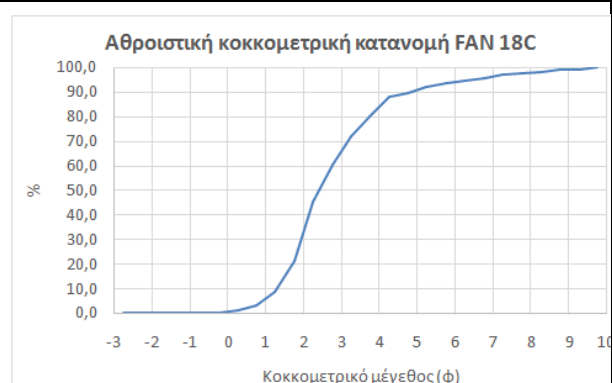
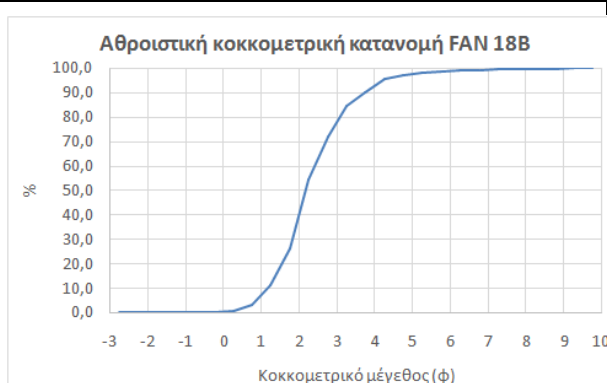
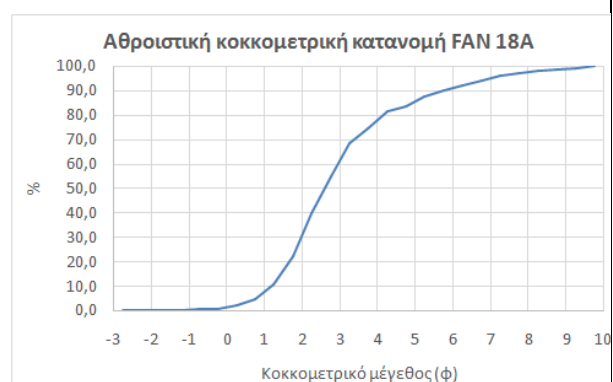
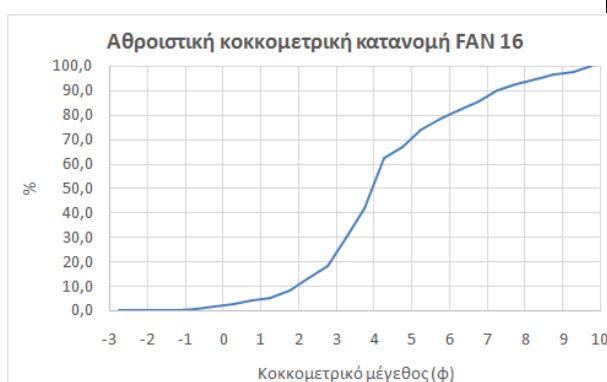
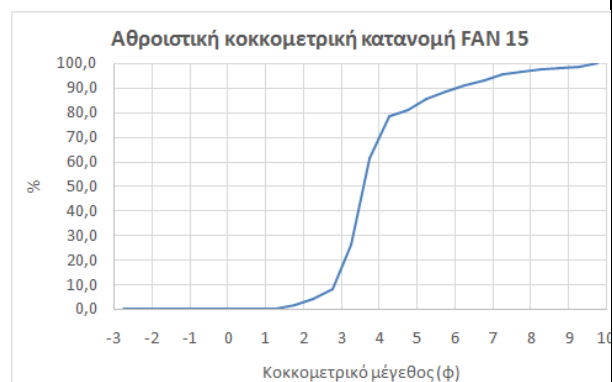
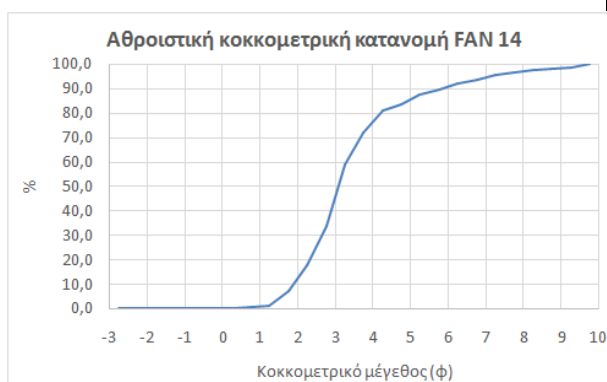
(Φανερωμένη)

min ▾	max ▾	FAN 1 ▾	FAN 3 ▾	FAN 4 ▾	FAN 8 ▾	FAN 11 ▾	FAN 11 (B) ▾	FAN 11 (Γ) ▾	FAN 12 ▾	FAN 13 ▾	FAN 14 ▾	FAN 15 ▾	FAN 16 ▾	FAN 18 (A) ▾	FAN 18 (B) ▾	FAN 18 (Γ) ▾
-3,0	-2,5	0	0	1.966677799	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2,5	-2,0	0.275065328	0	2.300641953	0	0	0.485234992	0	0	9.726950601	0	0	0	0	0	0
-2,0	-1,5	0.779351763	0	3.265427289	0	0	1.247747123	0.046136101	0	15.97999027	0	0	0	0	0	0
-1,5	-1,0	2.154678403	0	6.753497347	0	0.106123315	2.218217108	0.415224913	0	23.90050719	0	0	0	0	0	0
-1,0	-0,5	4.401045248	0	12.31956659	0	0.247621069	2.807431027	0.738177624	0	30.08406864	0	0	0.794211084	0.340034854	0	0
-0,5	0,0	8.068582955	0.052700922	20.81709896	0.253228665	0.424493261	3.431304589	1.291810842	0	34.18328354	0	0	1.764913519	0.807582777	0.220953784	0.274639046
0,0	0,5	11.91949755	0.105401845	26.23473969	0.506457331	0.601365453	4.020518508	1.799307958	0	36.2676301	0.298316642	0	2.823861631	1.955200408	0.736512613	1.059322034
0,5	1,0	17.42080411	0.368906456	33.24798694	1.076221828	0.813612084	4.609732428	2.214532872	0	37.72667269	0.596633284	0	3.882809742	4.802992307	3.130178604	3.021029504
1,0	1,5	25.3518544	0.843214756	40.22412705	2.595593821	1.13198203	5.233605989	2.860438293	0	39.11623706	0.894949925	0	5.03000353	10.45607175	11.30546861	8.788449466
1,5	2,0	34.14477605	1.77602108	45.50447141	10.388706	3.728465811	7.548870096	5.863898501	2.851809191	44.11172098	7.138291072	1.405405405	8.118602188	21.98750372	26.10568956	21.10797238
2,0	2,5	47.81093843	3.357048748	51.79412965	21.23955432	11.42240617	14.50852627	15.88927336	6.02136871	51.40693393	17.5708502	4.200772201	13.25450053	39.56305521	54.3472657	45.48022599
2,5	3,0	59.75794251	6.034255599	56.53642065	31.2800709	24.74088224	27.15236379	34.3621684	10.21567303	58.79246856	33.88450884	8.123552124	18.3815743	54.98788626	71.90940895	60.58145009
3,0	3,5	75.72403614	24.25865413	62.6158188	51.87844017	44.35600835	46.99961699	64.03666344	20.05472197	74.35285607	58.85634148	26.21259319	29.81931002	68.38439192	84.42013128	71.80081414
3,5	4,0	84.07192821	50.48610392	68.05504957	66.11168789	57.58725086	59.90005068	79.97805807	31.00387653	85.69026276	71.90946731	61.32051712	41.89654486	74.42617783	90.18899662	80.052242
4,0	4,5	94.66145225	80.21926856	76.47965156	81.17952121	70.90749248	74.50283824	93.43706449	48.16223075	92.44290089	80.76987861	78.47391085	62.23566343	81.43493583	95.68291916	87.92671342
4,5	5,0	95.50845046	83.28751009	79.35196974	84.18478389	74.3315397	78.44402435	94.40647415	53.99927146	93.56976628	83.30546715	80.97260793	66.71839759	83.64251585	97.06129459	89.43659534
5,0	5,5	96.6388526	87.22103795	83.73243616	88.28177083	80.15759572	84.12977458	95.66543708	64.42112497	95.22109223	87.29438416	85.40962209	73.92906085	87.38535156	98.17184662	91.82373572
5,5	6,0	97.25437433	89.27767157	86.33814507	90.61309696	83.67152044	87.25891386	96.37642739	71.10863089	96.17577691	89.68492374	88.24500737	78.27154923	89.75192561	98.53415892	93.27777925
6,0	6,5	97.78312665	91.0512706	88.65872509	92.63820375	86.76384888	89.88059591	97.02020079	77.19431003	97.00169331	91.76281126	90.79177908	82.16194609	91.89528288	98.78840962	94.57128849
6,5	7,0	98.25400317	92.68931549	90.73069758	94.38494435	89.46045329	92.1032643	97.61685139	82.5019941	97.70377667	93.52163955	92.96360945	85.65008671	93.76027231	99.01681421	95.69468829
7,0	7,5	98.85536701	94.91907589	93.38926912	96.45480453	92.80107483	94.80853658	98.39715385	88.74788797	98.52437519	95.5956536	95.44950904	90.12605907	95.96699775	99.32077592	97.05057322
7,5	8,0	99.16104585	96.12728899	94.78893017	97.42834458	94.48827497	96.15671493	98.80079875	91.63301346	98.90971686	96.60254915	96.58744283	92.46704685	97.01282591	99.47055814	97.7205306
8,0	8,5	99.38509976	97.05659826	95.87020434	98.10661821	95.73334792	97.14268547	99.10216732	93.58840665	99.18102602	97.34026268	97.37447619	94.25366149	97.75012365	99.57539683	98.22106757
8,5	9,0	99.61939245	98.10586816	97.12150588	98.8015237	97.08480298	98.17830999	99.42748545	95.53281881	99.46724753	98.15812084	98.20170105	96.26786163	98.51732739	99.70079869	98.78012228
9,0	9,5	99.73877261	98.69012371	97.83435273	99.16932717	97.81174575	98.72070132	99.60073879	96.54264698	99.62425463	98.61340935	98.65190209	97.38333936	98.91943311	99.78299824	99.08319133
9,5	10,0	100	100	99.9994383	99.9999521	99.99976946	99.9999969	100	99.99973526	99.99999724	99.99975987	99.99992314	100	99.99989821	100	99.99976707

**Παράρτημα 1. Πίνακας 2. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων  
(Φανερωμένη)**



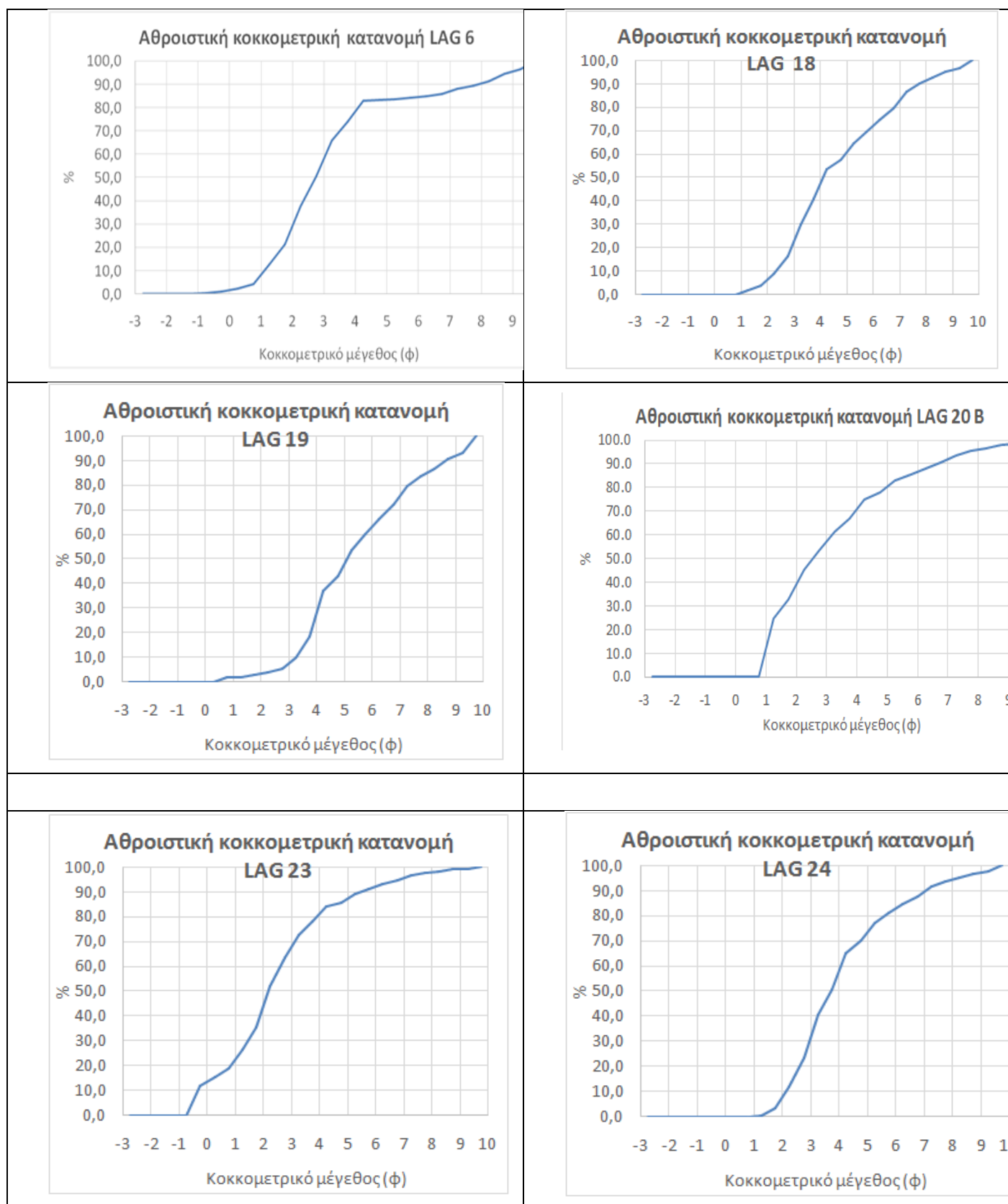


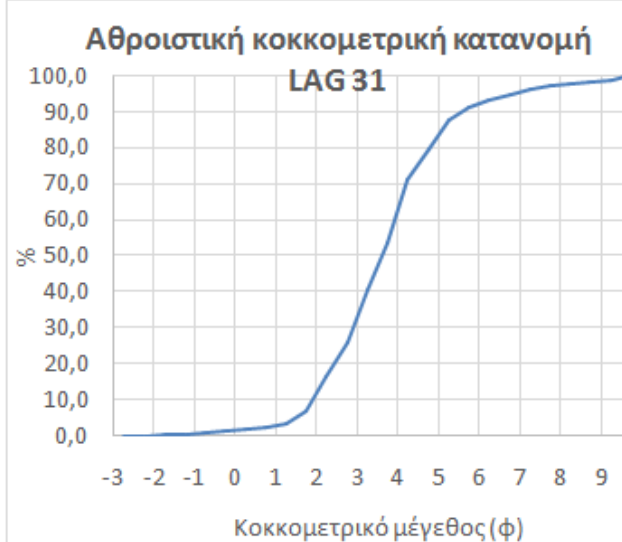
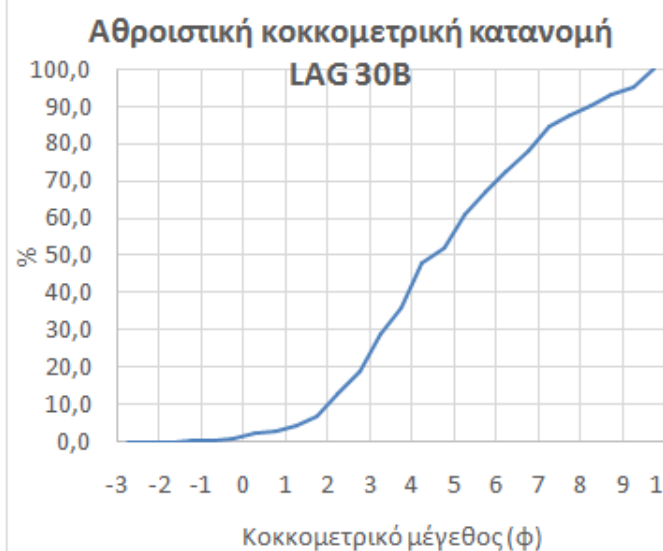
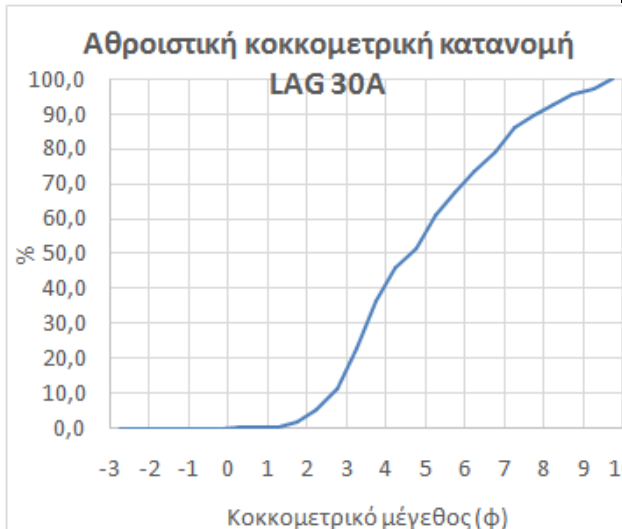
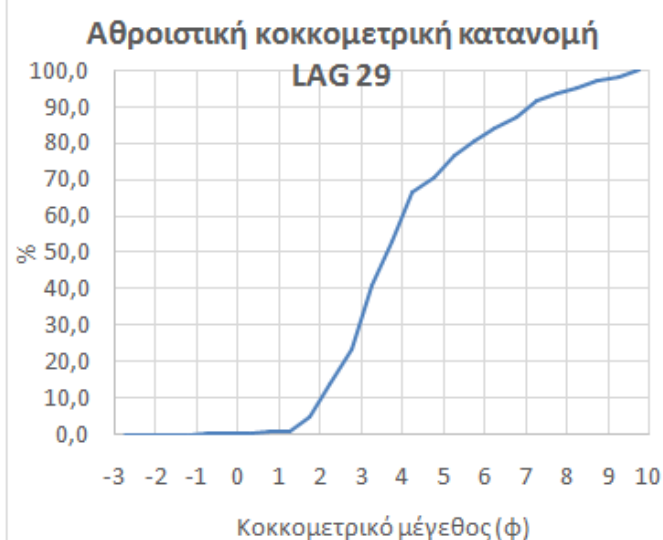
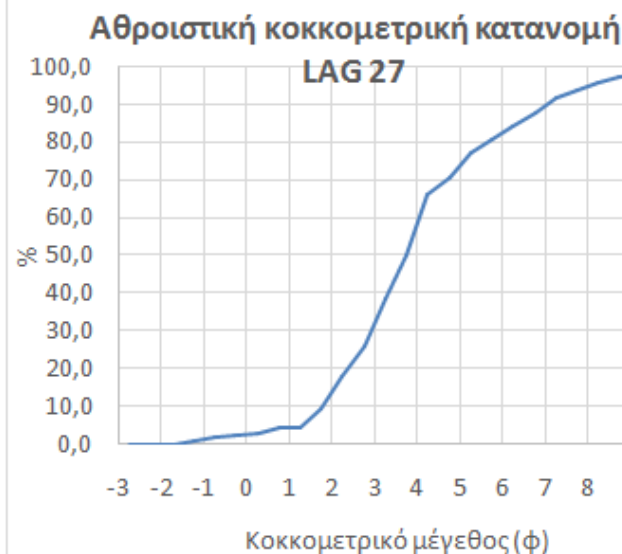
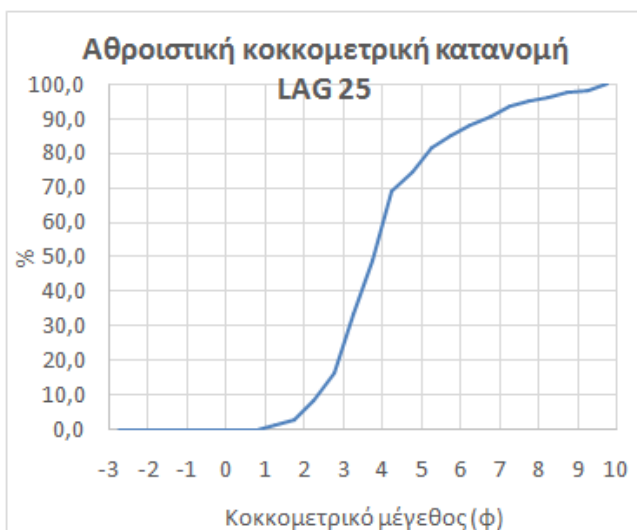


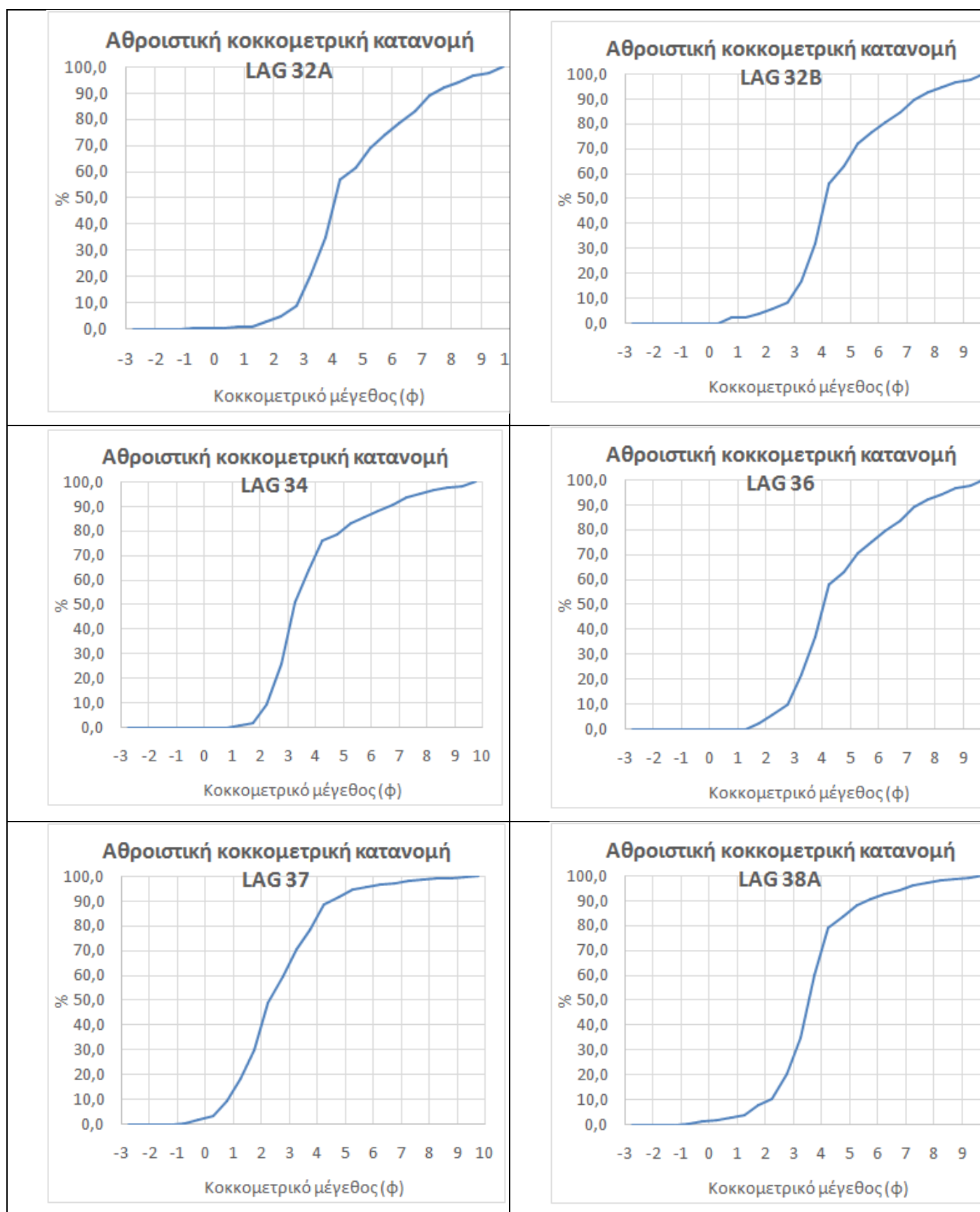
**Παράρτημα 1. Πίνακας 3. Ποσοστιαίες Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων  
(Λαγόλιο)**

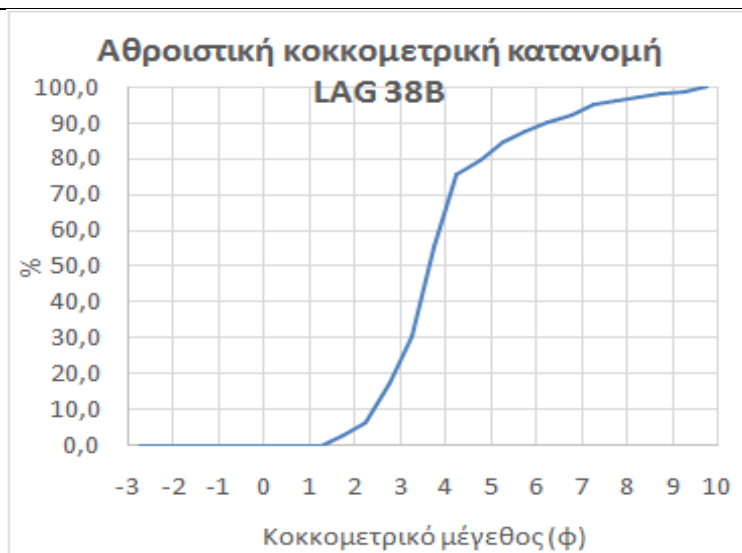
min	max	LAG 6	LAG 18	LAG 19	LAG 20 (B)	LAG 23	LAG 24	LAG 25	LAG 27	LAG 29	LAG 30(A)	LAG 30(B)	LAG 31	LAG 32(A)	LAG 32(B)	LAG 34	LAG 35	LAG 36	LAG 37	LAG 38(A)	LAG 38(B)
-3,0	-2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2,5	-2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-2,0	-1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.201215	0	0	0	0	0	0	0	0
-1,5	-1,0	0.051619	0	0	0	0	0	0	0.763175	0	0	0.105344476	0.442674	0	0	0	0	0	0	0	0
-1,0	-0,5	0.302338	0	0	0	0	0	0	1.52635	0.205052	0	0.280918604	0.845104	0.039783577	0	0	0	0	0.078638	0.341253253	0
-0,5	0,0	1.036059	0	0	0	11.81152	0	0	2.49036	0.328084	0	0.632066859	1.247535	0.119350732	0	0	0	0	1.57276	1.194386384	0
0,0	0,5	2.234348	0	0	0	15.1623	0	0	2.594794	0.328084	0.035267771	2.120935459	1.649966	0.119350732	0	0	0.365193	0	3.165179	1.919549546	0
0,5	1,0	4.229039	0	1.564605	0	18.93194	0	0	4.201478	0.615157	0.246874394	2.823231969	2.132883	0.915022279	2.210175146	0	0.365193	0	9.298942	2.730026021	0
1,0	1,5	12.76455	1.883435	1.564605	24.91558854	26.13613	0.396132	1.265289	4.514781	0.615157	0.396762419	4.143549407	3.01823	0.915022279	2.210175146	0.576544	0.726189	0	18.38163	3.796442435	0
1,5	2,0	21.35167	3.911464	2.690252	32.9254839	35.47644	3.165171	2.800506	9.33885	4.99918	1.733410922	6.7806728	6.901686	2.54614895	3.928273561	1.608254	2.216346	2.428916	30.11835	7.797636821	2.837408998
2,0	2,5	37.67421	8.957437	3.789821	45.03727476	52.10471	11.90337	8.064108	17.60122	13.62779	5.306036079	12.59217642	16.29844	4.937141948	5.938281902	9.09953	4.483063	5.768675	48.81453	10.16508126	6.482172858
2,5	3,0	50.60836	16.19828	5.306619	53.42827533	63.71099	23.57373	16.39814	25.87163	23.33497	11.06526301	18.912845	25.75959	8.895607893	8.24854045	25.62206	7.425597	9.956627	59.69017	20.10408224	17.31379503
3,0	3,5	65.98784	29.92913	10.00986	61.496025	72.45733	40.36206	33.50239	38.49442	40.85291	22.70362729	29.01538029	40.26977	20.90173025	16.71944795	51.04138	19.99166	21.69126	70.36602	35.13828276	30.1585609
3,5	4,0	74.57938	40.96071	18.16026	67.06348922	78.01343	50.57394	48.92016	49.94292	52.92307	36.54133326	35.97935514	53.30059	34.88671285	32.08194799	64.13548	38.08598	36.88215	78.33876	59.79450253	55.57627469
4,0	4,5	84.77732	53.52789	36.79347	74.9132773	83.94743	65.16143	69.06235	66.04852	66.40423	46.17025892	48.01175422	71.14894	57.08726531	55.78286474	76.26755	58.1688	58.20993	88.52377	79.21262808	75.33483986
4,5	5,0	86.78408	57.67261	43.08553	77.95026638	85.76508	70.09672	74.38591	70.40414	70.50411	51.44884683	52.080972	79.57537	61.71834434	63.06771729	78.77107	63.07692	63.09027	91.66338	83.4918493	79.36892527
5,0	5,5	89.94329	64.59815	53.4959	82.71228658	88.98364	77.24502	81.40475	76.89725	76.7536	61.11759771	60.79166085	87.86914	69.22686714	71.92977461	82.9122	70.45308	70.69021	94.68978	88.24751021	84.74494378
5,5	6,0	91.85663	69.59966	60.05954	85.57600507	91.09002	81.2732	85.10003	80.76787	80.53505	67.51103956	67.02346975	90.96536	74.06025203	76.57906179	85.59461	75.03203	75.26365	95.83485	90.52155026	87.66681442
6,0	6,5	93.5562	74.75895	66.18949	88.18171266	93.03723	84.77416	88.10992	84.27388	84.00818	73.50360278	72.77126925	92.9633	78.69796061	80.68570302	88.15041	79.40335	79.5156	96.65276	92.41166409	90.14692994
6,5	7,0	95.03254	79.82866	71.89572	90.56913316	94.75209	87.86798	90.63745	87.46663	87.21687	79.00591373	77.91863732	94.44313	83.09535164	84.52641327	90.54449	83.59468	83.54971	97.34851	94.10273673	92.30969593
7,0	7,5	96.80422	86.53184	79.49082	93.68619914	96.78185	91.76384	93.71467	91.61307	91.43811	86.09438321	84.36621827	96.19166	88.89672385	89.68001665	93.65792	89.23664	89.01473	98.23777	96.25185325	94.99725375
7,5	8,0	97.66179	89.95753	83.60726	95.32774559	97.73446	93.72511	95.24253	93.80276	93.67543	89.79383985	87.6914116	97.05756	91.92582528	92.40389837	95.25089	92.22957	91.94416	98.68407	97.32008078	96.33142768
8,0	8,5	98.28211	92.46745	86.86454	96.58144384	98.40066	95.14999	96.34819	95.48868	95.39243	92.6133137	90.24246505	97.68163	94.20766985	94.4634149	96.41695	94.49388	94.17685	99.01192	98.0907898	97.29242487
8,5	9,0	98.9356	95.11445	90.7552	97.94158758	99.06535	96.67503	97.51556	97.32993	97.25899	95.6492593	93.24113295	98.40012	96.61189115	96.68120605	97.64949	96.85072	96.54884	99.37184	98.87796204	98.29606978
9,0	9,5	99.27164	96.46814	92.99815	98.63012429	99.38708	97.49254	98.13557	98.25453	98.19685	97.15452171	94.95830003	98.8447	97.78597821	97.79829874	98.28469	97.97305	97.72056	99.57207	99.26898145	98.82488294
9,5	10,0	100	99.99924	99.99892	100	100	99.99981	99.99963	100	99.99999	99.9999941	99.9998459	100	99.99999514	100	99.99979	100	99.99999	100	99.99999094	100

**Παράρτημα 1. Πίνακας 4. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων  
(Λαγόλιο)**





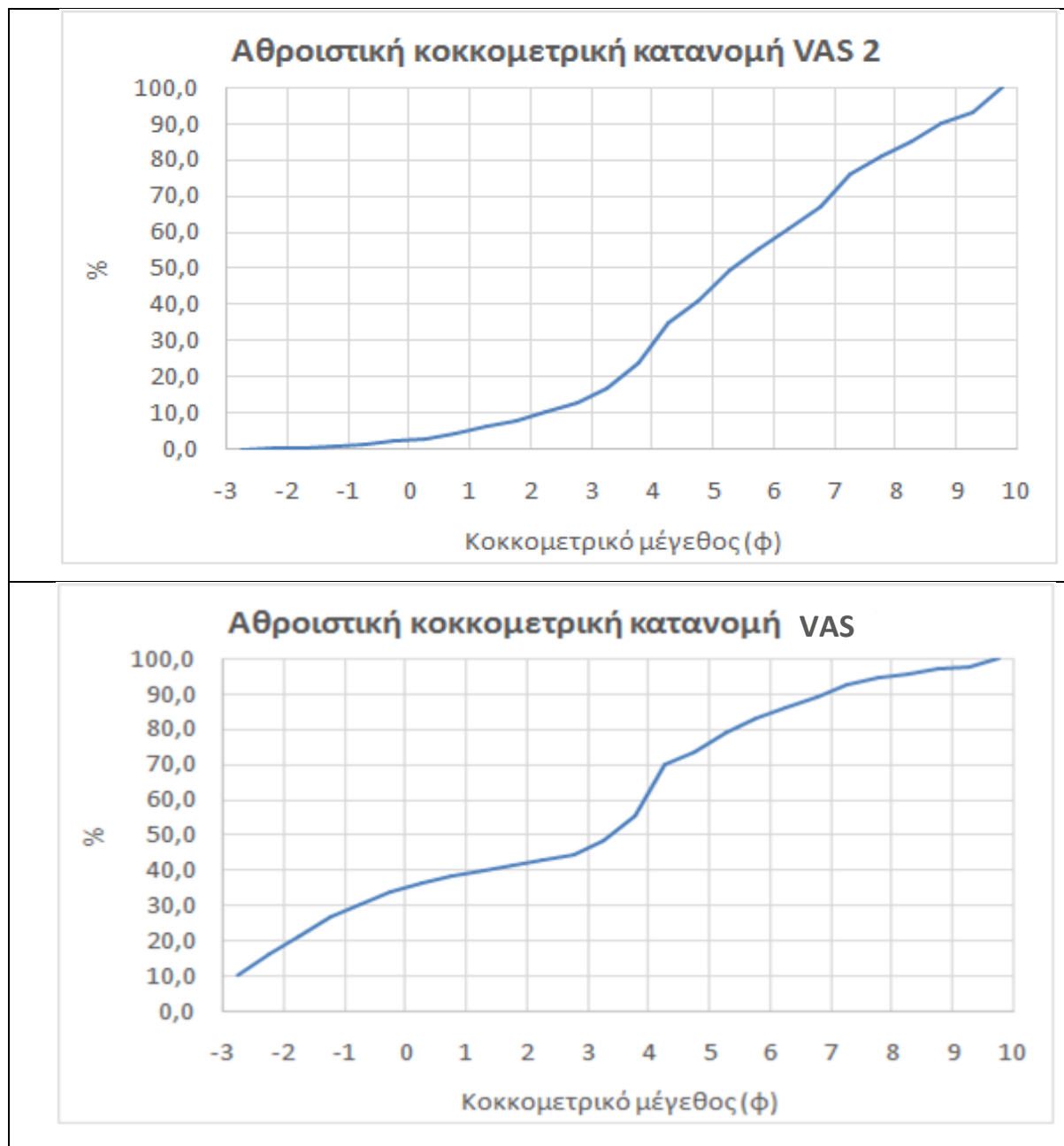




**Παράρτημα 1. Πίνακας 5. Ποσοστιαίες Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων  
(Βασιλική)**

min	max	VAS 2	VAS 3
-3,0	-2,5	0	10.20809
-2,5	-2,0	0.180148	16.47099
-2,0	-1,5	0.47559	21.30604
-1,5	-1,0	0.947577	26.69937
-1,0	-0,5	1.383534	30.5329
-0,5	0,0	2.215817	34.13297
0,0	0,5	2.972437	36.52851
0,5	1,0	4.298325	38.36576
1,0	1,5	6.078184	39.97632
1,5	2,0	7.735543	41.20115
2,0	2,5	10.13511	42.80832
2,5	3,0	12.71122	44.36474
3,0	3,5	16.86633	48.65361
3,5	4,0	23.68024	55.66619
4,0	4,5	35.11891	69.95073
4,5	5,0	40.98169	73.45918
5,0	5,5	49.63161	79.20756
5,5	6,0	55.32704	82.89603
6,0	6,5	61.18412	86.30137
6,5	7,0	67.23573	89.29209
7,0	7,5	76.05141	92.81238
7,5	8,0	81.11615	94.48837
8,0	8,5	85.27541	95.7184
8,5	9,0	90.23794	97.07222
9,0	9,5	92.90723	97.77761
9,5	10,0	99.99742	99.9995

**Παράρτημα 1. Πίνακας 6. Διαγράμματα Αθροιστικών κοκκομετρικών κατανομών δειγμάτων (Βασιλική)**





**Παράρτημα 1. Πίνακας 7. Κοκκομετρικές αναλύσεις  
(Φανερωμένη)**

Δείγμα(gr)	FAN 1	FAN 3	FAN 4	FAN 8	FAN 11	FAN 11B	FAN 11C	FAN 12	FAN 14	FAN 15	FAN 16	FAN 18A	FAN 18B	FAN 18C
Αρχικό Βάρος	290.3	291.5	283	278.4	296.8	299.8	285.6	288	259.1	279.6	290.2	297.3	276.2	290.2
Βάρος μετά από υγρή κοσκίνηση (>63 μm)	217.72	171.71	205.35	244.72	209.47	214.39	214.85	190.32	205.39	220.84	245.68	254.15	252.42	253.24
8000	—	—	5.3	104.1	—	—	—	24.6	—	—	156.8	24.2	—	18.9
5600	0.6	—	0.9	7.1	0.6	1.4	0.5	3.9	2.5	—	7.8	10.9	—	2.8
4000	1.1	—	2.6	1.7	1	2.2	0.7	2	1.5	—	4.2	7.1	—	1.7
2830	3	—	9.4	0.8	1.5	2.8	1.4	1.5	2	2.4	1	5.3	—	1.5
2000	4.9	0.1	15	0.3	1.1	1.7	1.3	0.6	2	2.6	0.9	3.2	—	0.9
1400	8	0.7	22.9	0.4	1.2	1.8	1.7	0.5	2.4	2.2	1.1	3.1	0.6	1.7
1000	8.4	0.9	14.6	0.4	1.1	1.7	1.3	0.5	2.2	1.5	1.2	2,7 + 0,3	1.4	2.3
710	12	1.3	18.9	0.9	0.9	1.7	1.1	0.4	2.4	1.8	1.2	6.7	6.5	5.3
500	17.3	1.7	18.8	2.4	1.2	1.8	1.6	1.2	3.5	2.5	1.3	13.3	22.2	14.7
355	19.18	1.77	14.23	12.31	7.34	6.68	6.51	7.18	14.65	3.64	3.5	27.13	40.19	31.4
250	29.81	3	16.95	17.14	21.75	20.08	21.73	7.98	24.48	7.24	5.82	41.35	76.69	62.12
180	26.06	5.08	12.78	15.86	37.65	36.48	40.04	10.56	38.28	10.16	5.81	36.29	47.69	38.49
125	34.67	34.04	15.5	31.32	55.45	55.85	63.64	24.19	58.06	46.59	12.36	30.98	31.3	28.28
90	17.34	46.97	11.08	19.74	34.34	31.76	33.15	23.4	28.1	89.04	11.69	12.28	11.15	19.44
63	21.56	51.48	16.71	19.64	31.17	33.16	27.19	33.56	16.32	40.12	19.29	12.75	9.78	17.2
Pan	12.09	23.95	8.19	9.62	10.95	14.5	12.39	46.79	6.06	9.63	11.26	14.98	3.59	5.4
Βάρος μετά από υγρή κοσκίνηση (>63 μm)PAN	2.12	21.86	65.65	28.23	80.84	74.91	5.9	98.11	46.6	52.58	37.89	34.91	20.46	30.15

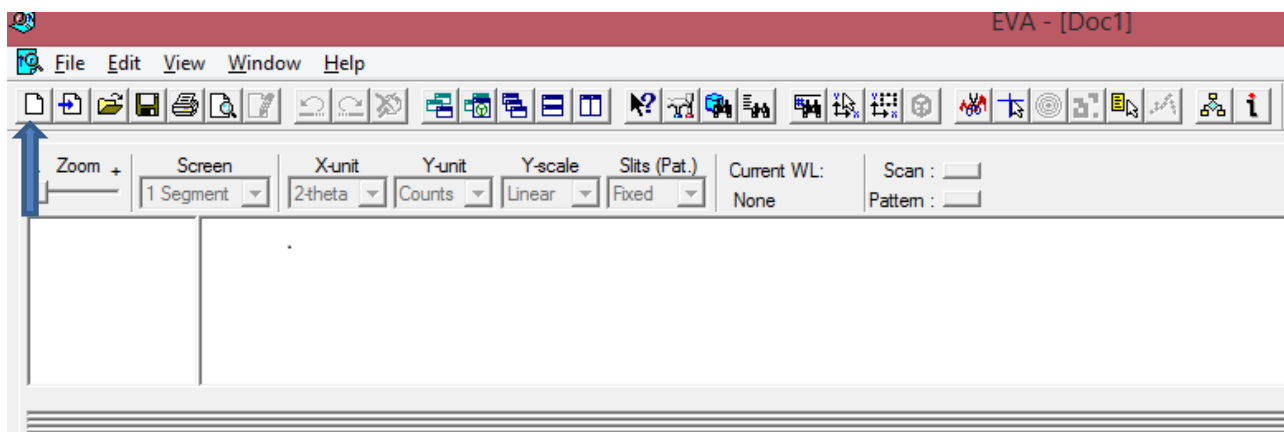
**Παράρτημα 1. Πίνακας 8. Κοκκομετρικές αναλύσεις  
(Λαγόλιο)**

Δείγμα(gr)	LAG 6	LAG 18	LAG 19	LAG 20B	LAG 23	LAG 24	LAG 25	LAG 27	LAG 29	LAG 30A	LAG 30B	LAG 31	LAG 32A	LAG32B	LAG 34	LAG 35	LAG 36	LAG 37	LAG 38A	LAG 38B
Αρχικό Βάρος	283.17	294.27	282	282.8	282.5	297.6	277.1	288.5	274.7	294.9	267.7	293.9	268.5	263.9	264.5	277	280.2	271.1	283.6	283.6
Βάρος μετά από υγρή κοσκίνηση (>63 μm)	235.94	129.15	127.25	203.34	241.01	168.47	161.63	172.91	168.94	162.01	189.5	162.01	160.59	135.86	197.91	162.37	164.77	216.93	199.89	215.49
8000	-		—	—	—	—	—	0.9	3.5	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5600	-		—	—	—	—	—	2	1.2	—	3.3	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—
4000	-		—	—	5.3	—	—	2	0.1	—	0.7	3.8	—	—	—	—	1.3	—	—	—
2830	0.14		—	—	4.8	—	—	1.9	1.2	0.1	6.1	0.8	—	—	—	—	3	—	—	—
2000	0.68	—	35.3	9.2	11.4	0.1	—	1.9	4.2	0.6	0.8	2.2	0.9	1.5	—	0.07	3.5	0.9	0.8	—
1400	1.99	—	5.3	4.5	28.2	0.7	—	2.4	1.9	0.5	7.5	2.3	1.5	5.6	—	3.9	0.1	4.3	2	—
1000	3.25	—	3.5	3.7	16.8	1.2	—	2.6	0.7	0.5	4.3	2	2.7	6.6	—	5	0.1	8.1	1.7	—
710	5.41	—	3.6	3.9	16.5	2.4	—	4	2.1	0.9	4.2	2.2	3.5	5.7	—	5.2	0.1	15.6	1.9	—
500	23.15		2.6	6.3	17.4	5.1	—	7.8	4.2	1.7	4.7	4.4	4.3	5.1	—	5.3	0.1	23.1	2.5	—
355	23.29	5.08	51.56	21.6	102.24	9.54	3	25.47	17.02	9.67	34.9	22.94	12.99	25.79	1.52	20.02	34.93	51.97	9.38	6.08
250	44.27	5.47	2.59	22.17	22.3	7.13	3.64	12.01	10.69	3.79	7.51	9.65	4.1	4.12	2.72	3.55	5.04	29.85	5.55	7.81
180	35.08	13.61	2.53	22.95	39.7	22.5	12.48	20.57	21.04	10.13	16.55	23.35	6.01	4.82	19.75	5.4	6.93	47.55	23.3	23.21
125	41.31	19.53	3.49	28.22	27.71	30.05	19.76	20.59	23.67	16.33	18	23.51	9.95	5.54	43.56	7.01	8.69	27.66	31.29	26.14
90	21.2	33.94	10.4	40.75	20.66	42.22	38.57	29.95	41.71	33	28.77	25.1	29.25	15.69	66.42	28.46	23.69	22.28	50.13	50.01
63	23.6	23.58	13.89	25.21	11.87	21.05	30.37	23.11	24.99	34.62	18.1	13.4	30.37	26.09	31.73	37.56	27.84	12.35	35.09	35
Pan	8.27	24.55	32.65	29.17	11.19	27.63	37.18	31.45	25.19	17.39	27.32	19.95	47.12	40.54	27.06	38.41	36.81	16.31	31.64	44.85
Βάρος μετά από υγρή κοσκίνηση (>63 μm)PAN	39.58	2.81	9.5	13.12	3.83	8.28	13.75	9.45	3.88	36.83	18.15	22.9	19.81	12.61	4.77	7.1	11.41	7.99	12.65	15.16

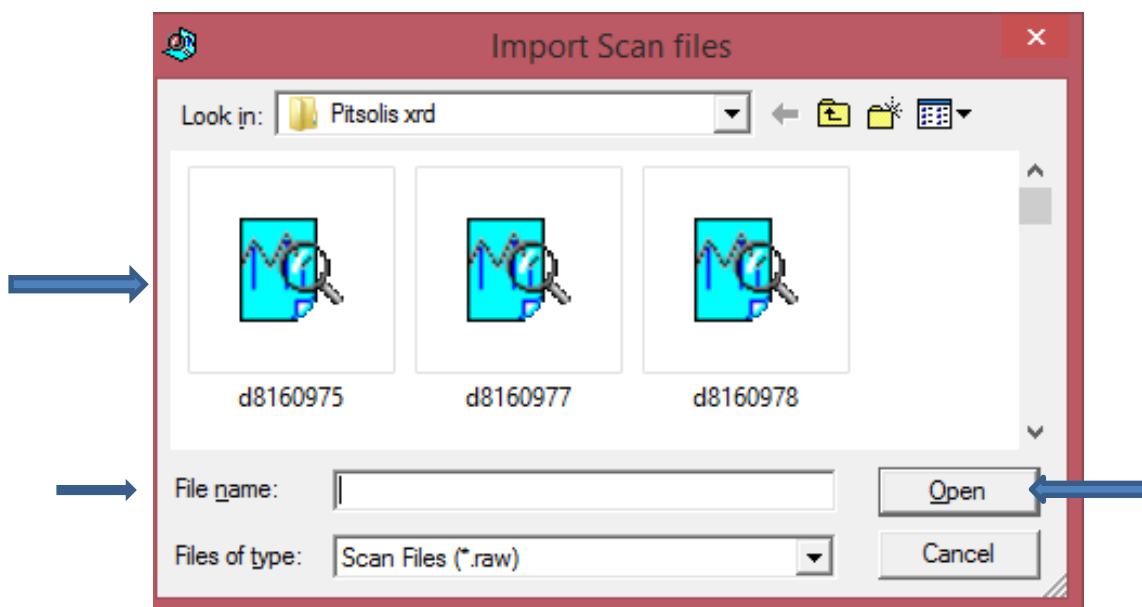
**Παράρτημα 1. Πίνακας 9. Κοκκομετρικές αναλύσεις  
(Βασιλική)**

<b>Δείγμα(gr)</b>	<b>VAS 2</b>	<b>VAS 3</b>
<b>Αρχικό Βάρος (gr)</b>	292,29	300,82
<b>Βάρος μετά από υγρή κοσκίνηση (&gt;63 μm) (gr)</b>	79,91	202,86
<b>8000</b>	-	30,17
<b>5600</b>	0,5	18,51
<b>4000</b>	0,82	14,29
<b>2830</b>	1,31	15,94
<b>2000</b>	1,21	11,33
<b>1400</b>	2,31	10,64
<b>1000</b>	2,1	7,08
<b>710</b>	3,68	5,43
<b>500</b>	4,94	4,76
<b>355</b>	4,6	3,62
<b>250</b>	6,66	4,75
<b>180</b>	7,15	4,6
<b>125</b>	8,64	11,66
<b>90</b>	10,4	16,21
<b>63</b>	17,97	34,39
<b>Pan</b>	4,12	9,73
<b>Βάρος μετά από υγρή κοσκίνηση (&gt;63 μm)PAN</b>	201,14	92,44

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ ΧΡΗΣΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ EVA



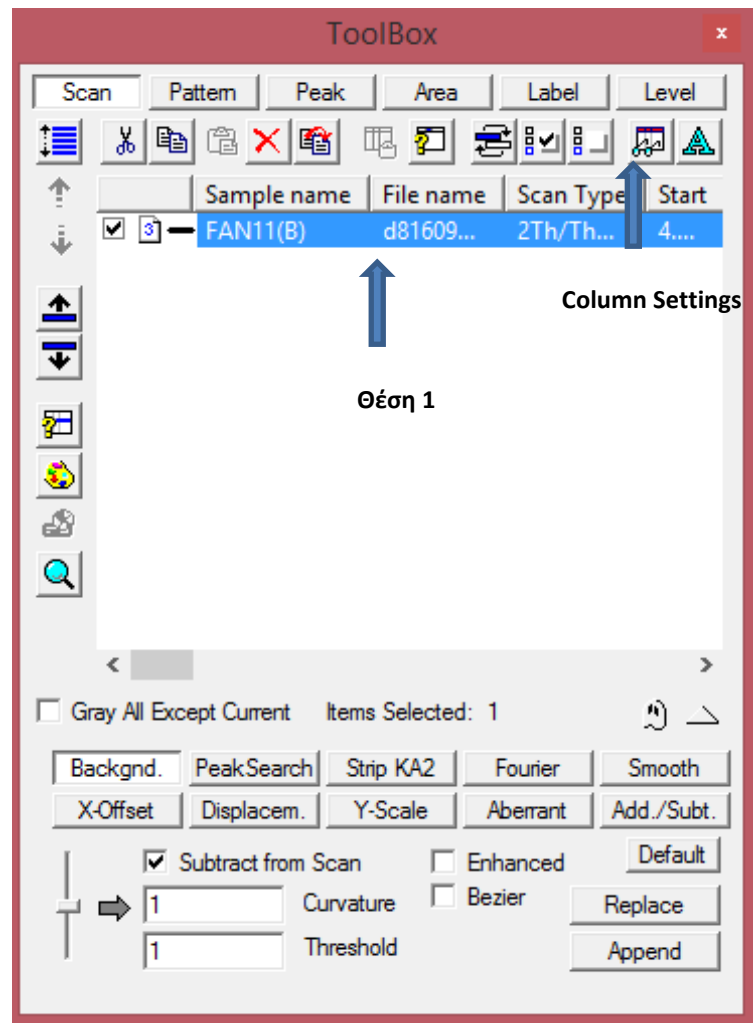
Μόλις ανοιχθεί το πρόγραμμα, θα πρέπει να πατηθεί το εικονίδιο που φαίνεται στην εικόνα, προκειμένου να εισαχθούν τα ακτινογραφήματα (**raw-files**) που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση και (ημι)ποσοτικοποίηση των ορυκτών που περιέχουν τα δείγματα. Πατώντας κλικ στο συγκεκριμένο εικονίδιο εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



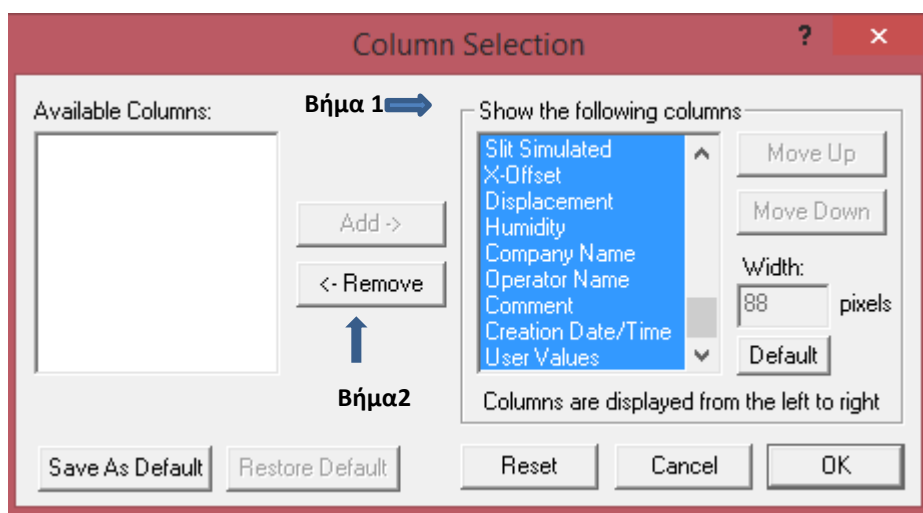
Στο συγκεκριμένο παράθυρο εμφανίζονται τα ακτινογραφήματα με την ονομασία τους. Είναι δυνατό πατώντας Ctrl + A και με δεξί κλικ να επιλεγούν όλα τα προς αναγνώριση δείγματα (επάνω βέλος αριστερά). Εναλλακτικά υπάρχει η δυνατότητα πληκτρολόγησης του ονόματος του αρχείου προς επεξεργασία (κάτω βέλος αριστερά). Και στις δύο περιπτώσεις κάνοντας

κλικ στο OPEN (βέλος δεξιά) προβάλλεται το ακτινογράφημα στο πρόγραμμα.

Έχοντας πραγματοποιήσει τα παραπάνω βήματα, εμφανίζεται η παρακάτω εικόνα (Αν δεν εμφανιστεί πατάμε το F2).

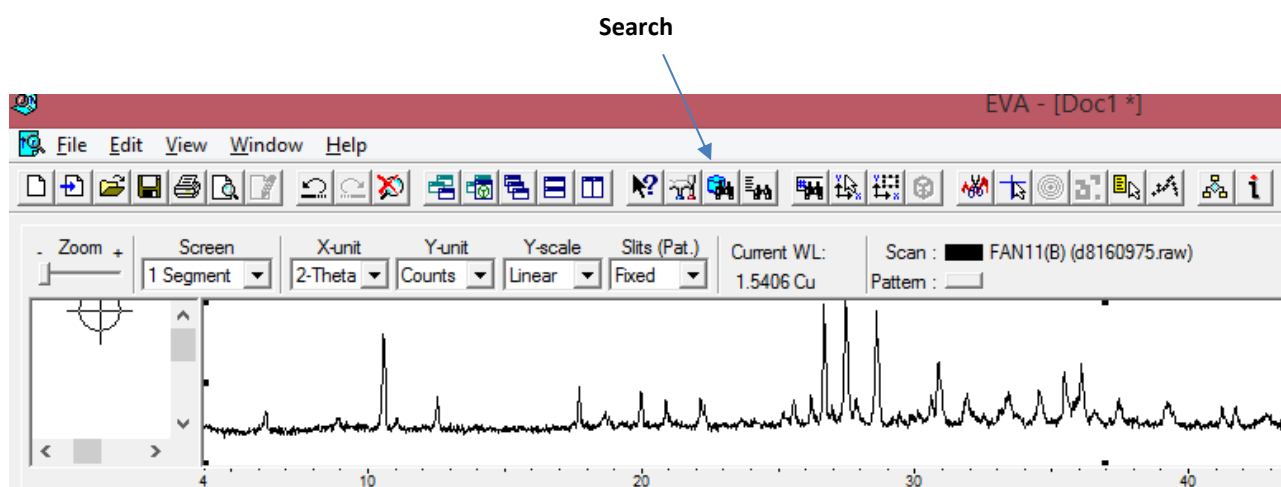


Στη θέση 1 πραβάλλεται το όνομα του δείγματος ενώ στο επόμενο το όνομα του Raw-file. Κάνουμε κλικ στο εικονίδιο που υποδικνύεται (Columnsettings). Στη συνέχεια, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



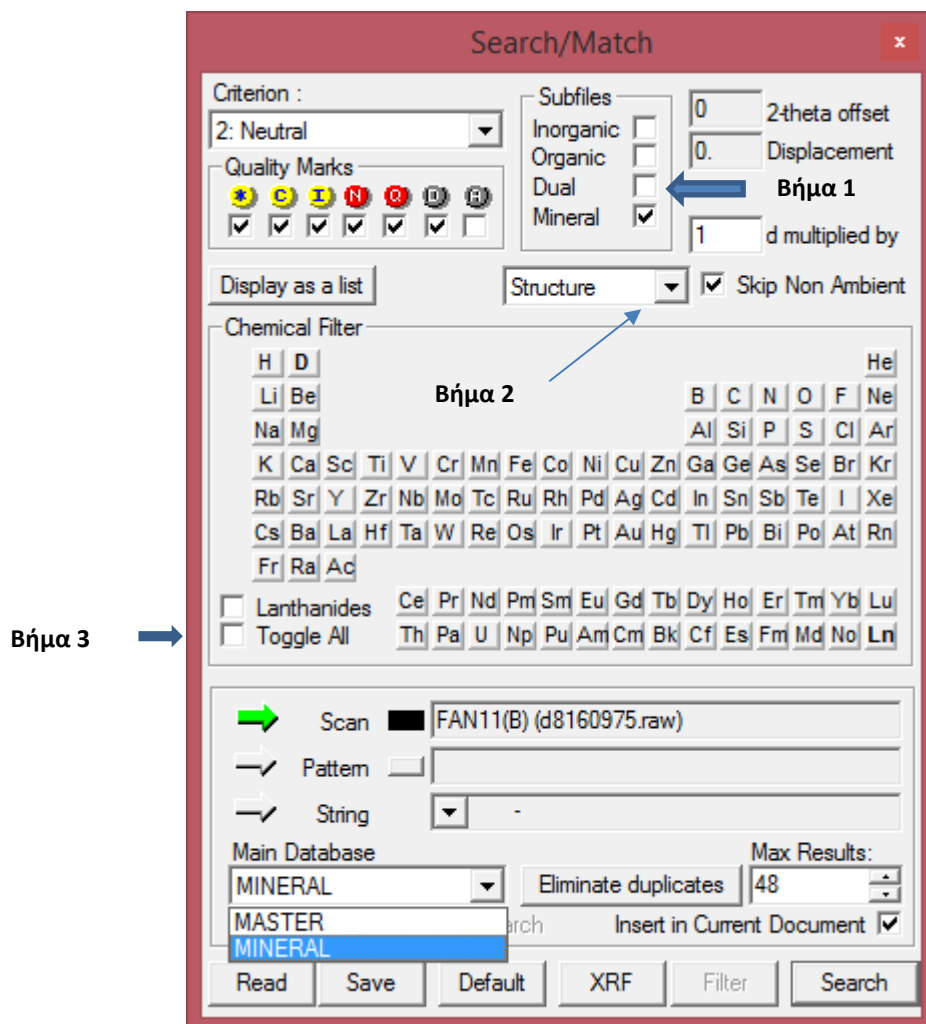
Βήμα 1: Επιλέγονται οι στήλες που χρειάζονται στην αξιολόγηση των ορυκτών για το συγκεκριμένο δείγμα. Στην παρούσα εργασία επελέγησαν όλες.

Βήμα 2: Επιλέγεται η καρτέλα Remove προκειμένου οι επιλεγμένες στήλες να μην είναι διαθέσιμες κατά τη διαδικασία της αναγνώρισης. Οι στήλες επιλέγονται ώστε να εμφανίζονται οι στήλες που θέλουμε να βλέπουμε. Συνήθως περιοριζόμαστε στις στήλες: sample name, file name, anode, S.Q.



Έχοντας ολοκληρώσει τα παραπάνω βήματα προετοιμασίας, επιλέγεται το εικονίδιο με την ονομασία Search. Κατόπιν παρατίθενται τα βήματα που ακολουθούνται με τη συγκεκριμένη επιλογή.

Πατώντας το κουμπί Search, που φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα, εμφανίζεται το συγκεκριμένο παράθυρο. Χρειάζεται να γίνουν κάποιες επιλογές προκειμένου να περιοριστούν τα ορυκτά που αναζητούνται με βάση τα χημικά στοιχεία που επιλέγουμε.

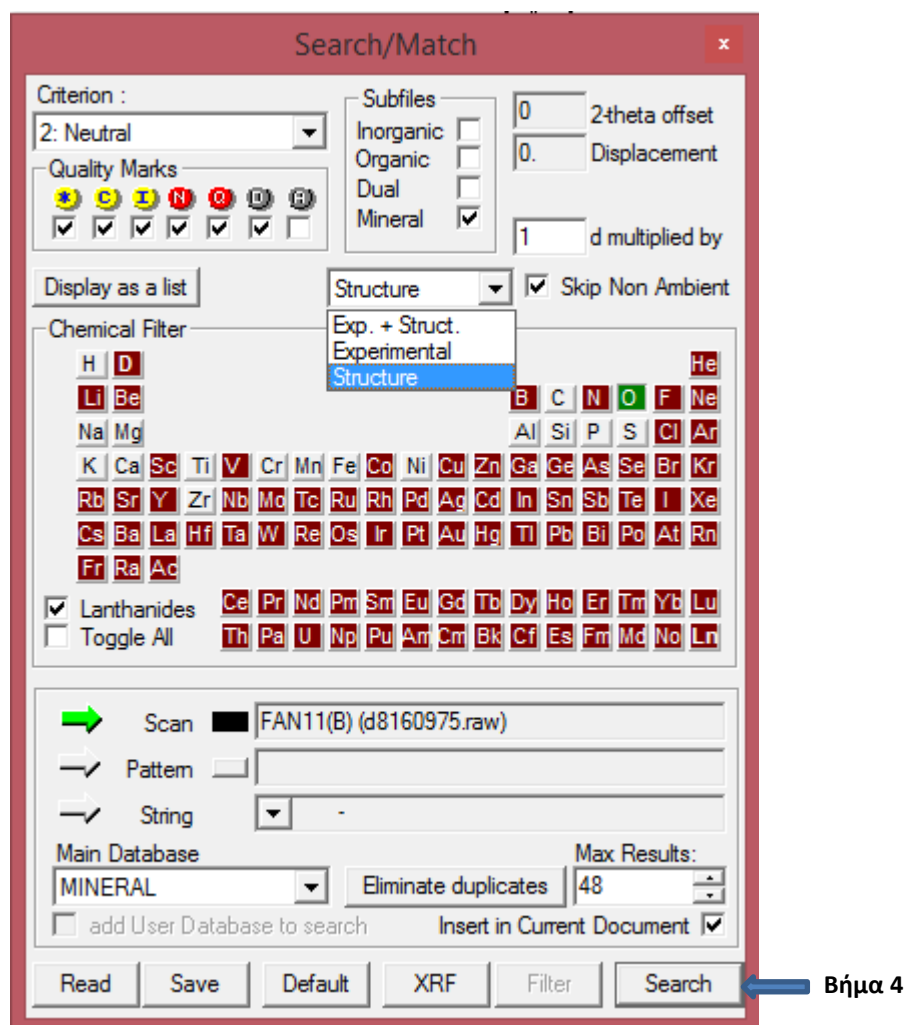


**Βήμα 1:** Σε αυτό το στάδιο, επιλέγεται ή όχι η φύση της αναζήτησης. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε αναγνώριση μόνο των ορυκτών (Mineral) και για αυτό το αντικαθιστούμε το MASTER με MINERALS.

**Βήμα 2:** Είναι ένα σημαντικό στάδιο. Στη συγκεκριμένη καρτέλα επιλέγεται η επιλογή Structure (βλέπε παρακάτω) και όχι η (Experimental + Structure). Η επιλογή Structure, στηρίζεται σε μια θεωρητική βάση δεδομένων ενώ η Experimental στηρίζεται σε πραγματικά δεδομένα από μετρημένα δείγματα ορυκτών. Επίσης δεν επιλέχθηκε η Experimental που αφορά μόνο δεδομένα από μετρημένα δείγματα ορυκτών.

**Βήμα 3:** «Κλικ» στην επιλογή ToggleAll. Η επιλογή αυτή επιλέγει αρνητικά όλα τα στοιχεία. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να επιλεγούν τα στοιχεία που κρίνονται απαραίτητα και με αυτόν τον

τρόπο ουσιαστικά αφαιρούνται από την αναζήτηση αχρείαστα στοιχεία. Έχοντας ολοκληρώσει τα παραπάνω βήματα εμφανίζεται το τελικό παράθυρο παρακάτω.

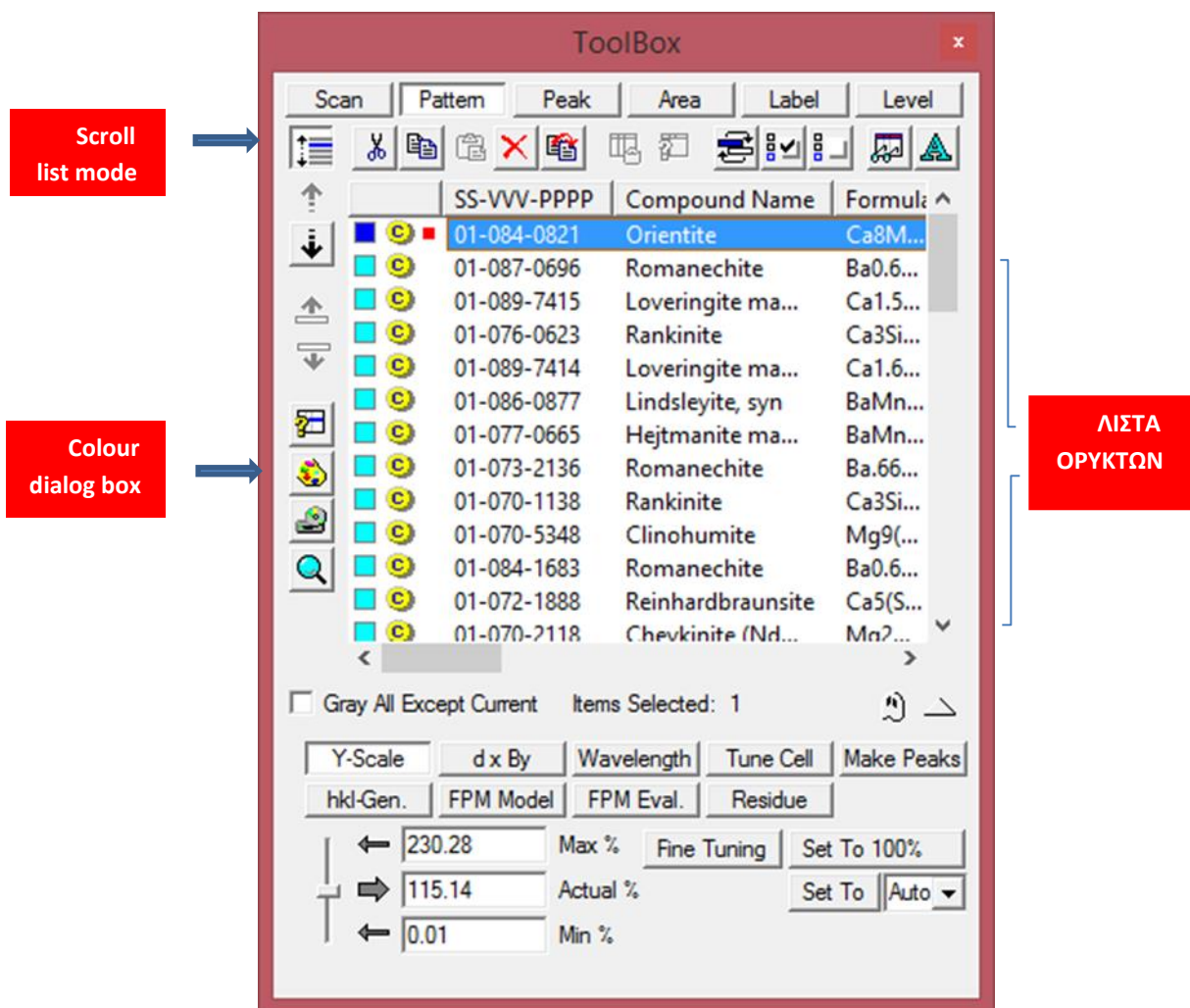


Με κόκκινο απεικονίζονται τα στοιχεία που δε λήφθηκαν υπόψη. Δηλαδή απομακρύνθηκαν χρησιμοποιώντας την εντολή ToggleAll από το βήμα 3. Στη συνέχεια πατώντας πάνω στο στοιχείο που είναι απαραίτητο, το χρώμα γίνεται γκρι. Με το χρώμα αυτό απεικονίζονται τα στοιχεία που χρειάστηκαν (πχ H, Na, Mg κλπ). Με πράσινο επιλέχθηκε το O (οξυγόνο) διότι κρίθηκε απαραίτητο από το χειριστή να συμπεριλάβει στην αναζήτηση οξείδια. Για να γίνει αυτό, αρκεί να πατηθεί διπλό κλικ επάνω στο στοιχείο. (πράσινο χρώμα αντιστοιχεί σε οξείδιο). Στη συνέχεια πραγματοποιείται το βήμα 4, δηλαδή η αναζήτηση (Search).

Το παραπάνω πλαίσιο μπορούμε να το φυλάξουμε με το save , δίνοντας ένα όνομα της αρεσκείας μας! Την επόμενη φορά που χρησιμοποιήσουμε το EVA μπορούμε να φορτώσουμε το παραπάνω πλαίσιο με το Read!

Κάνοντας αναζήτηση (Search) εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο με τη λίστα των πιθανών ορυκτών.

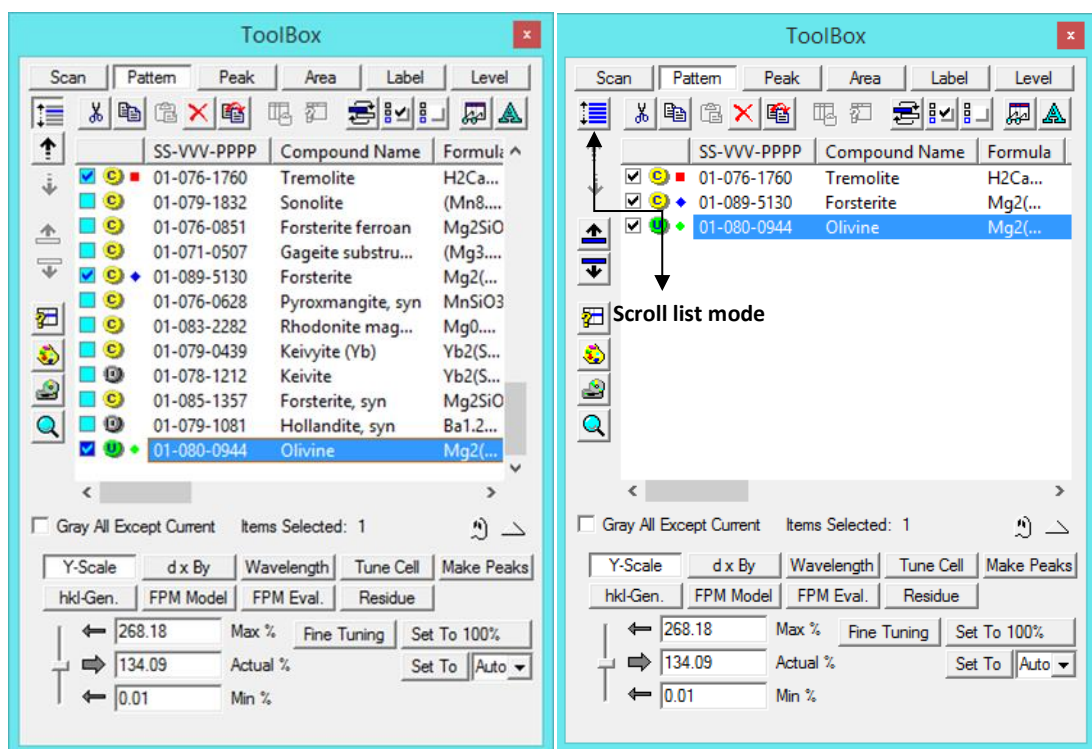




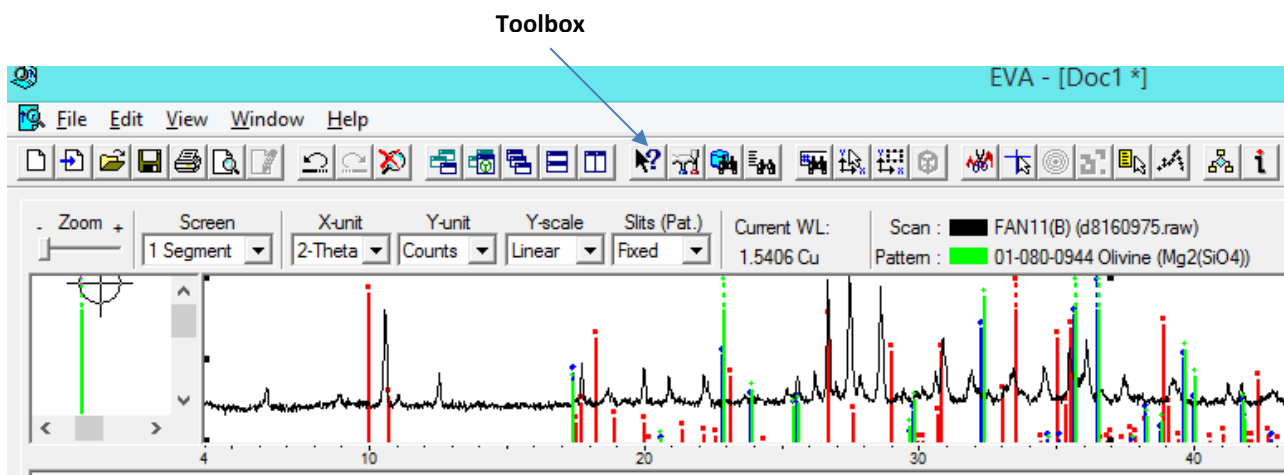
Στην παραπάνω εικόνα εμφανίζεται η λίστα ορυκτών. Για να επιλεγθεί ένα ορυκτό θα πρέπει να γίνει διπλό «κλικ» στο αντίστοιχο τετραγωνάκι. Στη λίστα εμφανίζονται πολλά ορυκτά, για αυτό το λόγο μόλις επιλεγθούν τα επιθυμητά ορυκτά επιλέγεται η επιλογή **Scroll list mode** η οποία αφαιρεί τα «ανεπιθύμητα» ορυκτά και διατηρεί στη λίστα μόνο αυτά που έχουν επιλεγθεί από το χρήστη. Επίσης υπάρχει η επιλογή **Colour dialog box** με την οποία αλλάζει το χρώμα του ακτινογραφήματος. Παρακάτω εμφανίζεται το αποτέλεσμα που προκύπτει από την επιλογή της **Scroll list mode**.

## Επιλογή ορυκτών με διπλό

## Χρήση εντολής Scroll list



Στη συνέχεια υπάρχει η δυνατότητα να βελτιστοποιηθεί το σφάλμα μετατόπισης. Ουσιαστικά λέγοντας σφάλμα μετατόπισης εννοείται το πόσο καλά «ταιριάζει» το ορυκτό στην αντίστοιχη κορυφή (peak) του ακτινογραφήματος. Για να διορθωθεί το σφάλμα αυτό θα πρέπει:



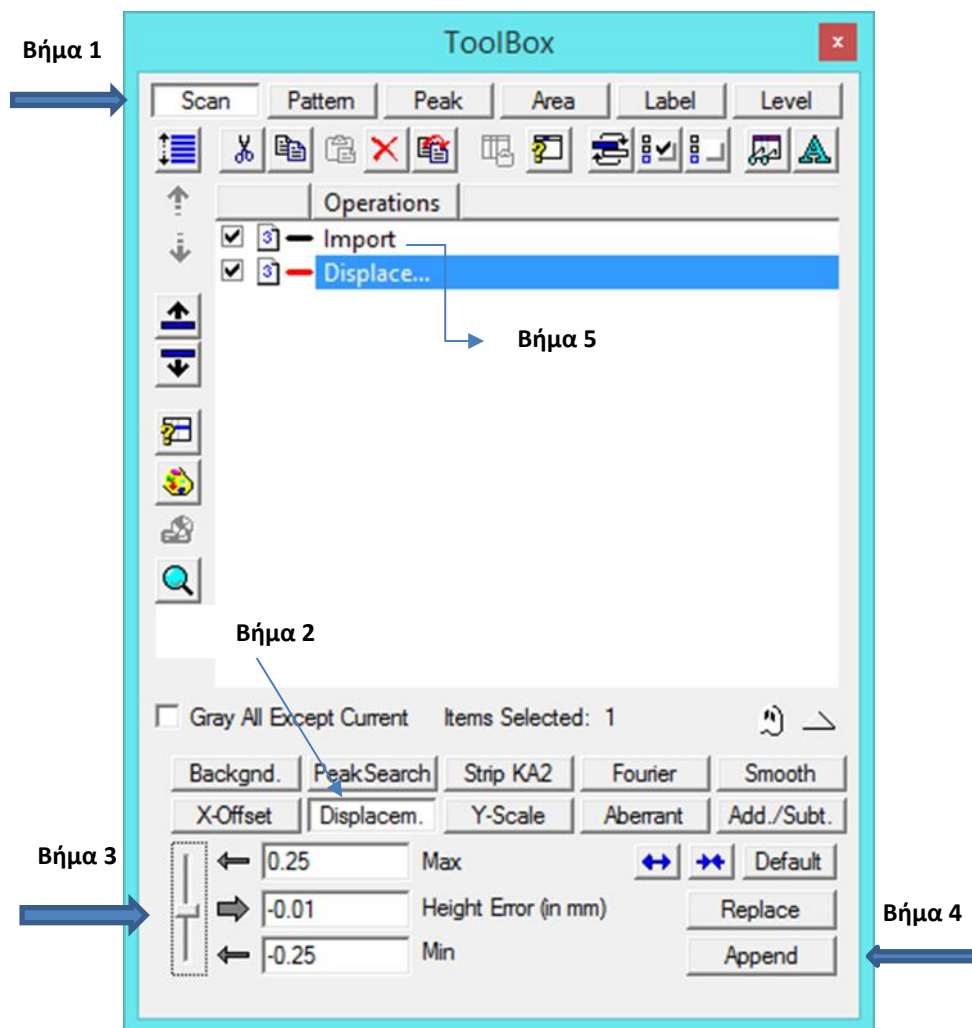
Από το αρχικό μενού επιλέγεται το εικονίδιο Toolbox (ή πληκτρολογείται από το χρήστη το F2)

Εν συνεχεία στο παράθυρο που εμφανίζεται: Scan (Βήμα 1) > Displacement (Βήμα 2)

> Μετατόπιση πάνω κάτω του κέρσορα μέχρι να διορθωθεί η μετατόπιση (Βήμα 3)

>Append (Βήμα 4) > Αφαίρεση Import (Βήμα 5)

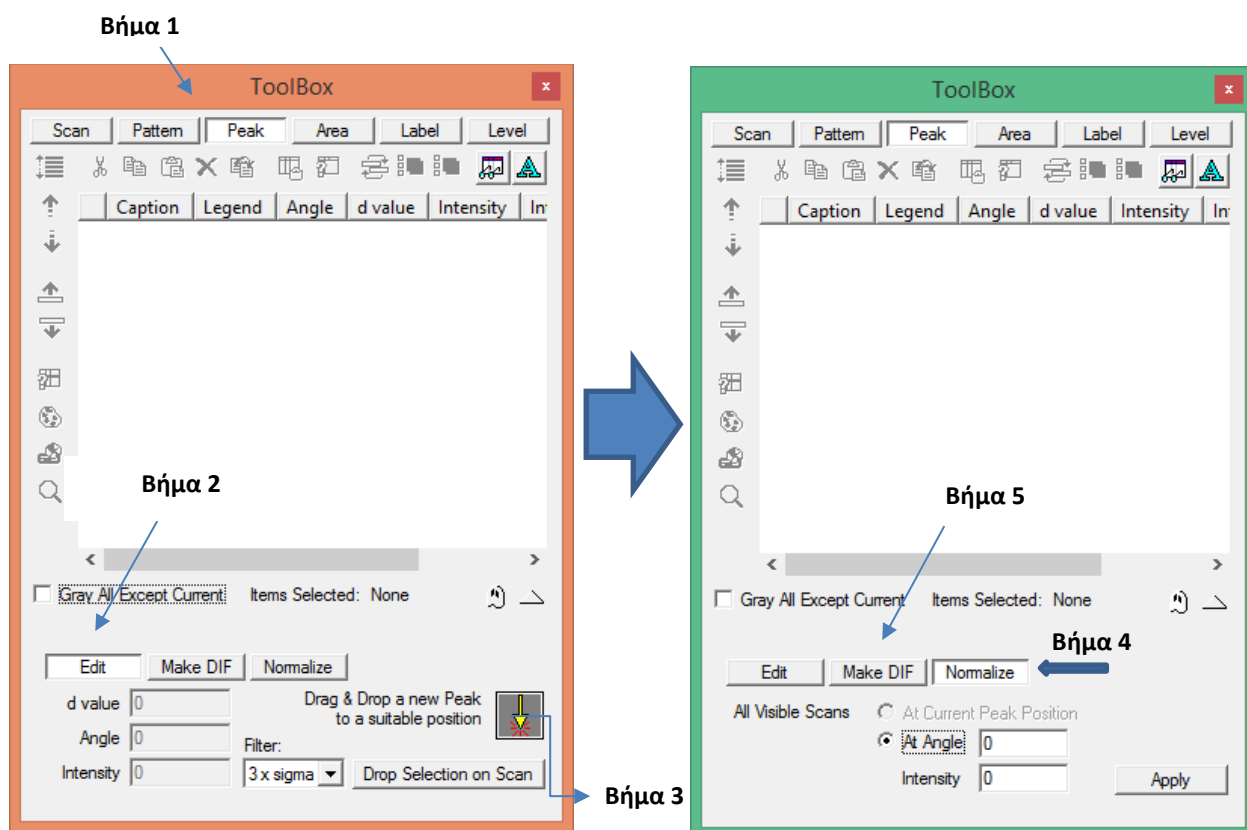
Έτσι, με αυτόν τον τρόπο παραμένει μόνο το Displacement που είναι η διόρθωση μετατόπισης που οφείλεται στην μετατόπιση του επιπέδου του παρασκευάσματος, λόγω κακής παρασκευής! Η διόρθωση αυτή γίνεται μόνο με peak ορυκτού με ακριβή στοιχειομετρία που σημαίνει σταθερές τιμές d!, π.χ. :Quartz. Ο ολιβίνης είναι ακατάλληλος επειδή σχηματίζει μεικτούς κρυστάλλους μεταξύ Φορστερίτη ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) και Φαγιαλίτη ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) και ως εκ τούτου οι τιμές d είναι συνάρτηση της αναλογίας ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )/ ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) ή όπως δίνεται στο γενικό τύπο ( $\text{Mg,Fe}$ ) $_2\text{SiO}_4$ .



### Επιλογή και search με συγκεκριμένα Peaks

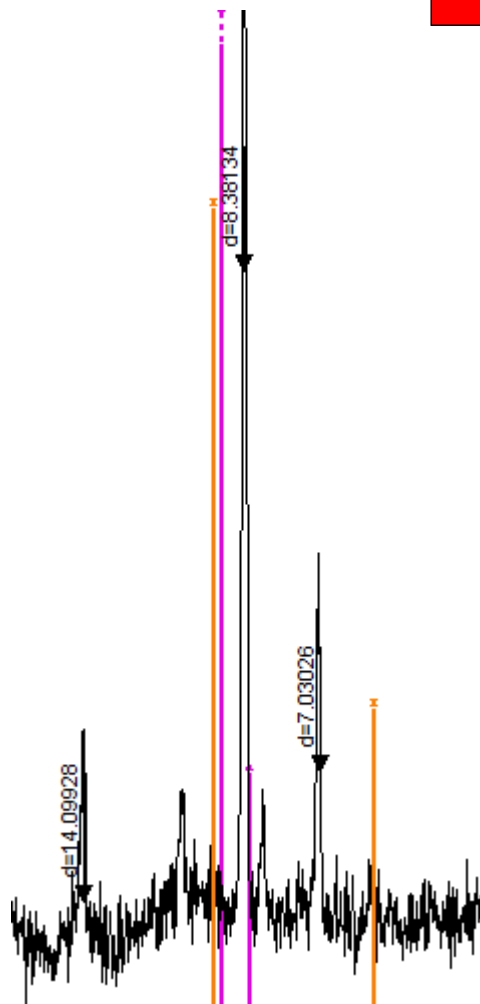
Χρησιμοποιώντας την εντολή Toolbox ακολουθούνται τα εξής βήματα:

Peak (Βήμα 1) >Edit (Βήμα 2) >Στα θερό κλικ και «Σύρσιμο» σε κάθε κορυφή μη αναγνωρισμένη του ακτινογραφήματος (Βήμα 3)>Normalize (Βήμα 4) >MakeDIF (Βήμα 5)

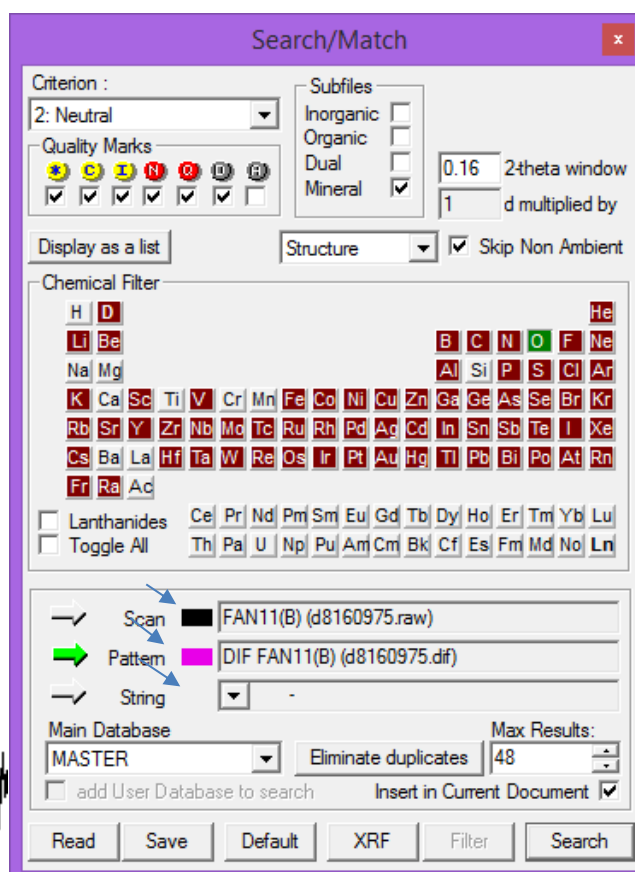


Κάνοντας τα παραπάνω βήματα εμφανίζονται τα peaks που έχουμε επιλέξει και το ακτινογράφημα παρουσιάζει την παρακάτω μορφή. Το βήμα 3, είναι απαραίτητο στην αναγνώριση κορυφών που δεν αναγνωρίστηκαν στην πρώτη αναζήτηση (Search) με την επιλογή Scan, οπότε κάνοντας το βήμα 3 και σε συνδυασμό με το βήμα 5 (Make DIF) θα πραγματοποιηθεί εκ νέου αναζήτηση αυτή τη φορά όμως με την επιλογή Pattern. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι εικόνες από τα όσα περιγράφηκαν στην παράγραφο αυτή.

Αποτέλεσμα πραγματοποίησης  
Βήματος 3



Πραγματοποίηση Search εκ νέου αυτή τη φορά όμως έχοντας επιλέξει την επιλογή Pattern και όχι την επιλογή Scan. Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιλογή String χρησιμοποιείται προκειμένου ο χρήστης να πληκτρολογήσει το ορυκτό που λόγω εμπειρίας ή βιβλιογραφίας ψάχνει.



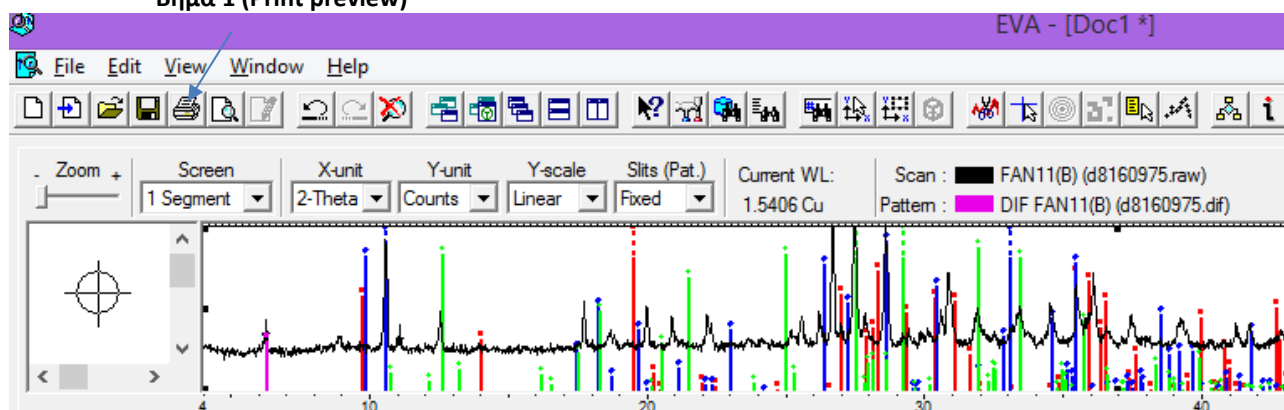
Με αυτά τα βήματα η αναζήτηση – αξιολόγηση των ακτινογραφημάτων. Το μόνο που απομένει είναι η αποθήκευση του αρχείου με τη μορφή εικόνας. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να επιλεγθεί από το αρχικό μενού η επιλογή printpreview. Πιο συγκεκριμένα τα βήματα που ακολουθούνται είναι:

Print preview (Βήμα 1) > setup (Βήμα 2) > Landscape (Βήμα 3) > ViewToolbox (Βήμα 4)> presentation style (Βήμα 5) > FRAME> Title (Βήμα 6) > Botton > Copy picture to Climport

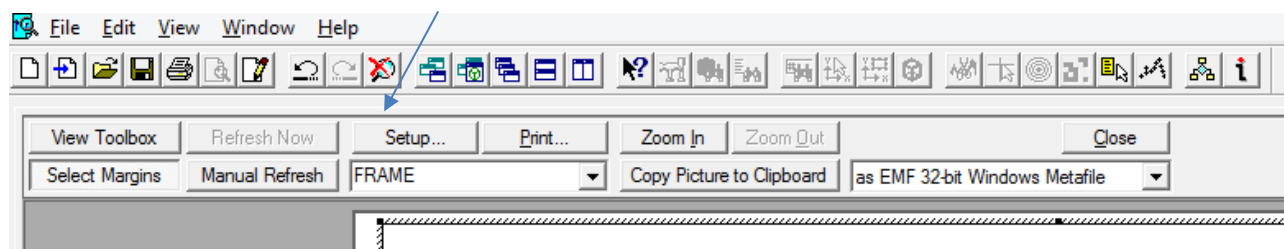
Τέλος, ξανά στο αρχικό μενού επιλέγεται η καρτέλα File > export > preview picture as metafile.

Παρακάτω παρατίθενται τα στάδια αναλυτικά με εικόνες

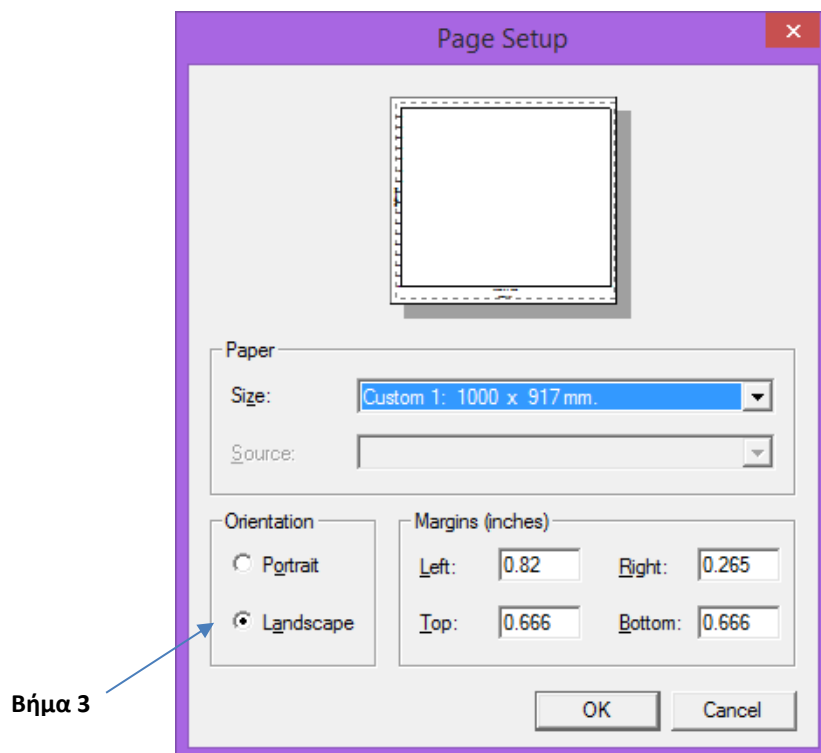
**Βήμα 1 (Print preview)**



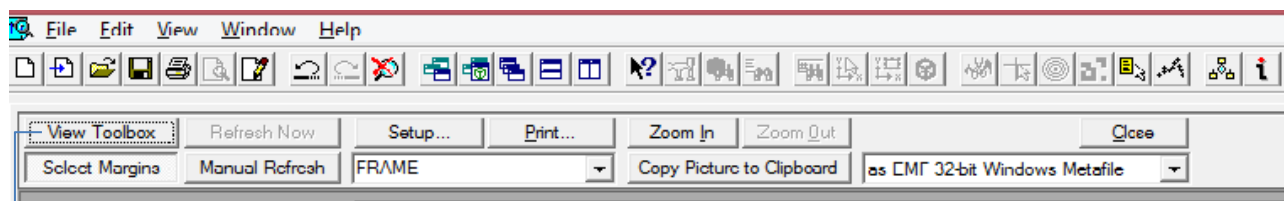
**Βήμα 2**



Επιλέγοντας το Setup, εμφανίζεται το παράθυρο που απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.

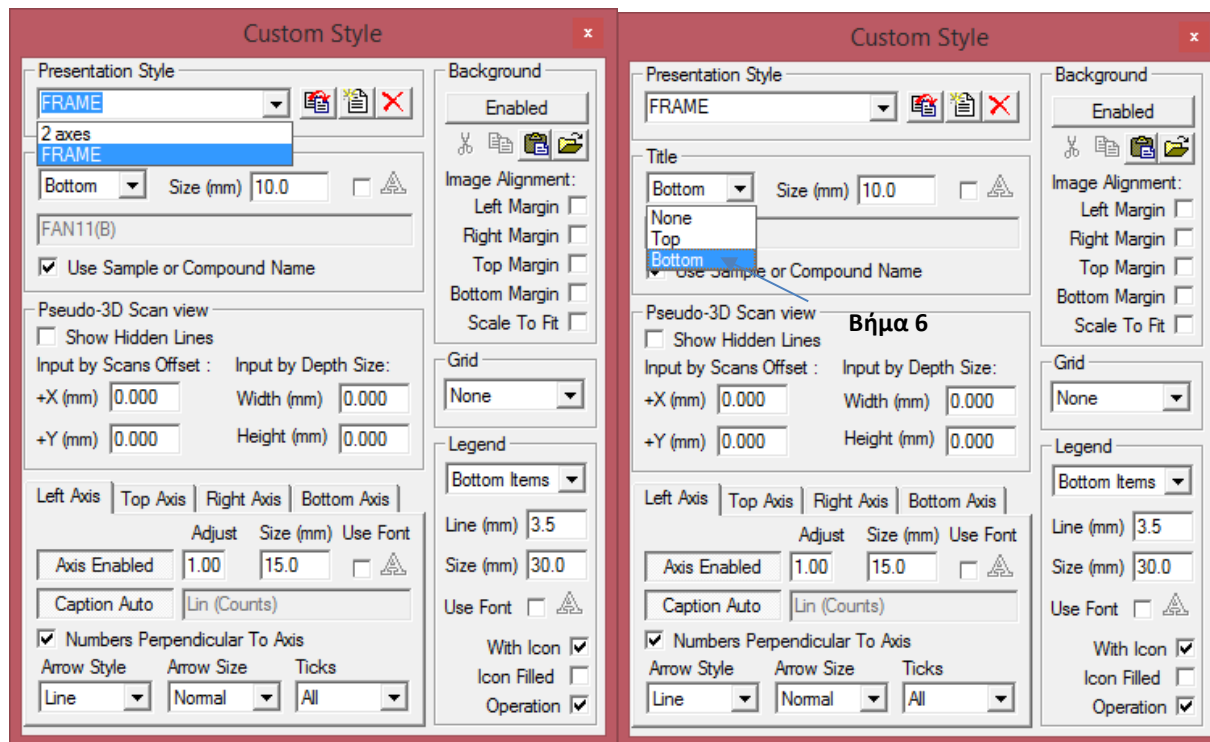


Στο επόμενο στάδιο, ο χρήστης καλείται να κάνει κλικ στην καρτέλα ViewToolbox



Βήμα 4

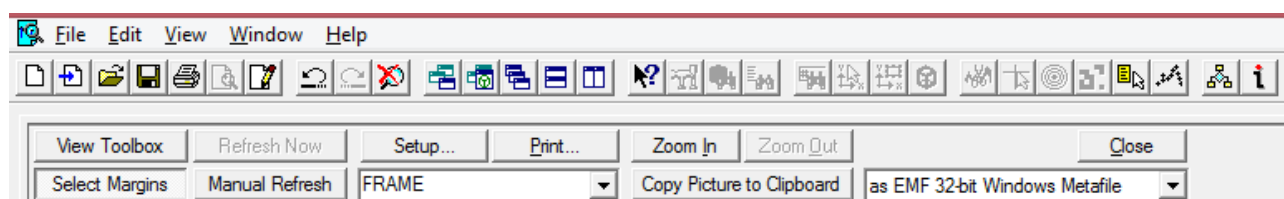
Στο παράθυρο που ανοίγει, θα πρέπει να γίνουν οι εξής επιλογές:



Βήμα 5

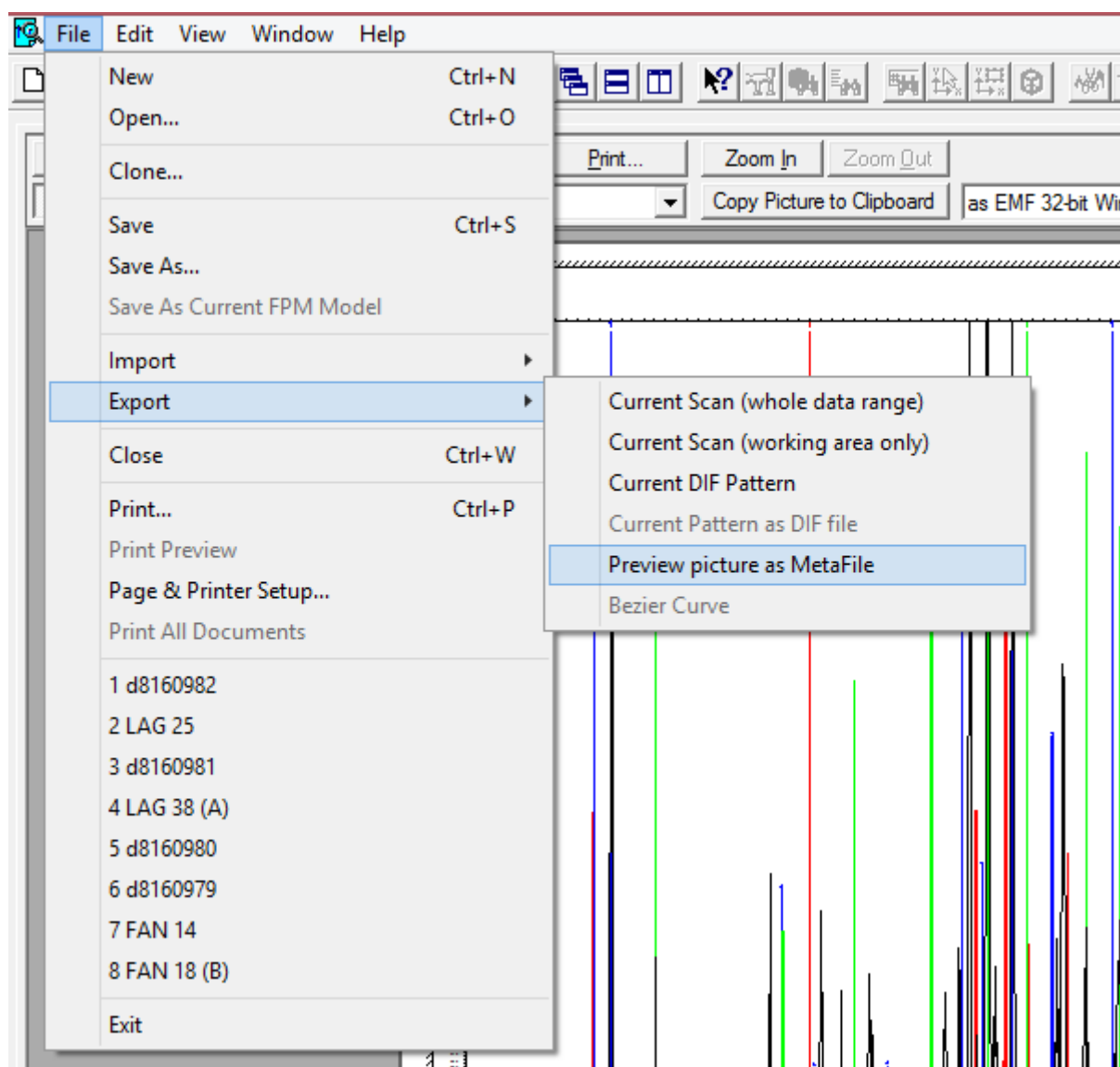
Βήμα 6

Επίσης, είναι εφικτό να αντιγραφεί η εικόνα όπου θελει ο χρήστης με την επιλογή **Copy picture to clipboard**



Έχοντας πραγματοποιήσει όλη την παραπάνω διαδικασία, μένει να αποθηκευτεί το αρχείο ως εικόνα. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει ο χρήστης να επιστρέψει στο αρχικό μενού. Έπειτα να κατευθυνθεί στην καρτέλα Files. Κατόπιν στην επιλογή Export και από εκεί στην επιλογή previewpictureasmetafile.





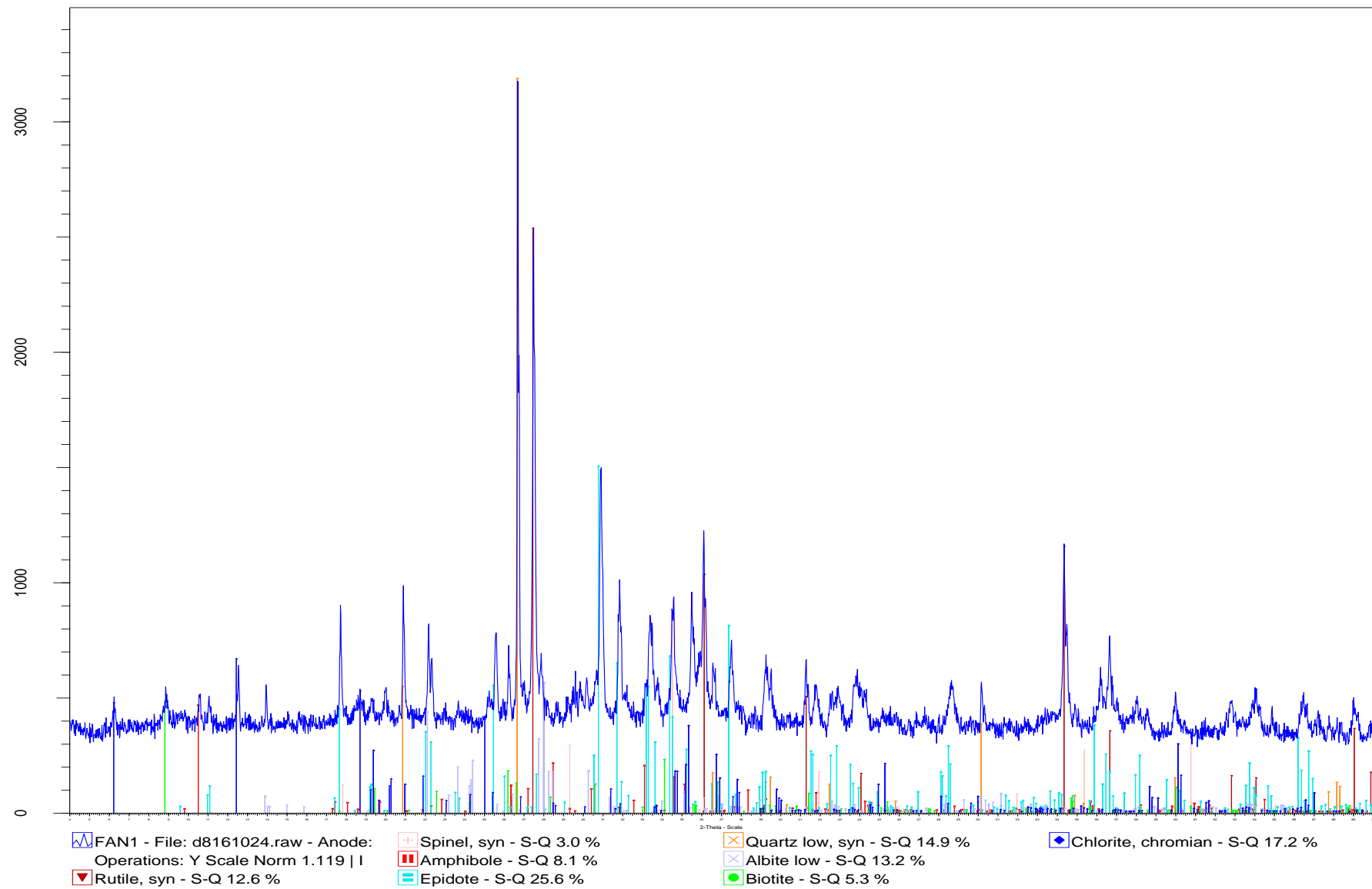
Έτσι ολοκληρώνεται η επεξεργασία των ακτινογραφημάτων με το πρόγραμμα EVA.



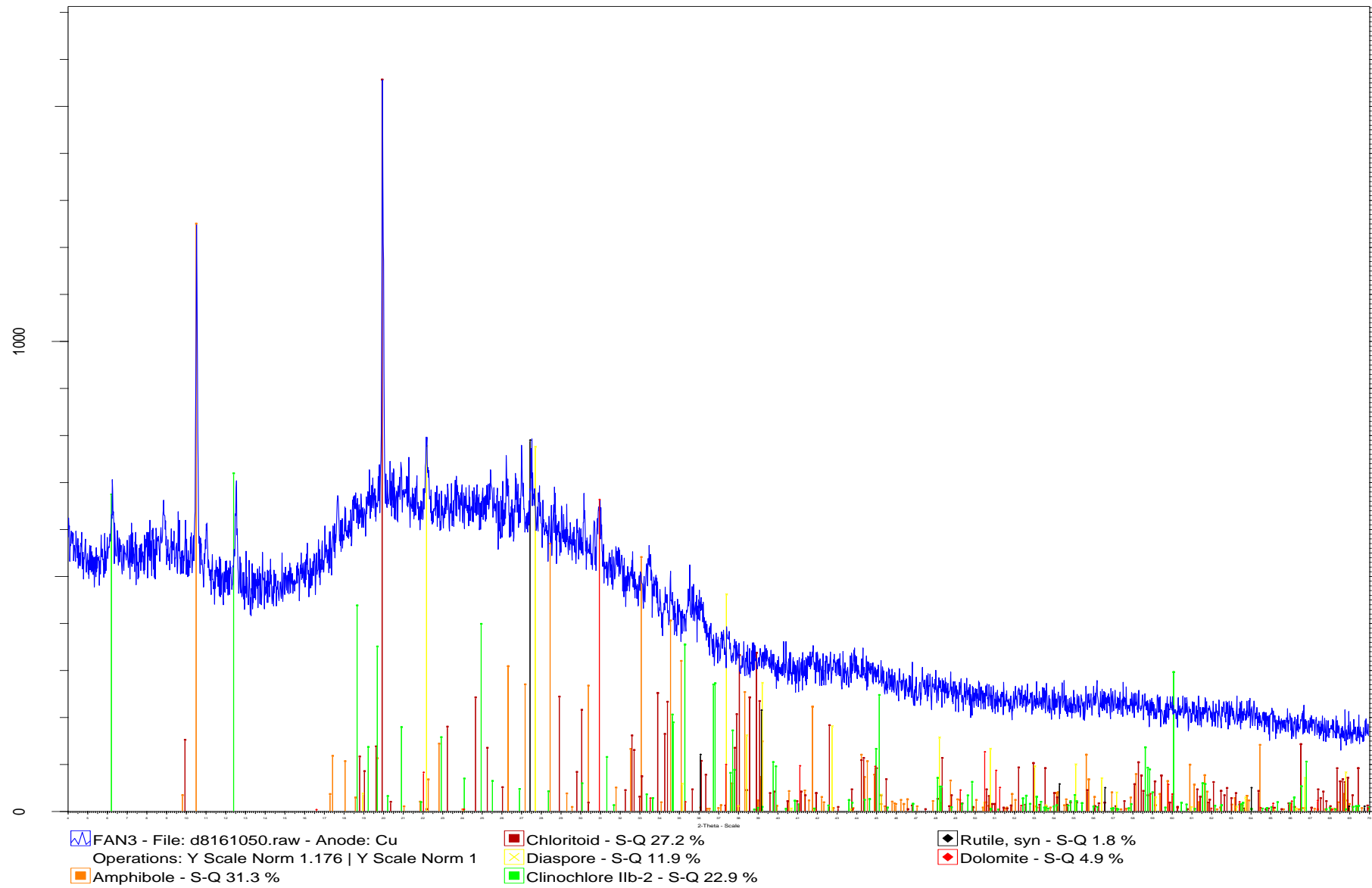
### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ XRD

- ❖ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΙΑ **FAN** ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ **ΦΑΝΕΡΩΜΕΝΗΣ**
- ❖ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΙΑ **LAG** ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ **ΛΑΓΟΛΙΟΥ**
- ❖ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΙΑ **VAS** ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ **ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ**

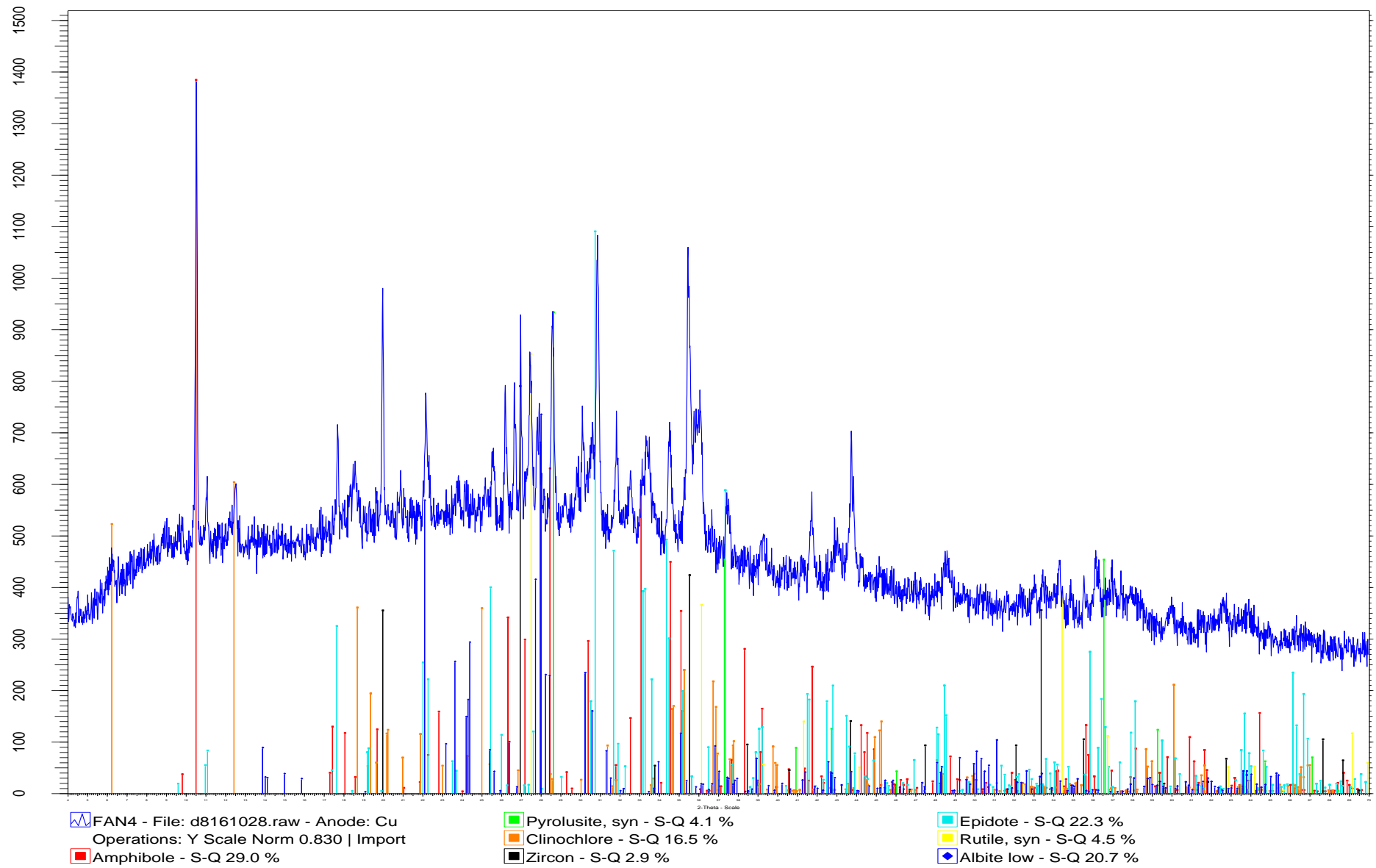
# FAN1



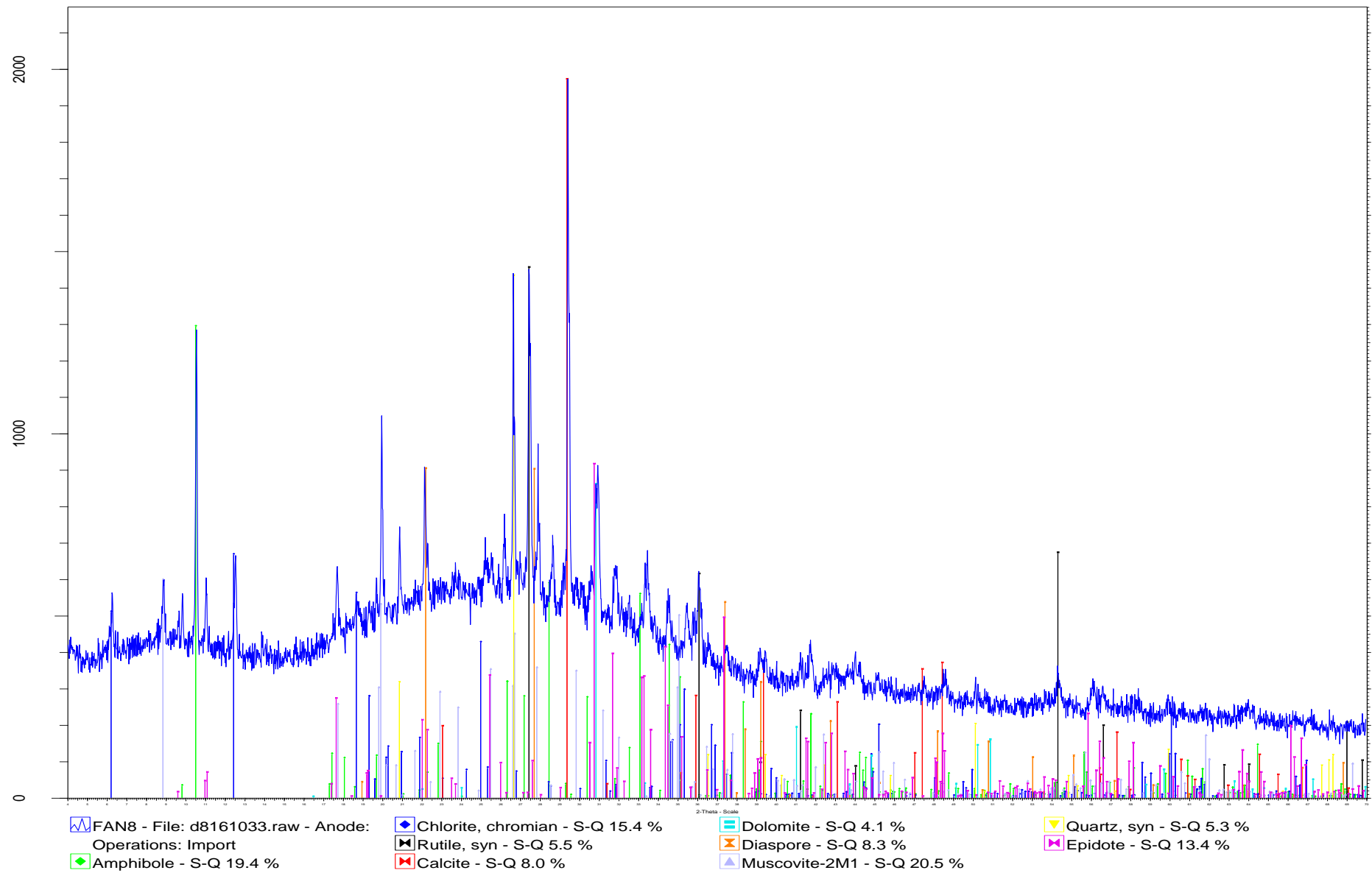
# FAN3



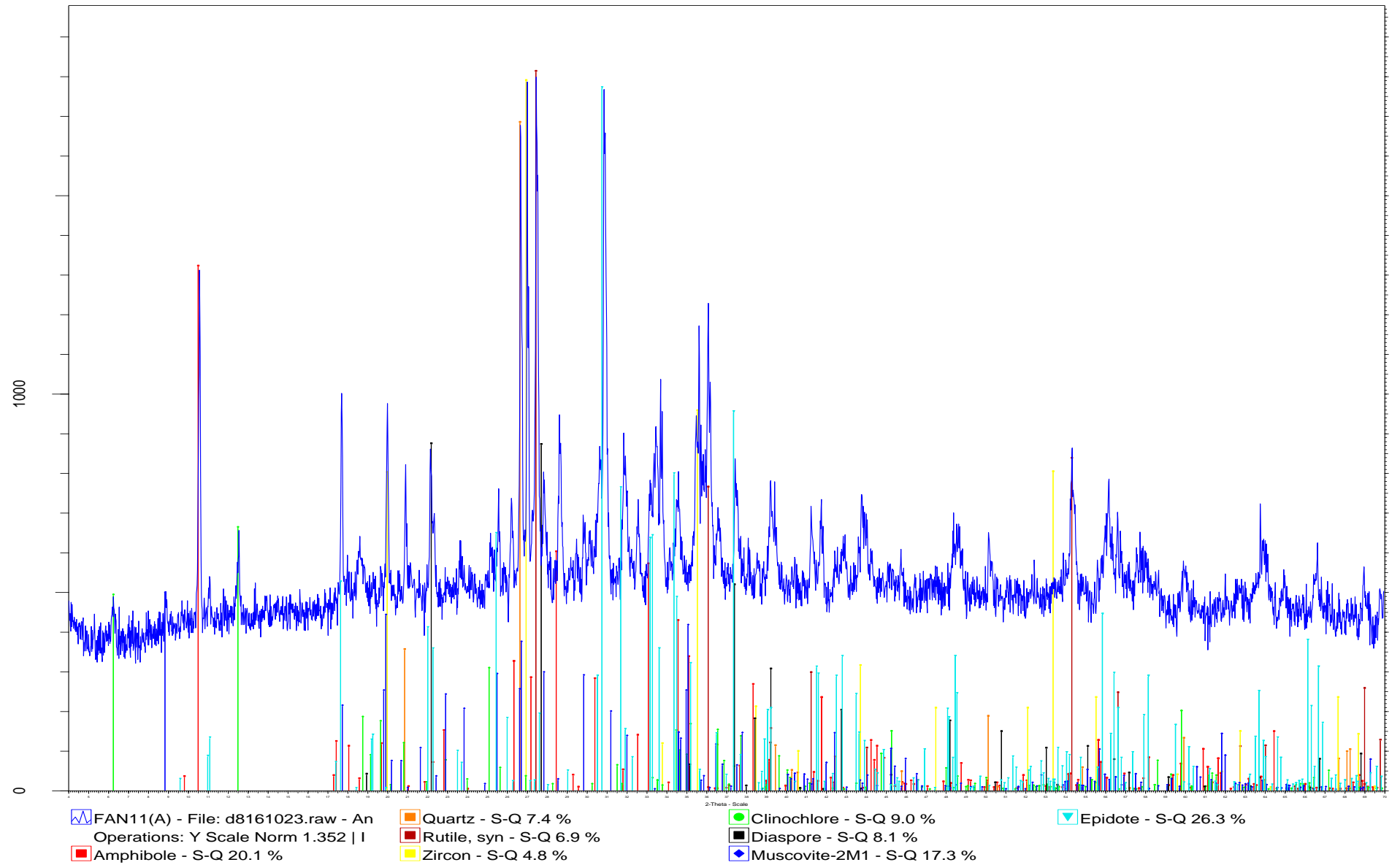
# FAN4



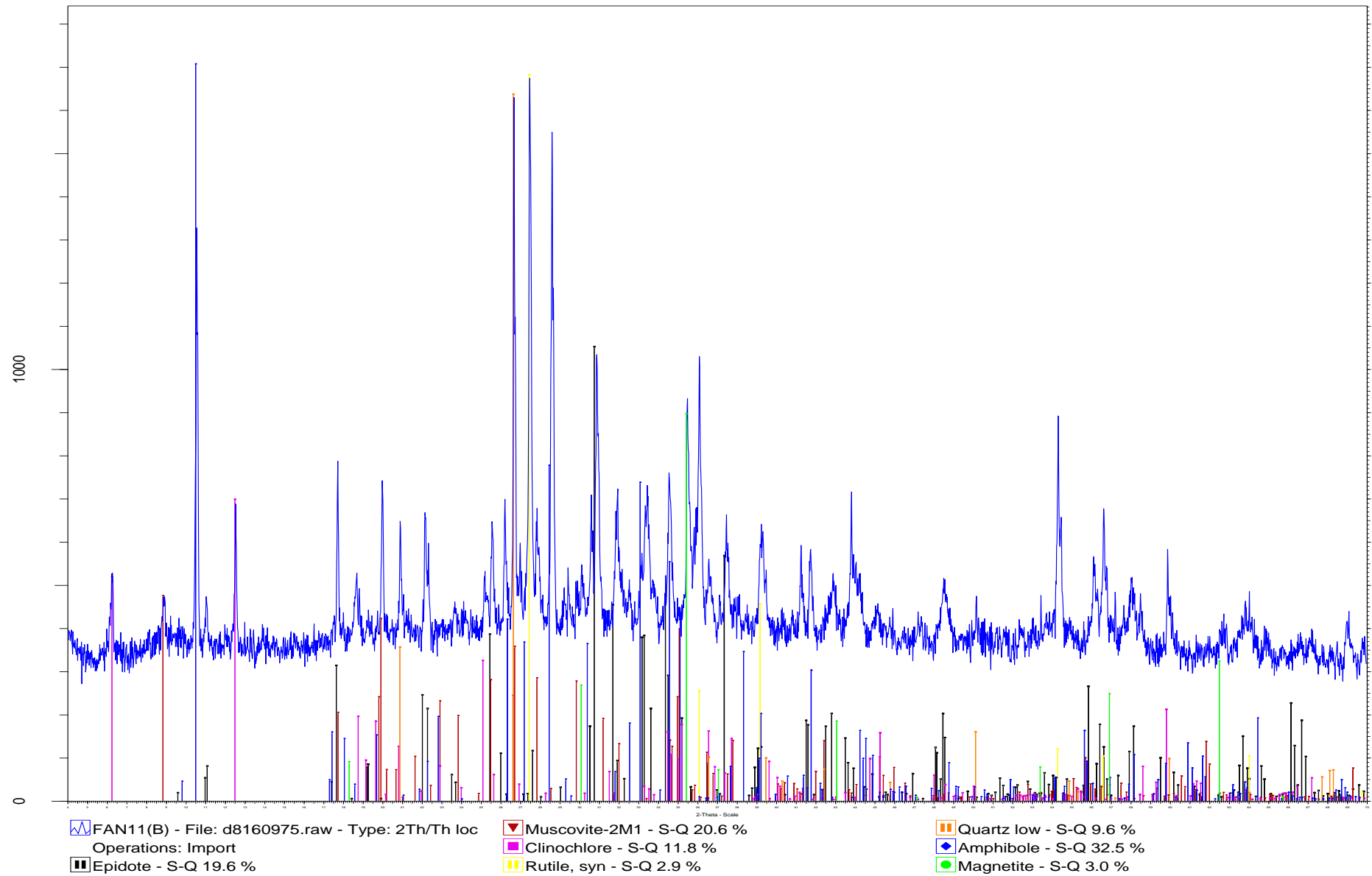
# FAN8



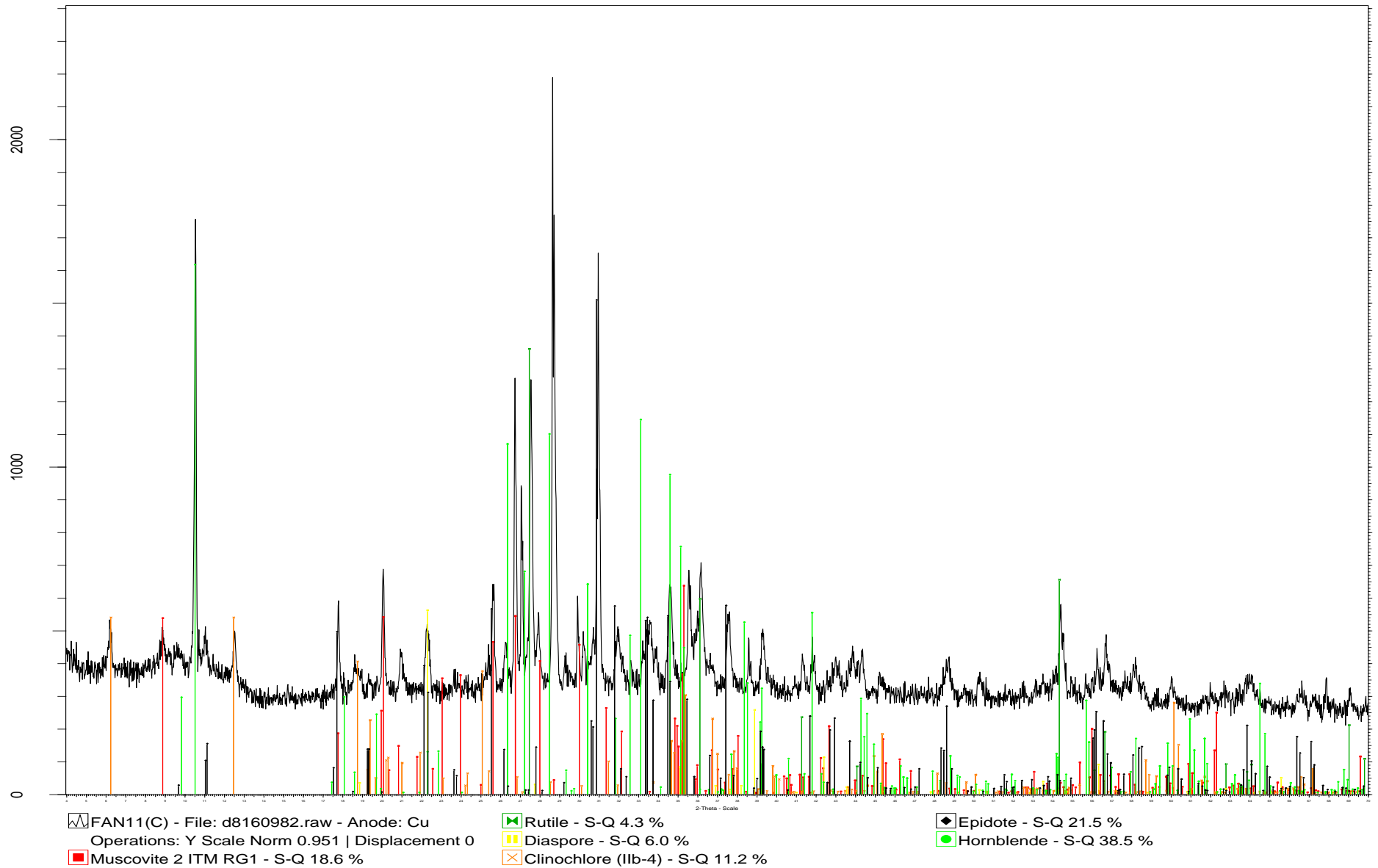
# FAN11(A)



# FAN11(B)

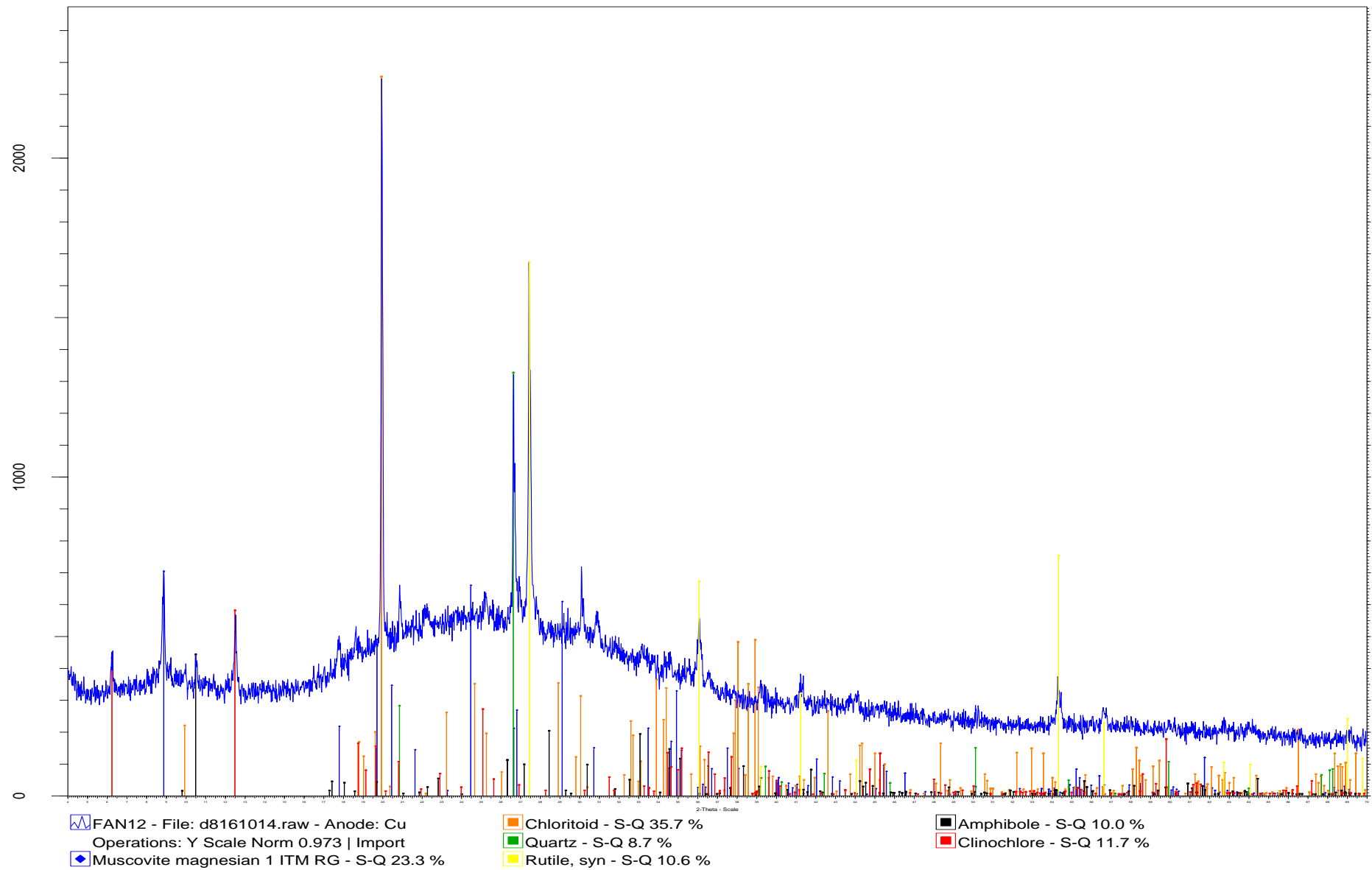


# FAN11(C)

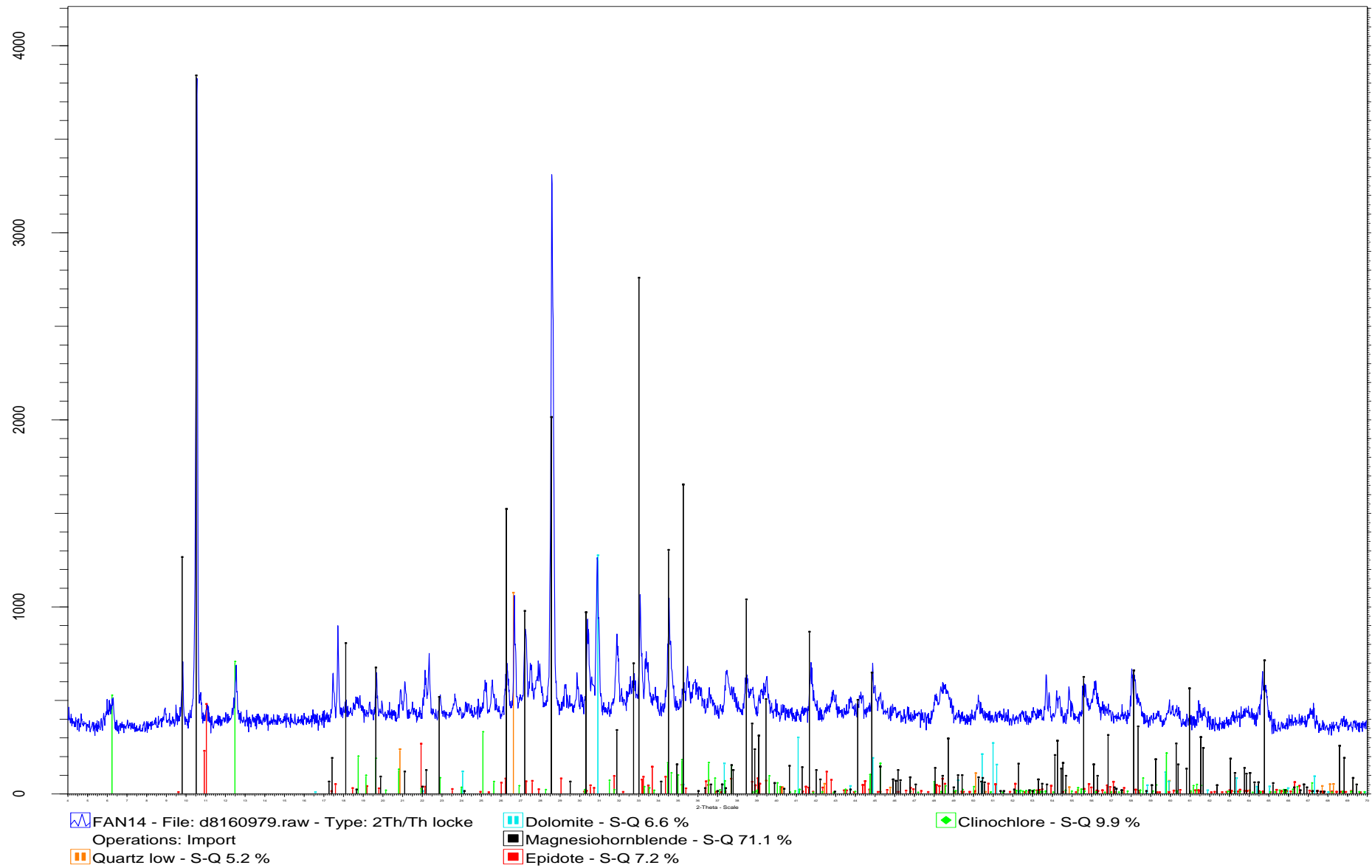




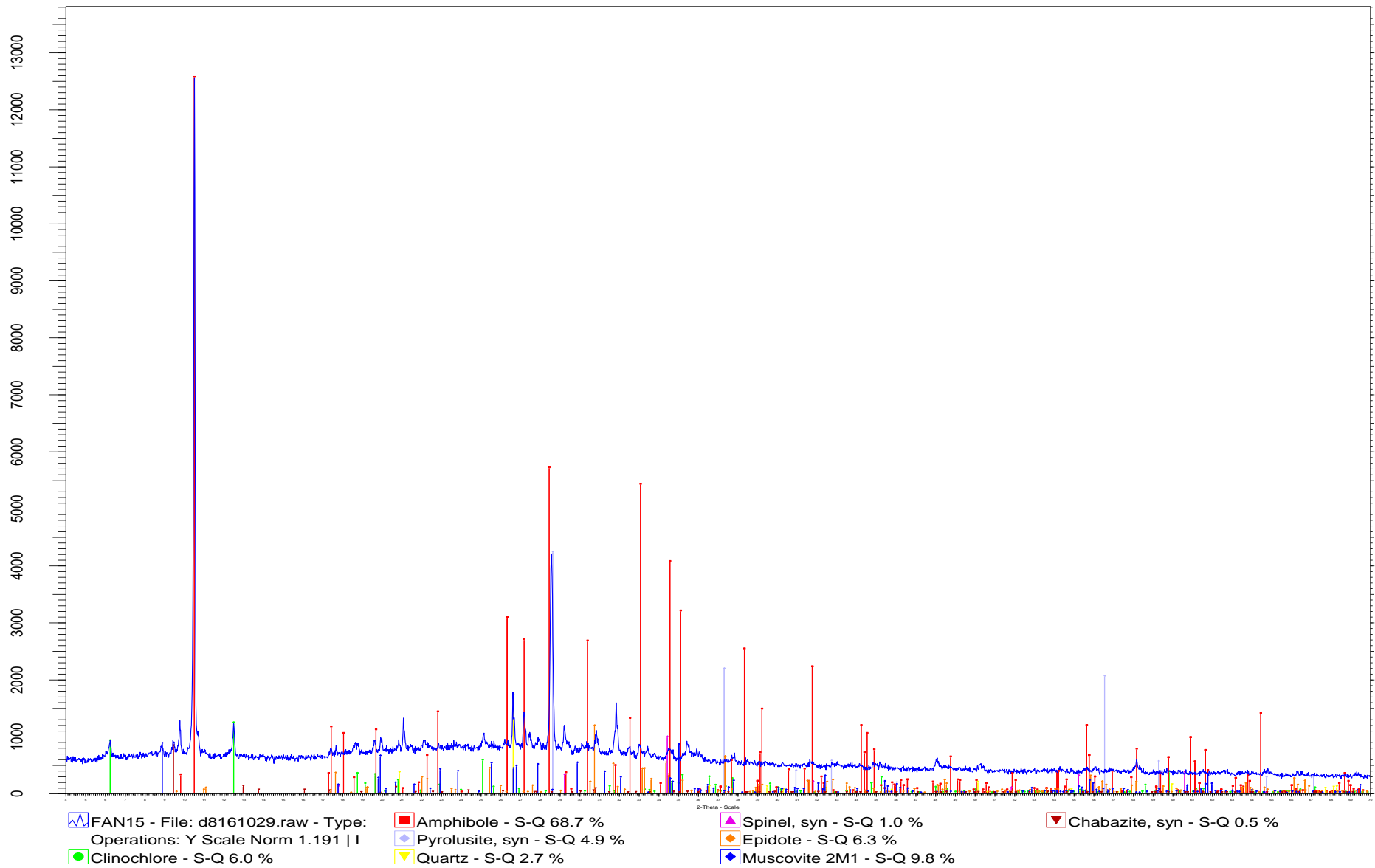
# FAN12



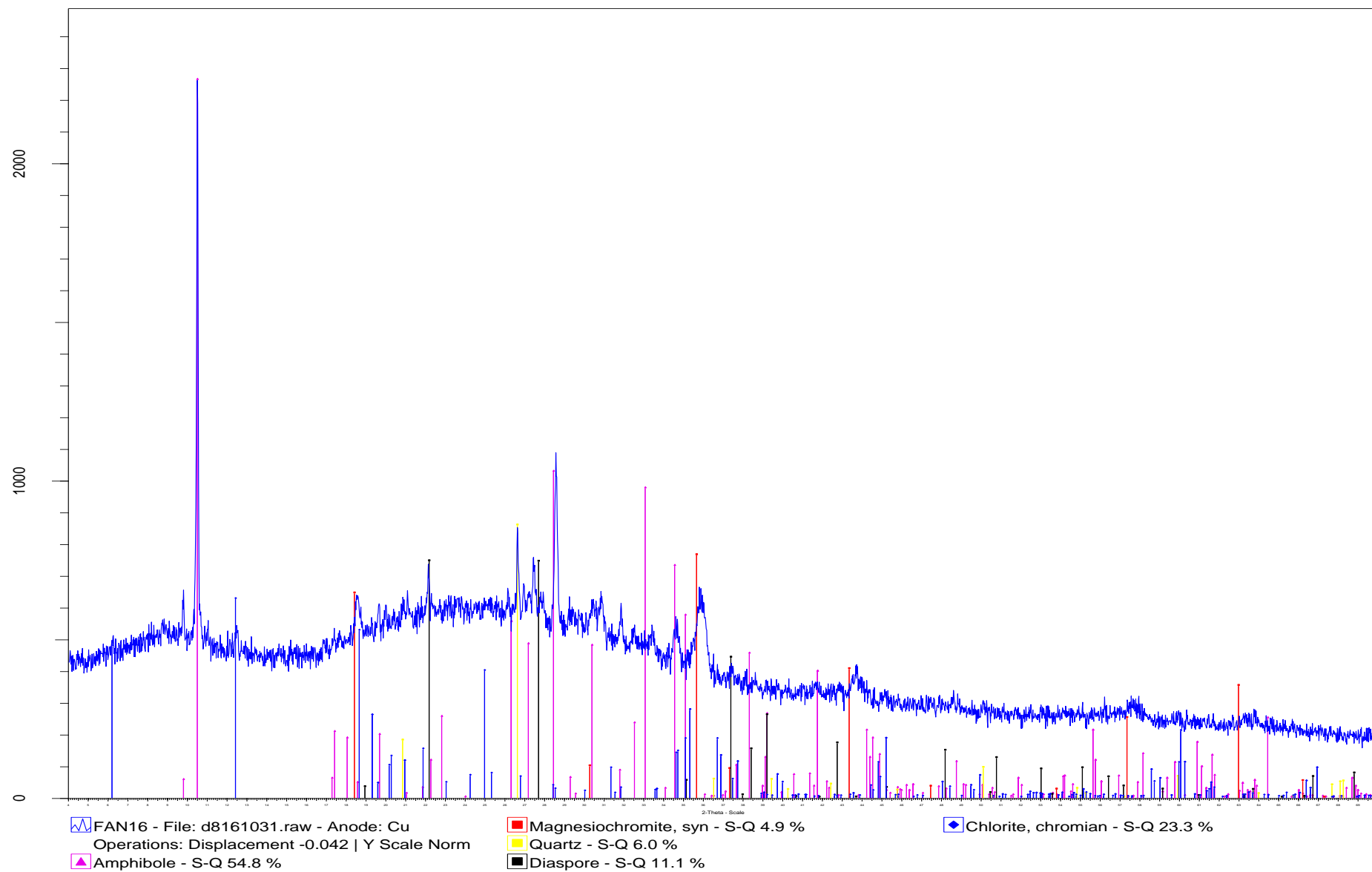
# FAN14



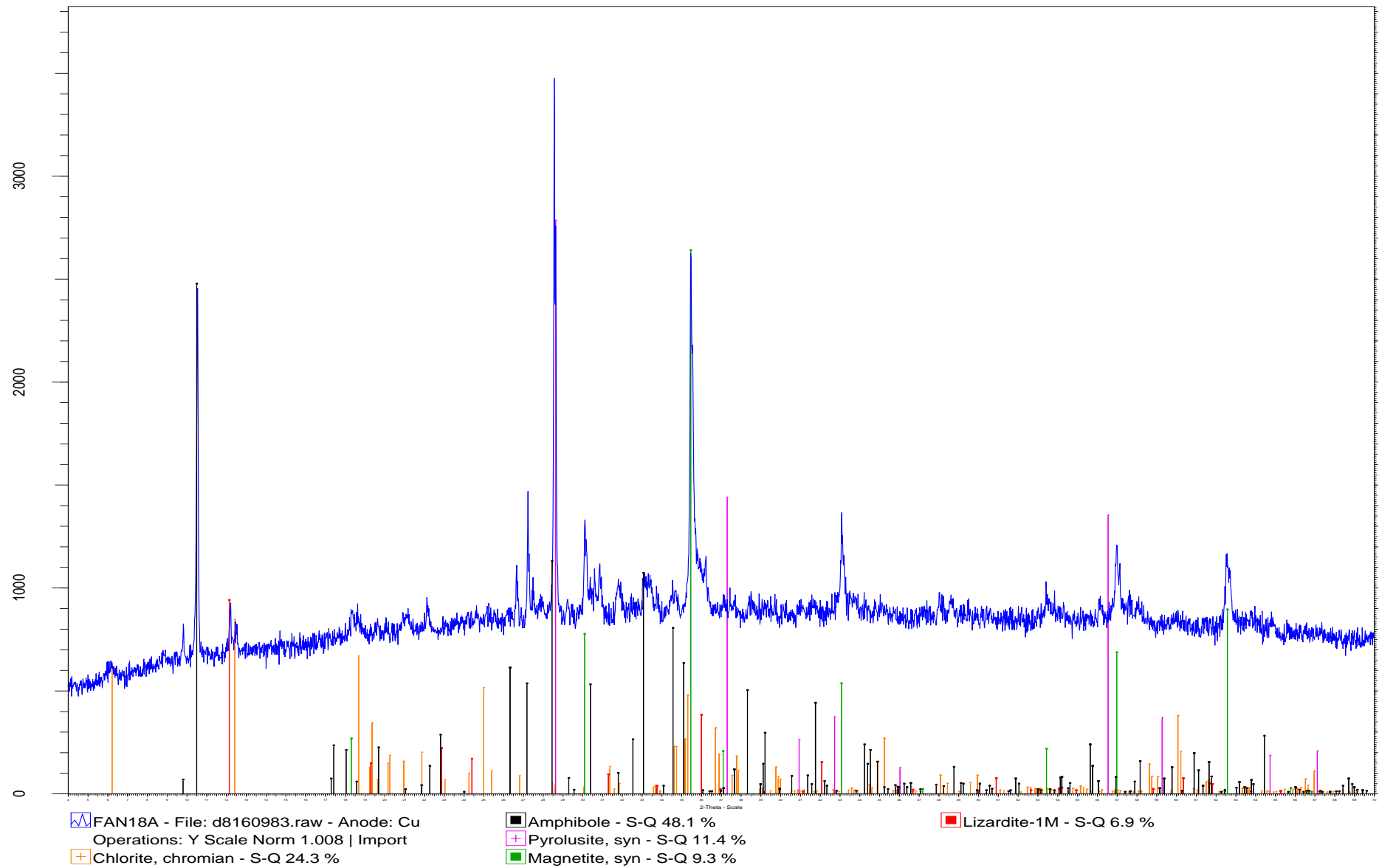
# FAN15



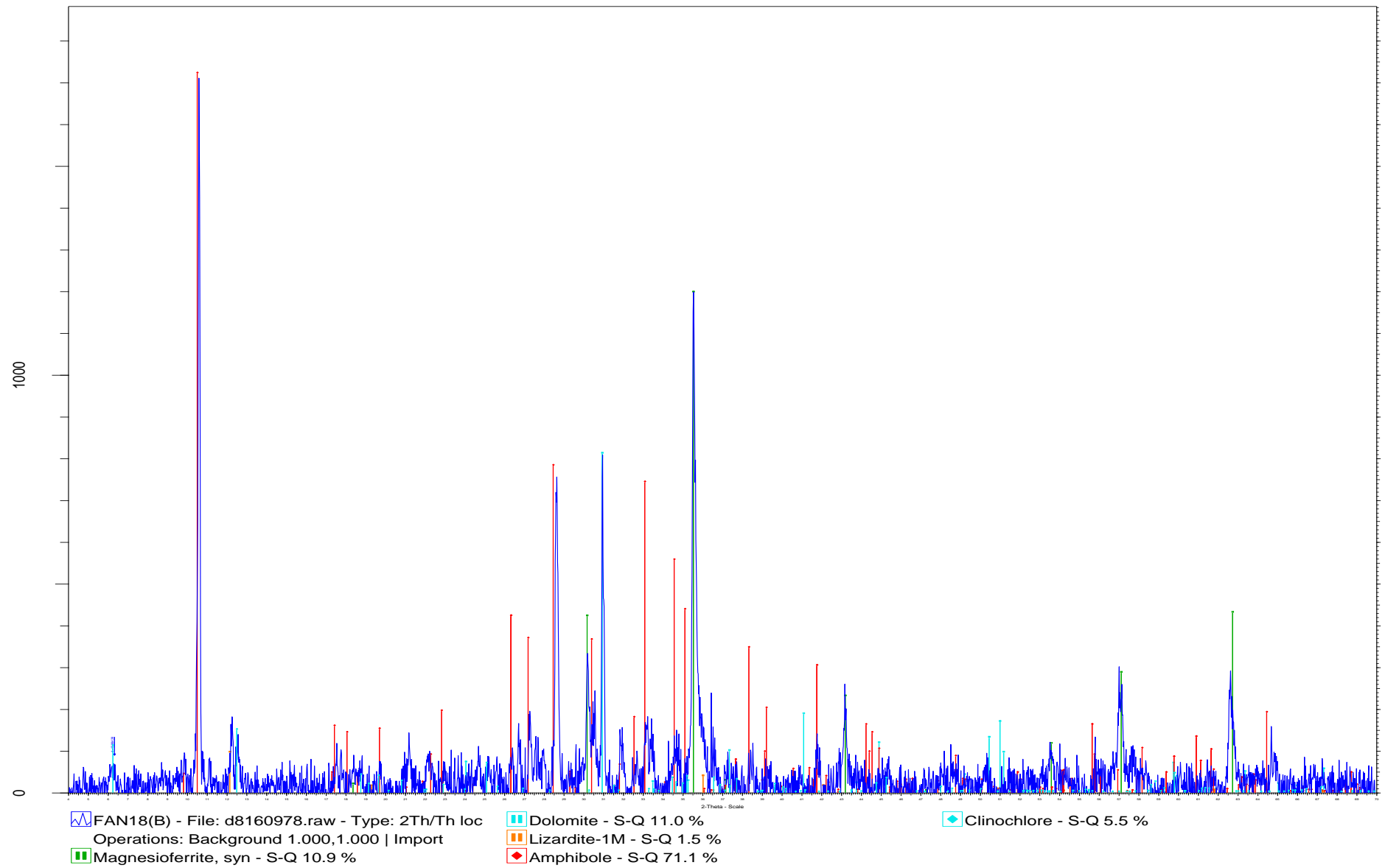
# FAN16



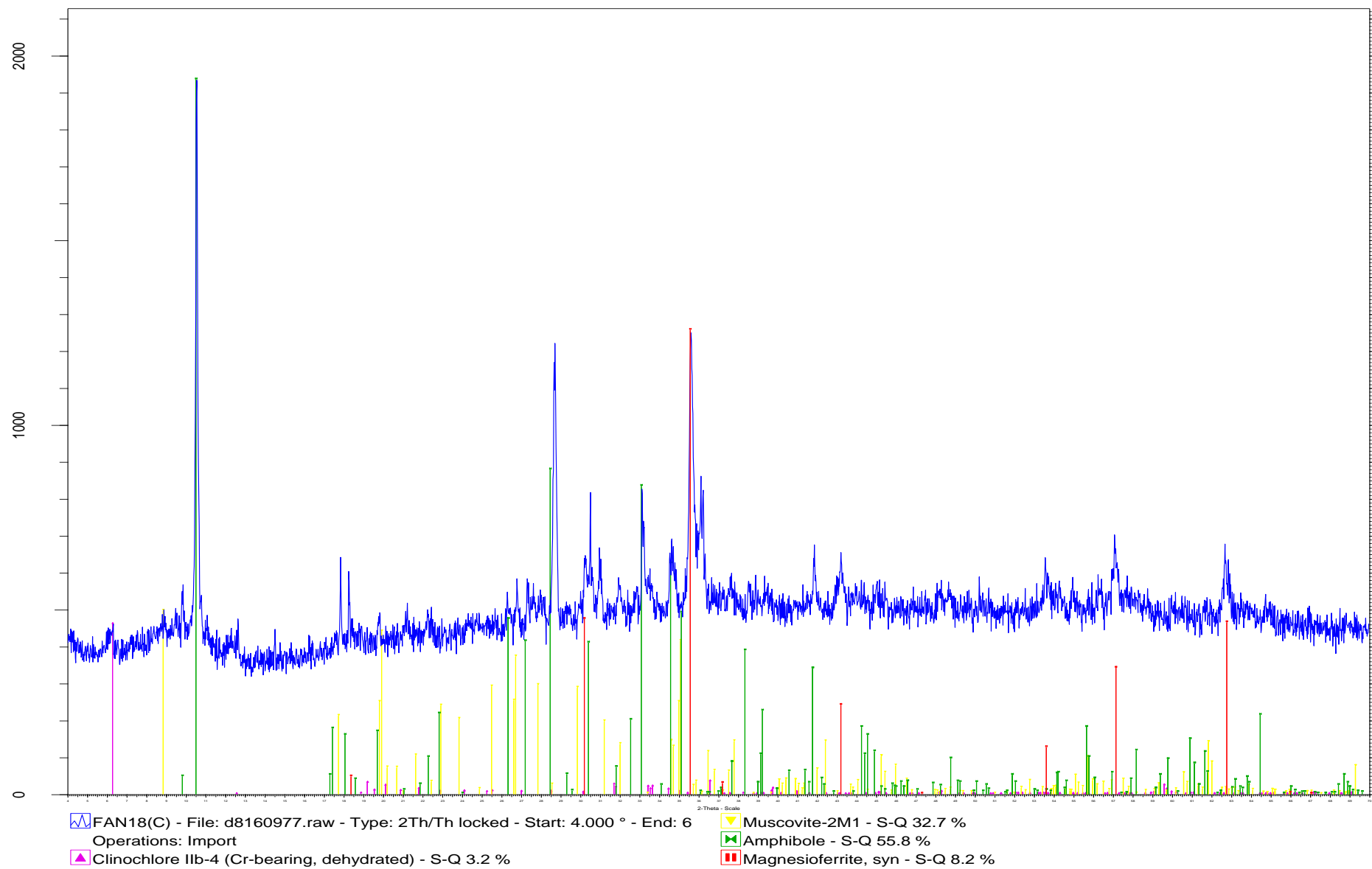
# FAN18A



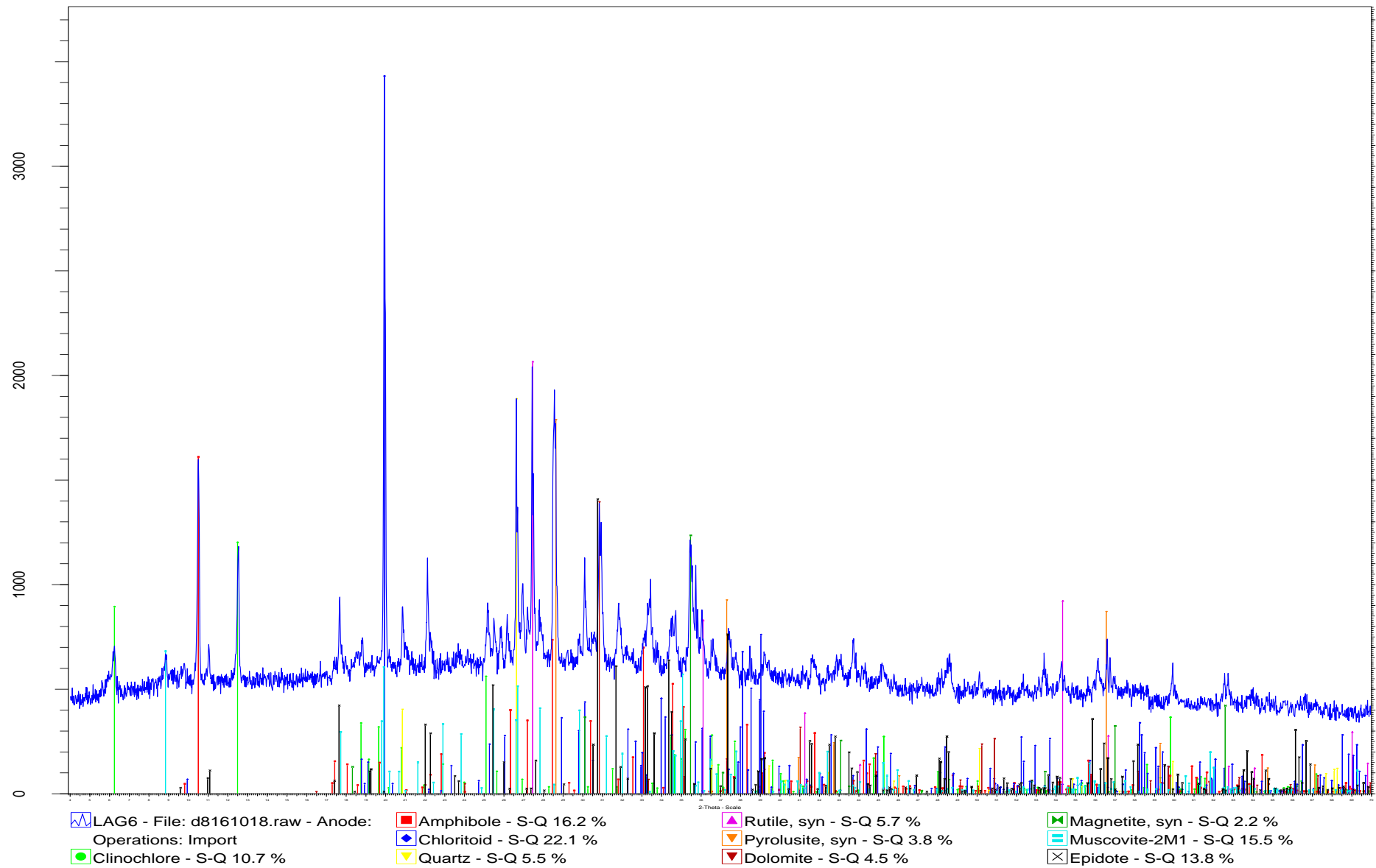
# FAN18(B)



# FAN18(C)

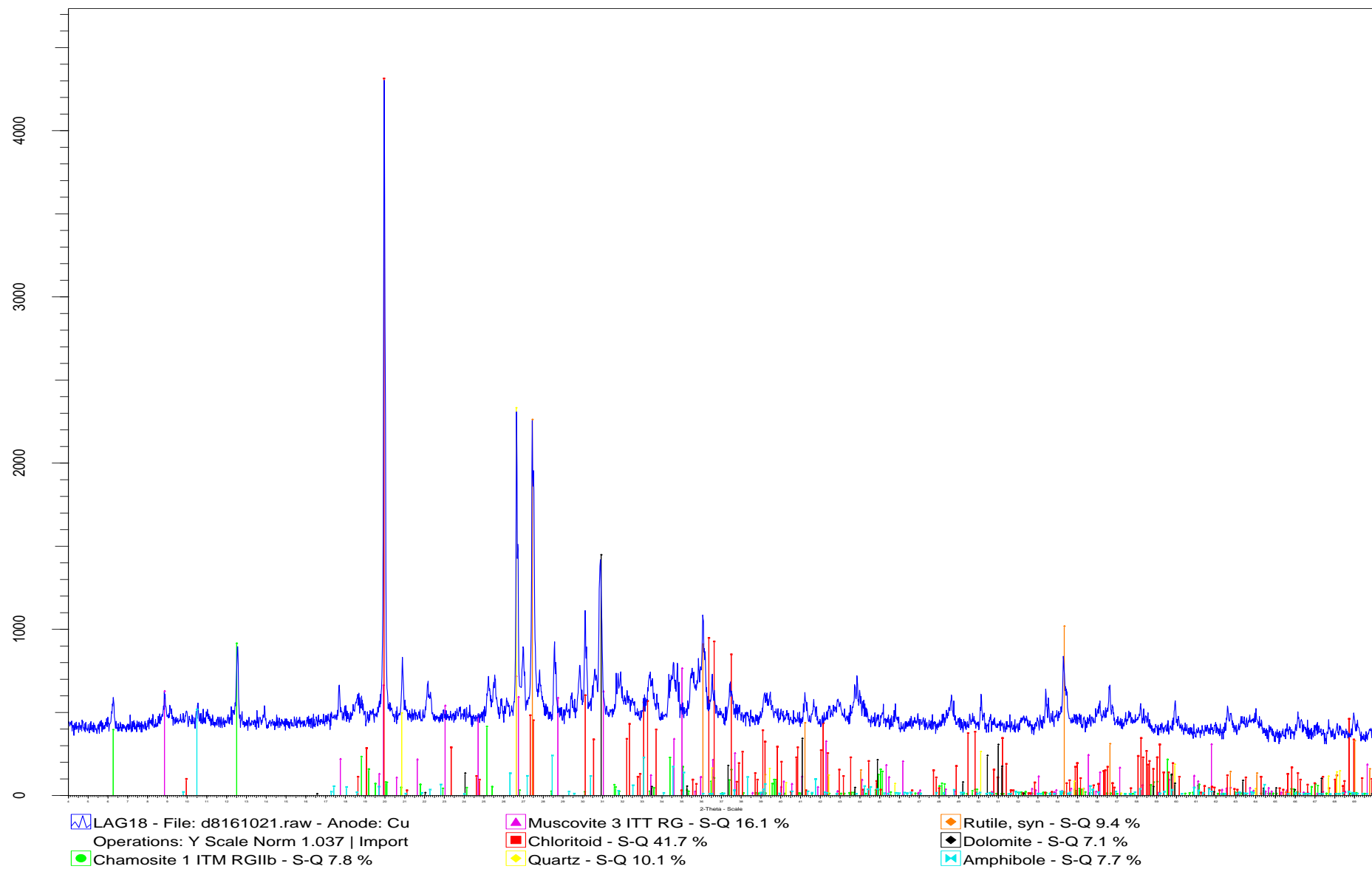


# LAG6

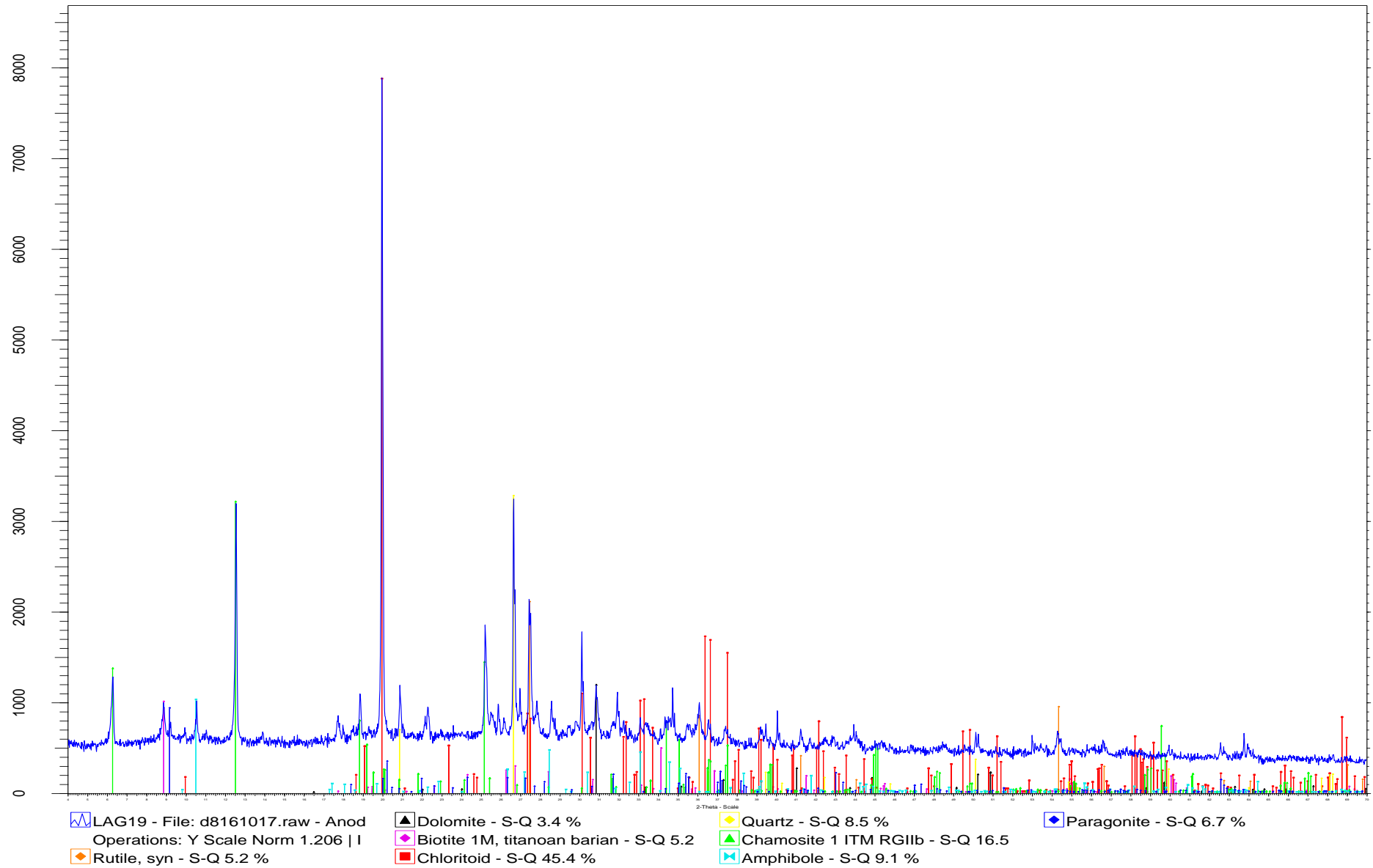




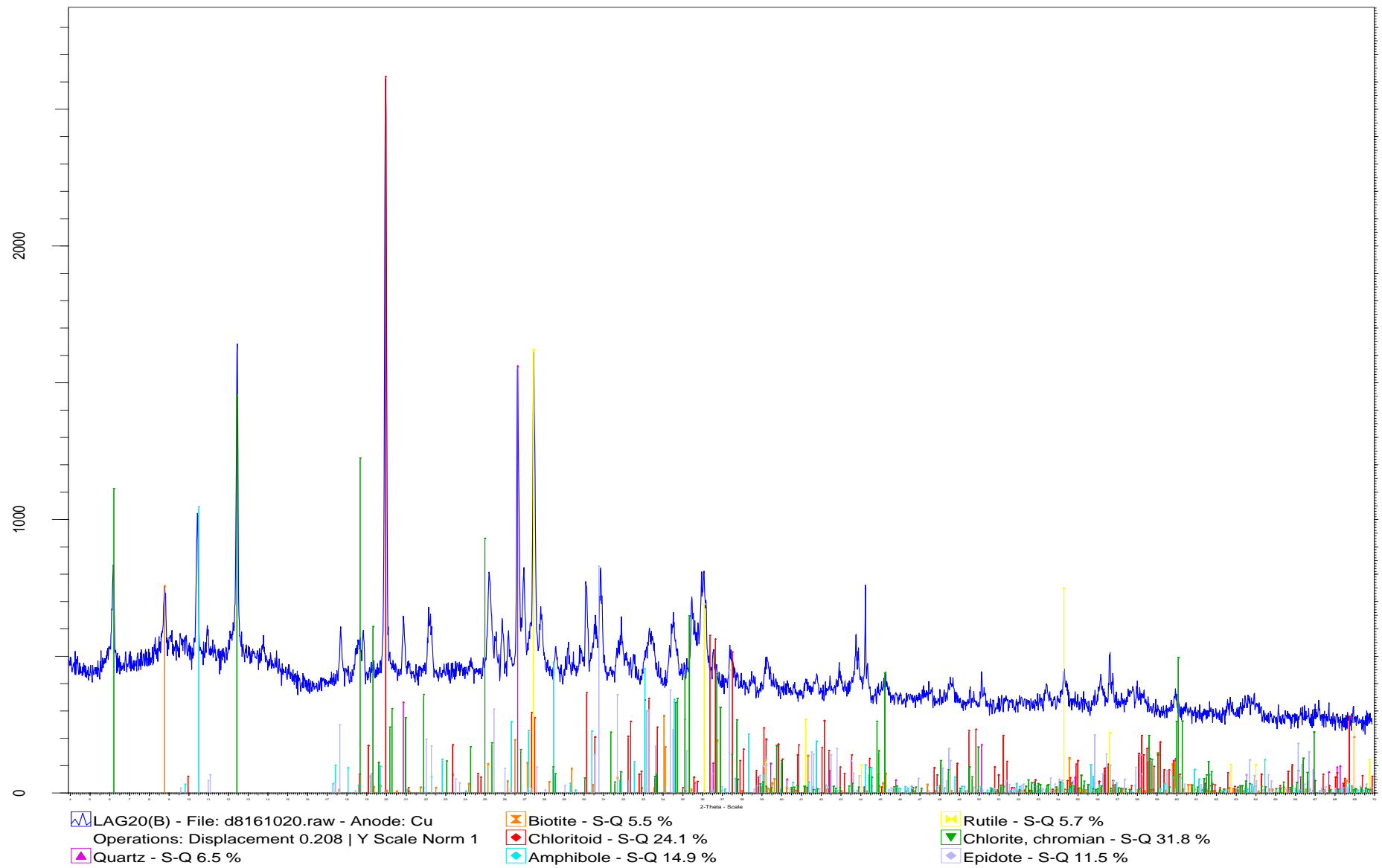
# LAG18



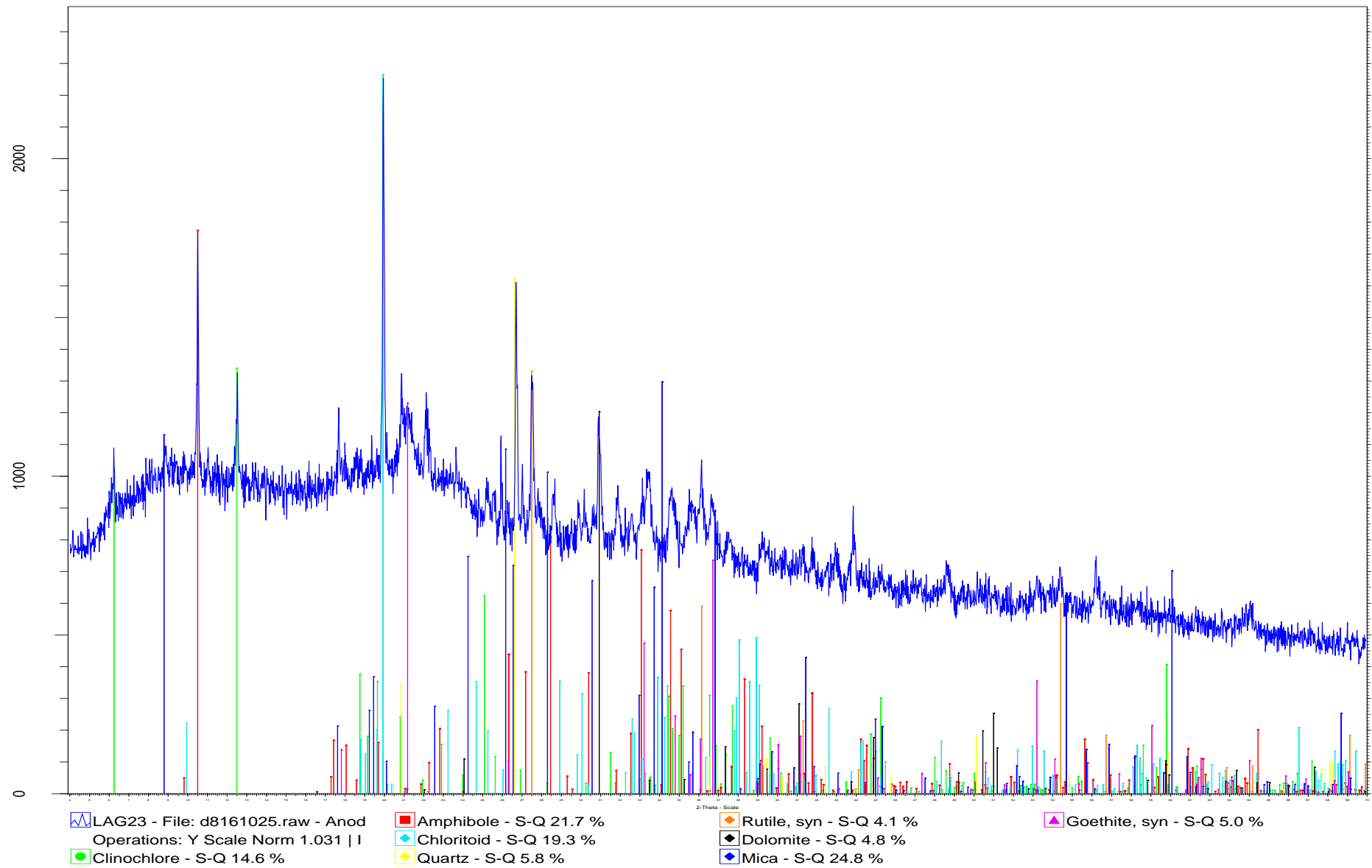
# LAG19



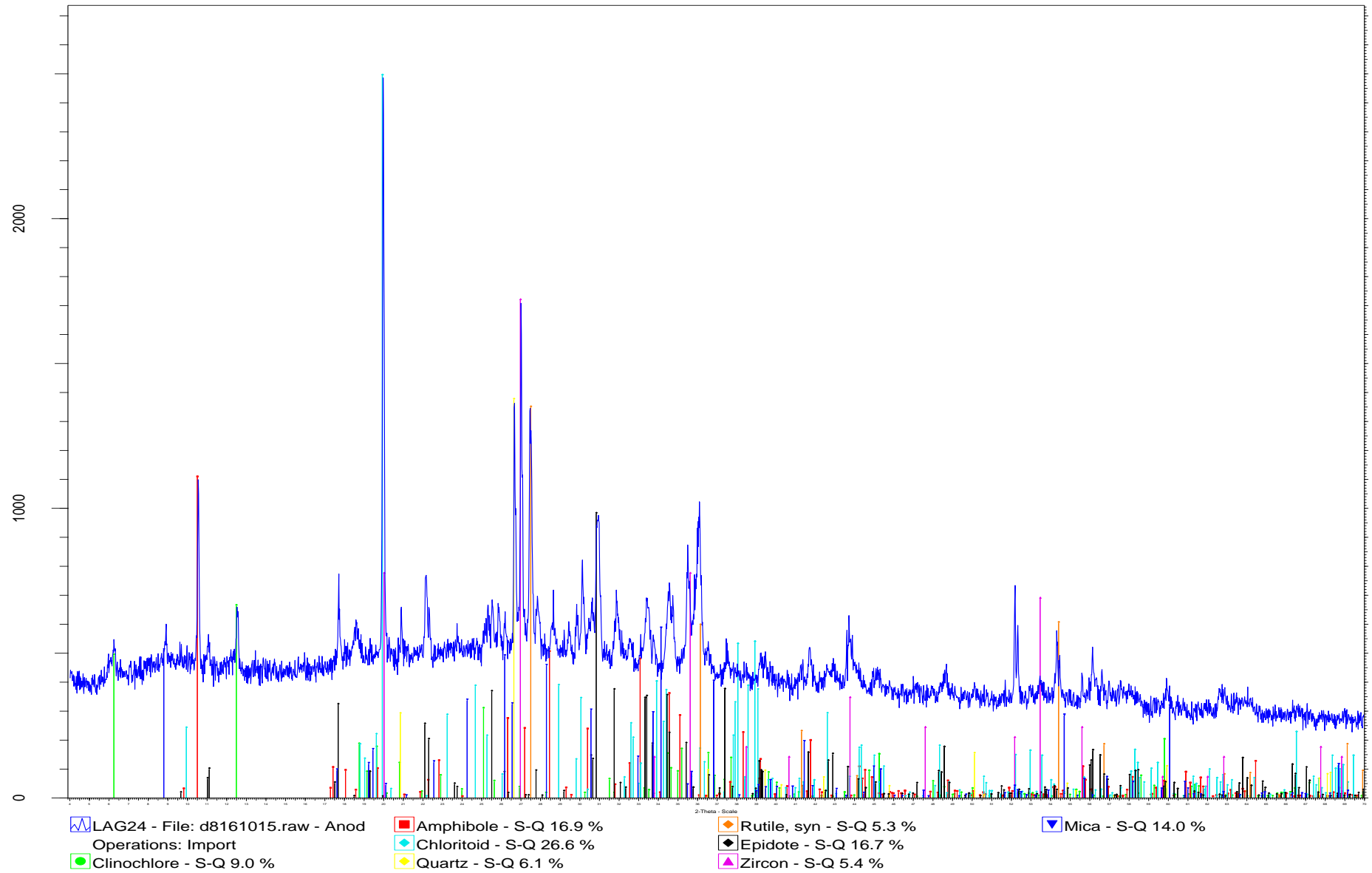
# LAG20(B)



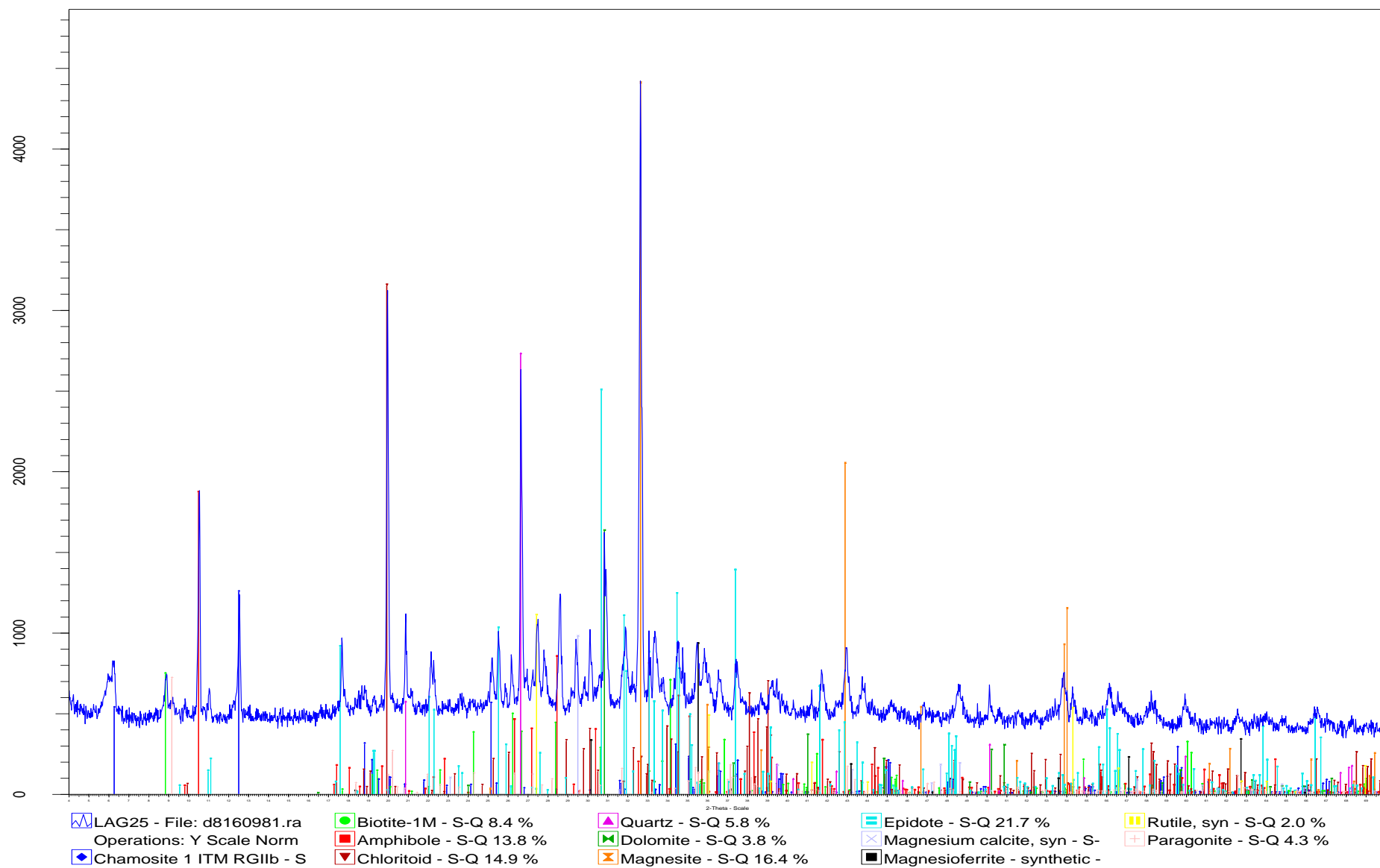
# LAG23



# LAG24



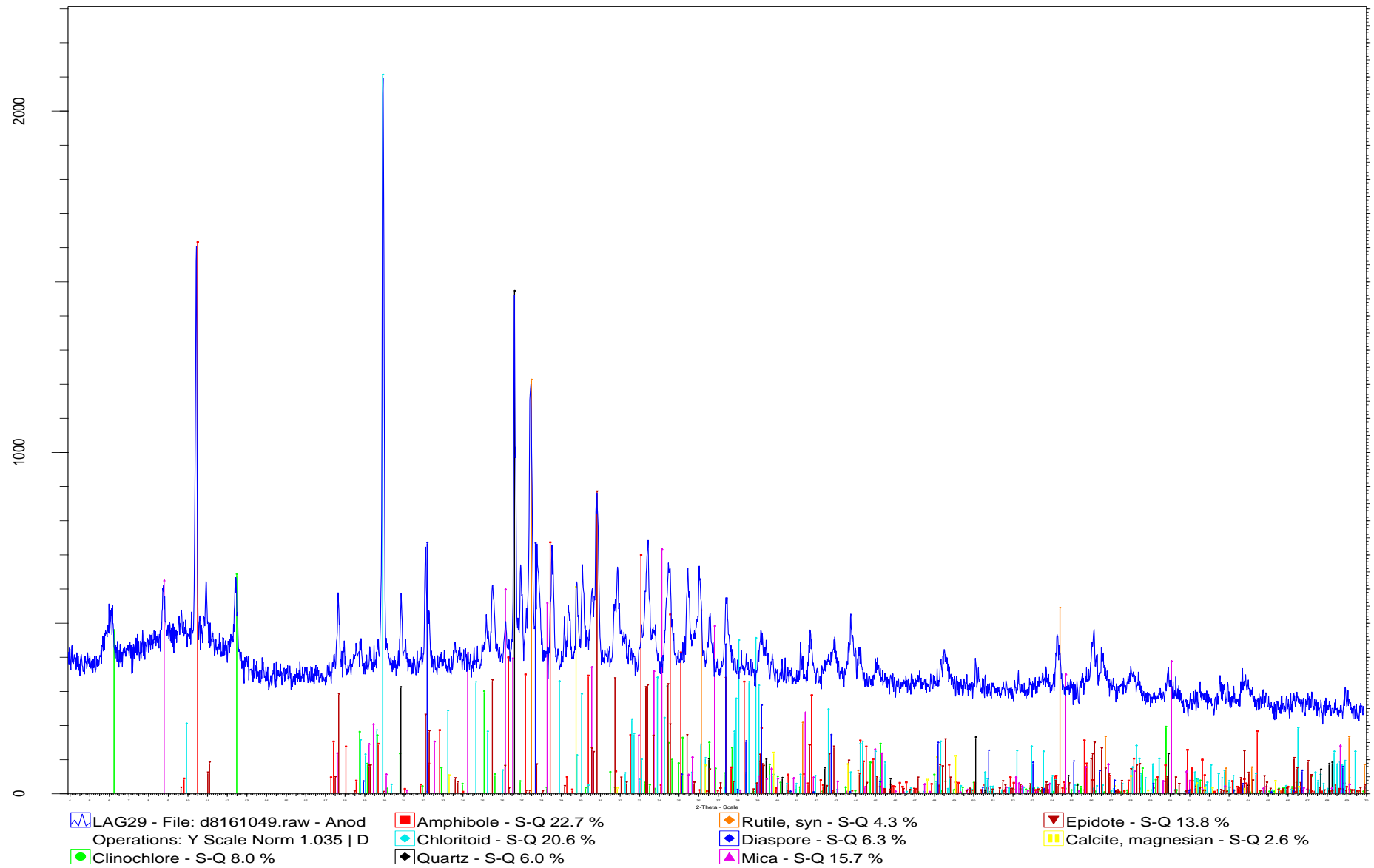
# LAG25



# LAG27

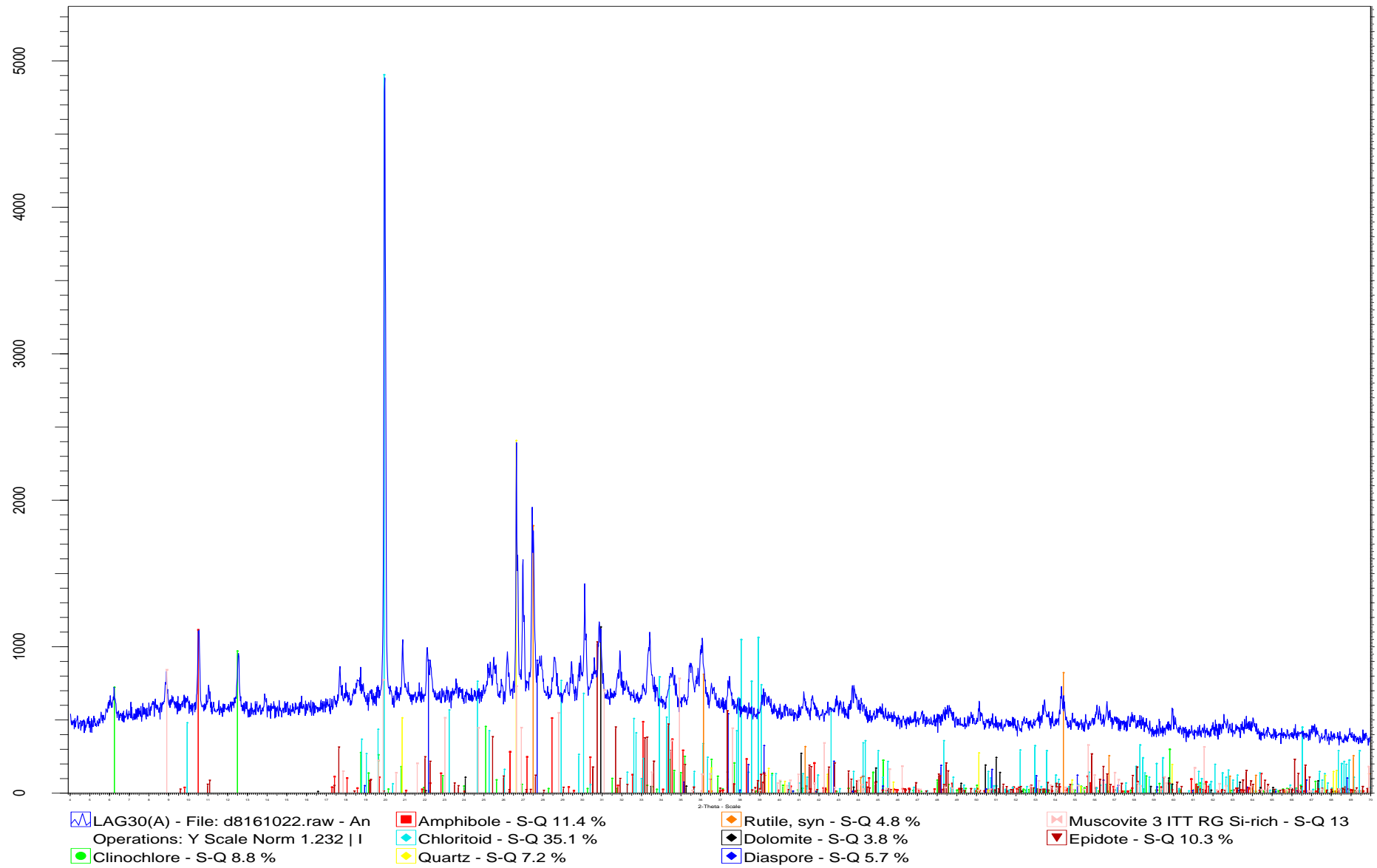


# LAG29

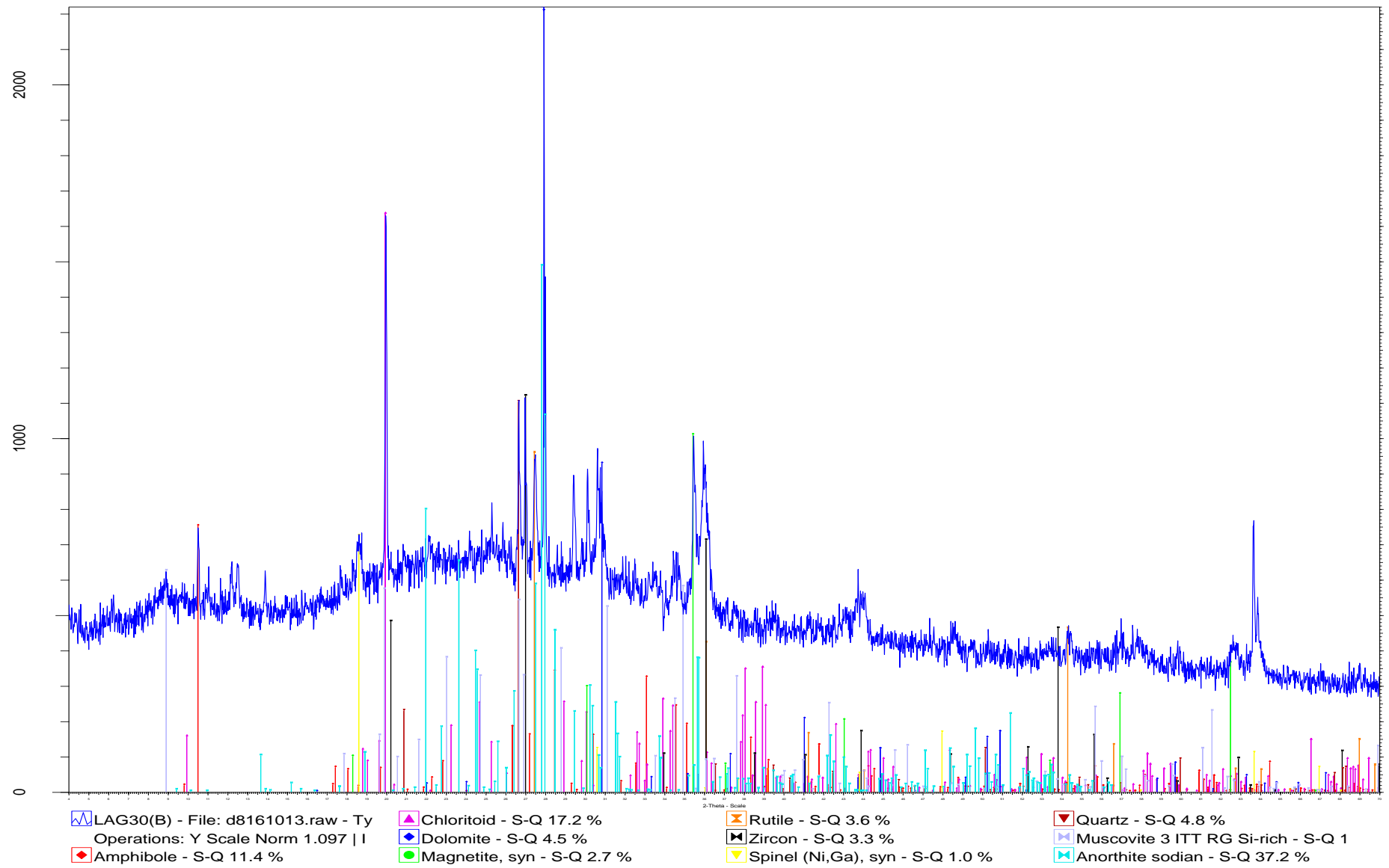




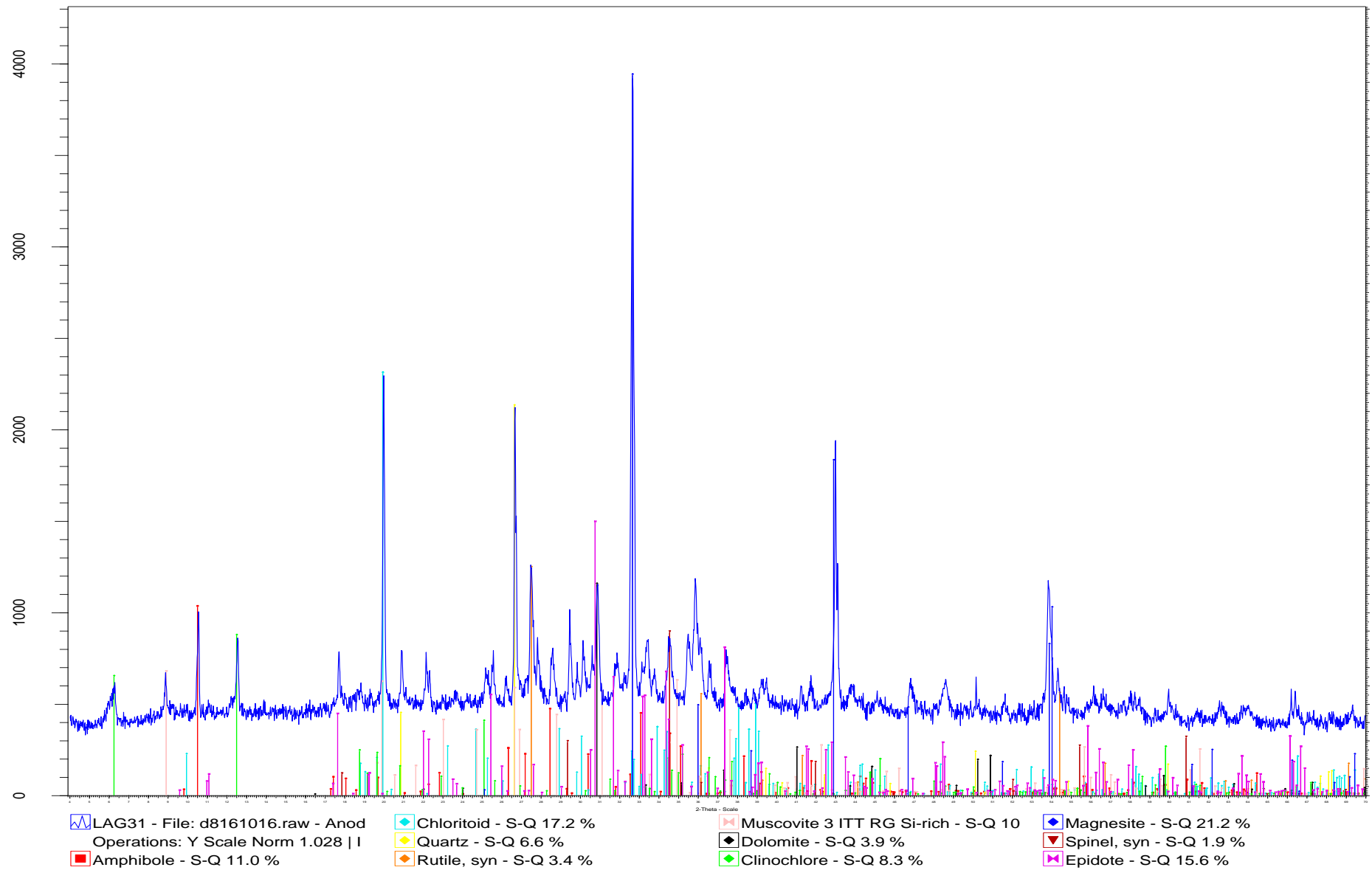
# LAG30(A)



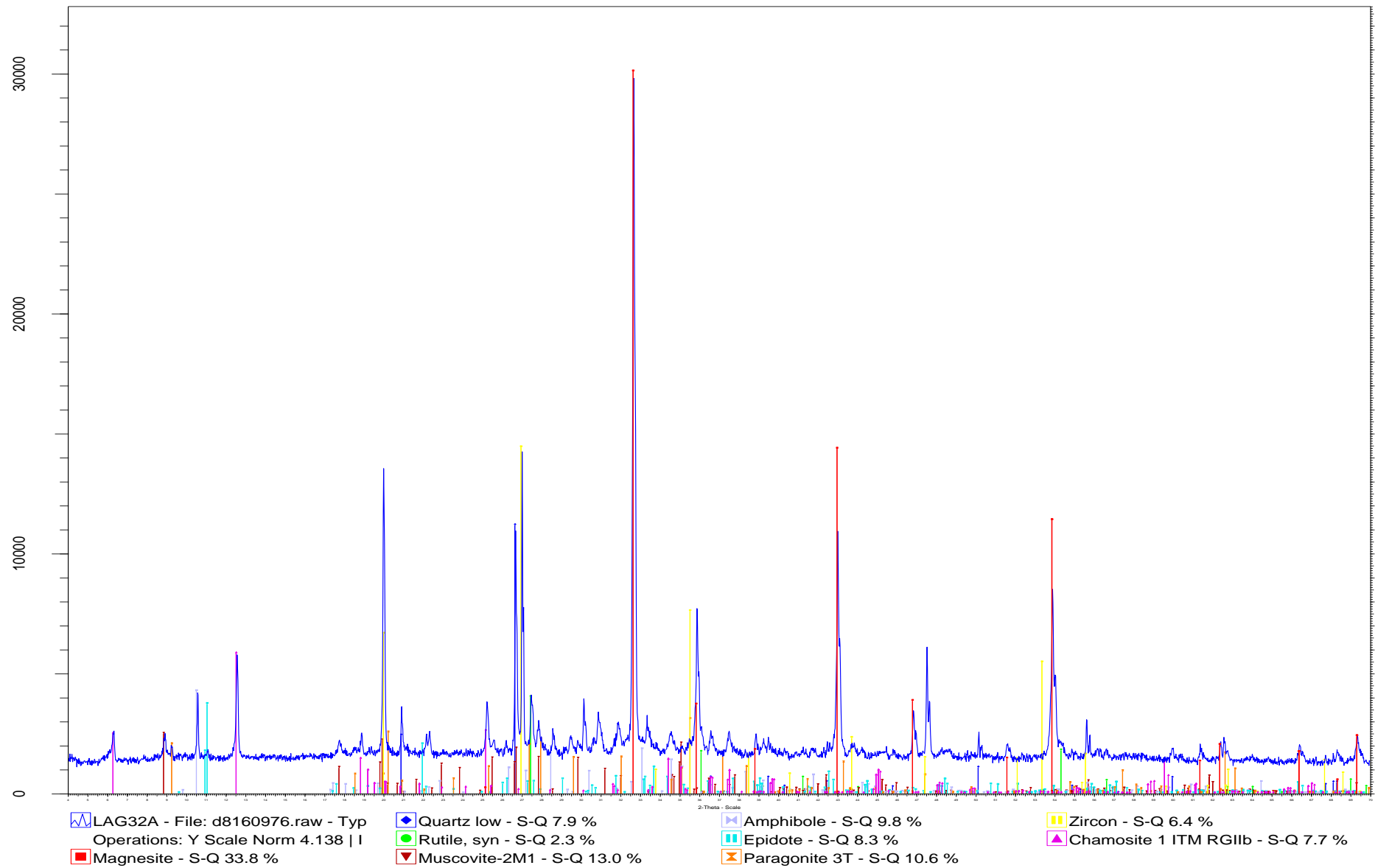
# LAG30(B)



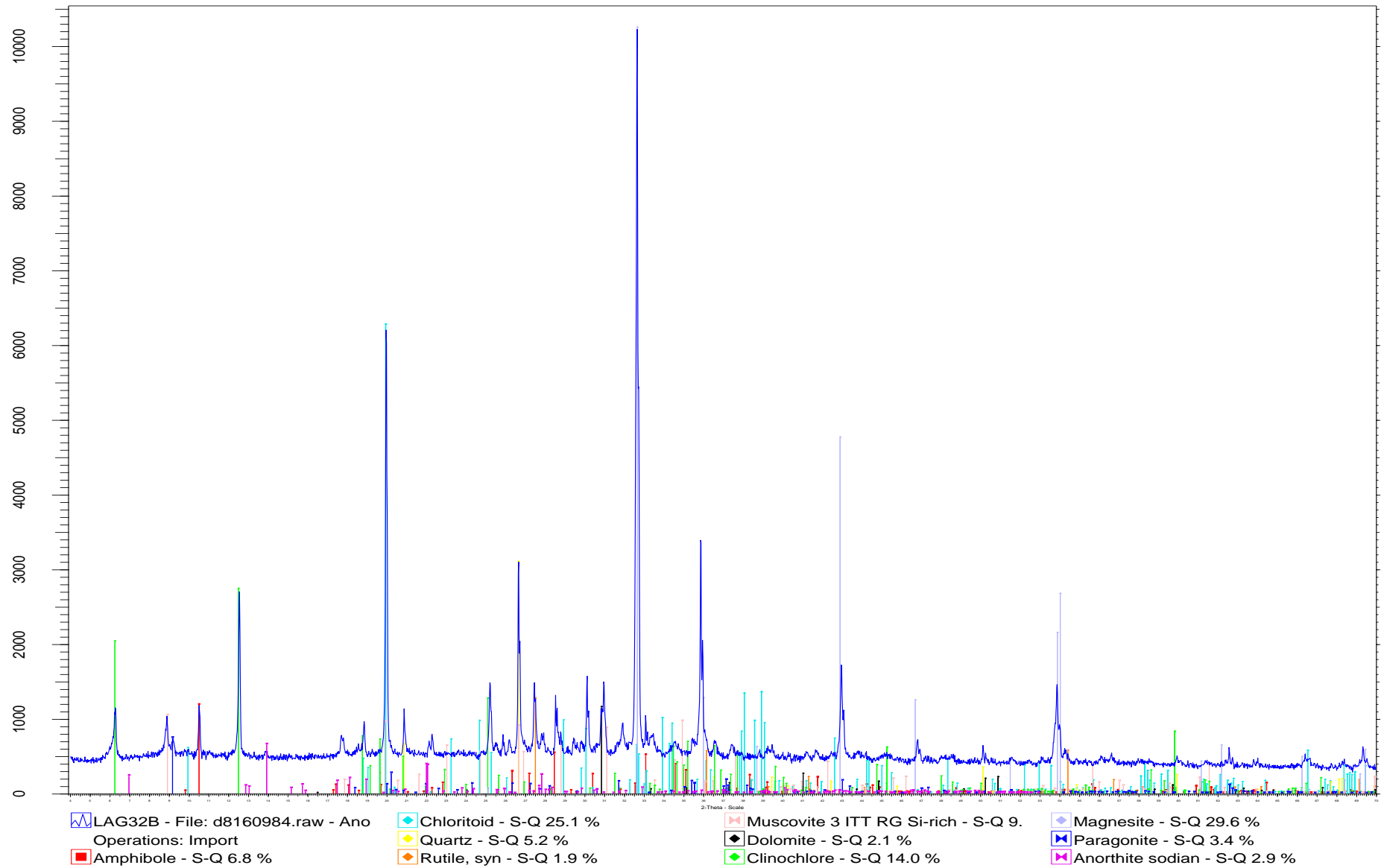
# LAG31



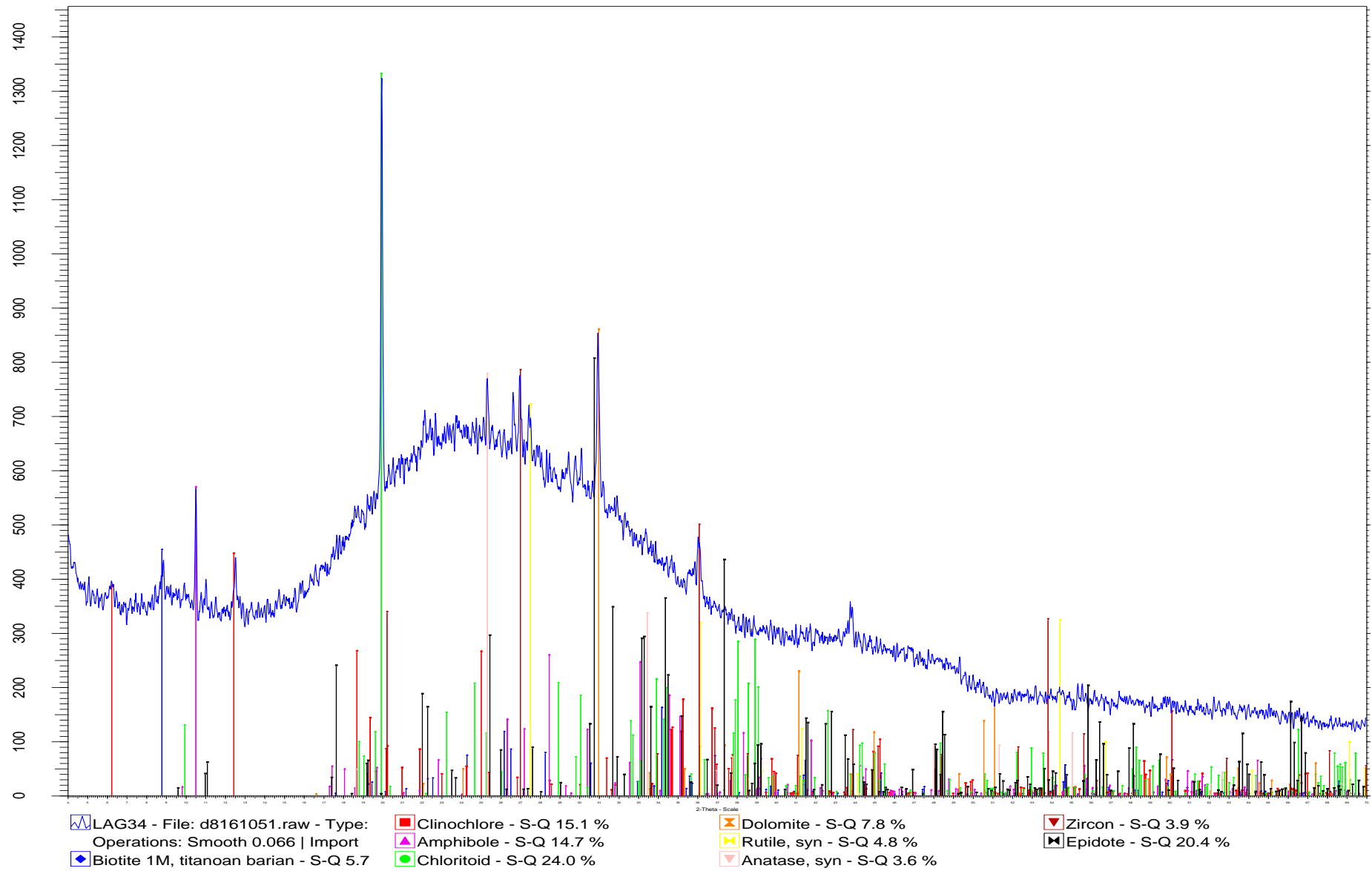
# LAG32A



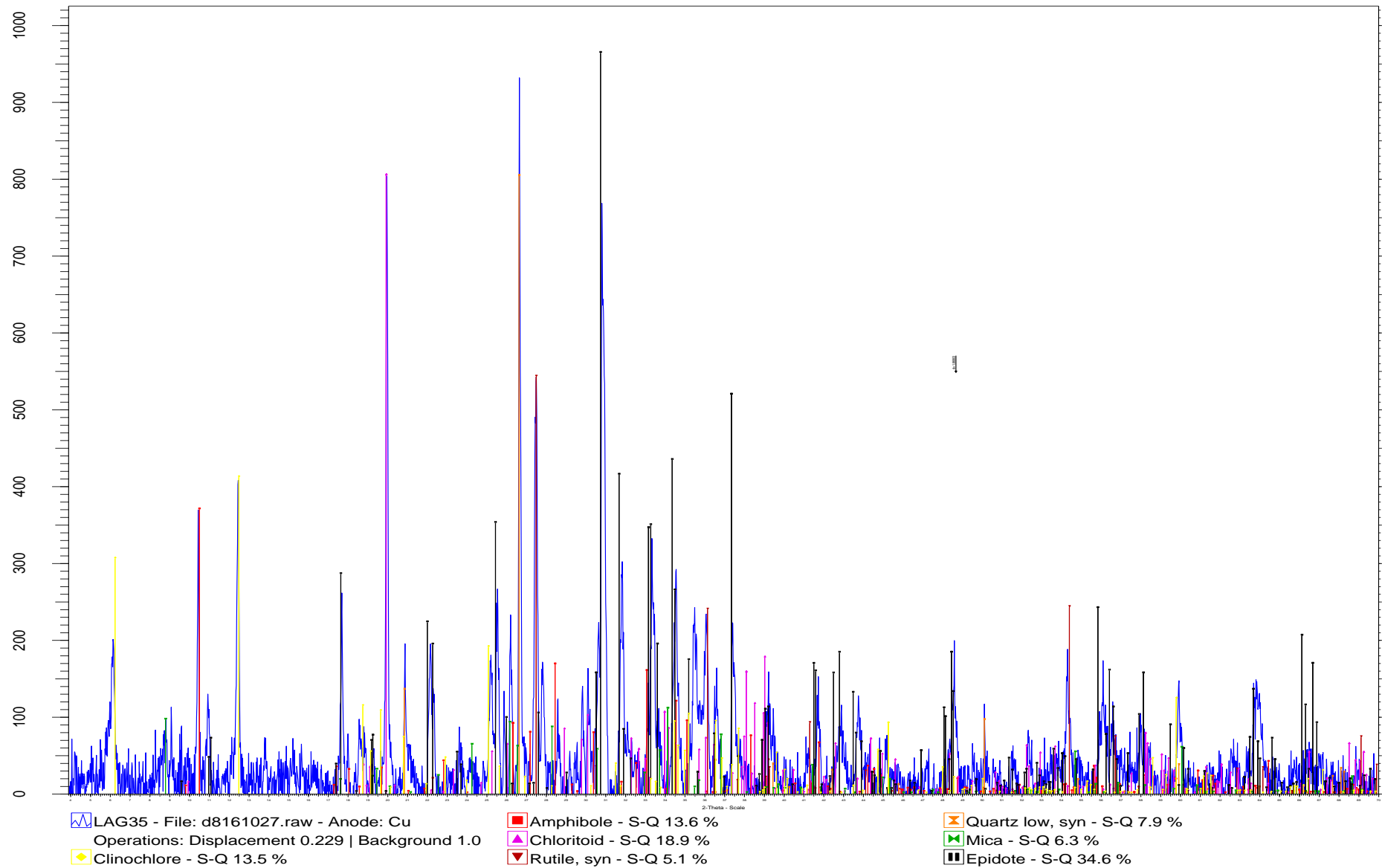
# LAG32B



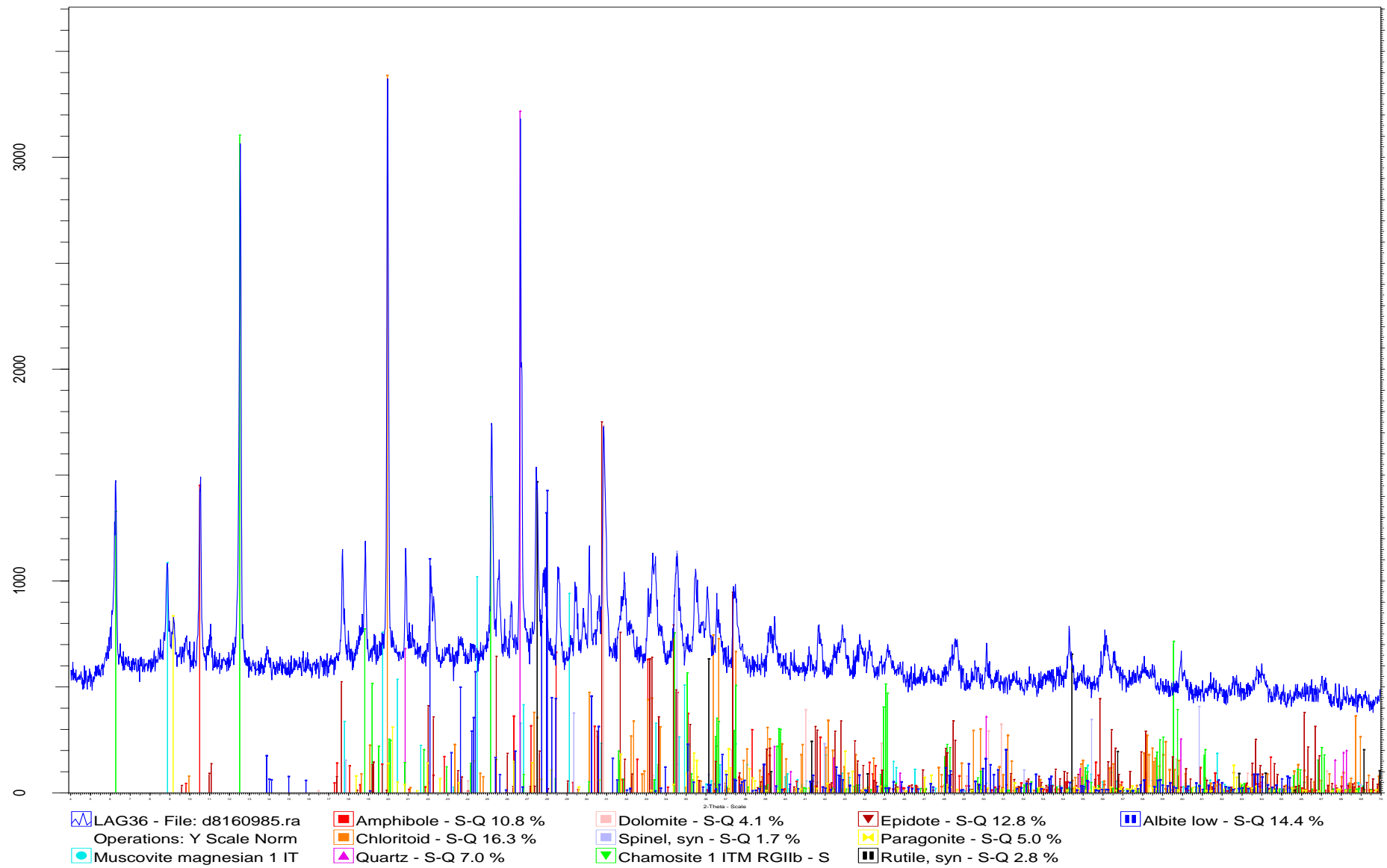
# LAG34



# LAG35

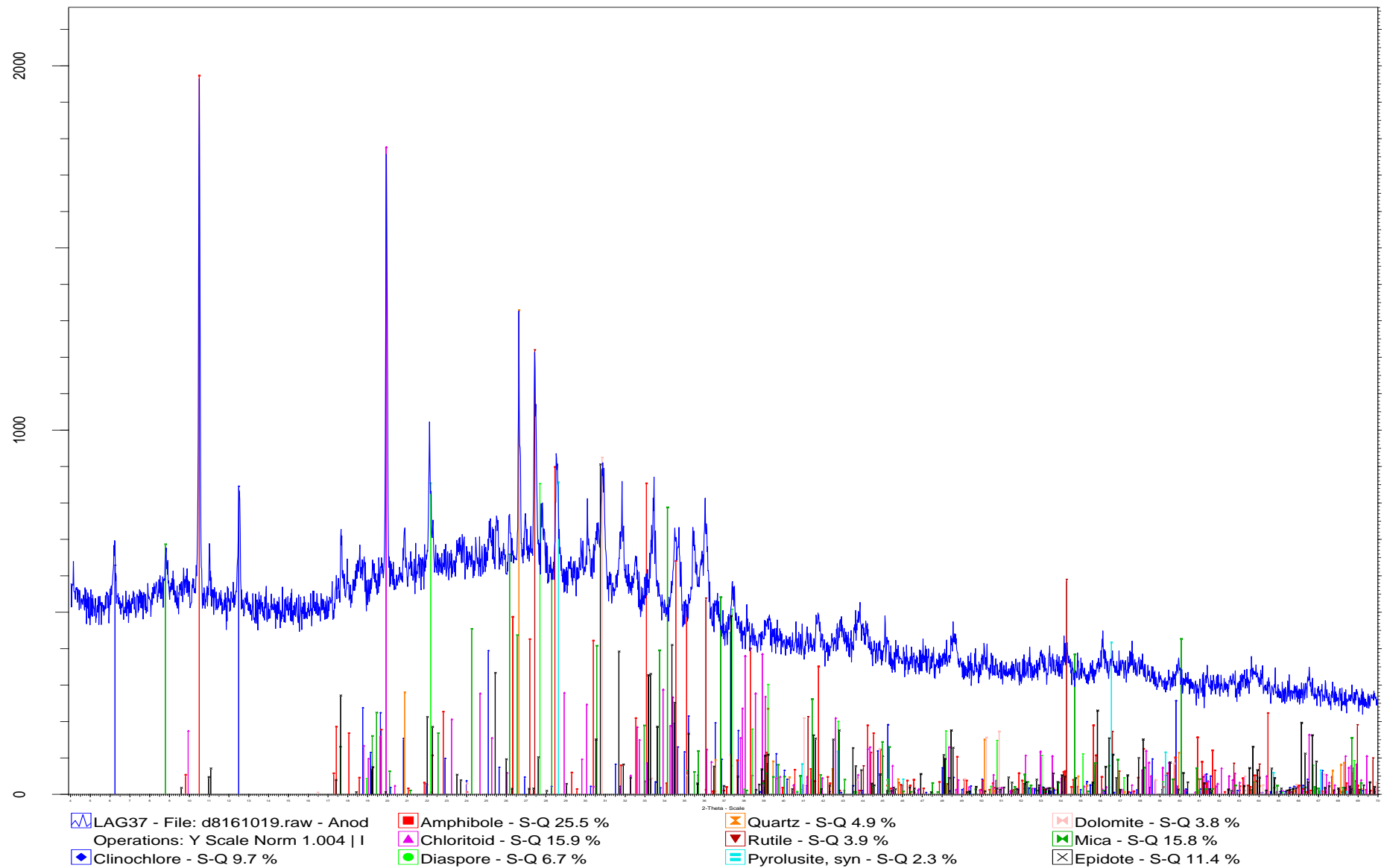


# LAG36

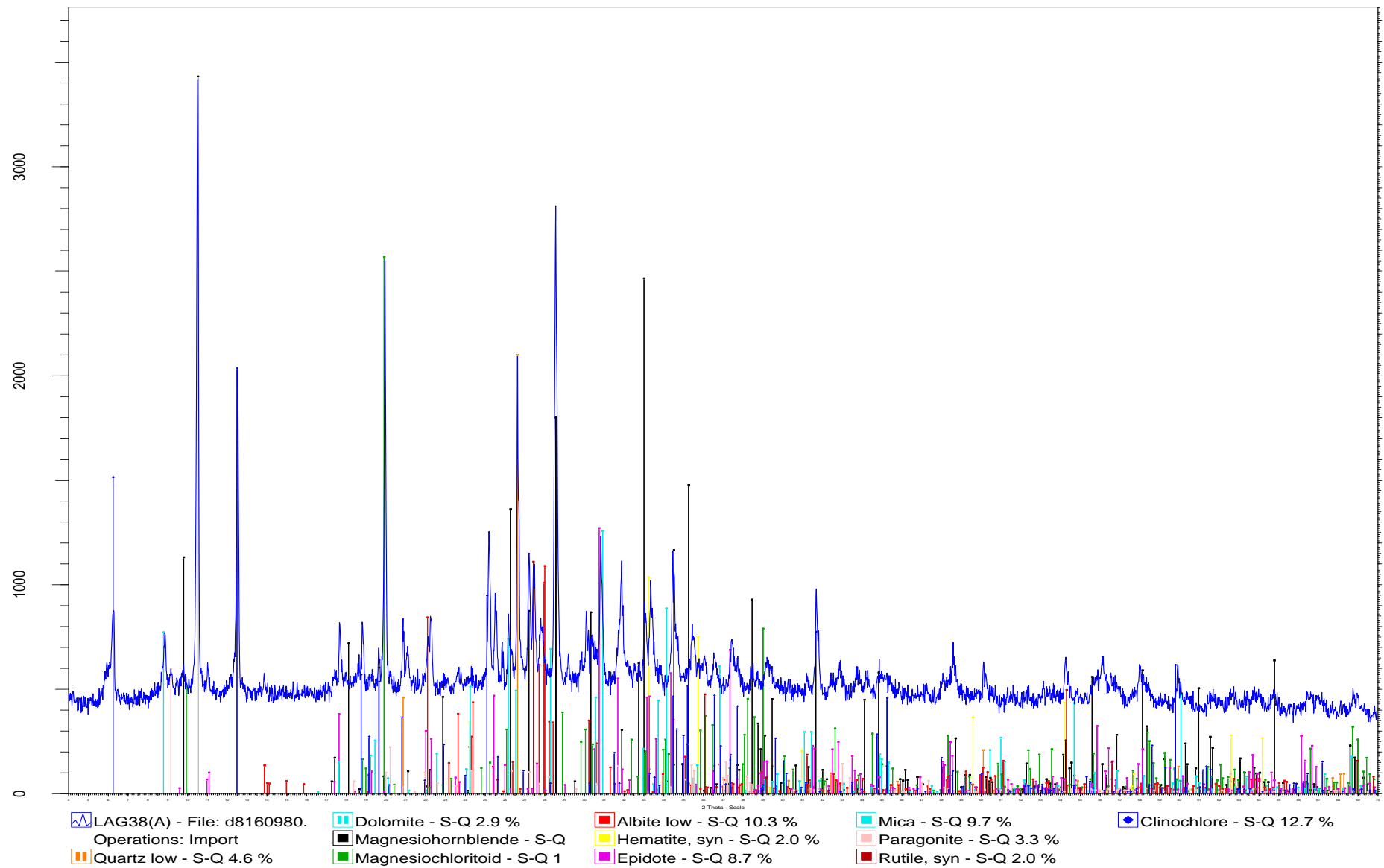




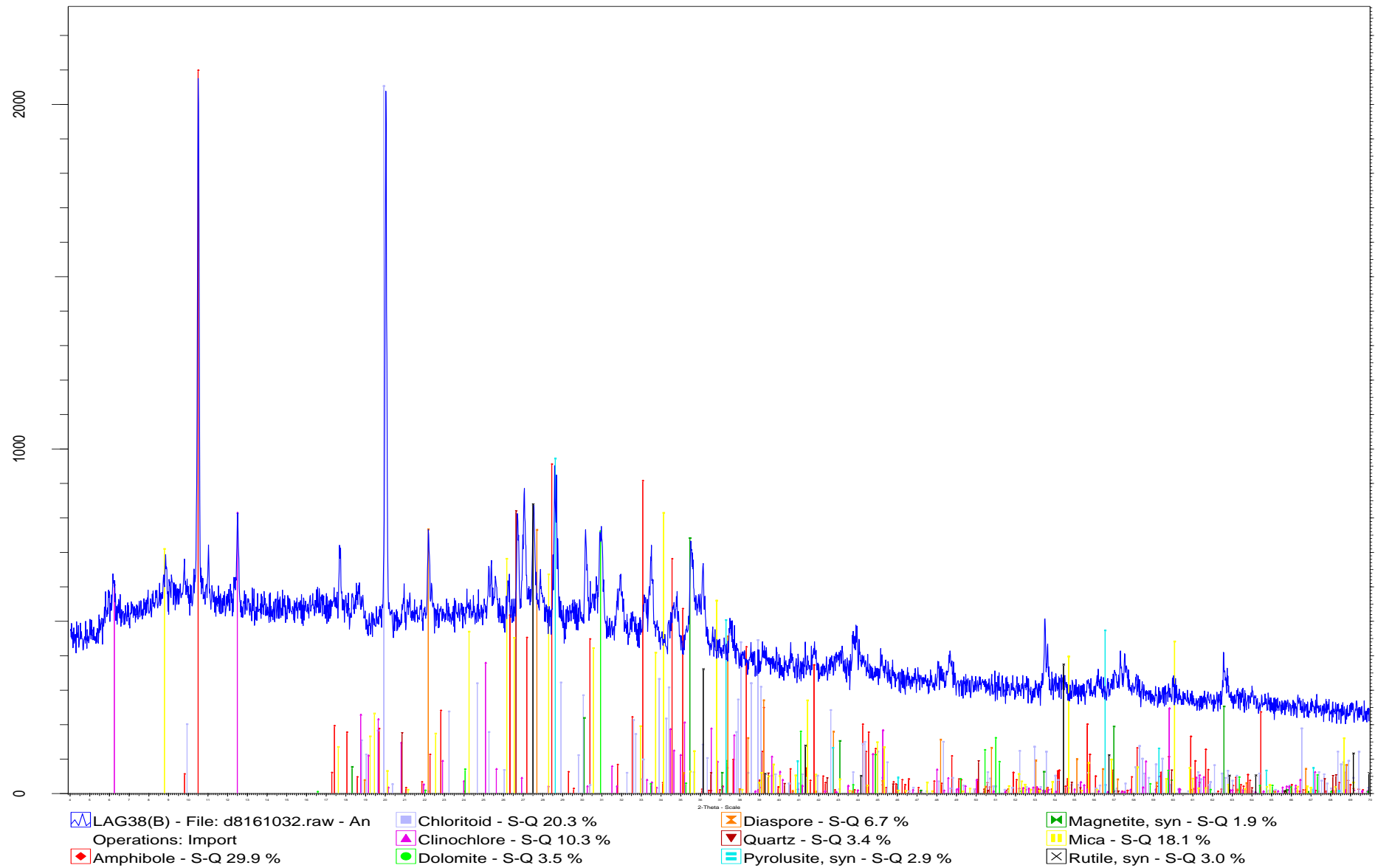
# LAG37



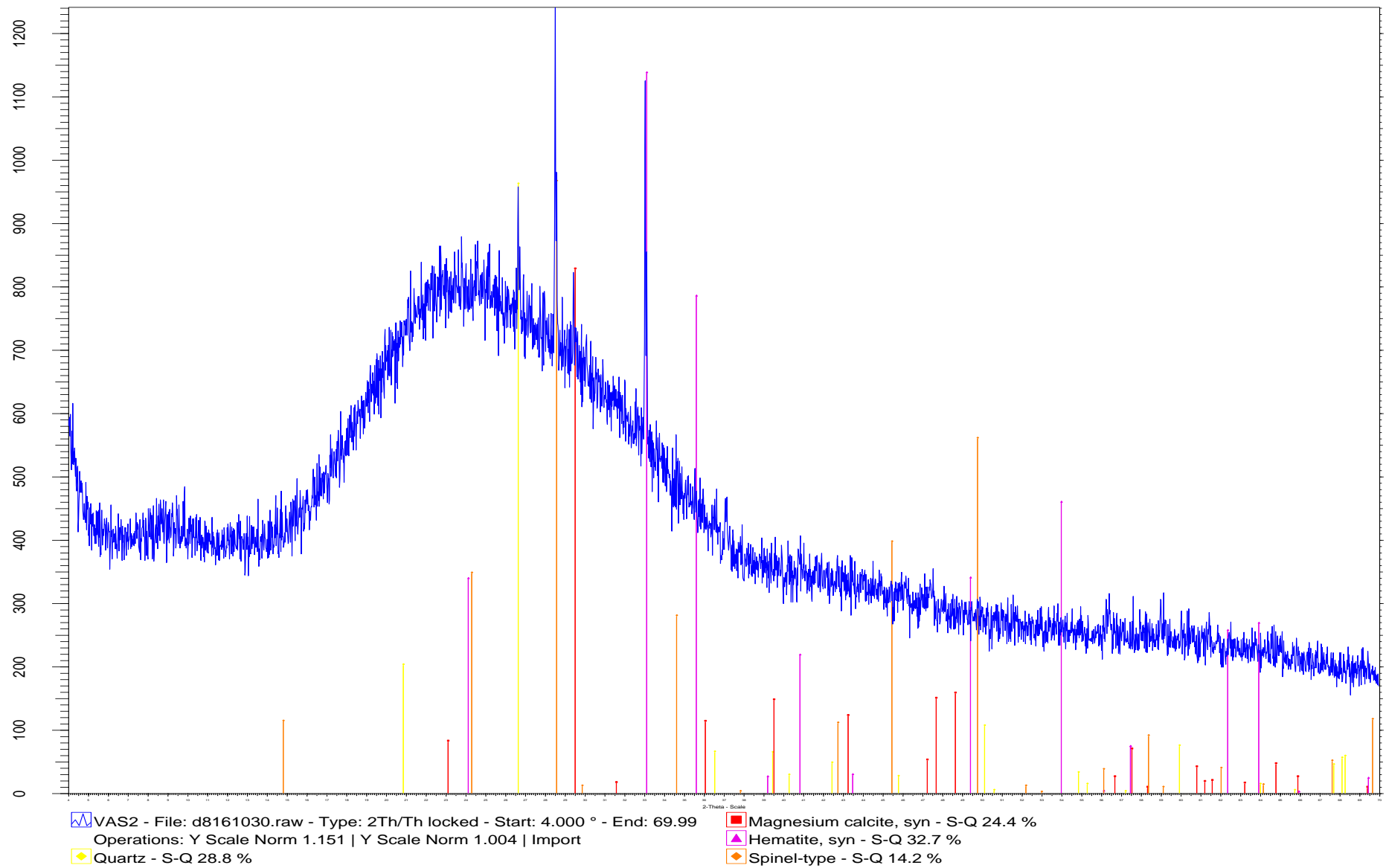
# LAG38(A)



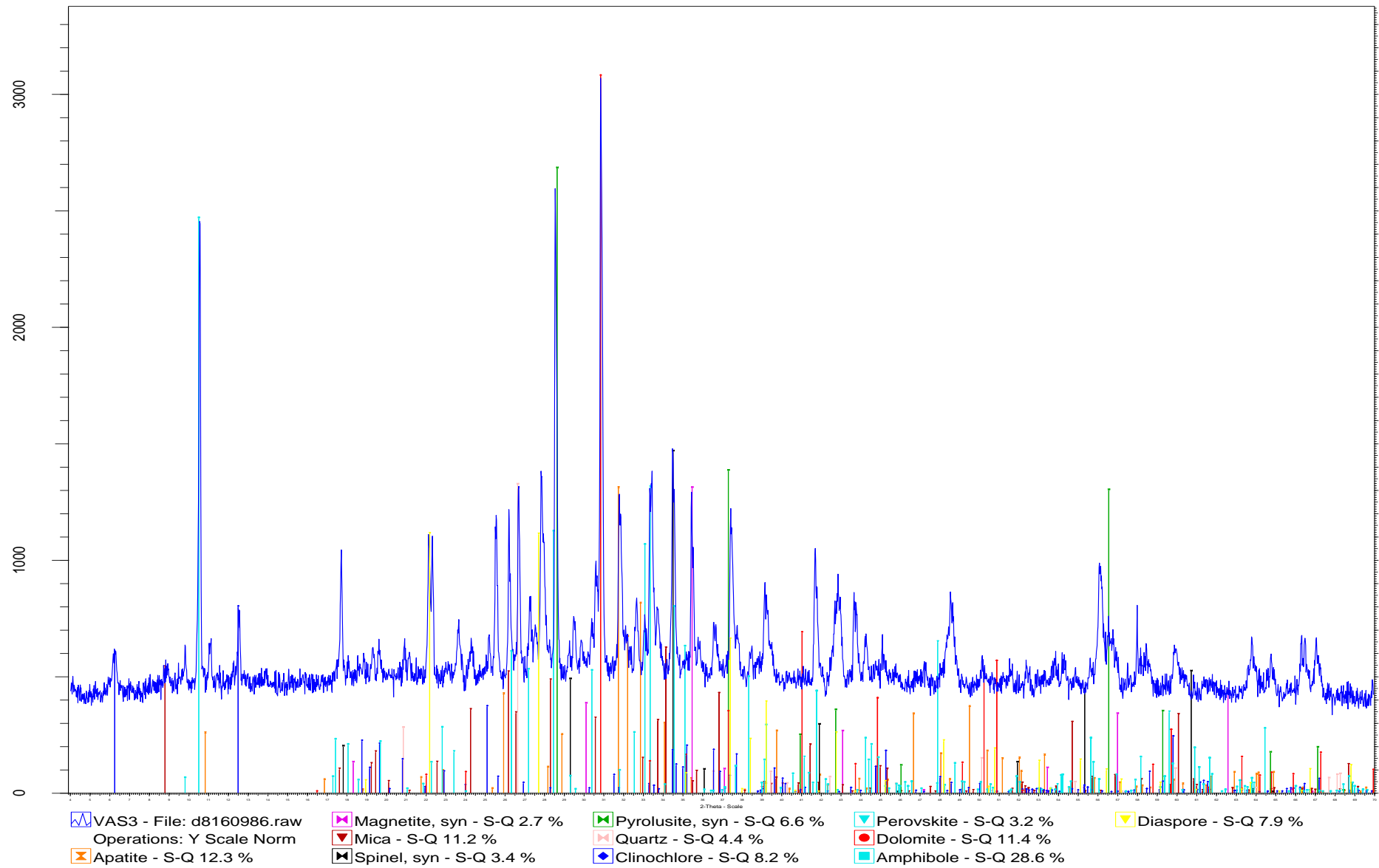
# LAG38(B)



# VAS2

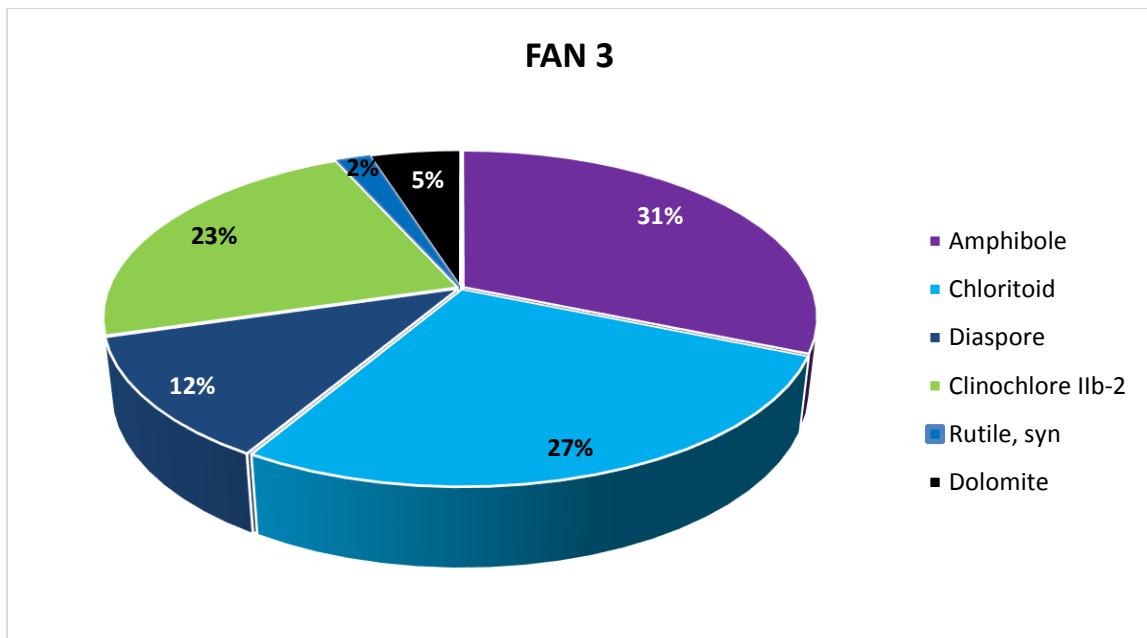
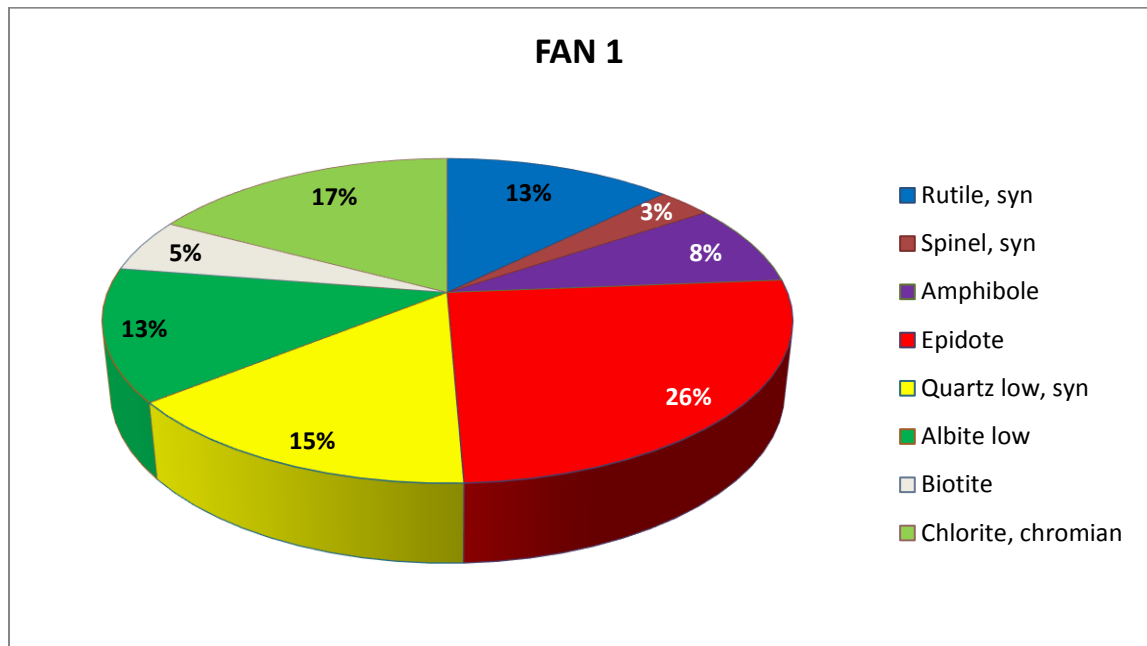


# VAS3

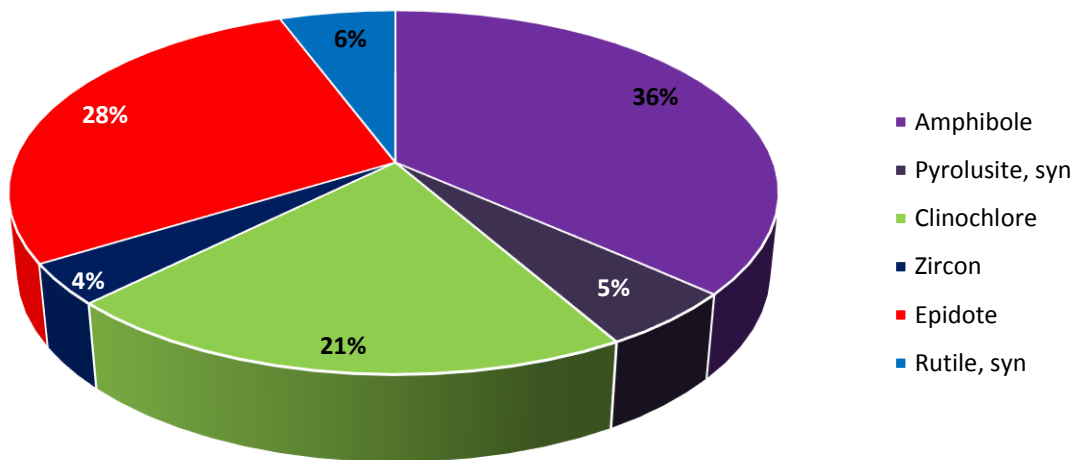


## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΤΟΥ ΒΑΡΕΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ

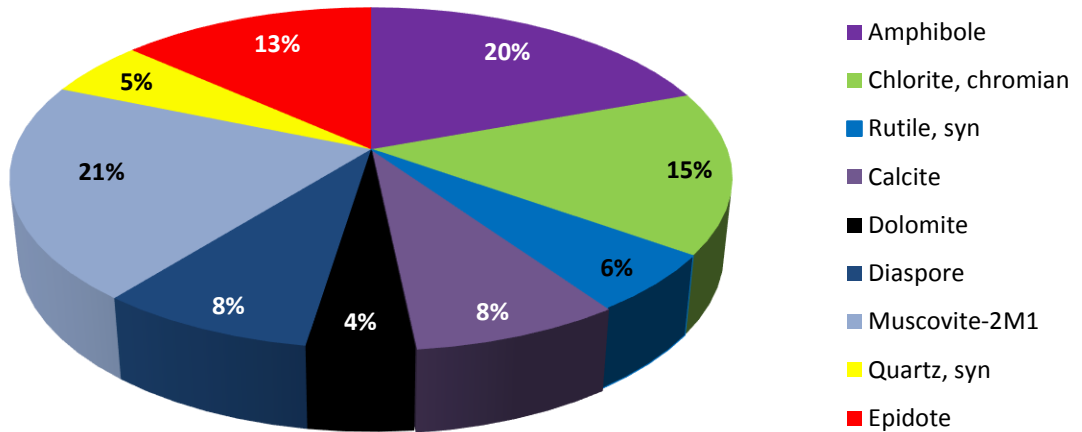
✚ Περιοχή Φανερωμένης



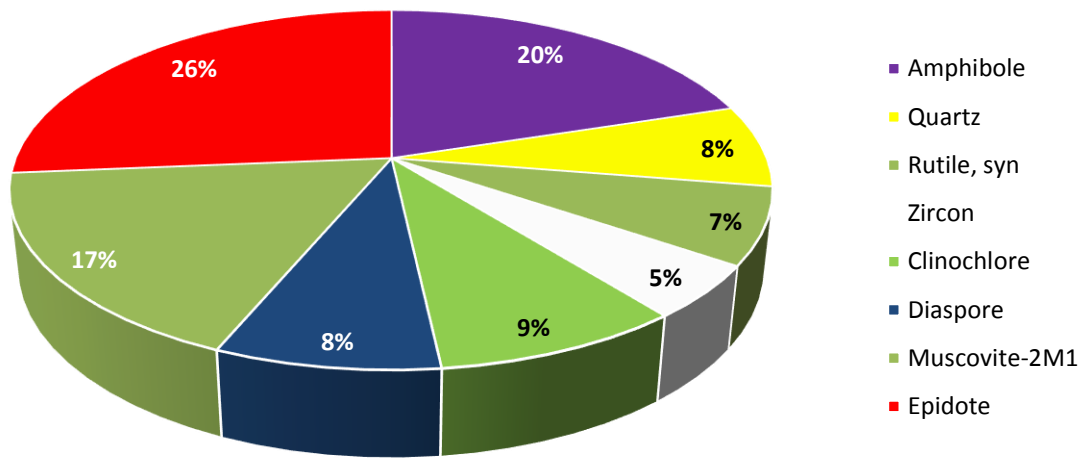
**FAN 4**



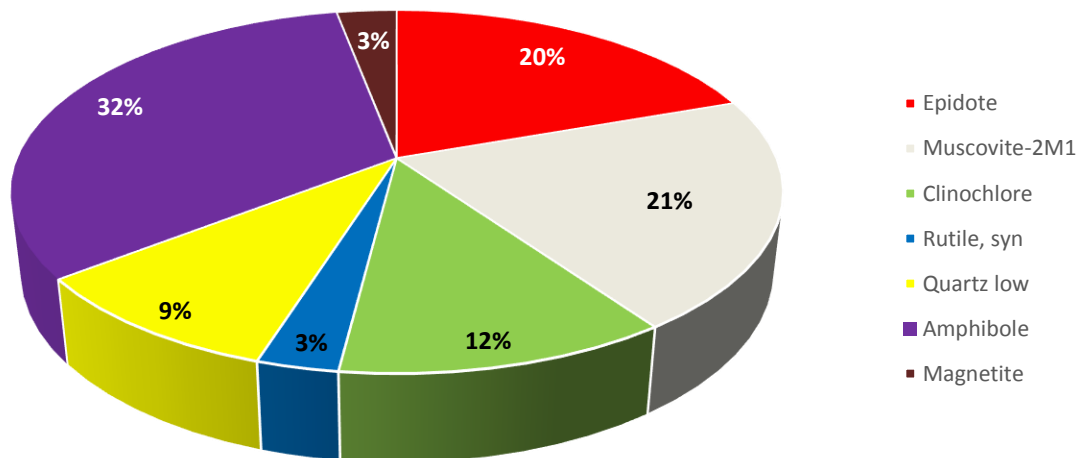
**FAN 8**



**FAN 11 A**

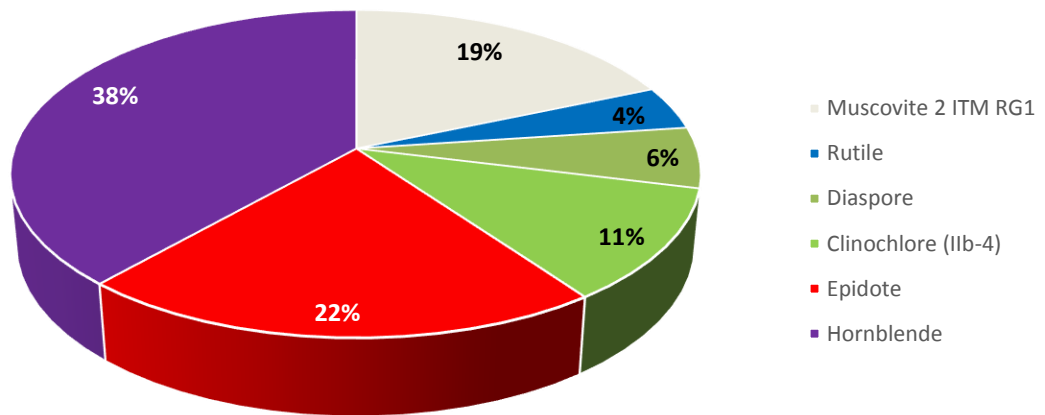


**FAN 11 B**

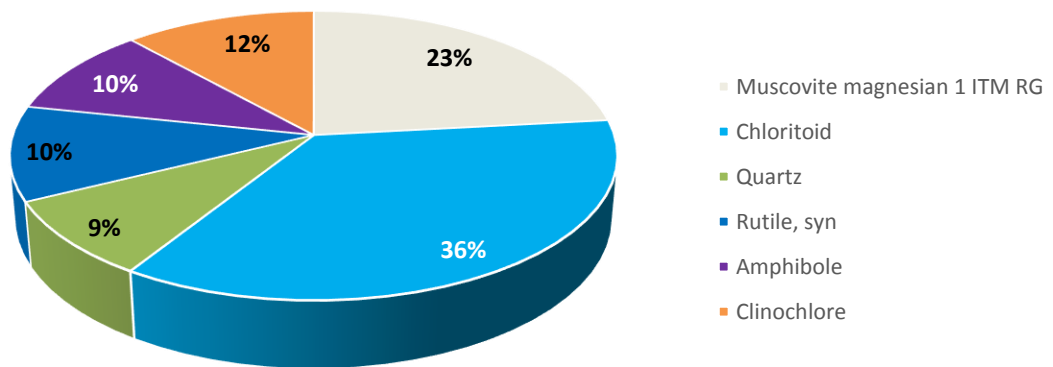




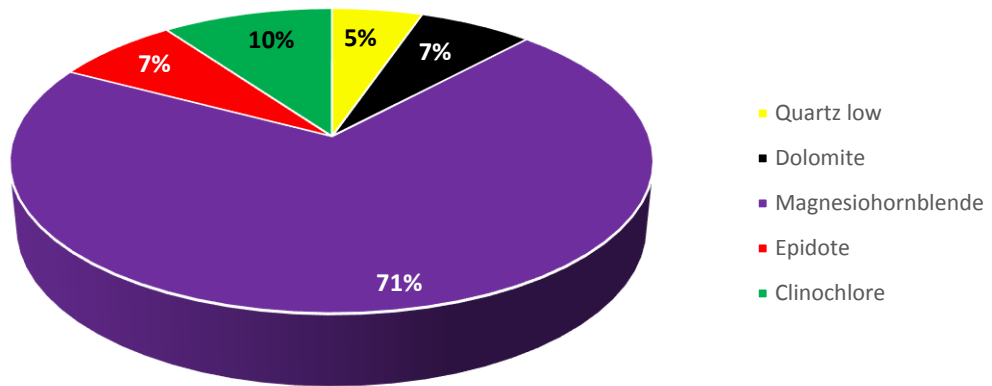
**FAN 11 C**



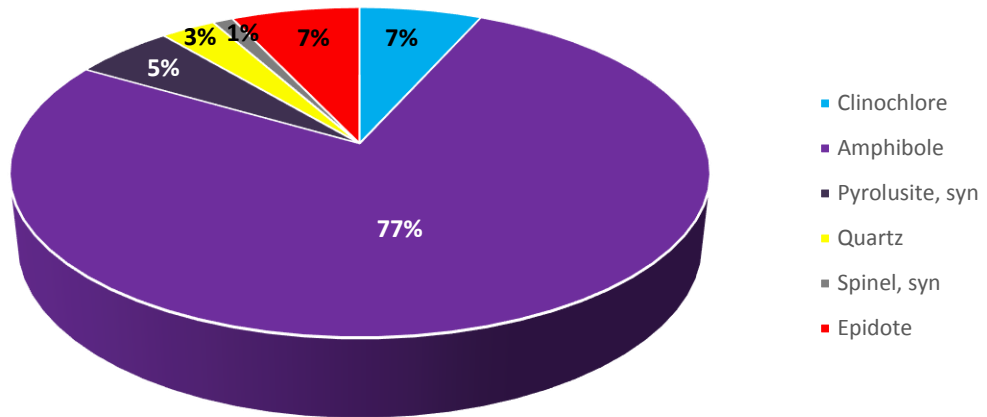
**FAN 12**



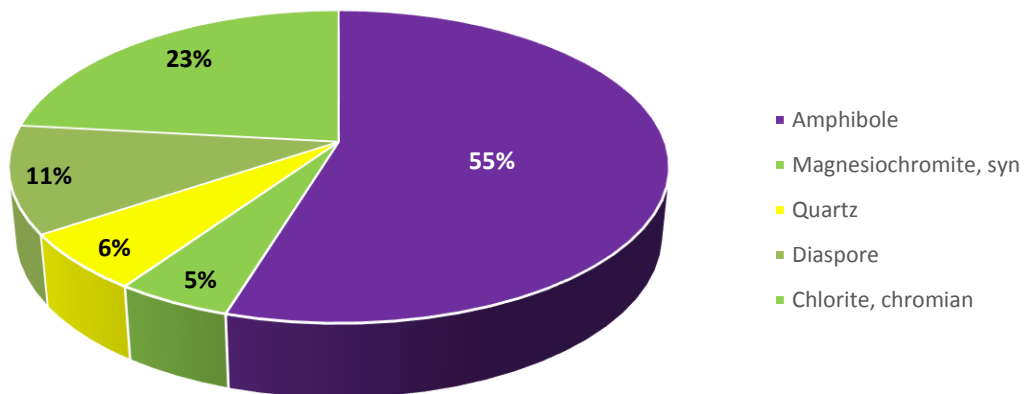
**FAN 14**



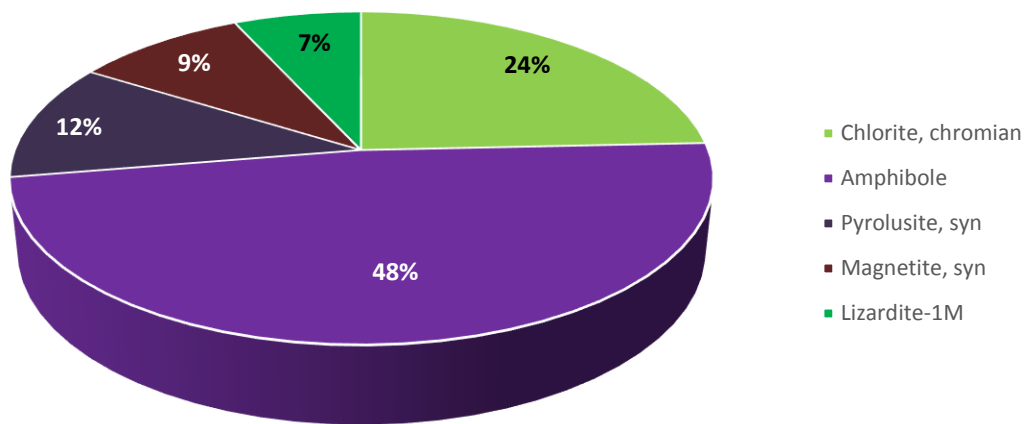
**FAN 15**



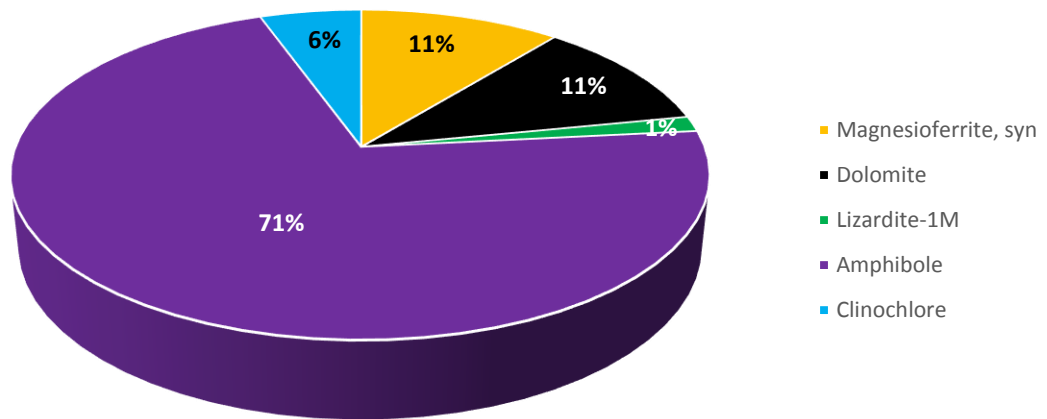
**FAN 16**



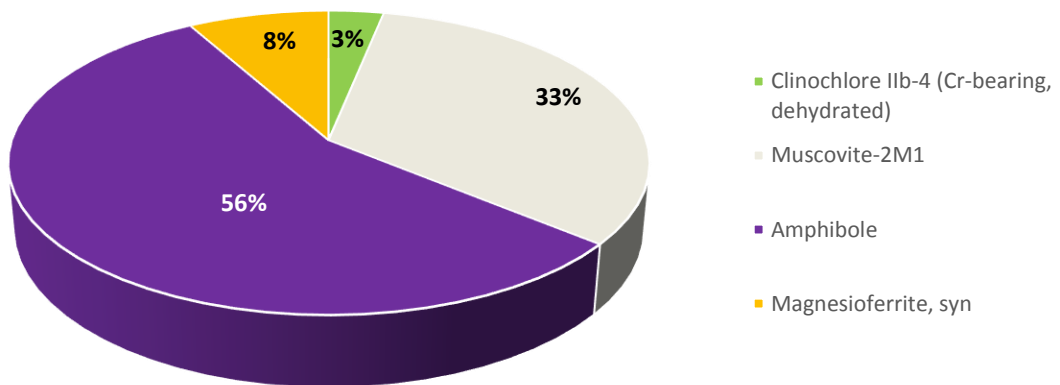
**FAN 18 A**

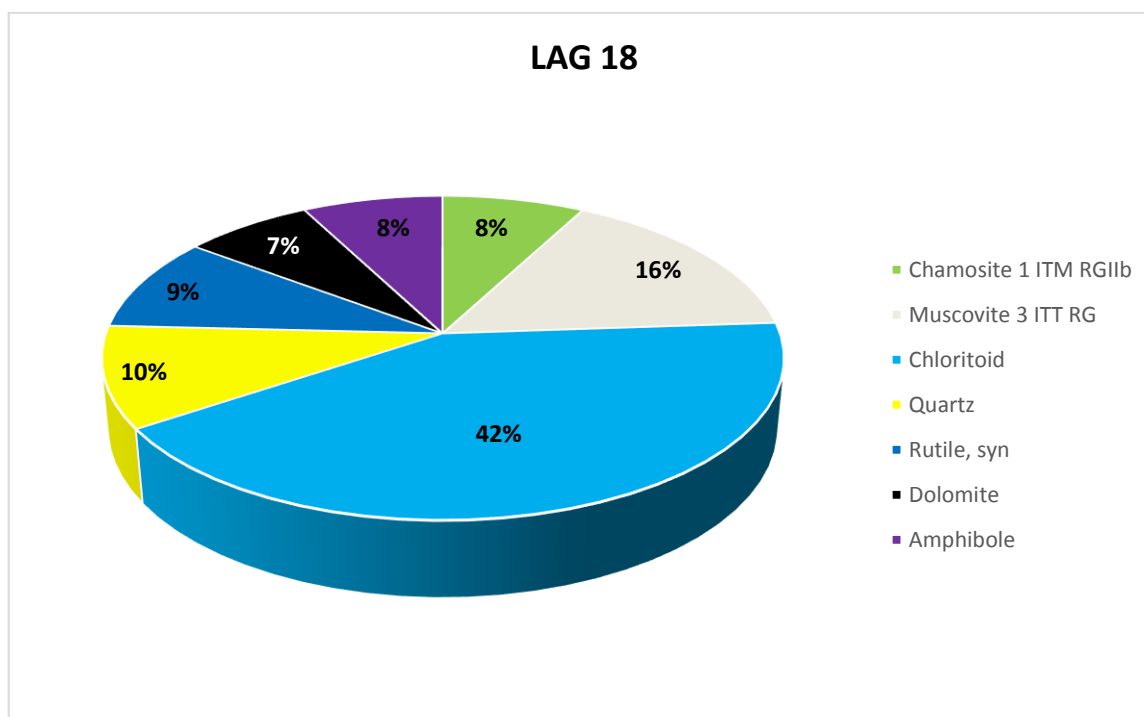
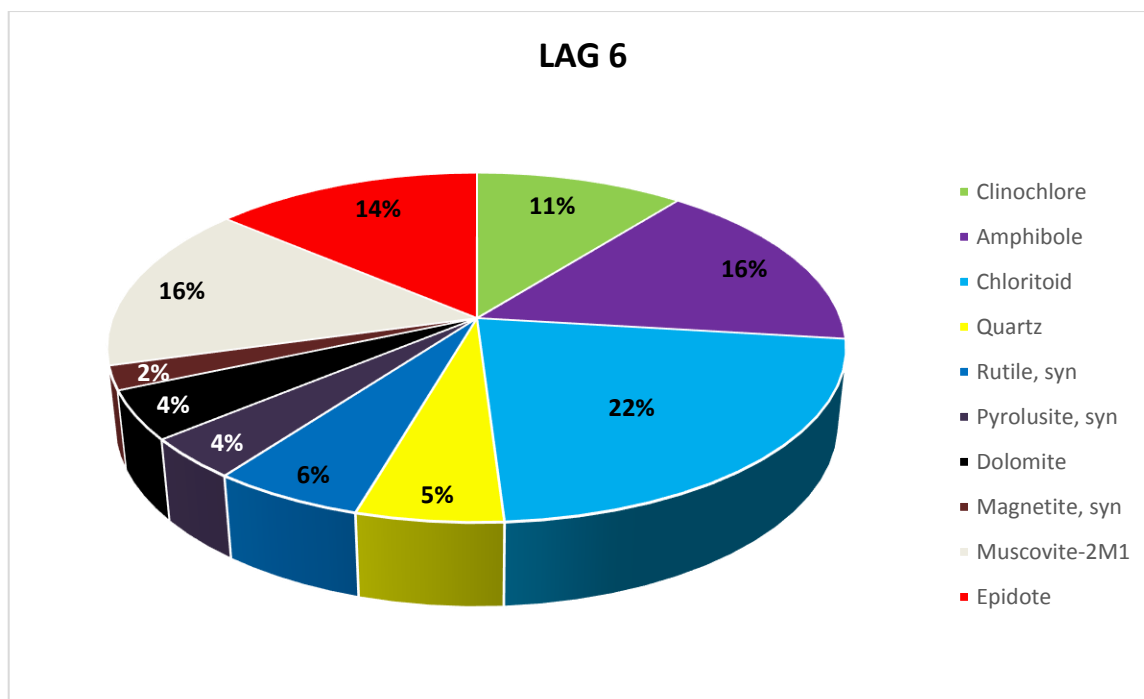


**FAN 18 B**

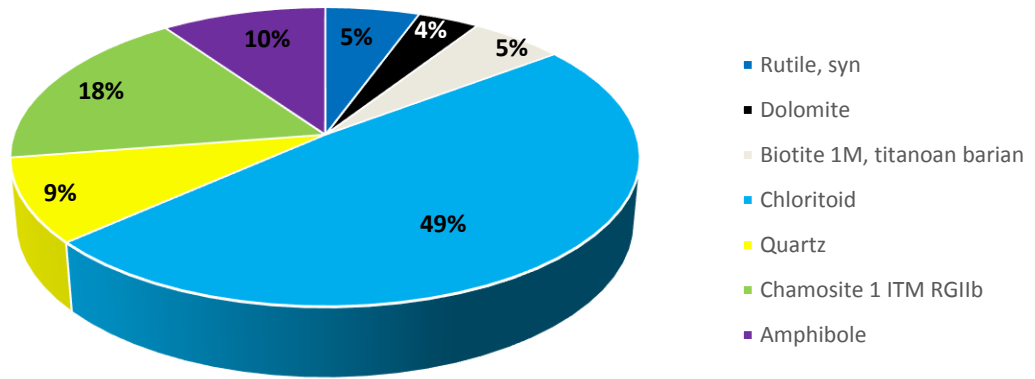


**FAN 18 C**

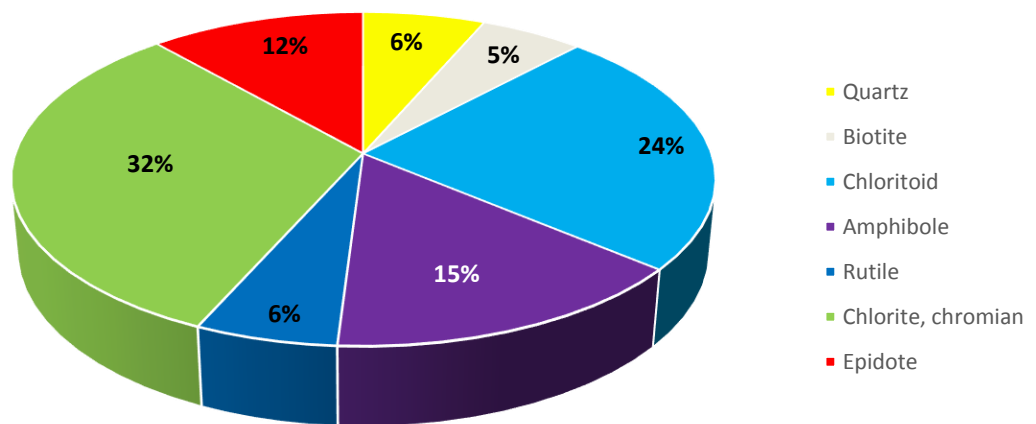




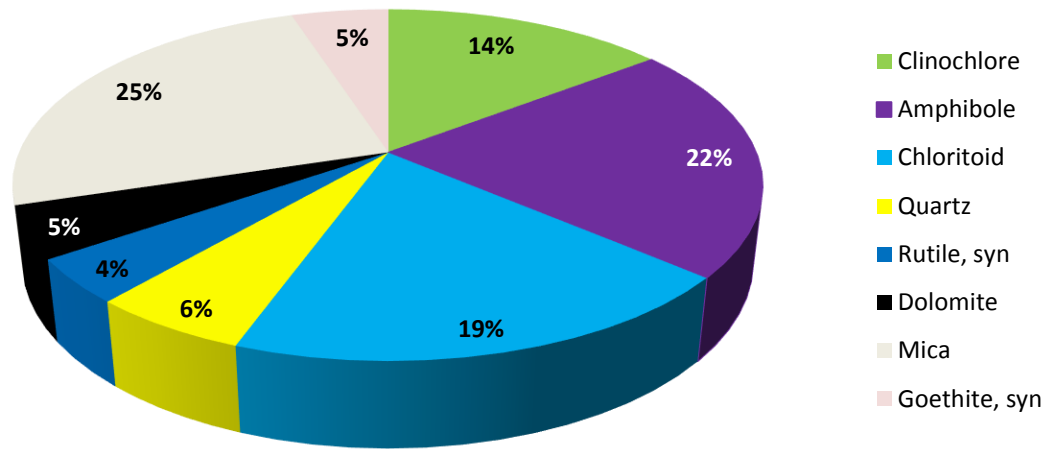
**LAG 19**



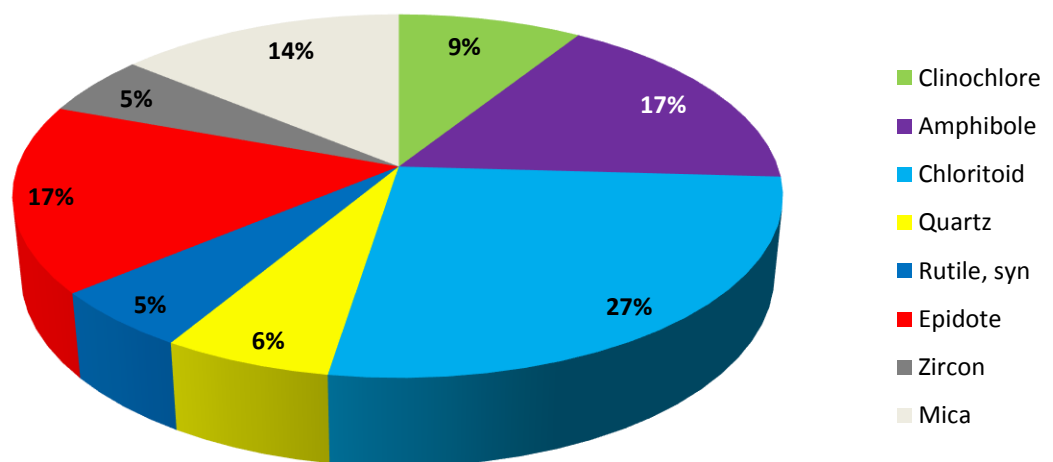
**LAG 20 B**



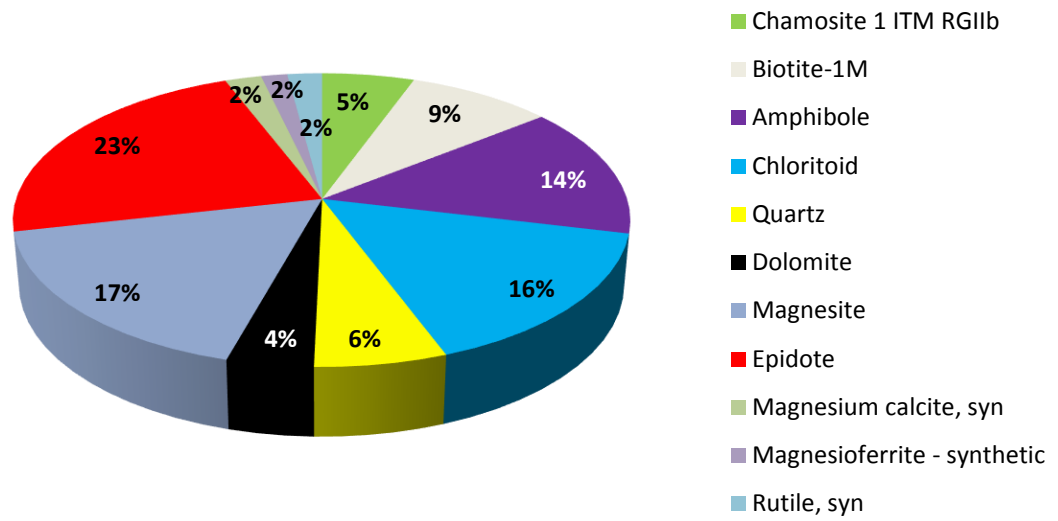
**LAG 23**



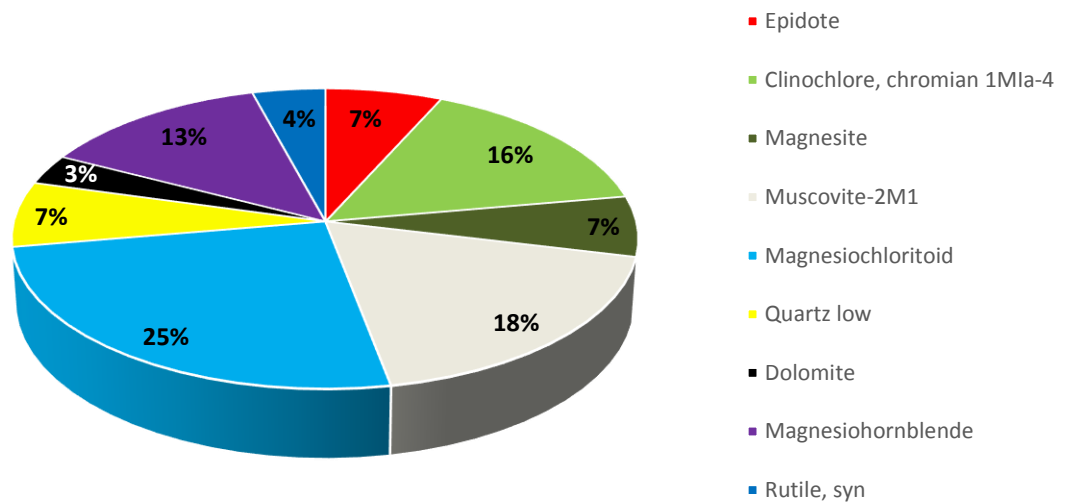
**LAG 24**



### LAG 25

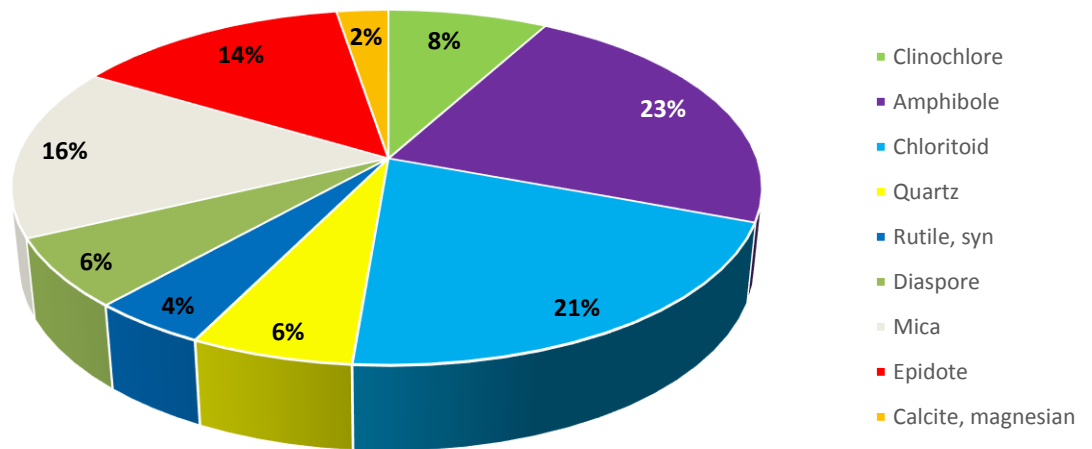


### LAG 27

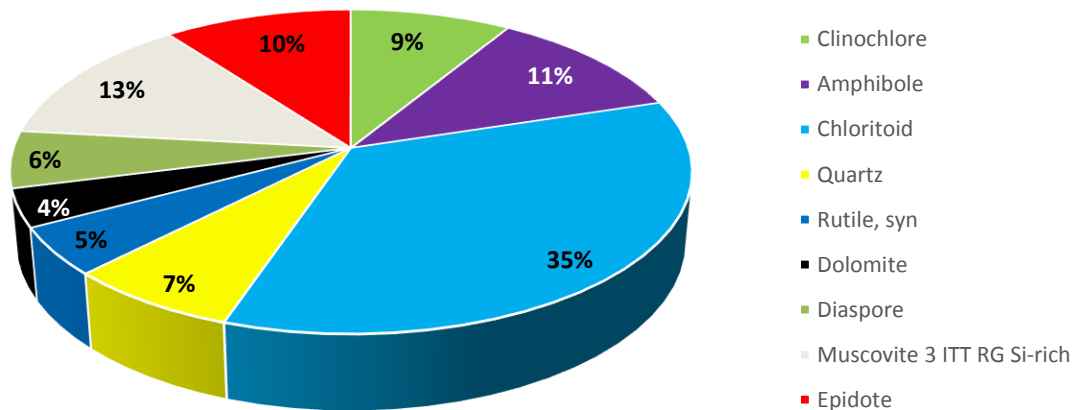




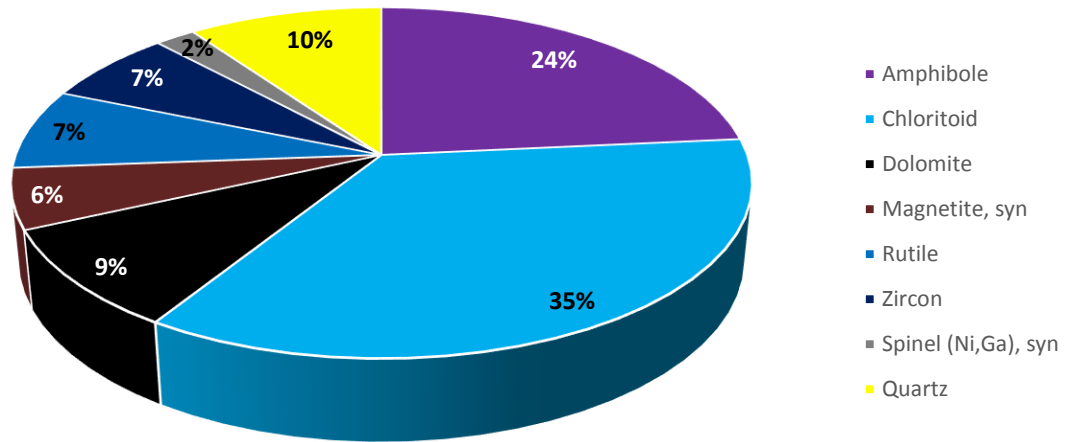
**LAG 29**



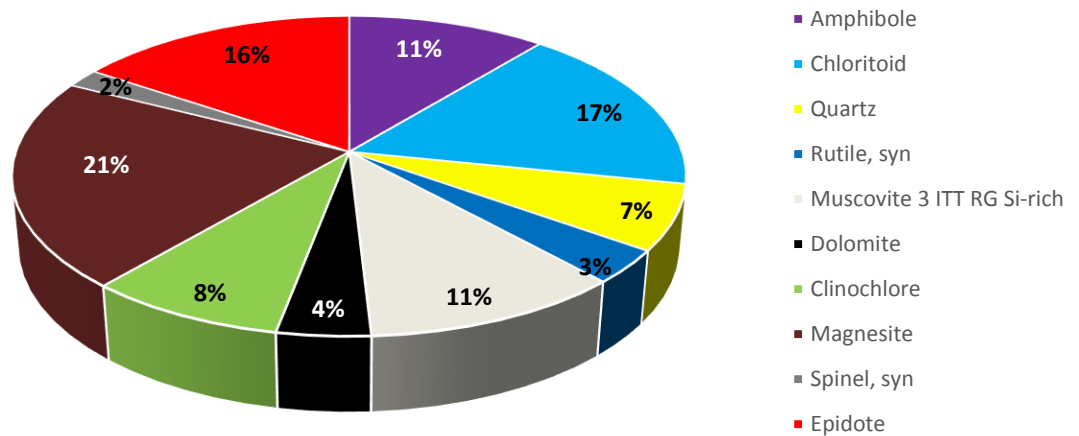
**LAG 30 A**



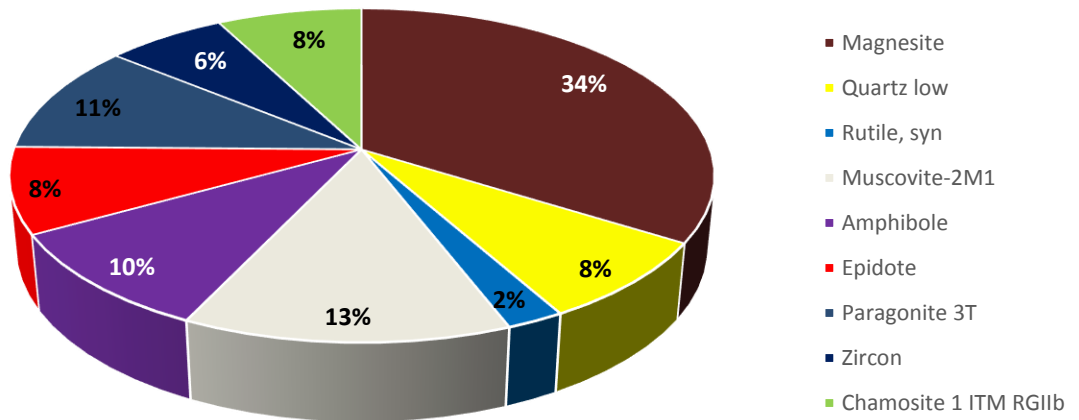
**LAG 30 B**



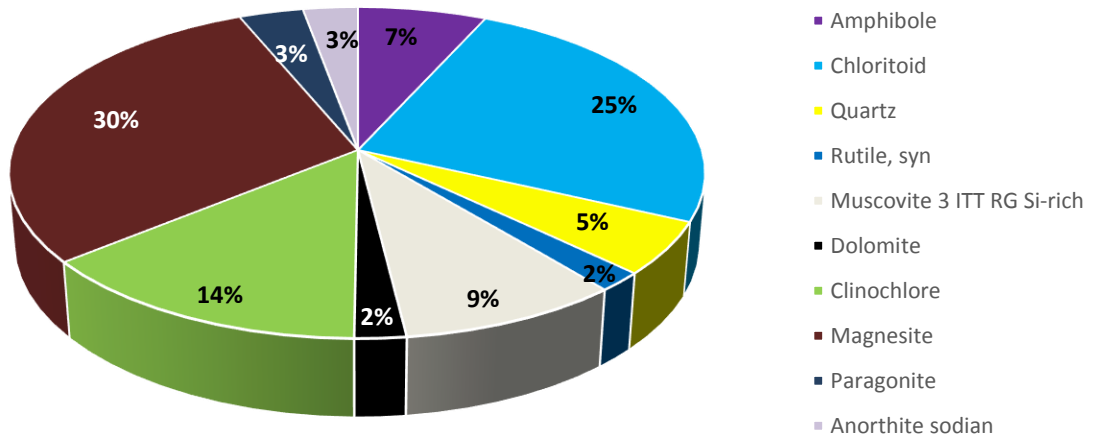
**LAG 31**



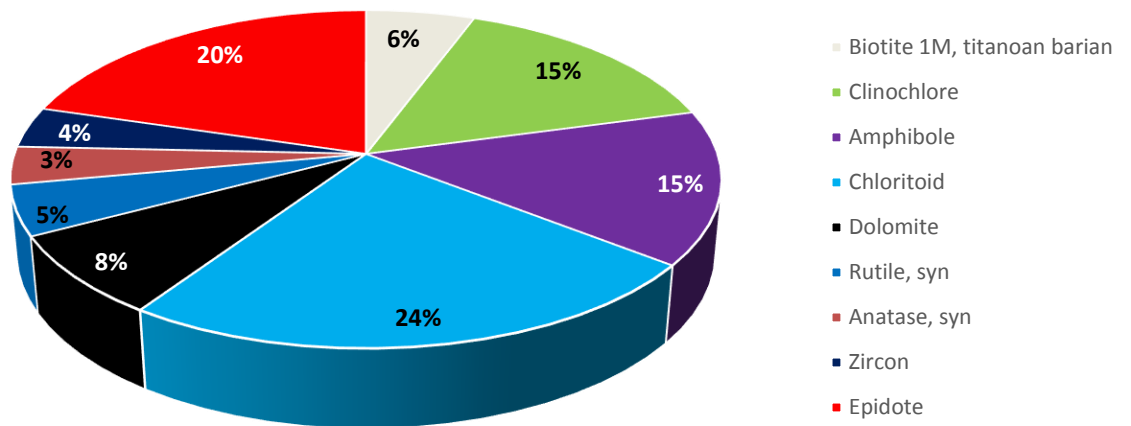
**LAG 32 A**



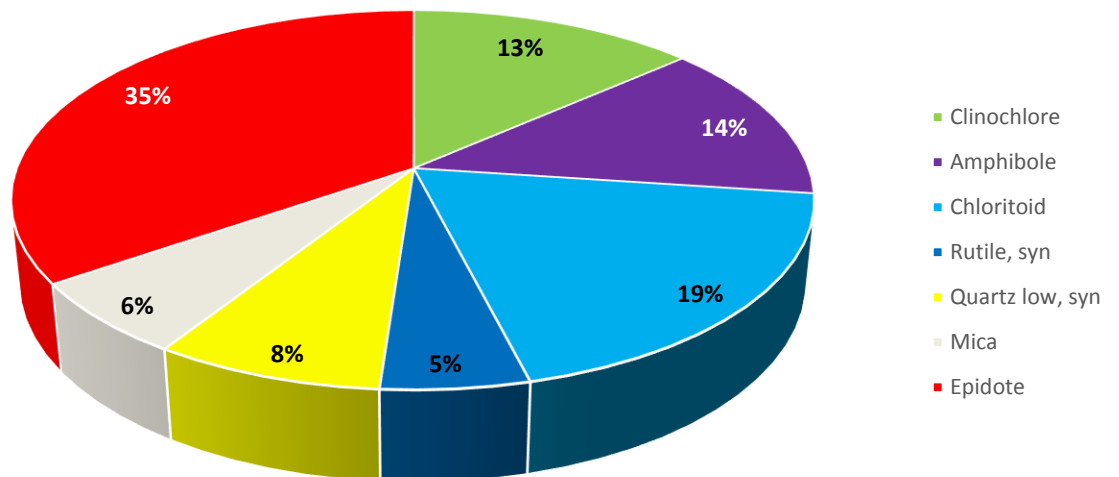
**LAG 32 B**



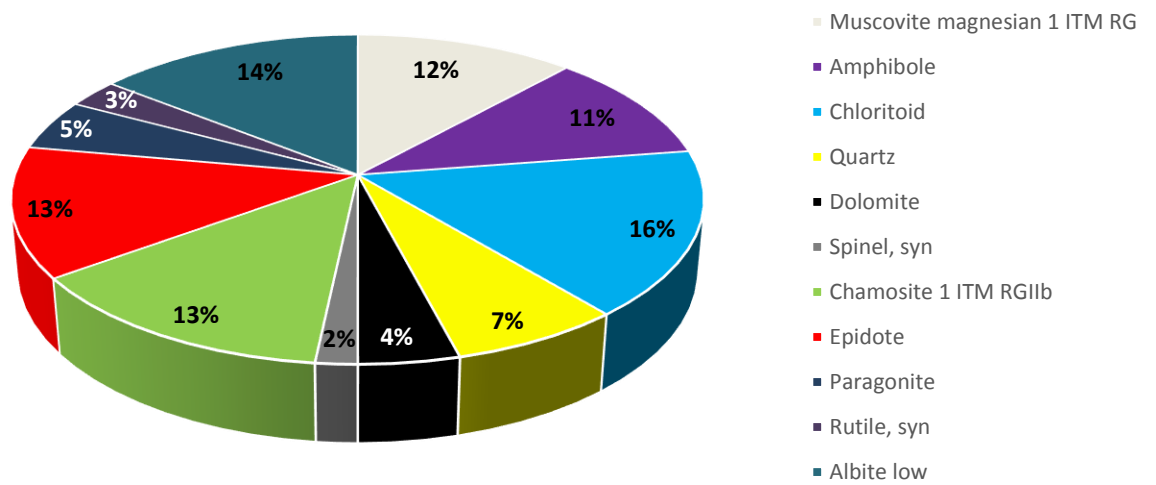
**LAG 34**



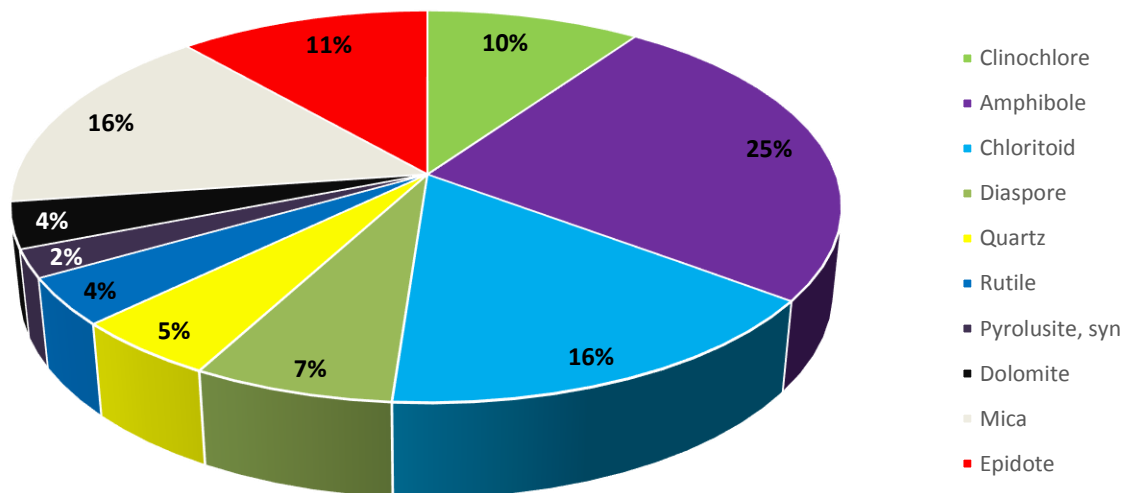
**LAG 35**



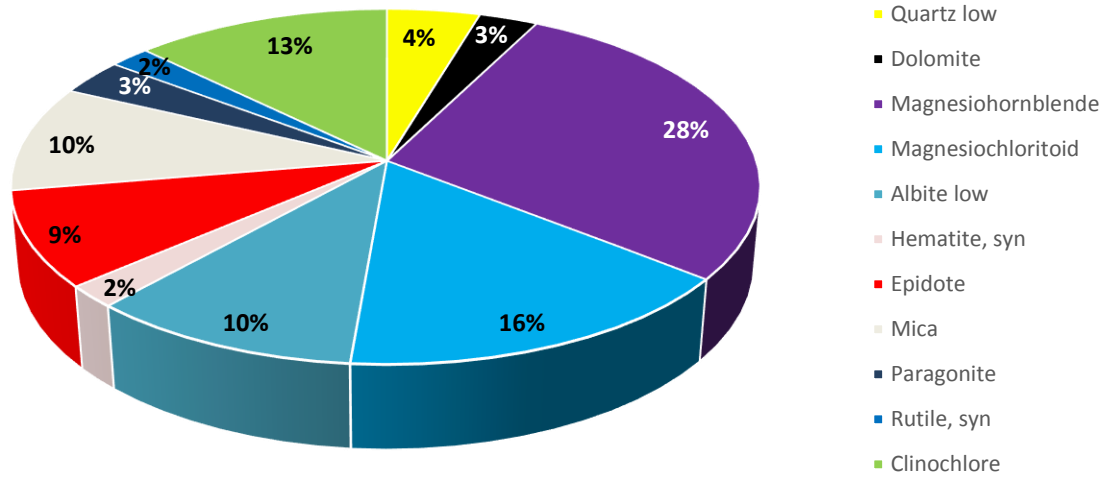
**LAG 36**



**LAG 37**



**LAG 38 A**



**LAG 38 B**

