



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**« Γεωλογική Μελέτη Νεογενούς Σχηματισμού στη Δυτική Κρήτη
με Έμφαση στην Ανίχνευση Χρυσού στο Ψαμμιτικό Κλάσμα
Ιλυολιθικής Ακολουθίας »**



ΦΡΑΓΚΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

Εξεταστική επιτροπή :

Αναπληρωτής Καθηγητής Μανούτσογλου Εμμανουήλ (επιβλέπων)
Καθηγητής Σταμπολιάδης Ηλίας
Καθηγητής Βαφείδης Αντώνιος

Μάρτιος 2010
Χανιά

**Αφιερώνεται
στην οικογένειά μου**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η σημερινή χωρική διάταξη των πετρωμάτων και το σημερινό τοπογραφικό ανάγλυφο, στην περιοχή της Ποταμίδας στη δυτική Κρήτη, είναι το αποτέλεσμα μακροχρόνιων, διαφορετικής ταχύτητας, μη γραμμικών δυναμικών γεωλογικών διεργασιών, που τοπικά δημιουργούν σχετικά «κλειστά» υποσυστήματα. Για την προσέγγιση, εντός αυτών των υποσυστημάτων, μιας μόνης διεργασίας, όπως είναι το αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας, της προσέγγισης διαδικασιών φυσικού εμπλουτισμού στο ευγενές μέταλλο χρυσός, κρίθηκε απαραίτητο να προσεγγιστούν με διαφορετικές μεθοδολογίες τα μετρήσιμα μεγέθη των γεωλογικών διεργασιών ώστε να προκύψει μια ευρύτερη εικόνα για την διαδικασία αυτή σε μια συγκεκριμένη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κύριο Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου την συγκεκριμένη εργασία αλλά και για την καθοδήγηση, την επίβλεψη και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια της. Επίσης, τον Καθηγητή, κύριο Σταμπολιάδη Ηλία, για την παραχώρηση των εργαστηρίων Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων, τον χρόνο που αφιέρωσε για την διόρθωση της παρούσας εργασίας και τις υποδείξεις σχετικά με την εργαστηριακή επεξεργασία των δειγμάτων. Ακόμη, τον Ομότιμο Καθηγητή κύριο Περδικάτση Βασίλειο για την παραχώρηση των εργαστηρίων Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας και τον χρόνο που διέθεσε για τις σχετικές υποδείξεις με την εκτέλεση των εργαστηριακών μελετών. Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή, κύριο Βαφείδη Αντώνιο για την διάθεση του εξοπλισμού των εργαστηρίων Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής Πολυτεχνείου Κρήτης ώστε να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με τη μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή της Ποταμίδας, για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και την αξιολόγηση της εργασίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους με βοήθησαν κατά την συλλογή των δειγμάτων, την εκτέλεση των εργαστηριακών

αναλύσεων, καθώς και την συγγραφή της διπλωματικής μου εργασίας. Πρώτα από όλα πρέπει να ευχαριστήσω την κυρία Παντελάκη Όλγα, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων, για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε σε μένα και που με την πολύχρονη εμπειρία της με βοήθησε να ολοκληρώσω επιτυχώς όλα τα στάδια της εργαστηριακής επεξεργασίας και ανάλυσης. Επίσης, ευχαριστώ την κυρία Πεντάρη Δέσποινα, Χημικό, για την βοήθεια και την επίβλεψή της κατά την εκτέλεση των χημικών αναλύσεων χρυσού με την μέθοδο της φασματοσκοπίας ατομικής απορρόφησης. Ακόμα ευχαριστώ τον κύριο Κωστάκη Γιώργο, καθηγητή για την διάθεση του εργαστηρίου περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD), τον κύριο Αλεβίζο Γεώργιο, επίκουρο καθηγητή για την πολύτιμη βοήθειά του στην ανάλυση των δειγμάτων με την μέθοδο XRD καθώς και τον κύριο Αποστολάκη Γιώργο, παρασκευαστή για την κατασκευή των στιλπνών τομών των δειγμάτων που αναλύθηκαν με την εν λόγω μέθοδο. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κύριο Νικόλαο Πασσαδάκη, επίκουρο καθηγητή και την κυρία Χαμηλάκη Ελένη, Χημικό, για την βοήθειά τους στην ανάλυση ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Υδρογονανθράκων. Ακόμα ευχαριστώ τον κύριο Βαβαδάκη Διονύση, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων για την βοήθειά του στις αναλύσεις υγραμέτρου στο εργαστήριο υδρογεωλογίας. Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον διδακτορικό φοιτητή κύριο Hamdan Hamdan για την συνδρομή του κατά την πραγματοποίηση και ερμηνεία των γεωφυσικών διασκοπίσεων.

Ακόμα, θέλω να ευχαριστήσω τον Πυλιώτη Γιάννη, Γεωλόγο και την Σταθογιάννη Φωτεινή, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων για την βοήθειά τους και την ηθική συμπαράστασή τους σε όλη την διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής εργασίας και τον κύριο Παναγόπουλο Γιώργο, Γεωλόγο, για την βοήθεια του κατά την πραγματοποίηση της υπαίθριας δειγματοληψίας. Τέλος ιδιαίτερα πρέπει να ευχαριστήσω τον κύριο Δημόπουλο Νίκο, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων, για την υπομονή του και την πολύτιμη βοήθειά του κατά την σύνθεση και συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κλείνοντας θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόησή τους όλον αυτό τον καιρό, καθώς και για την ηθική και οικονομική βοήθεια που μου προσέφεραν αμέριστα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ευρύτερη γεωλογική μελέτη για την ανίχνευση ιχνών χρυσού στο ψαμμιτικό κλάσμα ιλυολίθων του Νεογενούς στη βορειοδυτική Κρήτη και συγκεκριμένα στην περιοχή της Ποταμίδας.

Για τον σκοπό αυτό αρχικά αναφέρονται οι επικρατούσες απόψεις περί της κατανομής του χρυσού σε ορυκτά και σε διαφορετικής λιθολογίας πετρώματα, των μηχανισμών που οδηγούν σε συγκέντρωση και φυσικό εμπλουτισμό του κατά θέσεις, καθώς επίσης οι υπάρχουσες απόψεις για την τεκτονοστρωματογραφική εξέλιξη των σχηματισμών του Νεογενούς στην ΒΔ Κρήτη.

Στο κεντρικό τμήμα της ιζηματογενούς λεκάνης του Καστελίου, στην περιοχή της Ποταμίδας της επαρχίας Κισσάμου στην Δυτική Κρήτη, εμφανίζονται δύο φυσικά πρηνή της συμπαγούς ιλυολιθικής ακολουθίας. Από αυτή τη στρωματογραφική επαλληλία συλλέχθηκαν 23 δείγματα ιλυολίθων σε υψομετρική απόσταση ενός μέτρου από το υποκείμενο προς τα ανώτερα τμήματα μέχρι την εμφάνιση του πρώτου ψαμμιτικού ορίζοντα, ένα δείγμα σιδηρούχας κρούστας, η οποία αναπτύχθηκε στο ψαμμιτικό στρώμα και δύο δείγματα σιδηροπυριτών διαφορετικής μορφολογίας μεταξύ των, που βρίσκονται διάσπαρτοι εντός της συμπαγούς ιλυολιθικής ακολουθίας. Συνολικά συλλέχθηκαν 26 δείγματα, με απώτερο σκοπό την ανίχνευση ιχνών χρυσού εντός όλων αυτών των δειγμάτων.

Εκτός από το ορατό μέρος του σχηματισμού που μελετήθηκε, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας για τον χαρακτηρισμό και την εύρεση του πάχους του σχηματισμού στο υπέδαφος. Τα αποτελέσματα της μεθόδου έδειξαν την υπεδafική ομοιογένεια του σχηματισμού και έδωσαν μία εκτίμηση του πάχους του.

Στα δείγματα που συλλέχθηκαν (εκτός των σιδηροπυριτών όπου ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία επεξεργασίας) πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις με δύο μεθοδολογίες (αναλυτής laser και αραιόμετρο), συγκρίσιμες μεταξύ τους, από όπου και προέκυψε ότι το στρωματογραφικό εύρος του ανώτερου Τορτονίου – Μεσσήνιου, από το οποίο και ελήφθησαν τα δείγματα, αποτελείται από κοκκομετρικά ομοιογενείς ιλυολίθους. Πέραν της κοκκομετρικής ομοιογένειας αναγνωρίστηκε και μια ομοιογένεια στην χωρική κατανομή της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων, με εξαίρεση το δείγμα της σιδηρούχας κρούστας στην οποία εντοπίστηκαν και τα ορυκτά γκαϊτίτης και γύψος. Η ανεύρεση του ορυκτού γύψος εντός της ψαμμιτούχας κρούστας επιβεβαίωσε το

(από την βιβλιογραφία γνωστό) στρωματογραφικό όριο μεταξύ Τορτονίου – Μεσσηνίου στην περιοχή μελέτης.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ασβεστιμετρίας, έδωσαν υψηλά ποσοστά ασβεστίτη. Το ίδιο προέκυψε και από την ημιποσοτική ανάλυση της μεθόδου XRD. Επίσης, από την χημική ανάλυση XRF, προέκυψαν υψηλά ποσοστά CaO. Οπότε, συμπερασματικά μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τα συγκεκριμένα δείγματα ως μαργαϊκούς ιλυόλιθους.

Όπως έδειξαν οι μετρήσεις της μεθόδου TOC, οι περιεκτικότητες του ολικού οργανικού άνθρακα είναι πολύ μικρές και ομοιογενείς και δεν επηρεάζουν την τελική κατανομή χρυσού στα δείγματα.

Εάν ληφθούν υπόψη οι τιμές χρυσού που μετρήθηκαν στα δείγματα ολικού κλάσματος προκύπτει ένας συντελεστής φυσικού εμπλουτισμού 15. Συγκρίνοντας τη μέγιστη μετρούμενη τιμή (61 ppb), τη μέση μετρούμενη τιμή των δειγμάτων (45,7 ppb) με τον μέσο όρο περιεκτικότητας χρυσού αντίστοιχων πετρωμάτων του Μεσογειακού χώρου (περίπου 3 ppb) και ταυτόχρονα, αν οι μετρούμενες τιμές συγκριθούν με τιμές που προέκυψαν με συντελεστή φυσικού εμπλουτισμού 100, όπως παρατηρήθηκε σε παραπλήσιας ηλικίας ψαμμιτικής κοκκομετρίας Νεογενή πετρώματα από την περιοχή του Σταλού της ΒΔ Κρήτης (Δημόπουλος 2007), μπορεί να εκφραστεί η άποψη ότι στην ευρύτερη περιοχή των Νεογενών της ΒΔ Κρήτης υπάρχουν ενδείξεις διαδικασιών σχηματισμού απόθεσης χρυσού εντός των Νεογενών σχηματισμών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
Κατάλογος Σχημάτων	8
Κατάλογος Πινάκων	9
Κατάλογος Εικόνων	10
Κατάλογος Φωτογραφιών	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	12
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.2 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΧΡΥΣΟΥ	13
2.1 ΜΟΡΦΕΣ ΧΡΥΣΟΥ	14
2.2.1 Αυτοφυής χρυσός	14
2.2.2 Υπομικροσκοπικός χρυσός	15
2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	16
2.3 ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	20
2.3.1 Προσχωματικού τύπου συγκεντρώσεις χρυσού	24
2.4 ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	25
2.4.1 Πρώιμη Διαγενετική Μορφολογία Σιδηροπυριτών σε Ιλυολιθικές Ακολουθίες	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ	31
3.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ	31
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	32
3.3 ΓΕΝΙΚΗ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ	33
3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ	37
3.5 ΑΠΟΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ Β.Δ. ΚΡΗΤΗΣ	41
3.5.1 Νεογενείς αποθέσεις της Δυτικής Κρήτης (Κατά Freudenthal 1969)	41
3.5.1.1 Σχηματισμός Τοπόλια	42
3.5.1.2 Σχηματισμός Μεσονήσι	42
3.5.1.3 Σχηματισμός Ρόκα	42
3.5.1.4 Σχηματισμός Κουκουναρά	43

3.5.1.5 Σχηματισμός Κισσάμου	43
3.5.1.6 Σχηματισμός Χαιρεθιανών	44
3.5.1.7 Σχηματισμός Χάτζι	44
3.5.1.8 Σχηματισμός Ταυρωνίτη	44
3.5.1.9 Άλλοι σχηματισμοί	45
3.5.1.10 Λιθοστρωματογραφικοί συσχετισμοί	46
3.5.2 Μοντέλο ιζηματογένεση Νεογενών σχηματισμών της ΒΔ Κρήτης (Κατά Kontopoulos et al. 1996)	49
3.5.3 Στρωματογραφική εξέλιξη λεκάνης Κισσάμου (Κατά Keupp & Bellas 2000)	51
3.5.4 Σύμπλεγμα Αλλουβιακού Ριπιδίου Τοπολίων (κατά Seidel 2003)	55
3.6 ΕΝΤΑΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ	63
3.7 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΙΔΥΟΛΙΘΩΝ	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΙΣΗ	66
4.1 Γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο ηλεκτρικής τομογραφίας	66
4.1.1 Μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης	66
4.1.2 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	67
4.1.3 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομογενή γη	69
4.1.4 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση ορυκτών και πετρωμάτων	71
4.1.5 Φαινόμενη ειδική αντίσταση	74
4.1.6 Διατάξεις ηλεκτροδίων	75
4.1.7 Μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας	76
4.1.8 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας	77
4.2 Πραγματοποίηση μετρήσεων και ερμηνεία αποτελεσμάτων	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	82
5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ, ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ	82
5.1.1 Κοκκομετρική ανάλυση με αναλυτή Laser (Mastersizer S)	83
5.1.2 Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο	85
5.1.3 Ασβεστομετρία	88
5.2.4 Ανάλυση Rock-Eval	89
5.1.5 Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ	95
5.1.6 Αρχή μεθόδου φασματομετρίας ακτίνων Χ (XRF)	95
5.1.7 Φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης	98

5.1.8 Πυρομεταλλοργική χημική ανάλυση χρυσού	99
5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	99
5.2.1 Δειγματοληψία	99
5.2.2 Επεξεργασία ολικών ιλυολιθικών δειγμάτων	101
5.2.3 Επεξεργασία ψαμμιτικού κλάσματος ιλυολίθων	113
5.2.4 Επεξεργασία Συδηροπυριτών	129
5.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	134
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	138
6.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	138
6.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	139
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	146

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 3.1 Σχηματικός Χάρτης της Κρήτης όπου απεικονίζει την κατανομή του Αλπικού υποβάθρου και των ιζηματογενών λεκανών	34
Σχήμα 3.1 : Στρωματογραφικός και νεοτεκτονικός χάρτης της Β.Δ. Κρήτης (Από Keupp & Bellas 2000)	38
Σχήμα 3.3 : Χάρτης σχηματισμών Β.Δ. Κρήτης (Freudenthal 1969)	46
Σχήμα 3.4 : Στρωματογραφικοί συσχετισμοί Νεογενούς (Freudenthal 1969)	47
Σχήμα 3.5: Χάρτης εξέλιξης (Κοντόπουλος 1996)	51
Σχήμα 3.6: Ιζηματογενής λεκάνη Κισσάμου (Κατά Keupp & Bellas 2000)	54
Σχήμα 4.1: Σχηματική απεικόνιση του νόμου του Ohm	68
Σχήμα 4.2: Τυπική διάταξη ηλεκτροδίων	69
Σχήμα 4.3: ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων σε ομογενές μέσο	69
Σχήμα 4.4: Απεικόνιση του δυναμικού πεδίου με δυναμικές γραμμές	71
Σχήμα 4.2: Διατάξεις ηλεκτροδίων (κατά Reynolds, 1997)	75
Σχήμα 5.1 : Παράδειγμα κοκκομετρικής καμπύλης (πρότυπα ASTM)	85
Σχήμα 5.2: Σχηματική παράσταση αραιομέτρου μέσα σε διάλυμα εδαφικών κόκκων	86
Σχήμα 5.3: Σχηματική παράσταση συσκευής Rock-Eval	91
Σχήμα 5.4: Τυπική ανάλυση Rock-Eval	92
Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση δεικτών οξυγόνου και υδρογόνου	94

Σχήμα 5.6: Χαρακτηριστική διάταξη XRF	96
Σχήμα 5.7: Αρχή λειτουργίας XRF	97
Σχήμα 5.8: Καμπύλη αποτελεσμάτων XRF	97
Σχήμα 5.9: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 1	103
Σχήμα 5.10: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 10	104
Σχήμα 5.11: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 15	104
Σχήμα 5.12: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 23	105
Σχήμα 5.13: Προβολή των τιμών TOC σε διάγραμμα (ψευδο) van Krevelen	112
Σχήμα 5.14: Σύγκριση ποσοστού ασβεστίτη στο ολικό και το ψαμμιτικό κλάσμα με τις μεθόδους ασβεστιμετρίας και XRD αντίστοιχα	135
Σχήμα 5.15: Μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού στο ψαμμιτικό, ιλυολιθικό και ολικό κλάσμα	136
Σχήμα 5.16: Σύγκριση μετρούμενης συνολικής και υπολογιζόμενης συνολικής Περιεκτικότητας χρυσού	136
Σχήμα 5.21: Πειραματικό σφάλμα	137
Σχήμα 5.22: Περιεκτικότητα χρυσού στα δείγματα σιδηροπυρίτη	137
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	
Πίνακας 2.1: Ορυκτά φορείς του χρυσού υπό μορφή στερεού διαλύματος (Γραμματικόπουλος 2005)	15
Πίνακας 2.2: Ορυκτολογικοί φορείς του κολλοειδή χρυσού (Γραμματικόπουλος 2005)	15
Πίνακας 2.3: Μέση τιμή συγκέντρωσης Au σε ιζήματα και ιζηματογενή πετρώματα (Foster 1993)	18
Πίνακας 2.4: Κατανομή του χρυσού σε διάφορα ιζήματα και στα ιζηματογενή πετρώματα (Foster 1993)	18
Πίνακας 2.5: Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών των προσχωματικών κοιτασμάτων (Σκαρπέλης 2002)	25
Πίνακας 2.7: Πιθανώς σημαντικά υδατικά σύμπλοκα	30
Πίνακας 3.1 : Ταξινόμηση των ιζηματογενών αποθεματικών περιβαλλόντων (Ζεληλίδης 2005)	59
Πίνακας 4.1: Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων	74
Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα μετρήσεων pH	105

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα μεθόδου ασβεστιμετρίας	108
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ανάλυσης ολικού οργανικού άνθρακα	109
Πίνακας 5.4: Παραμένον ψαμμιτικό κλάσμα από 400 gr αρχικού υλικού	112
Πίνακας 5.5: Ποσοστιαία ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση XRD	113
Πίνακας 5.6: Χημική σύσταση των ορυκτών που εντοπίστηκαν με τη μέθοδο XRD	114
Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης δειγμάτων (XRD) (από Μαργαρίτη 2009)	115
Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα XRF	116
Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα XRF (από Μαργαρίτη 2009)	118
Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα δείγματα ψαμμιτικού κλάσματος (ποσότητα των 30gr)	125
Πίνακας 5.11 : Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα ολικά δείγματα ιλυολίθων (ποσότητα 30 γρ.)	126
Πίνακας 5.12 : Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα δείγματα ιλυολιθικού κλάσματος (ποσότητα 30 γρ.)	127
Πίνακας 5.13 : Σύγκριση υπολογιζόμενης και μετρούμενης συνολικής περιεκτικότητας χρυσού στα εξεταζόμενα δείγματα	127
Πίνακας 5.14 : Πειραματικό σχετικό σφάλμα	128
Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα XRF Σιδηροπυριτών	131
Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα δείγματα σιδηροπυριτών (σε 15 gr)	132

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Γεωλογικό πλαίσιο ανάπτυξης προσχωματικών κοιτασμάτων	21
Εικόνα 2.2: Απόθεση βαρέων ορυκτών σε ένα ποτάμι όπου συνεχίζεται η ανάπτυξη μαιάνδρων	22
Εικόνα 2.3: Το δελταϊκό κοίτασμα Au – U του Witwasterstrand (Νοτιοαφρικανική Ένωση, Μελιδώνης 1992)	23
Εικόνα 5.1: Ασβεστίμετρο Τύπου Dietrich-Frunhling	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Μικροφωτογραφία 2.1: Μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία	29
Μικροφωτογραφία 2.2: Φραμποειδή από σιδηροπυρίτη και διάσπαρτος	

μεταλλοφορία αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.	29
Μικροφωτογραφία 2.3: Σιδηροπυρίτης με μορφή φραμποειδών και διάσπαρτος μεταλλοφορία αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.	30
Μικροφωτογραφία 2.4: Διάσπαρτος μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.	30
Φωτογραφία 4.1: Γραμμές γεωφυσικών διασκοπίσεων από Google Earth	79
Φωτογραφία 4.2: Γραμμή διασκόπισης στη βάση του σχηματισμού	79
Φωτογραφία 5.1: Αναλυτής Mastersizer	83
Φωτογραφία 5.2: Περιοχή δειγματοληψίας, όψη προς ανατολικά	99
Φωτογραφία 5.3: Κάτοψη της περιοχής μελέτης και σημεία δειγματοληψίας με τη βοήθεια του GoogleEarth	100
Φωτογραφία 5.4: Σιαγωνωτός σπαστήρας	101
Φωτογραφία 5.5: Φούρνος σύντηξης στην θερμοκρασία των 950 °C	120
Φωτογραφία 5.6: Διαδικασία χύτευσης	120
Φωτογραφία 5.7: Διαχωρισμός σκωρίας από μεταλλική φάση	121
Φωτογραφία 5.8: Μεταλλική φάση (χελώνες)	121
Φωτογραφία 5.9: Οξείδωση μολύβδου	122
Φωτογραφία 5.10: Μεταλλικές χάντρες μετά την οξείδωση	123
Φωτογραφία 5.11: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου Analyst 100 της εταιρίας Perkin Elmer	124
Φωτογραφία 5.12 : Σιδηροπυρίτες επιμήκους σχήματος (Α)	129
Φωτογραφία 5.13: Σιδηροπυρίτες στρογγυλού σχήματος (Β)	129
Φωτογραφία 5.14: Σπαστήρας περιστρεφόμενων δίσκων	129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο χρυσός αποτελούσε ανέκαθεν αντικείμενο έντονης ερευνητικής δραστηριότητας, είναι ένα από τα σπάνια ευγενή μέταλλα και στον στερεό φλοιό της Γης έχει μέση περιεκτικότητα 5 ppb. Τα κυριότερα κοιτάσματα χρυσού στην Ελλάδα έχουν εντοπιστεί στις περιοχές της Χαλκιδικής, του Έβρου και της Ροδόπης.

Στις μέρες μας έχει εντατικοποιηθεί η εκμετάλλευση του χρυσού λόγω της συνεχώς αυξανόμενης τιμής του. Στο παρελθόν, λόγω έλλειψης τεχνολογικών μέσων, εξόρυξη χρυσού γινόταν μόνο από ιδιαιτέρως πλούσια μεταλλεύματα (συγκεντρώσεις χρυσού >10 ppm), ενώ στις μέρες μας τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα και οι νέες ανακαλύψεις στον τομέα του εμπλουτισμού, επιτρέπουν την εκμετάλλευση μεταλλευμάτων με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα (συγκεντρώσεις χρυσού >1 ppm). Έτσι πλέον στην έρευνα χρυσού αναζητούνται και κοιτάσματα με πολύ χαμηλές περιεκτικότητες. Ταυτόχρονα πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιστημονική προσέγγιση των πολύπλοκων διεργασιών «φυσικού εμπλουτισμού» που οδηγεί σε ικανές συγκεντρώσεις. Στα πλαίσια αυτά εκπονήθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία στην οποία μετά από προσέγγιση των απόψεων της στρωματογραφικής διάταξης και του παλαιοπεριβάλλοντος απόθεσης του σχηματισμού που μελετήθηκε, εφαρμόστηκαν στα δείγματα που ελήφθησαν συνδυαστικές μεθοδολογίες για την ανίχνευση ιχνών χρυσού σε αυτά.

1.2 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια στα οποία αναλύονται τα εξής θέματα:

Στο *Κεφάλαιο 1* περιγράφονται η εισαγωγή και η δομή της εργασίας.

Στο *Κεφάλαιο 2* αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία για τον χρυσό που έχουν να κάνουν με τις μορφές του, τη κατανομή του στα πετρώματα, καθώς και στοιχεία για τις προσχωματικού τύπου συγκεντρώσεις και κοιτάσματα. Τέλος αναφέρονται κάποια γενικά στοιχεία για τους σιδηροπυρίτες και για την πρόωμη διαγενετική μορφολογία τους στις ιλυολιθικές ακολουθίες.

Στο *Κεφάλαιο 3* παρουσιάζεται το γεωλογικό περίγραμμα της περιοχής. Συγκεκριμένα παρατίθενται στοιχεία για τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος, τη

γεωλογική δομή της Κρήτης, τη γενική λιθοστρωματογραφία του Νεογενούς, τη γεωλογική δομή του νομού Χανίων, τις απόψεις για τους Νεογενείς σχηματισμούς της ΒΔ Κρήτης και το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης τους και γενικά περί των ιλυολίθων.

Στο *κεφάλαιο 4* αναλύεται η γεωφυσική διασκόπηση, που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης, με την μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας και αναφέρεται η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Στο *Κεφάλαιο 5* αναφέρονται οι μέθοδοι επεξεργασίας, εμπλουτισμού και χημικής ανάλυσης των δειγμάτων που ακολουθήθηκαν κατά την εκτέλεση της εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό καταγράφεται λεπτομερώς κάθε βήμα επεξεργασίας ξεχωριστά, περιγράφοντας αρχικά τα θεωρητικά στοιχεία που απαιτούνται και εν συνεχεία παραθέτοντας την πρακτική εφαρμογή τους στα εξεταζόμενα δείγματα. Συγκεκριμένα το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει την δειγματοληψία, την προετοιμασία των δειγμάτων, την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων με δύο διαφορετικές μεθόδους (με αναλυτή Laser και αραιόμετρο), την μέτρηση pH, την μέθοδο ασβεστιμετρίας, την ανάλυση ολικού οργανικού άνθρακα (TOC), τις αναλύσεις XRD και XRF, τις πυρομεταλλουργικές διεργασίες (αναγωγική τήξη, οξείδωση), την διαλυτοποίηση των δειγμάτων και τελικά τη μεθοδολογία μέτρησης των ιχνών χρυσού στα δείγματα. Επίσης, περιγράφεται η επεξεργασία και ανάλυση των δειγμάτων των σιδηροπυριτών. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων.

Στο *Κεφάλαιο 6* παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα και στην συνέχεια γίνεται μια γεωλογική προσέγγιση του θέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΧΡΥΣΟΥ

Ο χρυσός αποτελούσε ανέκαθεν αντικείμενο έντονης ερευνητικής δραστηριότητας, είναι ένα από τα σπάνια ευγενή μέταλλα και στον στερεό φλοιό της Γης έχει μέση περιεκτικότητα 5 ppb. Τα κυριότερα κοιτάσματα χρυσού στην Ελλάδα έχουν εντοπιστεί στις περιοχές της Χαλκιδικής, του Έβρου και της Ροδόπης.

Στις μέρες μας έχει εντατικοποιηθεί η εκμετάλλευση του χρυσού λόγω της συνεχώς αυξανόμενης τιμής του. Στο παρελθόν, λόγω έλλειψης τεχνολογικών μέσων, εξόρυξη χρυσού γινόταν μόνο από ιδιαιτέρως πλούσια μεταλλεύματα (συγκεντρώσεις χρυσού >10 ppm), ενώ στις μέρες μας τα σύγχρονα τεχνολογικά μέσα και οι νέες ανακαλύψεις στον τομέα του εμπλουτισμού, επιτρέπουν την εκμετάλλευση μεταλλευμάτων με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα (συγκεντρώσεις χρυσού >1 ppm). Έτσι πλέον στην έρευνα χρυσού αναζητούνται και κοιτάσματα με πολύ χαμηλές περιεκτικότητες. Ταυτόχρονα πολύ μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιστημονική προσέγγιση των πολύπλοκων διεργασιών «φυσικού εμπλουτισμού» που οδηγεί σε ικανές συγκεντρώσεις που κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να οδηγήσει στην εκμετάλλευση.

2.1 Μορφές Χρυσού

2.1.1 Αυτοφυής χρυσός

Οι σχηματισμοί του αυτοφυούς Au συνδέονται γενετικά συνήθως με πλουτώνιες μαγματικές εστίες, ενώ οι σχηματισμοί των Au-Ag με υποψαιστειακές.

Στην πλουτώνια ακολουθία υπάγονται οι παγκόσμιες εξάπλωσης και ενδιαφέρουσες από οικονομική άποψη, **χρυσοφόρες χαλαζιακές φλέβες**. Γενικά, θεωρούνται σαν καταθερμικές κυρίως για το λόγο ότι, αρκετά συχνά, δείχνουν μεταβάσεις προς τουρμαλινικές χρυσοφόρες χαλαζιακές φλέβες, οι οποίες σχηματίζονται κατά το πνευματολυτικό στάδιο. Αποκαλύπτονται, εξαιτίας της βαθιάς διάβρωσης, είτε σε περιοχές ορογενέσεων είτε σε περιοχές υποβάθρων με μεταμορφίτες. Το πάχος τους κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,5 - 3 m, το μήκος τους φτάνει κάποτε σε αρκετά Km, ενώ το πλάτος τους είναι γενικά σημαντικό. Έχουν αποκαλυφθεί φλέβες, το μήκος των οποίων μετριέται σε δεκάδες ή ακόμη και σε εκατοντάδες Km, πράγμα όμως που οφείλεται, κατά πάσα πιθανότητα, σε τεκτονικά αίτια (συστοιχίες φλεβών). Μια τέτοια

περίπτωση αντιπροσωπεύει η παγκόσμια γνωστή «συστοιχία φλεβών» του Mother Lode στην Καλιφόρνια, το μήκος της οποίας ξεπερνάει τα 250 Km.

Η ορυκτολογική σύσταση των χρυσοφόρων χαλαζιακών φλεβών είναι γενικά απλή. Εκτός από το χαλαζία, το ποσοστό του οποίου φτάνει μέχρι και 98%, περιέχουν σουλφίδια διαφόρων μετάλλων και κυρίως σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη, χαλκοπυρίτη και, κάποτε, λίγο αντιμονίτη. Ο Au παρουσιάζεται συνήθως με τη μορφή κοκκιδίων, που είτε είναι ελεύθερα είτε βρίσκονται σαν εγκλείσματα στους κρυστάλλους του χαλαζία, σιδηροπυρίτη ή αρσеноπυρίτη. Τα κοκκίδια, βέβαια, αυτά δεν αποτελούνται από εντελώς καθαρό Au αλλά από κράμα, στη σύνθεση του οποίου μετέχει Ag σε ποσοστό 10-20%. Συνήθως, το ποσοστό του Au των εκμεταλλεύσιμων χαλαζιακών φλεβών κυμαίνεται μεταξύ 10-30 ppm (από Μελιδώνη 1992).

2.1.2 Υπομικροσκοπικός χρυσός

Χρυσός υπό μορφή στερεού διαλύματος: Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για χρυσό που εντοπίστηκε σε αρσеноπυρίτες και αναφέρεται σε χρυσό μη ορατό με το οπτικό μικροσκόπιο. Αυτή η μορφή είναι δυσδιάλυτη, επειδή ο χρυσός δεν ανακτάται εύκολα με κύάνωση από τα ορυκτά ξενιστές του, όπως είναι ο σιδηροπυρίτης, αρσеноπυρίτης, εναργίτης και ο χαλκοπυρίτης (Πίνακας 2.1). Ο χρυσός εμφανίζεται κατά προτίμηση σε σημαντικές συγκεντρώσεις στον αρσеноπυρίτη, όμως ο πιο κοινός ξενιστής είναι ο σιδηροπυρίτης. Αρκετές θεωρίες έχουν προταθεί για την παρουσία του χρυσού στην κρυσταλλική δομή του αρσеноπυρίτη, αλλά έχει γίνει γενικά αποδεκτό ότι βρίσκεται ως Au^{+} . Επίσης παρατηρείται ότι, όταν ο σιδηροπυρίτης είναι πλούσιος σε αρσενικό, περιέχει αρκετό χρυσό (>1 ppm). Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι στα διάφορα μεταλλεύματα, τα οποία περιέχουν παραπάνω από έναν μορφολογικό τύπο σιδηροπυρίτη, ο χρυσός γενικά περιορίζεται στις λεπτόκοκκές ποικιλίες των θειούχων ορυκτών (Γραμματικόπουλος κ.α. 2005).

Ορυκτό		Μέγιστη συγκέντρωση Au (ppm)
Αρσеноπυρίτης	FeAsS	15.200
Σιδηροπυρίτης	FeS ₂	13.200
Λονγκίτης	FeAs ₂	275
Λουζονίτης/ εναργίτης	Cu ₃ AsS ₄	418
Τεναντίτης	Cu ₉ Fe ²⁺ ₃ As ₄ S ₁₃	40
Τετραεδρίτης	Cu ₉ Fe ²⁺ ₃ Sb ₄ S ₁₃	72
Χαλκοπυρίτης	CuFeS ₂	7,7
Βορνίτης	Cu ₅ FeS ₄	<1

Πίνακας 2.1: Ορυκτά φορείς του χρυσού υπό μορφή στερεού διαλύματος (Γραμματικόπουλος 2005)

Κολλοειδής χρυσός: Με τον όρο αυτό ορίζεται ο υπομικροσκοπικός μοριακός χρυσός με μέγεθος 100-5000Å. Οι κύριοι ορυκτολογικοί φορείς του τύπου αυτού δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Ορυκτό		Μέγιστη συγκέντρωση Au (ppm)
Σιδηροπυρίτης	FeS ₂	2.800
Οξείδια του Fe		1.200
Αρσеноπυρίτης	FeAsS	20

Πίνακας 2.2: Ορυκτολογικοί φορείς του κολλοειδή χρυσού (Γραμματικόπουλος 2005)

Χρυσός προσροφημένος στην επιφάνεια ορυκτών: Χρυσός προσροφημένος στην επιφάνεια ορυκτών (π.χ. σιδηροπυρίτη, γραφίτη) ανιχνεύθηκε και εκφράστηκε ποσοτικά για πρώτη φορά με την μέθοδο φασματομετρίας μάζας. Μικροκρύσταλλοι σιδηροπυρίτη από έναν αριθμό μεταλλευμάτων διαφορετικών γεωλογικών περιβαλλόντων περιέχουν χρυσό στην επιφάνεια τους προφανώς προσροφημένο από γενετικά διαλύματα. Αυτή η μορφή του χρυσού μπορεί να αποτελεί ένα σημαντικό ποσοστό (>10%) της συνολικής περιεκτικότητας του χρυσού σε μερικά μεταλλεύματα (Γραμματικόπουλος κ.α. 2005).

2.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ ΣΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Η κατανομή του χρυσού στη λιθόσφαιρα της γης στηρίζεται σε αυστηρά μοντέλα για τις αποθέσεις χρυσού. Μια ομάδα μελετητών υποστηρίζει πως η προέλευση του χρυσού προέρχεται από μεγάλες μάζες πετρωμάτων μέσω αντιδράσεων μεταξύ ρευστών και πετρωμάτων στο βάθος του φλοιού της γης ενώ άλλοι μελετητές δίνουν έμφαση στην σπουδαιότητα των σχετικά περιορισμένων πετρογενετικών ομάδων στις οποίες ανήκουν τα λεγόμενα μητρικά πετρώματα που συγκεντρώνουν χρυσό πάνω από το κανονικό.

Είναι συνεπώς σημαντικό να γνωρίζουμε τη μέση περιεκτικότητα σε χρυσό σε διάφορους τύπους πετρωμάτων και ταυτόχρονα ποιες συγκεντρώσεις είναι πιθανώς ενδεικτικές για την δημιουργία κοιτάσματος. Τα μη εξαλλοιωμένα πυριγενή πετρώματα γενικά παρουσιάζουν συγκέντρωση σε χρυσό χαμηλότερη από 5 ppb ενώ συγκεντρώσεις της τάξεως των 10 ppb σε αυτά εμφανίζονται σπάνια. Σαν κοιτάσματα χρυσού μπορεί να χαρακτηριστούν περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν συγκέντρωση σε χρυσό 10.000 φορές μεγαλύτερη από την συγκέντρωση του υπόβαθρου. Παρόλα αυτά συγκεντρώσεις χρυσού μερικών δεκάδων ppb μπορούν να υποδεικνύουν διαδικασίες σχηματισμού απόθεσης χρυσού (Foster 1993).

Πυριγενή πετρώματα

Στα πυριγενή πετρώματα η συγκέντρωση του χρυσού κυμαίνεται σε μια περιορισμένη περιοχή. Εμφανίζονται συγκεντρώσεις από 0,5 έως 5 ppb. Ο μέσος όρος για όλα τα φανεροζωϊκά πετρώματα κυμαίνεται από 1,2 ppb έως 3,5 ppb (σε βασάλτες), ενώ οι τιμές αυτές μειώνονται στα 0,5 ppb όταν εξετάζονται πλουτώνια πετρώματα (Foster 1993).

Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα έχουν παράγει τον περισσότερο από τον χρυσό του κόσμου. Πολλοί ερευνητές θεωρούν τα ιζηματογενή πετρώματα ως την κύρια πηγή χρυσού.

Γενικά για τα ιζηματογενή πετρώματα ισχύει:

1. στα σημαντικότερα ιζηματογενή πετρώματα (κροκαλοπαγή/ ψαμμίτες, αργιλικοί σχιστόλιθοι και ασβεστόλιθοι), **οι μεγαλύτερες μέσες συγκεντρώσεις σε χρυσό βρίσκονται στα χονδρόκοκκα έως μέσης κοκκομετρίας πετρώματα.**
2. οι αργιλικοί σχιστόλιθοι έχουν μια μέση συγκέντρωση σε χρυσό συγκρινόμενη με τα ενδιάμεσης σύστασης πυριγενή πετρώματα και πιθανώς αντιπροσωπεύουν το περιεχόμενο σε χρυσό των μητρικών πετρωμάτων του ανώτερου φλοιού καλύτερα από άλλες κύριες τάξεις ιζηματογενών πετρωμάτων. Ωστόσο, η φύση του περιβάλλοντος απόθεσης μπορεί να επηρεάσει την συγκέντρωση σε χρυσό των αργιλικών σχιστόλιθων όπως

φαίνεται και στην υψηλή συγκέντρωση χρυσού των ανθρακικών αργιλικών σχιστόλιθων.

3. τα ανθρακικά ιζήματα έχουν την χαμηλότερη συγκέντρωση σε χρυσό από όλα τα ιζηματογενή πετρώματα.

4. οι προκάμβριοι σχηματισμοί σιδήρου και τα σιδηρούχα ιζηματογενή πετρώματα παρουσιάζουν υψηλές μεταβολές στην συγκέντρωση σε χρυσό. Μερικοί τύποι πλούσιοι σε σουλφίδια υπερβαίνουν σε συγκέντρωση τα 100 ppb. Τα πετρώματα τα οποία είναι πλούσια σε οξείδια παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε χρυσό και φαίνεται να καθρεφτίζουν διαφορετικά περιβάλλοντα απόθεσης.

Τα λεπτόκοκκα ιζήματα πλούσια σε άργιλο βαθιάς θάλασσας και χερσαίας προέλευσης παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χρυσού γύρω στα 3 ppb, διπλάσια σχεδόν ποσοστό συγκρινόμενα με το 1,5 ppb των βιοχημικών ιζημάτων βαθιάς θάλασσας. Γενικά, τα βιοχημικά ιζήματα παρουσιάζουν χαμηλότερη συγκέντρωση σε χρυσό περίπου στο μισό της μέσης συγκέντρωσης των πλούσιων αργιλικών ιζημάτων (Foster 1993).

Ομάδα	Μέση τιμή συγκέντρωσης χρυσού (ppb)
Ιζήματα	
Αργιλικά ιζήματα βαθιάς θάλασσας	3,0
Ιλύς <i>globigerina</i> / πυριτική ιλύς	1,5
Χερσαία ιζήματα, < 500m βάθος νερού	3,2
Ιζηματογενή πετρώματα	
Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθος	
Αργιλικός σχίστης	8,1
Ανθρακικός αργιλικός σχίστης	2,3
Ανθρακικά πετρώματα, σχετιζόμενοι εβαπορίτες	6,7
Προκάμβριοι σιδηρούχοι σχηματισμοί	1,9

Πίνακας 2.3: Μέση τιμή συγκέντρωσης Au σε ιζήματα και ιζηματογενή πετρώματα (Foster 1993)

Η κατανομή του χρυσού στα διάφορα ιζήματα και στα ιζηματογενή πετρώματα από διάφορα αποθετικά περιβάλλοντα φαίνεται στον πίνακα 2.4.

Περιγραφή	Μέσος όρος δειγμάτων (ppb)	σ	R	N
Υποθαλάσσια ιζήματα				
Ασβεστολιθικά, αργιλικής συμπεριφοράς ιζήματα. (Ειρηνικός 12° νότια).	3,1	1,9	1,3-7,6	14
Ασβεστολιθικά ιζήματα με άργιλο έως 16%. (Ειρηνικός 39° νότια)	1,3	0,65	0,4-2,8	19
Λουτίτες. (Ειρηνικός, Ανταρκτική, Ινδικός ωκεανός)	2,9	2,4	0,6-9	10
Υποθαλάσσια άργιλος. Μαύρη θάλασσα.	6,2		3,5-9	7
Ασβεστολιθικά και <i>Globigerina</i> ooze. Καραϊβική και Ανταρκτική	1,8	1,0	0,9-3,5	24
Πυριτική ιλύς. Ειρηνικός, Ανταρκτική.	0,85	0,3	0,5-1,5	9

Περιγραφή	Μέσος όρος δειγμάτων (ppb)	σ	R	N
Χερσογενή ιζήματα				
Ιλύς, άργιλος, άμμος, 30% ανθρακικά. Βαλτική, Μαύρη θάλασσα, Μεσόγειος.	3,2		0,1-24	61
Αιμώδης και αργιλώδης λάσπη. Αρκτικός ωκεανός.	2,8	0,8	1,6-4,2	9
Ιλύς με μαφικά πυροκλαστικά κορήματα. Ατλαντικός.	4,2		0,5-15	5
Βιογενετικά πλούσια σε ανθρακικά (>30%) ιζήματα				
Αργιλικά και αργιλικά ιζήματα σε μέγεθος ιλύος. Μεσόγειος.	3,1		1,1-6,5	46
Άργιλος, ιλύς και ιζήματα με μέγεθος άμμου. Ατλαντικός.	1,5		0,7-3,4	9
Ιζηματογενή πετρώματα				
Κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ιλυόλιθος				
Ιλυόλιθος. Tuva. Taymyr Peninsula. Yenisey Range, USSR	2,7		0,5-7,0	59
Ιλυόλιθος. Undino – Dainsk Basin. Tranbaykalia, USSR.	8,75	4,7	0,5-19	1074
Ιλυόλιθος και γραουβάκες, Boemian Massif, Czechoslovakia.	4,6		1-19	55
Ιλυόλιθος ηφαιστειακής τέφρας. Superior Province (Archean) Canada	1,1	1,95	0,1-8,8	24
Αργιλικός σχιστόλιθος, αργιλίτης.				
Αργιλικός σχιστόλιθος χωρίς ανθρακικά. Kuznetsk, Sayan, Tuva, Taymyr, Yenisey, USSR	2,2		0,1-8,3	235
Ανθρακικός αργιλικός σχιστόλιθος. Kuznetsk, Sayan, Tuva, Taymyr, Yenisey, USSR	6,7		0,1-29	548
Αργιλικός σχιστόλιθος. Witwatersrand Basin, S. Africa. Μακριά από μεταλλογένεση	4,1	5,3	0,3-23	19
Αργιλικός σχιστόλιθος. Gubio, Italian Appenines.	1,85	1,6	0,4-5,8	16
Όπου σ = απόκλιση, R= εύρος τιμών, N = αριθμός δειγμάτων				
*Αποθέσεις βαθέων υδάτων οι οποίες χαρακτηρίζονται από την επικράτηση των κελυφών Τριματοφόρων ιδιαίτερα του γένους <i>Globigerina</i> .				

Πίνακας 2.4: Κατανομή του χρυσού σε διάφορα ιζήματα και στα ιζηματογενή πετρώματα (Foster 1993)

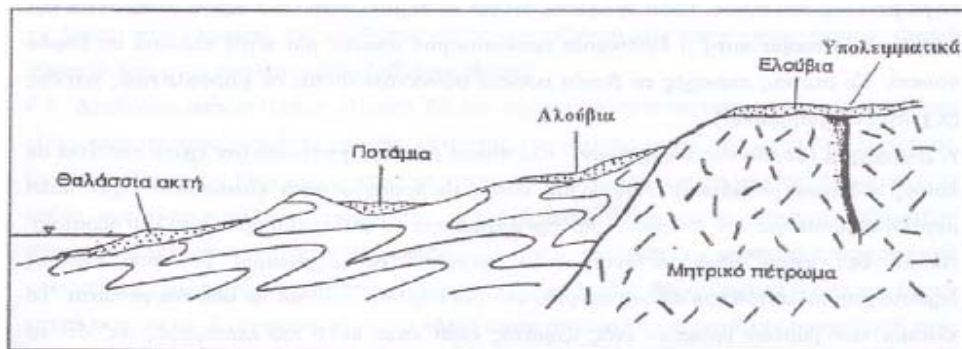
Από τους ανωτέρω συγκεντρωτικούς πίνακες φαίνεται ότι η μέση περιεκτικότητα υποβάθρου σε ανθρακικά ιλυολιθικά και αργιλώδη πετρώματα του Μεσογειακού χώρου είναι περίπου 3 ppm. Επίσης, διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια σχετική συσχέτιση μεταξύ κοκκομετρίας και περιεκτικότητας σε χρυσό. Παγκοσμίως, αν και δεν υπάρχουν μέσες τιμές τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμίτες περιέχουν τα μεγαλύτερα ποσοστά και ακολουθούν με μεγάλη διαφορά μέσης περιεκτικότητας οι ιλυόλιθοι. Αξιοπρόσεκτο είναι το γεγονός ότι σε αυτά τα πετρώματα έχουν γίνει και οι περισσότερες αναλύσεις που παρουσιάζονται στους ανωτέρους πίνακες. Μια εξήγηση για αυτό είναι ότι οι ιλυόλιθοι σε σχέση με τα κροκαλοπαγή και τους ψαμμίτες παρουσιάζουν «σχετική» ομοιογένεια που θα μπορούσε να δώσει περισσότερες πληροφορίες για τους σχηματισμούς προέλευσης και τις διαδικασίες απόθεσης αφού πρώτα οριοθετηθεί ορθά το περιβάλλον απόθεσης.

2.3 ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Μία ιδιαίτερη κατηγορία μεταλλικών κυρίως, οικονομικής σημασίας συγκεντρώσεων και κοιτασμάτων αποτελούν τα **προσχωματικού τύπου**.

Η επίδραση των ατμοσφαιρικών παραγόντων πάνω στα πετρώματα οδηγεί πολλές φορές στο σχηματισμό νέων ορυκτών που είναι ευσταθή στις συνθήκες του περιβάλλοντος, ενώ παράλληλα απελευθερώνει ορυκτά τα οποία είναι ανθεκτικά στις επικρατούσες συνθήκες διάβρωσης η/και αποσάθρωσης. Η αποσάθρωση π.χ. ενός γρανίτη που περιέχει διάσπαρτο κασσιτερίτη μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό καολινίτη από τους αστρίους και να απελευθερώσει -εκτός από τον χαλαζία- και τον κασσιτερίτη. Με ανάλογο τρόπο απελευθερώνονται τα διαμάντια από τους κιμπερλίτες, ο ιλμενίτης από τους ανορθοσίτες και τους γάββρους ή **ο χρυσός από διάφορα πετρώματα ή πρωτογενής μεταλλοφορίες αυτοφυούς χρυσού**. Στις περιπτώσεις αυτές τα ορυκτά αυτά είναι χημικά σταθερά και δεν αποσυντίθενται, όπως αντιθέτως συμβαίνει με τα ασταθή ορυκτά των πετρωμάτων. Τα προϊόντα της αποσάθρωσης δημιουργούν ένα μανδύα (μανδύας αποσάθρωσης) που καλύπτει το υποκείμενο πέτρωμα. Ο μανδύας αυτός εύκολα μπορεί να υποστεί επεξεργασία από το νερό της βροχής, τα κύματα της θάλασσας, τα ποτάμια, τον άνεμο ή ακόμη και τους παγετώνες. Έτσι τα ορυκτά που συνιστούν τον μανδύα αποσάθρωσης μπορεί να μεταφερθούν και να αποτεθούν μακρύτερα και σε μορφολογικά χαμηλότερες περιοχές.

Ορυκτά που έχουν ειδικό βάρος μεγαλύτερο ($>2,8\text{gr/cm}^3$) από τα συνήθη ελαφρά ορυκτά (ειδικό βάρος μικρότερο από $2,8\text{gr/cm}^3$) ονομάζονται βαρέα. Οι κόκκοι βαρέων ορυκτών, που είναι χημικά σταθερά και ανθεκτικά σε χημικές και μηχανικές επιδράσεις, μπορεί να παρασυρθούν είτε βαρυτικά, είτε με την επίδραση μιας μορφής νερού (ρέοντος ή πάγου) και να μεταφερθούν σε χαμηλότερες τοπογραφικά θέσεις. Με τη διαδικασία αυτή αποχωρίζονται τα ελαφρότερα προϊόντα της αποσάθρωσης από τα βαρέα ορυκτά. Οι κόκκοι των βαρέων ορυκτών συγκεντρώνονται σε κλιτείς ή σε αποθέσεις ποταμών και χειμάρρων καθώς και στις ακτές ή στον πυθμένα θαλασσών και λιμνών. Σε αρκετές περιπτώσεις οι εμφανίσεις βαρέων ορυκτών εμφανίζουν οικονομικό ενδιαφέρον και χαρακτηρίζονται ως **προσχωματικά κοιτάσματα**. Τα προσχωματικά κοιτάσματα έχουν διαιρεθεί στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με τη θέση στην οποία έχουν σχηματισθεί και το μέσο με το οποίο έχουν μεταφερθεί (Εικόνα 2.1):



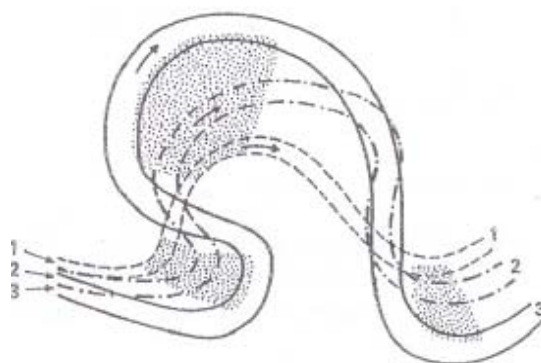
Εικόνα 2.1: Γεωλογικό πλαίσιο ανάπτυξης προσχωματικών κοιτασμάτων

α. **Υπολειμματικά:** Δημιουργούνται ακριβώς επάνω από το μητρικό πέτρωμα (π.χ. μία χαλαζιακή φλέβα που περιέχει ελεύθερο χρυσό) με την αποσάθρωση των ορυκτών του αρχικού χαλαζιακού πετρώματος και τη μετακίνηση/απομάκρυνση των ελαφρύτερων συστατικών.

β. **Ελλοβιακά:** Σχηματίζονται στις κλιτείς από ορυκτά που αποδεσμεύονται από το κοντινό μητρικό πέτρωμα. Τα βαρέα ορυκτά συγκεντρώνονται ακριβώς στην κλιτή, ενώ τα ελαφρότερα μη ανθεκτικά ορυκτά διαλύονται και αποπλένονται από τη βροχή ή παρασύρονται από τον άνεμο. Με αυτή τη διαδικασία συμβαίνει ένας μερικός εμπλουτισμός λόγω μείωσης του όγκου. Είναι προφανές ότι για να δημιουργηθεί ένα αξιόλογο ποιοτικά και ποσοτικά κοιτάσμα αυτή η διαδικασία εμπλουτισμού απαιτεί μία πηγή πλούσια σε βαρέα ορυκτά. Σε μερικές περιοχές τα βαρέα ορυκτά συγκεντρώνονται σε μορφολογικές παγίδες (π.χ. καρστικά έγκοιλα).

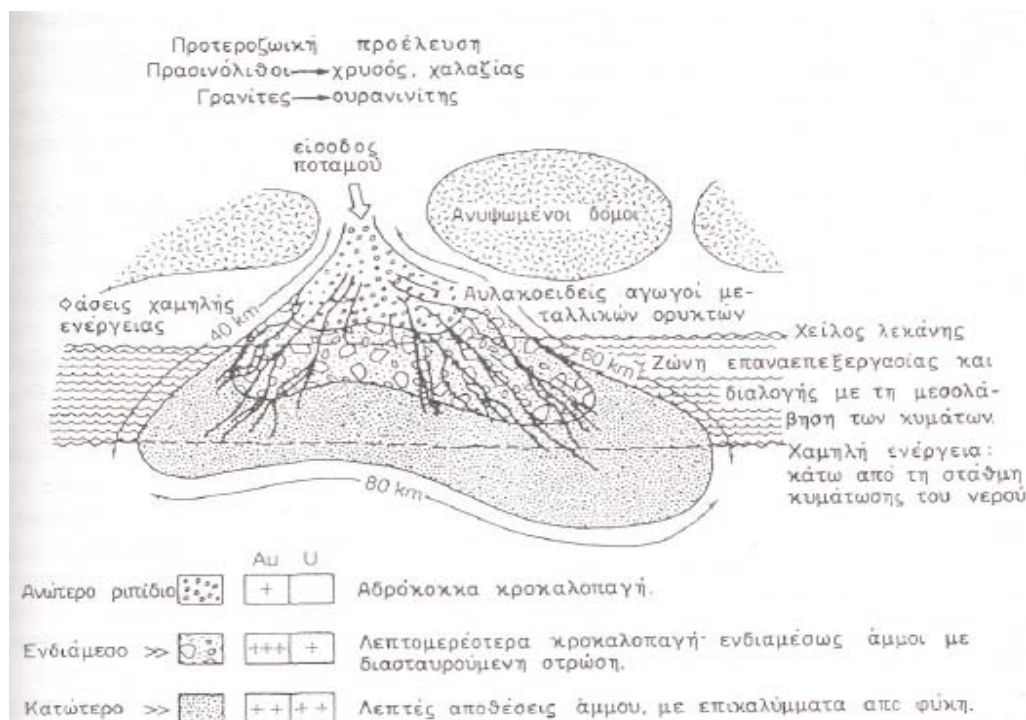
γ. **Αλλουβιακά:** (σε κώνους κορημάτων – αλουβιακά ριπίδια) ή ποτάμια (αν έχουν αποτεθεί σε κοίτες υδάτινων ρευμάτων): Αυτού του τύπου τα προσχωματικά κοιτάσματα είχαν πολύ μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο από την αρχαιότητα. Ακόμη δεν έχουν γίνει κατανοητοί με ακρίβεια οι μηχανισμοί με τους οποίους δημιουργούνται αυτού του είδους οι εμπλουτισμοί βαρέων ορυκτών σε υδάτινα ρεύματα. Αυτό που έχει διαπιστωθεί είναι ότι σε αυτού του είδους τις συγκεντρώσεις **το κλάσμα των βαρέων ορυκτών του ιζήματος είναι κατά πολύ πιο λεπτομερές απ' ότι το κλάσμα των ελαφρών ορυκτών.**

Έτσι, ένας μεγάλος κόκκος χαλαζία απαιτεί, στην ίδια κοίτη ποταμού, την ίδια ταχύτητα ροής νερού για να μετακινηθεί, με την ταχύτητα που χρειάζεται ένας μικρός κόκκος βαρέος ορυκτού. Είναι προφανές ότι εάν έχουμε ένα υδάτινο ρεύμα στο οποίο το νερό κινείται παντού με την ίδια ταχύτητα, τότε όλοι οι κόκκοι όλων των ορυκτών βρίσκονται σε κίνηση. Όμως, επειδή στην πράξη αυτό δε συμβαίνει, σε εκείνα τα σημεία όπου η ταχύτητα του νερού μειώνεται στα μικρά κοκκομετρικά μεγέθη, το πρώτο υλικό που αποτίθεται αποτελείται από τους μεγαλύτερους κόκκους βαρέων ορυκτών, ακολουθούν μικρότεροι κόκκοι βαρέων ορυκτών ή/και μεγάλοι κόκκοι ελαφρών ορυκτών. Γι' αυτό το λόγο, όπου έχουμε ακανόνιστη ροή αναπτύσσονται τέτοιου είδους εμπλουτισμοί ορυκτών. Στην περίπτωση που υπάρχει μια στενή διατομή ροής δεν συμβαίνει απόθεση υλικού. Όταν όμως το υδάτινο ρεύμα διευρύνεται τα βαρέα ορυκτά τείνουν να αποτεθούν, ενώ τα ελαφρύτερα παρασύρονται. Πολύ μεγάλη σημασία για την δημιουργία ποτάμιων προσχωματικών αποθέσεων έχει η κίνηση νερού σε μαιάνδρους. Το νερό κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο εξωτερικό μέρος της καμπύλης του μαιάνδρου και μικρότερη στο εσωτερικό. Γι' αυτό το εσωτερικό μέρος των μαιάνδρων είναι ευνοϊκή θέση για την απόθεση βαρέων ορυκτών (Εικόνα 2.2) (Από Σκαρπέλη 2002).



Εικόνα 2.2: Απόθεση βαρέων ορυκτών σε ένα ποτάμι όπου συνεχίζεται η ανάπτυξη μαιάνδρων. 1: Αρχική θέση του ρέματος, 2: Ενδιάμεση θέση, 3: Παρούσα θέση

δ. **Δελταϊκά:** Συνδέονται με τις μορφολογικές δομές που σχηματίζονται, από διαδοχικούς και πολύπλοκους αποθετικούς μηχανισμούς, στις θέσεις εκβολής των ποταμών σε μεγάλες λεκάνες συγκέντρωσης νερού (λίμνες, θάλασσες, ωκεανούς). Από πολλούς ερευνητές θεωρούνται σαν μορφές που μπορεί να τοποθετηθούν μεταξύ ποτάμιων και παράκτιων προσχωματικών αποθέσεων. Τα βαρέα κλάσματα των προϊόντων της αποσάθρωσης που μεταφέρονται μέχρι εκεί δημιουργούν συνήθως επιμήκεις και αραιά κατανεμημένες σωληνοειδείς συγκεντρώσεις (<<κρουνούς>>). Για παραδείγματα αναφέρονται οι (μη εκμεταλλεύσιμες) συγκεντρώσεις χρυσού της Νέας Ζηλανδίας, των πλατινιδίων της Κολομβίας και του ιλμενίτη στις εκβολές του Νείλου. Ένα από τα πιο σημαντικά κοιτάσματα της γης, που από πολλούς ερευνητές θεωρείται σαν δελταϊκός σχηματισμός ενός ποταμού αρχαϊκής ηλικίας, είναι εκείνο του Witwaterstrand της Νοτιοαφρικανικής Ένωσης (Εικόνα 2.3), το οποίο εγκλείει αποθέματα χρυσού που υπολογίζονται σε πολλές χιλιάδες τόνους. Η μέση περιεκτικότητα των ιζημάτων του σε Au είναι ~ 10 gr/t (από Μελιδώνη 1992).



Εικόνα 2.3: Το δελταϊκό κοιτάσμα Au – U του Witwaterstrand (Νοτιοαφρικανική Ένωση, Μελιδώνη 1992)

ε. **Θαλάσσια ή λιμναία:** Αν έχουν αποθεθεί στον πυθμένα θαλασσών ή λιμνών ή σε ακτές με τη δράση των κυμάτων. Οι αποθέσεις αυτές εντοπίζονται είτε κατά μήκος ακτών (beach placers), είτε στην υφαλοκρηπίδα (offshore placer).

ε.1. **Αποθέσεις ακτών (beach placers):** Τα πιο σημαντικά ορυκτά στις παράκτιες αποθέσεις είναι: κασσιτερίτης, διαμάντι, χρυσός, ιλμενίτης, μαγνητίτης, μοναζίτης, ρουτίλιο, ξενοτίμης, ζirkόνιο. Πηγές των βαρέων ορυκτών σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να είναι πετρώματα τα οποία αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτής ή στον θαλάσσιο πυθμένα ή παλαιότερα κοιτάσματα των οποίων γίνεται επανεπεξεργασία από τα κύματα. Τα παράκτια προσχωματικά κοιτάσματα δημιουργούνται με τη δράση των κυμάτων καθώς και ρευμάτων νερού που δρουν κοντά στην ακτή. Τα κύματα ωθούν το υλικό πάνω στην ακτή και κατά την υποχώρησή τους μεταφέρουν τους μεγαλύτερους και ελαφρύτερους κόκκους ορυκτών. Έτσι, τα μεγαλύτερα και βαρύτερα σωματίδια συγκεντρώνονται στις ακτές. Σε ορισμένες περιπτώσεις η δράση παλιρροϊκών ρευμάτων επιτείνει και επιταχύνει την ανάπτυξη προσχωματικών αποθέσεων, επειδή επιτρέπει την έκθεση στους διαβρωτικούς παράγοντες μιας πλατύτερης λωρίδας από μητρικό πέτρωμα και από προσχωματικές αποθέσεις.

ε.2. **Αποθέσεις υφαλοκρηπίδας (offshore placers):** Απαντούν στην υφαλοκρηπίδα, συνήθως σε μία ζώνη πλάτους ολίγων χιλιομέτρων από την ακτή. Έχουν σχηματιστεί κυρίως από την βύθιση παράκτιων ή αλλουβιακών αποθέσεων. Προσχωματικές αποθέσεις στην υφαλοκρηπίδα εφ' όσον κριθούν οικονομικές, μπορούν να υποστούν εκμετάλλευση με χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών βυθοκόρων.

στ. **Αποθέσεις παγετώνων:** Πρόκειται ουσιαστικά για λιθώνες (μοραίνες), στα κλαστικά συστατικά των οποίων μπορεί να μετέχουν και θραύσματα μεταλλευμάτων ή άλλων χρήσιμων ορυκτών.

ζ. **Αιολικές αποθέσεις:** Οι σημαντικότερες από τις αποθέσεις αυτές έχουν προκύψει από την επανεπεξεργασία από τον άνεμο παράκτιων αποθέσεων. Οι συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών από ανέμους γίνονται κυρίως σε θίνες, η δε μεταφορά γίνεται με τη διαδικασία της κύλησης (ιδιαίτερα των βαρύτερων σωματιδίων).

2.3.1 Προσχωματικού τύπου συγκεντρώσεις χρυσού

Συνηθέστερα είναι τα θαλάσσια, αλουβιακά και ποτάμια προσχωματικά κοιτάσματα και σπανιότερα τα ελουβιακά και των παγετώνων (Σκαρπέλης 2002). Η συνηθέστερη μορφή που απαντάται ο χρυσός σε προσχωματικές εμφανίσεις και κοιτάσματα είναι με μορφή μικρών ή υπομικροσκοπικών κόκκων (nuggets) ή μικρών

φυλλαρίων (flakes), συνήθως σε κράμα με Ag και Cu μεγέθους συνήθως έως μερικών χιλιοστών του μέτρου που στην ελληνική ονοματολογία περιλαμβάνονται στον ορισμό **ψήγματα**. Έχει παρατηρηθεί ότι τα ψήγματα αυτά έχουν μεγάλη καθαρότητα όταν εντοπίζονται μακριά από τον χώρο προέλευσης τους. Αυτό υποδηλώνει βαθμιαία διάλυση του Ag και του Cu, επειδή οξειδώνονται και διαλύονται στο νερό ευκολότερα από ότι ο Au. Παράλληλα οι αρχικοί κόκκοι του Au αποσυντίθενται σε μικρότερους με αποτέλεσμα σε μακρινές αποθέσεις να συναντάμε ψήγματα μικρότερου μεγέθους αλλά υψηλότερης καθαρότητας σε σχέση με θέσεις κοντινές ως προς το μητρικό πέτρωμα. Σε αρκετές περιπτώσεις ανευρίσκονται σώματα συμπαγούς χρυσού που έχουν σπανίως βάρος μερικών χιλιογράμμων (Σκαρπέλης 2002).

Ενώ τα μικροσκοπικά φυλλάρια χρυσού πιστεύεται ότι αποτελούν αποφλοιώσεις, για την δημιουργία των nuggets υπάρχουν διάφορες απόψεις με επικρατέστερη ότι δημιουργούνται από απόθεση κολλοειδών συμπλόκων του Au, που είναι «διαλελυμένα» μέσα στο νερό, πάνω στην επιφάνεια των κόκκων του μέσα στις προσχώσεις (Eyles 1995). Γενικεύοντας, όπως φαίνεται και από τον πίνακα 2.5, **το ειδικό βάρος του χρυσού, του επιτρέπει συγκεντρώσεις με πολύπλοκες φυσικές διεργασίες σε όλα τα αποθετικά περιβάλλοντα**. Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις η βαρύτητα, το μέσο μεταφοράς και ο επικρατών τύπος ροής καθορίζουν την δυναμική των πιθανών συγκεντρώσεων.

Ορυκτό	Ειδικό βάρος	Σκληρότητα	Κύριο περιβάλλον απόθεσης
Πολύ βαρέα ορυκτά			
Χρυσός	15,5-19,4	2,5-3	Π – Ε
Λευκόχρυσος	14-19	4-4,5	Π
Βολφραμίτης	7-7,5	5-5,5	Ε – Α
Κασσιτερίτης	7	6-7	Ε – Π – Θ
Βαρέα ορυκτά			
Ζιρκόνιο ($ZrSiO_4$)	4,6	7,5	ΑΚ
Βαδελείτης (ZrO_2)	4,6	7,5	ΑΚ
Ιλμενίτης	4,5-5	5-6	ΑΚ
Μαγνητίτης	5,3	5,5-5,6	ΑΚ
Ρουτίλιο	4,2	6-6,5	ΑΚ
Ξενοτίμης	4,5	4-5	ΑΚ
Τανταλίτης	5-7	6	Π
Μοναζίτης	5-5,3	5-5,5	ΑΚ
Μπαστναϊσίτης	5	4,5	Ε
Σχετικά ελαφρά ορυκτά			
Πυρόχλωρο	4	5-5,5	Ε
Διαμάντι	3,5	10	ΑΚ – Π – Ε
Τοπάζιο	3,7-3,8		ΑΚ – Π – Ε
Γρανάτης	3,4		Π – Θ
Ελαφρά ορυκτά			
Αστριοί	2,5-2,8		ΑΚ – Π
Χαλαζίας	2,5		ΑΚ – Π
Π=ποτάμια, Ε=ελουβιακά, ΑΚ= άμμοι σε παραλίες, Α=αλουβιακά, Θ=θαλάσσια			

Πίνακας 2.5: Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών των προσχωματικών κοιτασμάτων (Σκαρπέλης 2002).

2.4 Σιδηροπυρίτης FeS_2

Ο σιδηροπυρίτης κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα (κρυστ. τ. Th-m3). Η κρυσταλλική δομή του μοιάζει με τη δομή του NaCl και μπορούμε εύκολα να τη περιγράψουμε αν στη θέση των ατόμων του Na και Cl του κρυσταλλικού πλέγματος του NaCl φανταστούμε άτομα Fe και ομάδες S_2 , αντίστοιχα. Σχηματίζει καλώς διαμορφωμένους κρυστάλλους διαφόρων μορφών με συχνότερα απαντώμενες τον κύβο, το οκτάεδρο και το πενταγωνικό δωδεκάεδρο. Συχνά οι κρύσταλλοί του σχηματίζουν συμφύσεις μεταξύ των, ενώ είναι σπάνια και σφαιρικά, στο εσωτερικό τους, ακτινοειδή συσσωματώματα. Απαντάται επίσης υπό μορφή συμπαγών κοκκωδών συσσωματωμάτων. Έχει σκληρότητα 6 έως 6,5 (είναι ένα από τα σουλφίδια με την υψηλότερη σκληρότητα) και πυκνότητα 5,0 έως 5,2. Η λάμψη του είναι μεταλλική, το χρώμα του κίτρινο και η γραμμή κόνεώς του πρασινόμαυρη.

Μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες Ni και Co (μεικτοί κρύσταλλοι $\text{FeS}_2 - \text{CoS}_2$ και $\text{FeS}_2 - \text{NiS}_2$), πολύ μικρές ποσότητες Cu (συμφύσεις με χαλκοπυρίτη), ή Au (υπομικροσκοπικές συμφύσεις), καθώς και ελάχιστο As (στη θέση του S), V, Mo, Cr, W και Te. Όταν χτυπηθεί με πυρόλιθο ή άλλο πολύ σκληρό αντικείμενο μπορεί να βγάλει σπίθες (εξ' αυτού και το όνομα σιδηροπυρίτης).

Ο σιδηροπυρίτης είναι ένα πολύ διαδεδομένο ορυκτό το οποίο μπορεί να σχηματιστεί σε ένα πολύ ευρύ φάσμα συνθηκών. Κοιτάσματα του απατώνται στην Ισπανία, Πορτογαλία, Σουηδία, Γερμανία, Γαλλία, τα Ουράλια και αλλού. Αποσαθρώνεται σχετικά εύκολα, από την αποσάθρωσή του δε, προέρχεται το μεγαλύτερο μέρος των πλουσίων σε λειμωνίτη <<σιδηρούχων καλυμμάτων>> πολλών κοιτασμάτων.

Ο σιδηροπυρίτης αποτελεί κυρίως μετάλλευμα του θείου (S) και σε χώρες που υπάρχει έλλειψη μεταλλευμάτων σιδήρου, αποτελεί μετάλλευμα σιδήρου. Κατά τόπους εξορύσσονται για τον Au ή Cu που μπορεί να περιέχει. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως λειαντικό μέσο ή για την παραγωγή καστανού χρώματος.

2.4.1 Πρώιμη Διαγενετική Μορφολογία Σιδηροπυριτών σε Ιλυολιθικές Ακολουθίες

Ο σιδηροπυρίτης (FeS_2) είναι ένα σύνηθες ορυκτό το οποίο προέρχεται από τη διαγένεση ιζημάτων πλούσια σε οργανικό υλικό. Δημιουργείται είτε από αντίδραση σουλφιδίων με τρισθενή σίδηρο μέσα σε ιζήματα, είτε από δισθενή σίδηρο ο οποίος προήλθε από την αναγωγή του τρισθενούς σιδήρου μετά από βακτηριακή δράση.

Γεωχημικές μελέτες ιζημάτων, που αφορούν τη φύση και το μηχανισμό δημιουργίας σιδηροπυρίτη μέσω της διαγένεσης, μας έδειξαν την ανάπτυξη γεωχημικών Δεικτών (οργανισμοί που χαρακτηρίζουν ένα ιδιαίτερο περιβάλλον) παλαιοπεριβάλλοντος. Σημαντική είναι και η μέτρηση αναλογίας θείου/άνθρακα στα ιζήματα και ο βαθμός της πυριτίωσης.

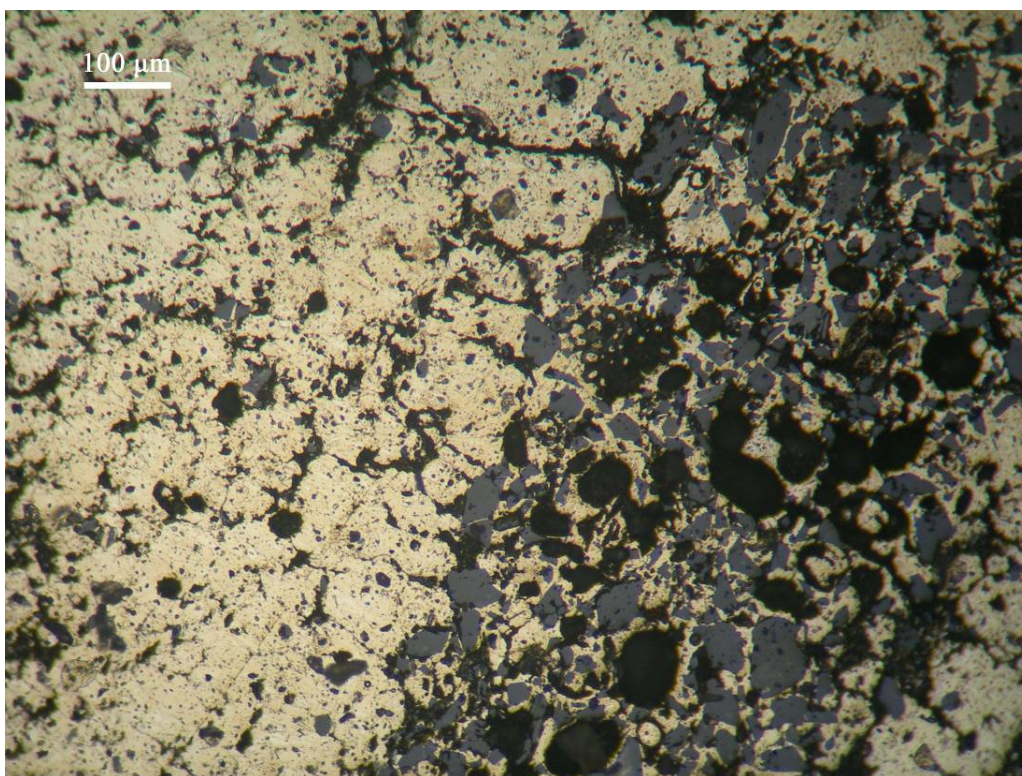
Προσφάτως χρησιμοποιήθηκε η χαρακτηριστική υφή (μορφολογία) των διαγενετικών σιδηροπυριτών, για τον προσδιορισμό των γεωχημικών και περιβαλλοντικών συνθηκών δημιουργίας των.

Ο Passier (1997) έδειξε ότι η μορφολογία των σιδηροπυριτών που βρίσκονται μέσα σε θαλάσσιους σαπροπυλούς και άλλα παρεμφερή ιζήματα μπορούν να μας παρέχουν

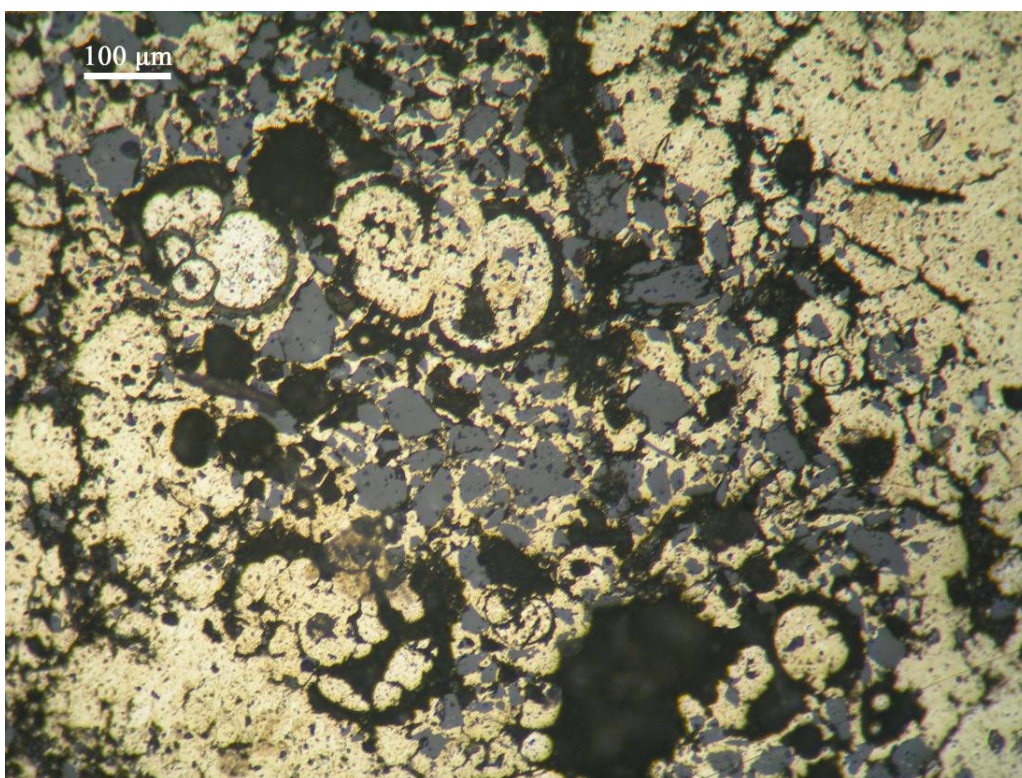
πληροφορίες για τη διαδικασία διαγένεσης, ενώ ο Wilkin (1996) πρότεινε ότι από το μέγεθος των βατομουροϊδών σιδηροπυριτών μπορεί να προσδιοριστεί αν το περιβάλλον είναι ανοξικό ή οξικό.

Οι πρώιμοι διαγενετικοί σιδηροπυρίτες παρουσιάζουν ποικίλες μορφολογίες. Δύο από τις πιο διαδεδομένες μορφολογίες είναι η ‘βατομουροϊδης μορφή’ (σφαιροειδή συσσωματώματα μικροκρυσταλλικού σιδηροπυρίτη) και η ‘ιδιόμορφη μικροκρυσταλλική μορφή’ (κρύσταλλος ο οποίος έχει αναπτύξει όλες τις έδρες του κανονικά). Έχουν ανακαλυφθεί μοντέλα τα οποία συσχετίζουν τη μορφολογία των σιδηροπυριτών με τα διάφορα επίπεδα κορεσμού Fe(II) και σουλφιδίων στο νερό των πόρων των ιζημάτων και επομένως μπορούν να μας δείξουν τον ρυθμό παραγωγής Fe και σουλφιδίων κατά τη διαγένεση. Πιστεύεται ότι τα ιζήματα του ιδιόμορφου σιδηροπυρίτη από το νερό των πόρων ήταν υπερκορεσμένα σε σχέση με τον σιδηροπυρίτη αλλά ακόρεστα σε μονοσουλφίδια σιδήρου. Αντίθετα, ο βατομουροϊδής σιδηροπυρίτης, πιστεύεται ότι αποτέθηκε δια μέσου ζωνών μονοσουλφιδικού σιδήρου, από νερό των πόρων υπερκορεσμένο σε σιδηροπυρίτη αλλά και μονοσουλφιδίων σιδήρου.

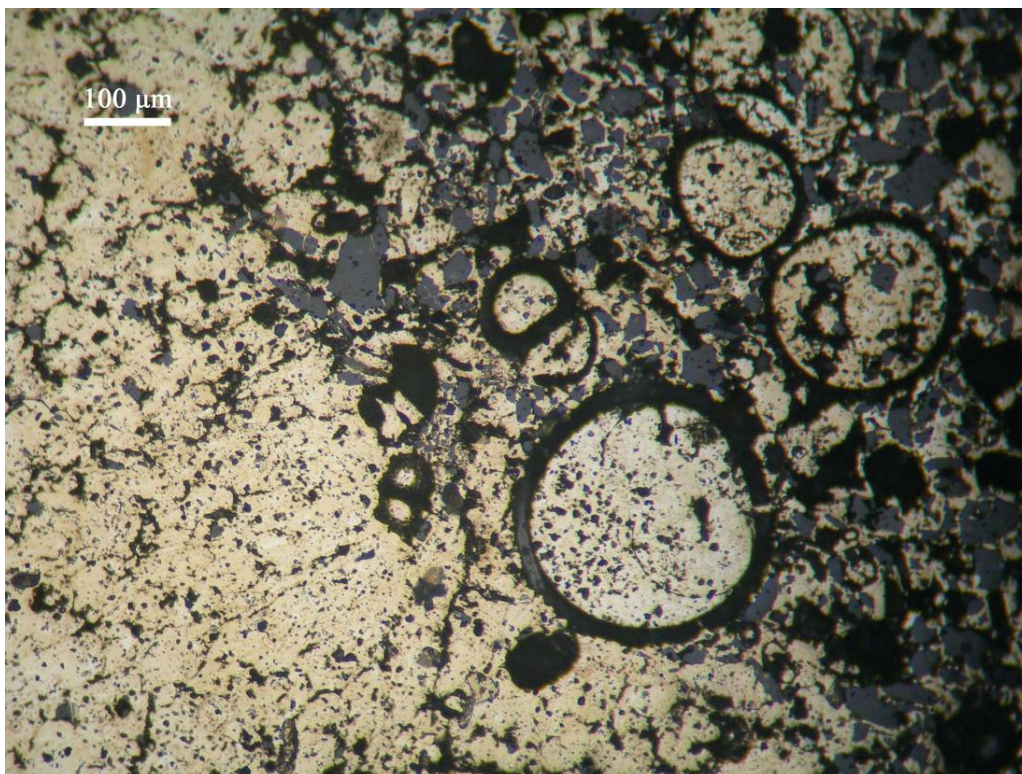
Ακολουθούν μικροφωτογραφίες στιλπνών τομών, από τα δείγματα των σιδηροπυριτών που συλλέχθηκαν στην περιοχή μελέτης, και στις οποίες φαίνονται η μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη καθώς και η φραμποειδής μορφή του.



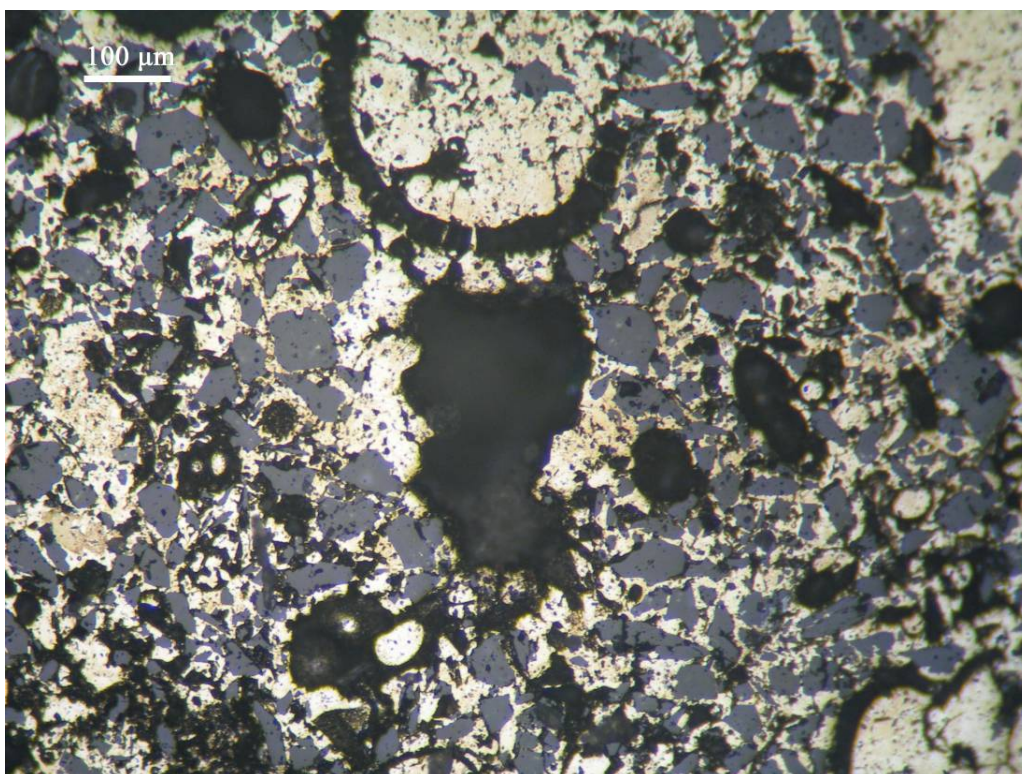
**Μικροφωτογραφία 2.1: Μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.
Δείγμα 3. Ανακλώμενο φως. // Nicols.**



**Μικροφωτογραφία 2.2: Φραμποειδή από σιδηροπυρίτη και διάσπαρτος μεταλλοφορία αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.
Δείγμα 3. Ανακλώμενο φως. // Nicols.**



Μικροφωτογραφία 2.3: Σιδεροπυρίτης με μορφή φραμφοειδών και διάσπαρτος μεταλλοφορία αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.
Δείγμα 3. Ανακλώμενο φως. // Nicols.



Μικροφωτογραφία 2.4: Διάσπαρτος μεταλλοφορία σιδεροπυρίτη αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων χαλαζία.
Δείγμα 4. Ανακλώμενο φως. // Nicols.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑ

3.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Οι Ελληνίδες οροσειρές που αποτελούν κομμάτι του Αλπικού συστήματος, σχηματίστηκαν κυρίως από τα Τριαδικής–Κάτω Μειοκαινικής ηλικίας αλπικά ιζήματα. Οι οροσειρές αυτές έχουν διαρθρωθεί σε γεωτεκτονικές ζώνες, δηλαδή σε γεωλογικές ενότητες που η κάθε μια έχει τα δικά της χαρακτηριστικά (παλαιογεωγραφικά, λιθολογικά, τεκτονικά). Οι ζώνες αυτές έχουν διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ. Ο Brunn (1956) διαχώρισε τις γεωτεκτονικές ζώνες σε εσωτερικές και σε εξωτερικές. Οι εξωτερικές ζώνες χαρακτηρίζονται από συνεχή ιζηματογένεση και έχουν τεκτονισθεί από μια κύρια ορογενετική φάση. Αντίθετα οι εσωτερικές ζώνες έχουν επηρεασθεί από δύο κύριες ορογενετικές φάσεις, ενώ χαρακτηρίζονται και από την παρουσία οφιολιθικών πετρωμάτων και πολλές φορές από συνορογενετική μεταμόρφωση των σχηματισμών τους. Οι ορογενετικές φάσεις έλαβαν χώρα για τις μεν εξωτερικές ζώνες από το Ανώτερο Ηώκαινο έως και το Κατώτερο–Μέσο Μειόκαινο για τις δε εσωτερικές ζώνες η πρώτη στο τέλος του Ανώτερου Ιουρασικού–Κατώτερου Κρητιδικού και η δεύτερη κατά την διάρκεια του Τριτογενούς.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων οροσειρών διαμορφώθηκαν με τις επίκαιρες γεωτεκτονικές αντιλήψεις και είναι:

- Η μάζα της Ροδόπης
- Η Σερβομακεδονική μάζα
- Η Περιροδοπική ζώνη
- Η ζώνη Παιονίας
- Η ζώνη Πάικου
- Η ζώνη Αλμωπίας
- Η Πελαγονική ζώνη
- Η Αττικο–Κυκλαδική ζώνη
- Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας»
- Η ζώνη Παρνασσού–Γκιώνας
- Η ζώνη Ωλονού–Πίνδου
- Η ζώνη Γαβρόβου–Τρίπολης

- Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη
- Η ζώνη Παξών ή Προαπούλια

Εκτός απ' αυτές σαν ξεχωριστές γεωτεκτονικές ζώνες αναφέρονται τον τελευταίο καιρό, τόσο η ενότητα «Ταλέα όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθι» που πιθανόν ανήκει στην Αδριατικοϊόνιο ζώνη, όσο και η ενότητα της Βοιωτίας που μάλλον ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη. Όμως υπάρχει έντονη αμφισβήτηση ότι αποτελούν ανεξάρτητες ζώνες, γι' αυτό χαρακτηρίζονται μόνο σαν ενότητες (Μουντράκης, 1985).

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η συγκέντρωση όλων των πληροφοριών που αναφέρονται στην γεωλογία της Κρήτης έγινε με προσεκτικό τρόπο έτσι ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή περιγραφή (σχήμα 2-2). Όμως ο μεγάλος αριθμός των ερευνητών που έχει ασχοληθεί με το γεωλογικό υπόβαθρο της Κρήτης κάνει αυτή την προσέγγιση δύσκολη, μιας και έχουν διατυπωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με την δομή της.

Η πολύπλοκη δομή της Κρήτης έχει διαμορφωθεί λόγω της γεωτεκτονικής θέσης που κατέχει σε σχέση με τις δύο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες, της Αφρικανικής και της Ευρασιατικής. Χαρακτηριστικό στοιχείο της δομής της είναι η λεπιοειδής διάταξη των διαδοχικά επωθημένων τεκτονικών καλυμμάτων τα οποία συγκεντρώνονται στο μικρό σχετικά γεωγραφικό χώρο του νησιού και περιλαμβάνει πετρώματα που σχηματίστηκαν σε διαφορετικούς παλαιογεωγραφικούς χώρους.

Τα τεκτονικά καλύμματα αναπτύσσονται πάνω από μια Άνω Παλαιοζωική–Κάτω Ολιγοκαινική ακολουθία στρωμάτων την οποία όλοι γνωρίζουν ότι αποτελεί το αυτόχθονο ή σχετικά αυτόχθονο της Κρήτης. Είναι η ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk) πάνω στην οποία αναπτύσσονται διαδοχικά οι τεκτονικές ζώνες i) Τρυπαλίου ii) Φυλλιτών–Χαλαζιτών iii) Γαβρόβου–Τρίπολης iv) Πίνδου v) ανώτερες τεκτονικές ενότητες που αντιστοιχούν στις εσωτερικές Ελληνίδες. Πιο συγκεκριμένα η ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk) περιλαμβάνει τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους που περιέχουν σε σημαντικό βαθμό κερατολιθικούς κονδύλους και πυριτικές ενστρώσεις. Στην αναφερθείσα σειρά των Ταλέων Ορέων συναντιόνται επίσης μεγάλες μεταμορφωμένες μάζες ασβεστόλιθων, δολομίτες, ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή και στην βάση της φυλλιτικές–χαλαζιτικές παρεμβολές. Τέλος θα πρέπει να επισημανθεί ότι η σειρά αυτή αποτελεί το αυτόχθονο (ή σχετικά αυτόχθονο) υπόβαθρο της Κρήτης και εμφανίζεται υπό μορφή πολλαπλού τεκτονικού παραθύρου σε πολλές περιοχές της.

Πάνω από την ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι βρίσκεται η ενότητα του Τρυπαλίου, της οποίας το όνομα οφείλεται στο βουνό Τρυπάλι που βρίσκεται νότια των Λευκών Ορέων. Σύμφωνα με τους Creutzburg και Seidel (1975) η ενότητα του Τρυπαλίου που αναπτύσσεται μεταξύ της υποκείμενης Ομάδας των Πλακωδών ασβεστολίθων και της υπερκείμενης των Φυλλιτών–Χαλαζιτών αποτελείται από δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγείς ασβεστόλιθους έως γραουβάκες, σκούρους κυψελώδεις δολομίτες, άσπρα ζαχαρόκοκκα μάρμαρα και εμφανίσεις γύψου στην βάση. Η ηλικία τους εκτείνεται μεταξύ Άνω Τριαδικού–Κάτω Ιουρασικού.

Πάνω από την σειρά του Τρυπαλίου βρίσκεται η ενότητα των Φυλλιτών–Χαλαζιτών, η οποία περιλαμβάνει φυλλίτες, χαλαζίτες, μεταψαμμίτες, μετακροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μεταανδεσίτες, μεταβασίτες. Η ηλικία της είναι μεταξύ Περμίου–Τριαδικού. Πολλοί ερευνητές την θεωρούν σαν υπόβαθρο της ενότητας Γαβρόβου–Τριπόλεως, αλλά υπάρχουν και αρκετοί που πιστεύουν ότι αποτελεί ανεξάρτητη μονάδα που προήλθε από επώθηση.

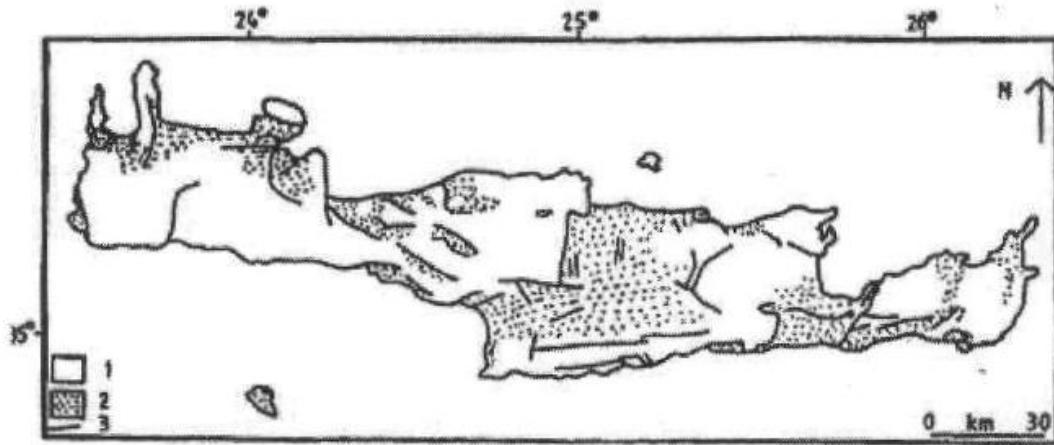
Πάνω στην ενότητα των Φυλλιτών–Χαλαζιτών υπάρχει η ενότητα Γαβρόβου–Τριπόλεως και σε ανώτερη τεκτονική θέση βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου. Πάνω από τις παραπάνω αναφερόμενες εξωτερικές ζώνες υπάρχουν σε ανώτερη τεκτονική θέση αλλόχθονα τεκτονικά λείπια των λεγόμενων εσωτερικών ζωνών, όπως είναι η ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει οφιολιθικά συμπλέγματα, η ενότητα της Αστερούσιας που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Ενώ πάνω απ' αυτούς τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται ιζήματα του Νεογενούς και Τεταρτογενούς τα οποία εμφανίζονται με μεγάλο πάχος και σημαντική ανάπτυξη στην πλειοψηφία των παράλιων περιοχών της Κρήτης.

3.3 ΓΕΝΙΚΗ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΟΥ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ

Η Κρήτη, μαζί με τα Κύθηρα, την Κάσσο, την Κάρπαθο και την Ρόδο αποτελούν το τόξο του Αιγαίου, το οποίο χαρακτηρίζεται από μία επιμήκη δομή και συνδέει τις τεκτονικές δομές της Πελοποννήσου με αυτές των Ταυρίδων στην νότια Τουρκία.

Η επιφάνεια της Κρήτης η οποία αποτελεί τμήμα της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας του Αιγαίου, χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία ιζηματογενών λεκανών, οι οποίες να δημιουργήθηκαν από το Μέσο Μειόκαινο ή και νωρίτερα.

Περισσότερο από το ένα τρίτο του νησιού καλύπτεται από Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Οι Νεογενείς αποθέσεις καλύπτουν ασύμφωνα το αλπικό υπόβαθρο.



Σχήμα 3.1: Σχηματικός Χάρτης της Κρήτης όπου απεικονίζει την κατανομή του Αλπικού υποβάθρου (1) και των ιζηματογενών λεκανών (2).

Οι σημαντικότερες εμφανίσεις Νεογενών ιζημάτων βρίσκονται κατά μήκος της βόρειας πλευράς του νησιού (νομοί Χανίων και Ρεθύμνου), στο Ηράκλειο, ανάμεσα στον Αγ. Νικόλαο και στην Ιεράπετρα και στην περιοχή της Σητείας στην ανατολική Κρήτη. Διασκορπισμένες εμφανίσεις βρίσκονται σε όλο το νησί.

Οι παρατηρήσεις οι σχετικές με την ιζηματογένεση του Νεογενούς αποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικών μεταβολών στην παλαιογεωγραφική διαμόρφωση του νησιού οι οποίες τις περισσότερες φορές συνδέονται με μεγάλα τεκτονικά γεγονότα. Από το μέσο Μειόκαινο η περιοχή της Κρήτης μεταβάλλεται σε ένα μωσαϊκό τεμαχών το οποίο αποτελείται από τεκτονικά κέρατα και τάφρους. Η πολύπλοκη αλληλεπίδραση των τεκτονικών κινήσεων με την ιζηματογένεση είχε ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλης ποικιλίας Νεογενών και νεωτέρας ηλικίας ιζημάτων καθώς και τις γρήγορες πλευρικές και κατακόρυφες λιθολογικές μεταβολές.

Πιο συγκεκριμένα, η πλειονότητα των Νεογενών εμφανίσεων της Κρήτης χαρακτηρίζεται από επιπλυσιγενείς ακολουθίες. Αυτό σημαίνει είτε ότι έγινε μια ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης είτε ότι οι συσχετιζόμενες περιοχές υπέστησαν βύθιση. Αυτές οι σχετικές κατακόρυφες κινήσεις λίγο ή πολύ συμπίπτουν με πολύ σημαντικές ιζηματολογικές μεταβολές. Τα ιζήματα άλλαξαν από κυρίως κλαστικά, κατά την διάρκεια

του Τορτόνιου, σε κυρίως ανθρακικά κατά το Μεσσήνιο. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από σημαντική αύξηση των στρωματοποιημένων ιζημάτων.

Η γενική εικόνα δείχνει ότι η περίοδος από το ανώτερο Τορτόνιο έως το κατώτερο Μεσσήνιο ήταν κυρίως περίοδος διαφορικής κατακόρυφης μετακίνησης τεμαχών. Η σχετική ανύψωση του βασικού επιπέδου διαβρώσεως μπορεί να εξηγήσει την ασύμφωνη επικάλυψη κανονικών ακολουθιών που σχηματίζουν τα ιζήματα αυτής της ηλικίας σε πολλές περιοχές. Αποδοχή αυτού του γεγονότος εξηγεί τις γενικές μεταβολές που παρατηρούνται κατά την ιζηματογένεση. Πρώτος ο Drooger (1976) έδειξε ότι **τα ιζήματα του Τορτονίου είναι κυρίως λεπτομερή κλαστικά με απόθεση αργίλου κατά θέσεις καθώς επίσης και βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι που επίσης βρίσκονται συγκεντρωμένοι κατά τύπους. Ο συνδυασμός ύπαρξης βιοκλαστικών ασβεστολίθων με λεπτόκκοκα κλαστικά ιζήματα υποδηλώνει τοπικά αρκετά ομαλό βαθυμετρικό ανάγλυφο της περιοχής απόθεσης και ταυτόχρονα σχετικά μικρά βάθη επικλινούς πλατφόρμας.** Η σχετική ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης κατά το ανώτερο Τορτόνιο – κατώτερο Μεσσήνιο ευνόησε αυτή την κατάσταση. Η ανύψωση του βασικού επιπέδου αποθέσεως προκάλεσε την μείωση εισροής κλαστικού υλικού και την αλλαγή από κλαστική σε ανθρακική ιζηματογένεση. Την αλλαγή αυτή στον τύπο της ιζηματογένεσης ευνόησε και η απόσυρση της θάλασσας κατά το Μεσσήνιο, η οποία οφείλεται στην ευστατική πτώση της θαλάσσιας στάθμης που με την σειρά της έχει αποδοθεί σε κλιματικές αλλαγές κατά την περίοδο αυτή. **Το κλίμα γενικά από ψυχρό και υγρό κατά την διάρκεια του Τορτονίου έγινε θερμό και ξηρό κατά το Μεσσήνιο.**

Τα τελευταία 30 χρόνια έχουν αναγνωριστεί περισσότερες από 60 λιθολογικές ενότητες του Νεογενούς από πάρα πολλούς ερευνητές. Αυτές οι ενότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε έξι ομάδες σχηματισμών (Meulenkamp, 1969), και οι περισσότερες από αυτές μπορούν να αναγνωριστούν σε όλο το νησί. Οι ομάδες αυτές είναι περιληπτικά οι εξής:

- Ομάδα Πρίνα: Μαύροι λατυποπαγείς και λατυποκροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι. Όλα τα συστατικά στοιχεία βρίσκονται καλά διαστρωμένα σε καλά λιθοποιημένη κύρια μάζα. Τα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή έχουν εναποτεθεί σε χερσαία υφάλμυρα έως και ρηχής θάλασσας περιβάλλοντα. Η ομάδα Πρίνα αποτελεί την βάση της Νεογενούς ακολουθίας, ή αντιπροσωπεύει το πλευρικό αντίστοιχο τμήμα της υπερκείμενης ομάδας Τεφέλη. Σε ορισμένα σημεία η ομάδα Πρίνα περιέχει μεγάλες πτυχοειδείς δομές που δημιουργήθηκαν από την ολισθητική κίνηση μεγάλων διαστάσεων αλπικών πετρωμάτων (μαρμάρων,

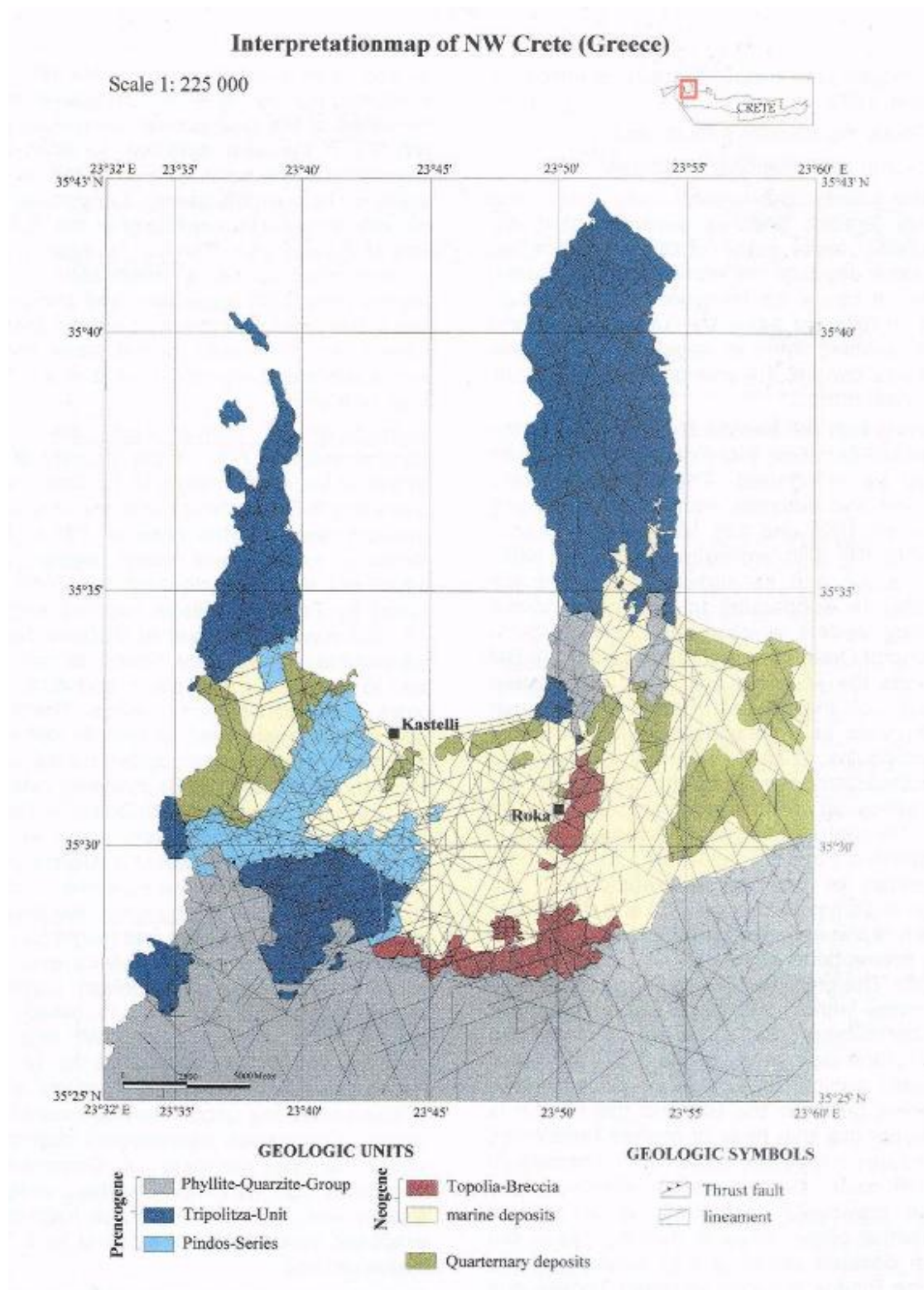
γρανιτών, ασβεστόλιθων κ.λ.π.) που ολίσθησαν στις νεογενείς λεκάνες λόγω βαρύτητας.

- Ομάδα Τεφελίου: Αποτελείται από μη συμπαγοποιημένους χερσαίους κλαστικούς σχηματισμούς οι οποίοι υπέρκεινται της ομάδας Πρίνα ή του αλπικού υποβάθρου και υπόκεινται των ανθρακικών ακολουθιών της ομάδας Βρύσες. Οι σχηματισμοί που είναι ενσωματωμένοι στην ομάδα Τεφελίου αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή, άμμο και ιλύ και αντιπροσωπεύουν απόθεση σε γλυκά, υφάλμυρα και θαλάσσια ύδατα.
- Ομάδα Βρύσες: Βιοκλαστικοί, συχνά υφαλώδεις φυκώδεις-κοραλλιογενείς ασβεστόλιθοι οι οποίοι αποτελούν το πλευρικό ανάλογο τμήμα εναλλαγών στρωματοποιημένων και ομογενοποιημένων μαργών ρηχής θάλασσας. Σε μερικά σημεία οι μάργες περιέχουν συγκεντρώσεις γύψου. Η ομάδα Βρύσες υπέρκειται της ομάδας Τεφελίου, του αλπικού υποβάθρου και σπανίως της ομάδας Πρίνα.
- Ομάδα Ελληνικού: Αποτελείται από ερυθρού χρώματος, χερσαία κροκαλοπαγή, ποταμο-λιμναίες, σχετικά λεπτόκοκκες, ακολουθίες και κατά τόπους υφάλμυρες αποθέσεις με λίγη γύψο. Η ομάδα Ελληνικού υπέρκειται της ομάδας Βρύσες, παλαιών Νεογενών στρωμάτων και κατά τόπους του αλπικού υποβάθρου.
- Ομάδα Φοινικιά: Όλοι οι σχηματισμοί οι οποίοι αποτελούνται από ανοιχτής θαλάσσης μάργες και ιλύες και οι οποίοι υπέρκεινται της ομάδας Ελληνικού ή της ομάδας Βρύσες ενσωματώνονται στην ομάδα Φοινικιά. Πολύ συχνά οι μάργες περιέχουν στρωματοποιημένα πυριτικά λεπτά στρώματα. Σε ορισμένα σημεία η βάση της ομάδας Φοινικιά αποτελείται από μαργαϊκά λατυποπαγή.
- Ομάδα Αγ. Γαλήνης: Αδρομερή, γενικά ερυθρού χρώματος, χερσαία κροκαλοπαγή και ψαμμίτες οι οποίοι υπέρκεινται ή αποτελούν σε ορισμένα μέρη το πλευρικό ανάλογο των ιζημάτων της ομάδας Φοινικιά. Η ομάδα Αγ. Γαλήνης αντιπροσωπεύει την υψηλότερη ενότητα Νεογενών πετρωμάτων της Κρήτης.
- Πλειστόκαινο: Δεν έχει γίνει καμία ουσιαστική υποδιαίρεση των θαλασσίων αναβαθμίδων και των ηπειρωτικών αποθέσεων του Πλειστόκαινου. Τα Πλειστοκαινικά ιζήματα υπέρκεινται ασύμφωνα των Νεογενών και αλπικών πετρωμάτων (Ντρίνια, 1996).

3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΧΑΝΙΩΝ

Στην ενότητα αυτή θα γίνει συνοπτική ανάπτυξη της γεωλογικής δομής μαζί με τους επικρατέστερους γεωλογικούς σχηματισμούς, που εμφανίζονται στον νομό Χανίων. Σ' αυτήν συμμετέχουν στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες (σχήμα 3.2), που αρχίζοντας από τις νεότερες και καταλήγοντας στις παλαιότερες, είναι:

- Τεταρτογενείς αποθέσεις
- Νεογενείς αποθέσεις
- Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου
- Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης
- Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας των Φυλλιτών–Χαλαζιτών
- Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας Τρυπαλίου
- Η ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk)



Σχήμα 3.2: Στρωματογραφικός και νεοτεκτονικός χάρτης της Β.Α. Κρήτης (Keupp & Bellas 2000)

Στην συνέχεια γίνεται συνοπτική περιγραφή των ανωτέρω ενοτήτων:

1. Τεταρτογενείς αποθέσεις: Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες-λατύπες ποικίλης σύστασης, αναλόγως της προέλευσής τους, ασύνδετες έως συνεκτικά συνδεδεμένες, καθώς και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα. Η εμφάνισή τους γίνεται κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς την θάλασσα, στις μείζονες κοίτες των ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και σε μορφή πλευρικών κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων.

2. Νεογενείς αποθέσεις: Αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων-κιτρινόλευκων μαργών με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συχνά βιογενείς-υφαλογενείς, ομοιόμορφα στρωμένους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως ένα-δύο μέτρα. Επίσης, εντός των αποθέσεων αυτών συναντώνται και μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμούχες άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή. Τα κροκαλοπαγή-λατυποπαγή εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Χοιροσπηλίου νοτιότερα της Αγυιάς και στην περιοχή Τοπολίων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η έντονη συνεκτικότητα την οποία παρουσιάζουν, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι λατύπες και κροκάλες που συνιστούν τις παραπάνω αποθέσεις, έχουν προέλθει από την διάβρωση και απόθεση των προϊόντων, τόσο του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης όσο σε μικρότερο βαθμό και των άλλων ενοτήτων που αποτελούν υπόβαθρο των νεογενών αποθέσεων. Οι ενότητες που επίσης συμμετέχουν στην παραπάνω διεργασία είναι η Φυλλιτική-Χαλαζιτική, των Πλακωδών ασβεστόλιθων (Plattenkalk) και της Πίνδου.

3. Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου: Οι ανθρακικοί σχηματισμοί του τεκτονικού αυτού καλύμματος παρουσιάζονται με μικρή επιφανειακή ανάπτυξη στον νομό Χανίων. Εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού και πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή Καστελίου, καθώς και στην ευρύτερη περιοχή της Παλαιόχωρας. Αποτελούνται από πελαγικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές κερατολίθων.

4. Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης: Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση στον νομό Χανίων. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο να είναι επωθημένοι αυτοί οι σχηματισμοί, είτε στην ενότητα Ταλέα Όρη-Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk), είτε στην ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών. Αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης στην βάση τους έντονα κατακερματισμένοι λόγω τεκτονισμού. Οι σχηματισμοί της ενότητας που βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα συνίστανται από δολομίτες-δολομιτικούς ασβεστόλιθους παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, έντονα τεκτονισμένους και

καρστικοποιημένους με σπηλαιώδη υφή. Το χρώμα τους κυμαίνεται από τεφρό έως τεφρόλευκο. Στους σχηματισμούς της ενότητας των υψηλότερων στρωμάτων εμφανίζονται ασβεστόλιθοι που το χρώμα τους κυμαίνεται από μαύρο έως τεφρόμαυρο. Το πάχος των σχηματισμών είναι μέσο και συνήθως παρουσιάζουν μικρολατυποπαγή υφή. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι το έντονο ανάγλυφο και το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο, που συμπίπτει με τεκτονικές ασυνέχειες. Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο καρστικής διάλυσης που εμφανίζεται με διάφορες μορφές, μεγέθη και σχήματα. Το πάχος της ζώνης φθάνει τις λίγες εκατοντάδες μέτρα και η ηλικία αυτής της σειράς κυμαίνεται από το Άνω Τριαδικό έως και το Άνω Κρητιδικό.

5. Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας των Φυλλιτών–Χαλαζιτών: Η ενότητα καταλαμβάνει σημαντική έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού Χανίων. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στο τεκτονικό κάλυμμα είναι κυρίως μαρμαρυγικοί–ανθρακικοί ασβεστόλιθοι, σερικιτικοί–χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταψαμμίτες. Στα πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται τόσο ποσότητες χαλαζία σημαντικού πάχους υπό μορφή φλεβών, καθώς και ενστρώσεις μαύρων κρυσταλλικών κατακερματισμένων ασβεστόλιθων μικρού πάχους. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της σειράς είναι οι εμφανίσεις γύψου σε αρκετές περιοχές, όπως στην Σούγια, στην Παλαιόχωρα κ.α. Η ηλικία της ενότητας εκτείνεται μεταξύ Περμίου και Άνω Τριαδικού, ενώ το πάχος της μπορεί και να ξεπερνάει σε ορισμένες περιπτώσεις τα 1.500 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

6. Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας Τρυπαλίου: Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής βρίσκονται επωθημένοι στην ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων (Plattenkalk). Το κάλυμμα Τρυπαλίου αποτελεί το πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του γίνεται στην περιοχή του Ομαλού των Λευκών Ορέων. Τα πετρώματα που εμφανίζονται σ' αυτή την σειρά είναι μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Έτσι πιο συγκεκριμένα, στην βάση του σχηματισμού εμφανίζεται τεκτονικό λατυποπαγές με σημαντικό πάχος μερικές φορές. Στα κατώτερα πετρώματα της ενότητας επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες. Συνήθως, αυτό το κάλυμμα περιέχει λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις ή βολβούς κερατολίθων πράγμα που το καθιστά όμοιο πετρογραφικά με την ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Το πάχος του καλύμματος φθάνει τα 400 μέτρα, ενώ η ηλικία του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ Τριαδικού και Κάτω Ιουρασικού.

7. Η ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι (Plattenkalk): Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην ενότητα συνήθως, είναι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι. Σε

ορισμένες περιπτώσεις οι σχηματισμοί έχουν υποστεί μεταμόρφωση και έχουν μετατραπεί σε μάρμαρα. Εμφανίζονται καλοστρωμένοι σε πάγκους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και ένα μέτρο. Στα κατώτερα μέλη τους εμφανίζονται παχυστρωματώδεις, ενώ προς τα ανώτερα εξελίσσονται σε μεσοστρωματώδεις και στη συνέχεια σε λεπτοστρωματώδεις. Το χρώμα τους μπορεί να είναι από τεφρό έως και τεφρόμαυρο. Επίσης σημαντικό γεγονός αποτελεί η εμφάνιση πυριτικού υλικού είτε με την μορφή ενστρώσεων, είτε με την μορφή φακών. Η εμφάνιση του πυριτικού υλικού στα μεσαία μέλη του σχηματισμού είναι μεγάλη, σε αντιδιαστολή με τα υπόλοιπα μέλη όπου οι παρεμβολές αυτές περιορίζονται αισθητά. Η καρστικοποίηση του σχηματισμού είναι περιορισμένη και ανομοιόμορφη. Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλουν οι πυριτικές παρεμβολές. Το πάχος της ενότητας φθάνει τα 1200 μέτρα και η ηλικία της προσδιορίζεται στο Μέσο Ιουρασικό–Ηώκαινο.

3.5 ΑΠΟΨΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΤΗΣ Β.Α. ΚΡΗΤΗΣ

Διαχρονικά πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με τους Νεογενείς σχηματισμούς της Δυτικής Κρήτης. Στη παρούσα εργασία θα παρατεθούν στοιχεία και απόψεις για την στρωματογραφική διάταξη, την τεκτονική εξέλιξη και το μοντέλο ιζηματογένεσης των Freudenthal (1969), Kontopoulos, Zellilidis & Frydas (1996), Keupp & Bellas (2000) και Seidel (2003).

3.5.1 Νεογενείς αποθέσεις της Δυτικής Κρήτης (Κατά Freudenthal 1969)

Σύμφωνα με τις απόψεις του Freudenthal (1969), οι ιζηματογενείς αποθέσεις της Δυτικής Κρήτης έχουν υποδιαιρεθεί σε έντεκα σχηματισμούς (δώδεκα αν κάποιος συμπεριλάβει τα Νεογενή της Γαύδου). Τα αδρομερή λατυποπαγή που εμφανίζονται στα Τοπόλια δεν θεωρούνταν αρχικά ως Νεογενή και άρα δεν συμπεριλαμβάνονται στην εργασία του Freudenthal ούτε και σε αυτή του Meulenkamp (1969). Λίγα πρωτογενή στοιχεία δίνονται από τον Meulenkamp. Οι μεταγενέστεροι συγγραφείς ταξινομούν παρόμοια λατυποπαγή στο σύμπλεγμα της Πρίνας του μέσου Μειόκαινου. Παρακάτω θα περιγραφούν λεπτομερώς τα γενικά χαρακτηριστικά και οι αλληλοσυσχετισμοί οχτώ από αυτών των σχηματισμών. Η ηλικία τους εκτείνεται στρωματογραφικά σε ένα διάστημα από το Μέσο/ανώτερο Μειόκαινο έως και το Πλειόκαινο.

3.5.1.1 Σχηματισμός Τοπόλια

Ο σχηματισμός Τοπόλια περιλαμβάνει αδρομερή, φτωχά ταξινομημένα, ασβεστολιθικά λατυποπαγή των οποίων το κατώτερο μέρος έχει ασβεστοποιηθεί, και απόθεση στρωματολίθων μερικώς. Μια πρόσφατη ορογενετική προέλευση για αυτά τα λατυποπαγή θεωρεί ότι δημιουργήθηκαν εξαιτίας της εντατικής αποκόλλησης λατυπών, κατά το Μειόκαινο, από την υποκείμενη μεταμορφική σειρά, η οποία έγινε πριν από την ταχεία εκταφή τους, αφού δεν υπάρχουν τμήματα των μεταμορφωμένων πετρωμάτων εντός των λατυποπαγών. Πιθανόν να είναι γωνιώδεις λατύπες που παρήχθησαν απότομα, και δεν μεταφέρθηκαν πολύ μακριά από την πηγή τους.

Όπως φαίνεται από λεπτομερείς αρχικές μελέτες, κυρίως της τοπικής κατανομής, υπάρχει σχέση με πρώιμες τεκτονικές δραστηριότητες κατά μήκος της ρηξιγενούς επιφάνειας στο νότιο όριο της λεκάνης του Καστελίου και άρα μία νέα κίνηση των λατυπών μπορεί να επαχθεί. Οι υποκείμενες στρώσεις του σχηματισμού των Τοπολίων, είναι πετρώματα παλαιότερα του Νεογενούς. Η επαφή τους είναι τεκτονική και με τους φυλλίτες-χαλαζίτες αλλά και με τα υπολείμματα του καλύμματος της Πίνδου. Για τον σχηματισμό Τοπόλια θεωρείται ότι υπάρχει λίγο ή πολύ επίδραση του νερού, και άρα ολόκληρη η ακολουθία θεωρείται εδαφικής προελεύσεως.

3.5.1.2 Σχηματισμός Μεσονήσι

Ο σχηματισμός Μεσονήσι έχει πολύ περιορισμένες εμφανίσεις. Συνίσταται κυρίως από διασταυρούμενες στρώσεις κόκκινων κροκαλοπαγών και λιγότερο από ενδιάμεσες στρώσεις κίτρινων ή γκρι μαργών, που υπέρκεινται ανομοιογενώς των προνεογενών στρώσεων. Είναι ομοιόμορφα επικαλυμμένος από τον σχηματισμό της Ρόκας (που περιγράφεται παρακάτω). Θεωρείται ότι το περιβάλλον απόθεσης γι' αυτόν τον σχηματισμό είναι ποτάμιο (Freudenthal, 1969).

3.5.1.3 Σχηματισμός Ρόκα

Αποτελείται κυρίως από κροκαλοπαγή, που περιέχουν άμμο έως ψαμμίτες και μαργαϊκούς βιογενείς ασβεστόλιθους. Οι στρώσεις του σχηματισμού της Ρόκας υπέρκεινται ανομοιογενώς των προνεογενών καλυμμάτων της Πίνδου και της Τρίπολης (διαβρωμένη και ακανόνιστη επαφή) και των μεταμορφωμένων στρωμάτων. Ειδικά στο

χωριό Ρόκα ο σχηματισμός σταδιακά υπέρκειται του σχηματισμού Μεσονήσι, ενώ νοτιοδυτικά του Κολυμπαρίου υπερκαλύπτει 25 περίπου μέτρα αδρομερών ποτάμιων κροκαλοπαγών που περιέχουν βασικά στοιχεία της Φυλλιτικής-Χαλαζιακής σειράς (κατώτερα κόκκινα κροκαλοπαγή του σχηματισμού Μεσονήσι). Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η ιζηματογένεση έγινε μετά την εκταφή της μεταμορφικής σειράς. Ο σχηματισμός Ρόκα διαδοχικά επικαλύπτεται από τους σχηματισμούς της Κισσάμου και των Χαιρεθιανών ή της Κουκουναράς. Σύμφωνα με την άποψη των συγγραφέων, οι μεταγενέστεροι σχηματισμοί διεισδύουν και πλευρικός στον σχηματισμό της Ρόκας. Από την άλλη, κατά το τέλος του πρώτου κύκλου ιζηματογένεσης (μέσο Μεσσήνιο) οι βιογενείς ασβεστόλιθοι κατέπεσαν στις λεκάνες και πάλι και υπερκάλυψαν τις αμμούχες μάργες του σχηματισμού των Χαιρεθιανών. Ο «ετεροχρονισμένος» σχηματισμός της Ρόκα υποδεικνύει ένα πολύ ρηχό, θαλάσσιο περιβάλλον απόθεσης (Freudenthal, 1969).

3.5.1.4 Σχηματισμός Κουκουναρά

Πολυμικτικά θαλάσσια κροκαλοπαγή, μετρίως συμπαγοποιημένες και διαβαθμισμένες στρώσεις (τουρβιδίτες), ελασματοποιημένες και άμορφες μπλε μάργες, και αδρόκοκκοι έως πολύ αδρόκοκκοι ψαμμίτες συνθέτουν τον σχηματισμό Κουκουναρά. Ο σχηματισμός υπέρκειται μερικώς του σχηματισμού της Ρόκας, με την επαφή τους, να μην είναι εμφανής, ή αποτίθεται απευθείας στο προνεογενές. Σύμφωνα με παρατηρήσεις, ο σχηματισμός Κουκουναρά είναι μερικώς πλευρικός, αντίστοιχα με τον σχηματισμό Ρόκα, και μερικώς νεότερος στρωματογραφικά. Ο σχηματισμός αυτός είναι το αποτέλεσμα τουλάχιστον τριών διαφορετικών σειρών απόθεσης. Ο σχηματισμός Κουκουναρά, υπόκειται του σχηματισμού των Χαιρεθιανών (Freudenthal, 1969).

3.5.1.5 Σχηματισμός Κισσάμου

Κυρίως άμορφες αλλά επίσης πολύ λεπτώς έως μετρίως διαστρωμένες άργιλοι και ιλύολιθοι χρώματος μπλε-γκρι συνθέτουν τον σχηματισμό της Κισσάμου. Τα όρια των στρώσεων είναι δυσδιάκριτα. Λεπτά στρώματα κλαστικού υλικού μεγαλύτερης κοκκομετρίας (ψαμμίτες) παρεμβάλλονται στα ιλυολιθικά τμήματα, τα οποία είναι σπανίως διαβαθμισμένα, κυρίως κοντά στα όρια της λεκάνης. Λεπιοειδείς δομές με οστρακοειδή θραύσματα και σφαιρικούς ιλύολιθους συνυπάρχουν επίσης. Αυτός ο σχηματισμός υπέρκειται ή εμπλέκεται πλευρικά με τον σχηματισμό της Ρόκας (π.χ. στην

Επισκοπή) αλλά γενικά η βάση του σχηματισμού δεν είναι εμφανής. Ο υπερκείμενος σχηματισμός είναι ο λίγο ή περισσότερο αμμώδης σχηματισμός των Χαιρεθιανών κυρίως στο Ανατολικό κομμάτι της λεκάνης της Κισσάμου. Η μετάβαση είναι συνήθως βαθμιαία, αν και παρατηρείται μια αλλαγή στο χρώμα από μπλε σε κίτρινο. Είναι πιθανό το νοτιοανατολικό όριο της λεκάνης της Κισσάμου να υπερκαλύπτεται από τον σχηματισμό Χάτζι. Θεωρείται ότι το περιβάλλον απόθεσης είναι αβυσσικό (Freudenthal, 1969).

3.5.1.6 Σχηματισμός Χαιρεθιανών

Ο σχηματισμός των Χαιρεθιανών αποτελείται από κίτρινες, άμορφες, στρωματοποιημένες λευκές αργίλους (διατομίτες) και μάργες, σε εναλλαγή με λεπτές έως παχείς στρώσεις ψαμμιτών των οποίων το πάχος αυξάνεται προς την κορυφή. Στο κατώτερο μέρος του σχηματισμού παρεμβάλλονται στρώματα γύψου. Ο σχηματισμός των Χαιρεθιανών υπέρκειται των σχηματισμών της Ρόκας, της Κισσάμου, του Κουκουναρά ή του Χάτζι αντιστοίχως (Freudenthal 1969). Η περεταίρω σχέση είναι μάλλον αμφισβητήσιμη. Ο σχηματισμός του Ταυρωνίτη υπέρκειται του σχηματισμού των Χαιρεθιανών, ή ο τελευταίος είναι μερικές φορές το πλευρικό ισοδύναμο του σχηματισμού του Ταυρωνίτη. Σε αντίθετη περίπτωση ο σχηματισμός υποδεικνύει ένα τέλος της ρηχής θαλάσσιας ιζηματογένεσης (Freudenthal, 1969).

3.5.1.7 Σχηματισμός Χάτζι

Το κατώτερο μέρος του σχηματισμού Χάτζι αποτελείται από κόκκινα κροκαλοπαγή με σχεδόν κανονικές παρεμβολές μαργών. Στο ανώτερο μέρος του σχηματισμού κυριαρχούν λεπτές καλά σχηματισμένες στρώσεις αργίλου με εμφανίσεις γύψου που παρεμβάλλονται τοπικά. Κύριο χαρακτηριστικό είναι το κόκκινο χρώμα όλων των ιζημάτων που οφείλεται στην ισχυρή επίδραση της χερσαίας λατεριτικής αποσάθρωσης, πάνω στην φυλλιτική-χαλαζιακή σειρά. Στο νότιο άκρο της λεκάνης του Κισσάμου, ο σχηματισμός Χάτζι υπέρκειται ανομοιογενώς του προνεογενούς υποβάθρου (όπως και ο σχηματισμός Ρόκα) (Freudenthal, 1969).

3.5.1.8 Σχηματισμός Ταυρωνίτη

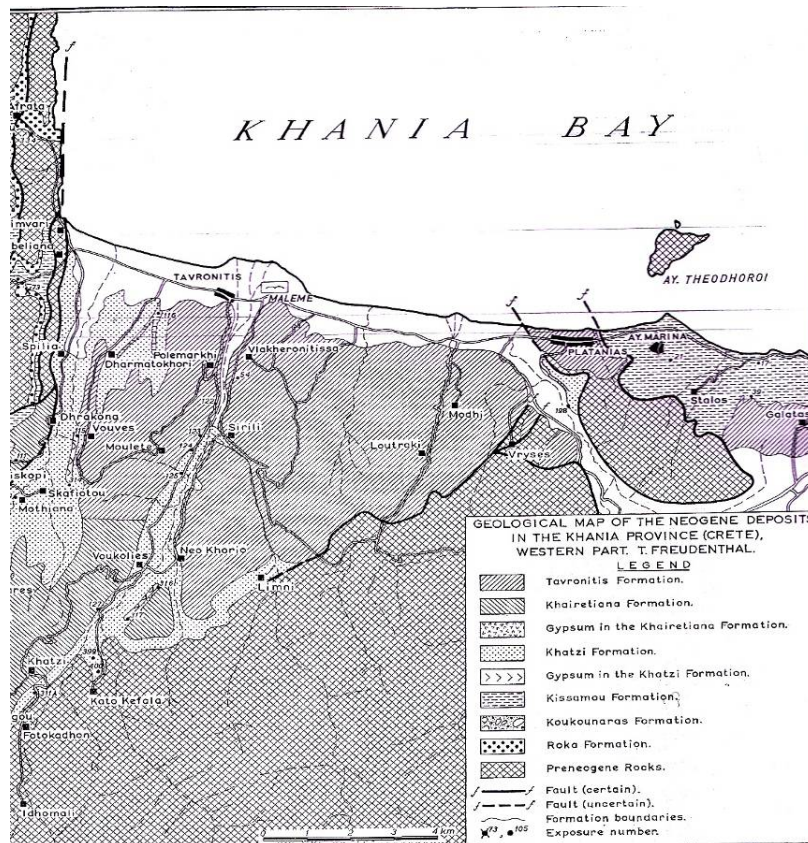
Ο σχηματισμός Ταυρωνίτη αποτελείται από άμορφους έως μετρίως στρωματοποιημένους λευκούς ιλυόλιθους με λεπιοειδείς σχηματισμούς. Στα ανώτερα τμήματα παρατηρούνται σταδιακά κίτρινοι ψαμμίτες μετρίως στρωματοποιημένοι.

Υπέρκειται κανονικά του σχηματισμού Χάτζι και θεωρείται το πλευρικό ισοδύναμο του σχηματισμού των Χαιρεθιανών. Σύμφωνα με τον Φρυδά (1993) ο σχηματισμός του Ταυρωνίτη είναι δημιουργημένος κατά το Πλειόκαινο ενώ αυτός των Χαιρεθιανών κατά το Μεσσήνιο.

3.5.1.9 Άλλοι σχηματισμοί

Σύμφωνα με τον Freudenthal (1969), εκτός των προαναφερθέντων σχηματισμών υπάρχουν άλλοι τέσσερις (εκτός του σχηματισμού της Γαύδου) που συνυπάρχουν στην ιζηματογενή λεκάνη της Β.Δ.. Οι σχηματισμοί αυτοί εκτείνονται κυρίως ανατολικότερα της περιοχής μελέτης και γι' αυτό απλά αναφέρονται στην συνέχεια:

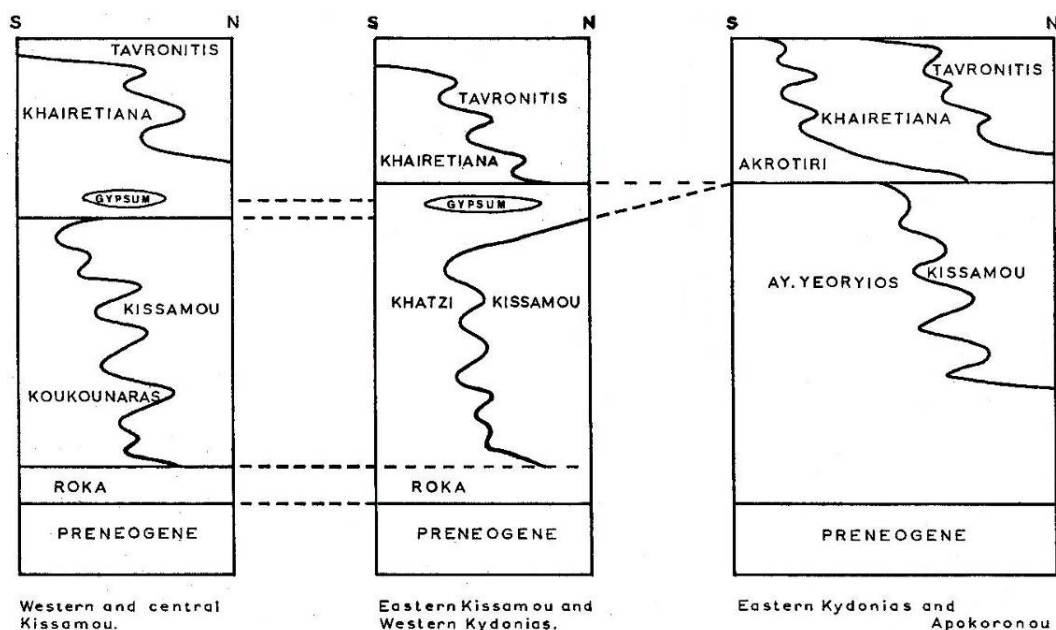
- *Σχηματισμός Αγ. Γεώργιος*: αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, αργίλους και βιογενείς ή κλαστικούς ασβεστόλιθους. Υπέρκειται προνεογενών σχιστόλιθων και μαύρων ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων ενώ υπερκαλύπτεται τοπικά από τους σχηματισμούς του Ακρωτήρι και Κισσάμου. Εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή των Μουρνιών.
- *Σχηματισμός Ακρωτήρι*: αποτελείται κυρίως από βιογενείς ασβεστόλιθους και κροκαλοπαγή με ψαμμίτες. Υπέρκειται τοπικά των σχηματισμών Κισσάμου και Αγ. Γεωργίου ή των προνεογενών ενώ δεν υπερκαλύπτεται από κανένα άλλον σχηματισμό. Στην περιοχή του Αποκόρωνα βαθμιαία υπεισέρχεται στον σχηματισμό Χαιρεθιανά. Ο σχηματισμός Ακρωτήρι περιορίζεται στην περιοχή του Αποκόρωνα και στο ανατολικό τμήμα της Κυδωνίας.
- *Σχηματισμός Σούδα*: αποτελείται από λεπτά στρώματα πυκνών ασβεστόλιθων. Υπέρκειται των μαύρων προνεογενών ασβεστόλιθων, ενώ σε μερικές περιπτώσεις καλύπτεται από τον σχηματισμό Ακρωτήρι.
- *Σχηματισμός Κεραμιά*: αποτελείται από λεπτά στρώματα πυκνών ασβεστόλιθων, μεγάλες στρώσεις βιογενών ασβεστόλιθων και αργίλους με απολιθώματα. Η βάση του σχηματισμού δεν είναι εμφανής και θεωρείται ότι έρχεται σε επαφή με προνεογενείς σχιστόλιθους και ασβεστόλιθους. Ο σχηματισμός αυτός εντοπίζεται μόνο στην περιοχή των Κεραμιών.



Σχήμα 3.3 : Χάρτης σχηματισμών Β.Α. Κρήτης (Freudenthal 1969)

3.5.1.10 Λιθοστρωματογραφικοί συσχετισμοί

Στις περιγραφές των σχηματισμών του Νεογενούς της Β.Α. Κρήτης έγιναν περιστασιακές αναφορές στους συσχετισμούς και τις πλευρικές μεταβάσεις μεταξύ τους. Οι σημαντικότεροι εξ αυτών των συσχετισμών φαίνονται στο σχήμα 3.4 και περιγράφονται λεπτομερέστερα στην συνέχεια.



Σχήμα 3.4 : Στρωματογραφικοί συσχετισμοί Νεογενούς (Freudenthal 1969)

Στην περιοχή του Κίσαμου τα χαμηλότερα νεογενή στρώματα ανήκουν στον σχηματισμό Μεσسونήσι. Στον σχηματισμό αυτό επικρατούν τα κόκκινα κροκαλοπαγή και οι αμμούχες άργιλοι, ενώ υπάρχει σαφής αντιστοιχία με περιβάλλον γλυκού νερού. Ο σχηματισμός Μεσسونήσι επικαλύπτεται από τον σχηματισμό Ρόκα που αντιστοιχεί σε ένα περιβάλλον ρηχών υδάτων, όπως υποδεικνύεται από τα απολιθώματα που εμπεριέχονται σε αυτόν. Η λιθostrωματογραφική αυτή μονάδα εντοπίζεται εύκολα στην περιοχή του Κίσαμου, και είναι αρκετά αξιόπιστο επίπεδο συσχετισμού (Freudenthal 1969).

Ο σχηματισμός Ρόκα υπόκειται δύο θαλάσσιων σχηματισμών, του Κουκουναρά και του Κίσαμου, οι οποίοι είναι, έστω και μερικώς, πλευρικά αντίστοιχα. Ανάμεσα στους δύο σχηματισμούς οι δυνατότητες συσχετισμού είναι περιορισμένες. Περιστασιακά τα έντονα βαθμονομημένα στρώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συσχετισμούς σε μεγάλες αποστάσεις (έως 2.5 km), αλλά γενικά το πάχος τους μειώνεται απότομα σε κατεύθυνση προς τον βορρά με αποτέλεσμα να μειώνει την χρησιμότητά τους στους συσχετισμούς (Freudenthal 1969).

Σε πιο πλήρεις ενότητες, όπου η μετάβαση στους υπερκείμενους σχηματισμούς είναι περισσότερο εμφανής, όπως κοντά στο Καστέλι Κισσάμου ή την Επισκοπή Κισσάμου, οι άμορφες άργιλοι εξακολουθούν να υπερκαλύπτουν τα ανώτατα βαθμονομημένα στρώματα. Στην κορυφή του σχηματισμού Κισσάμου, οι άμορφες άργιλοι μετατρέπονται σε στρωματοποιημένες αργίλους, οι οποίες δύσκολα μπορούν να

διαφοροποιηθούν από τις στρωματοποιημένες και αμμούχες αργίλους της βάσης του σχηματισμού Χαιρεθιανά, ο οποίος και υπέρκειται του σχηματισμού Κισσάμου. Το όριο των σχηματισμών εκεί θεωρείται αυθαίρετα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αξιόπιστους περεταίρω λιθοστρωματογραφικούς συσχετισμούς. Το όριο γίνεται εμφανές όταν εμφανίζονται οι μάργες του σχηματισμού Χαιρεθιανά όπου και υπάρχει έντονη διαφοροποίηση σε σχέση με τις άμορφες αργίλους του σχηματισμού Κισσάμου (Freudenthal 1969) .

Τα μεταβατικά αυτά στρώματα μεταξύ των δύο σχηματισμών δεν είναι παχιά και σε πολλές περιπτώσεις περιβάλλουν ένα στρώμα γύψου, το οποίο σαφώς ανήκει στο κύριο σώμα του σχηματισμού Χαιρεθιανά, λαμβάνοντας υπ' όψη τις συσχετιζόμενες στρωματοποιημένες αργίλους. Εκτός από το στρώμα γύψου, που βρίσκεται κοντά στην βάση, δεν υπάρχει άλλο συγκεκριμένο επίπεδο χρήσιμο για συσχετισμούς στον σχηματισμό Χαιρεθιανά. Το στρώμα γύψου του σχηματισμού Χαιρεθιανά συνδέεται με το στρώμα γύψου στα ανώτερα επίπεδα του σχηματισμού Χάτζι στα ανατολικά της περιοχής Κισσάμου. Αφού σε εκείνο το σημείο ο σχηματισμός Χαιρεθιανά υπέρκειται του σχηματισμού Χάτζι, συμπεραίνεται ότι στο κεντρικό τμήμα της περιοχής Κισσάμου, το κατώτερο τμήμα του σχηματισμού Χαιρεθιανά αντιστοιχεί στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού Χάτζι, στην ανατολικά πλευρά της περιοχής. Εντός του σχηματισμού Χάτζι, δύσκολα μπορούν να βρεθούν στοιχεία για συσχετισμούς μεγαλύτερων αποστάσεων. Τα περισσότερα από τα διαβαθμισμένα στρώματα φθίνουν σε κατεύθυνση προς τον βορρά, και δεν παρέχουν αρκετές πληροφορίες για αξιόπιστο λιθοστρωματογραφικό συσχετισμό, όπως συμβαίνει και στον σχηματισμό Κισσάμου, με εξαίρεση το στρώμα γύψου (Freudenthal 1969) .

Ο σχηματισμός Χάτζι, καλύπτεται από τον σχηματισμό Χαιρεθιανά στο νότιο τμήμα του, και από τον σχηματισμό Ταυρωνίτη στο νότιο. Στο πεδίο ο πλευρικός συσχετισμός και των δύο σχηματισμών δεν είναι εμφανής, αλλά βασίζεται στο γεγονός ότι και οι δύο υπέρκεινται του ίδιου σχηματισμού και πιθανότατα στο ίδιο επίπεδο (ελαφρώς πάνω από το στρώμα γύψου).

Στο ανατολικότερο τμήμα της περιοχής οι συσχετισμοί βασίζονται κυρίως σε μεμονωμένες εμφανίσεις του σχηματισμού Κισσάμου κοντά στον Σταλό, τις Βρύσες και τις Μουρνιές Κυδωνίας, οι οποίες θεωρούνται όλες ότι ανήκουν στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού όπως εμφανίζεται δυτικότερα στην περιοχή Κισσάμου. Κοντά στις Μουρνιές ο σχηματισμός Κισσάμου, υπερκαλύπτεται από τον σχηματισμό Ακρωτήρι, ο οποίος στην βάση του είναι πλούσιος σε οργανικό υλικό. Το επίπεδο αυτό συσχετίζεται

με τους βιογενείς ασβεστόλιθους που εμφανίζονται κατά τόπους στα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού Χάτζι. Στον σχηματισμό Ακρωτήρι τα πλούσια σε οργανικά υλικά στρώματα είναι το μόνο αξιόπιστο επίπεδο συσχετισμού (Freudenthal 1969).

Η πλευρική μετάβαση μεταξύ των σχηματισμών Κισσάμου και Αγ. Γεωργίου, δεν είναι εμφανής στο πεδίο αλλά μπορεί να υποτεθεί με βάση το γεγονός ότι και οι δύο υπερκαλύπτονται από τον σχηματισμό Ακρωτήρι σε απόσταση μικρότερη του ενός χιλιομέτρου.

Οι βιογενείς ασβεστόλιθοι κατά μήκος της βάσης του σχηματισμού Αγ. Γεωργίου, μπορούν να συσχετισθούν με τους αντίστοιχους ασβεστόλιθους, στο μέσο του γεωγραφικά απομονωμένου σχηματισμού Κεραμιά.

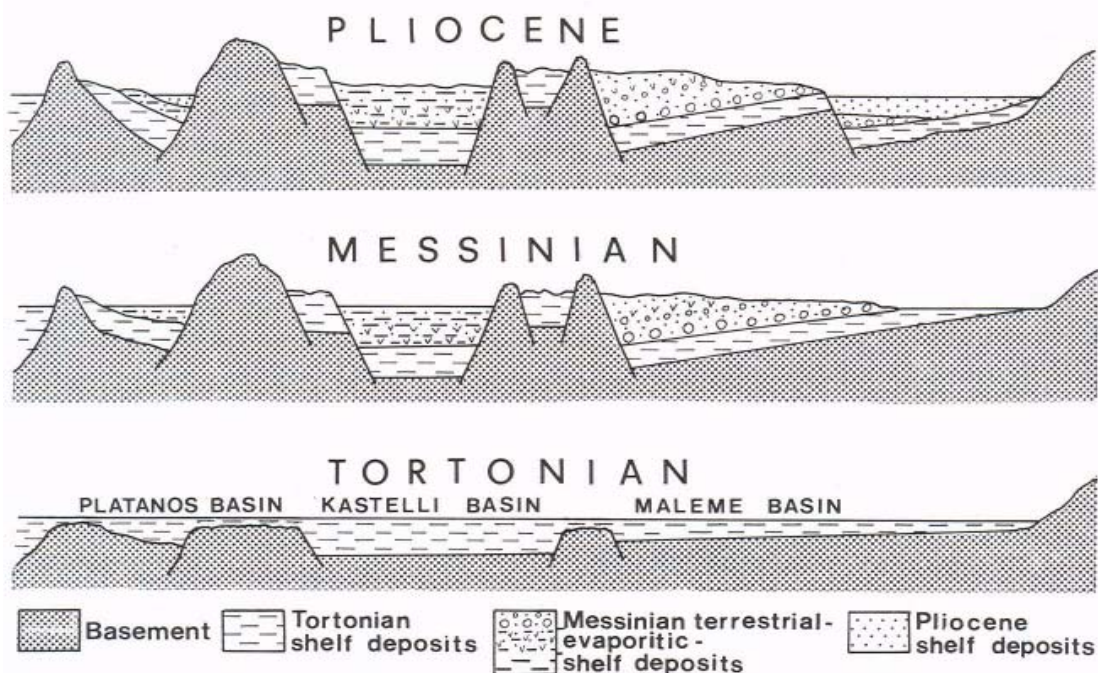
Τέλος, στην περιοχή Αποκόρωνα, είναι εμφανές ότι ο σχηματισμός Χαιρεθιανά είναι πλευρικό ισοδύναμο, του σχηματισμού Ακρωτήρι, και ότι υπέρκειται του σχηματισμού Κισσάμου. Η υπέρθεση αυτή συμφωνεί με τα αντίστοιχα δεδομένα από την περιοχή Κισσάμου (Freudenthal 1969).

3.5.2 Μοντέλο ιζηματογένεσης Νεογενών σχηματισμών της ΒΔ Κρήτης (Κατά Kontopoulos et al. 1996)

Οι σχηματισμοί νεογενών αποθέσεων που περιγράφονται παραπάνω κάνουν εντονότερη την εμφάνισή τους σε τρεις παρακείμενες λεκάνες στα βορειοδυτικά της Κρήτης για τις οποίες έχουν αναγνωριστεί διαφορετικές παλαιοπεριβαλλοντικές εξελικτικές διεργασίες, καθ' όλη τη διάρκεια του ανώτερου Τορτονίου, Μεσσηνίου και Πλειοκαίνου. (λεκάνες Πλατάνου, Καστελίου και Μάλεμε). Ο σχηματισμός και η εξέλιξη αυτών των τριών λεκανών οφείλονται σε διαφορετικά τεκτονικά καθεστώτα. Η ιζηματογένεση στις τρεις λεκάνες άρχισε το ανώτερο Τορτόνιο με τις αποθέσεις ιλυολιθικών φάσεων από την περιοχή της υφαλοκρηπίδας στα ανώτερα τμήματα της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Κατά τόπους και στα δυτικά περιθώρια η ιζηματογένεση ξεκίνησε με τραπεζοειδείς αποθέσεις δελταϊκών ριπιδίων. Κατά το ανώτατο Τορτόνιο, αποθέσεις άστρωτων (μη στρωσιγενών) ιλυολιθικών φάσεων με λεπιοειδείς ολισθήσεις, σχηματίστηκαν στα ανώτερα τμήματα της ηπειρωτικής κατωφέρειας και υπερκάλυψαν ομοιόμορφα, τις αποθέσεις ιλυολιθικών φάσεων στις λεκάνες του Πλατάνου και του Κισσάμου. Στη λεκάνη του Μάλεμε, η χαμηλότερη ακολουθία ιλυολιθικών/κροκαλοπαγών μετώπων αποτέθηκε σε ένα σύμπλεγμα αλλουβιακών ριπιδίων. Ανεξαρτήτως της απόθεσης αυτών των μετώπων, παράκτια βιοκλαστικά ασβεστολιθικά μέτωπα αποτέθηκαν ταυτόχρονα στα βόρεια της λεκάνης σε ανθρακικές

πλατφόρμες και στην πλευρά της Μεσογειακής λεκάνης. Στην λεκάνη του Πλατάνου, λεπτόκοκκα ετερολιθικά στρώματα υφαλοκρηπιδικής φάσης, που δημιουργήθηκαν υπό συνθήκες χαμηλής ενέργειας από το ανώτατο Τορτόνιο μέχρι το ανώτατο Μεσσήνιο, αποτέθηκαν ανομοιόμορφα πάνω από τις ιλυολιθικές αποθέσεις. Στα νότια της λεκάνης του Κισσάμου, η ιζηματογένεση σταμάτησε με την απόθεση των χαμηλότερων τμημάτων των ρηχών θαλάσσιων ετερολιθικών φάσεων, τα οποία αντιστοιχούν στα τέλη του Τορτονίου. Στα βόρεια εναποτέθηκε μια μικτή γυψοφόρος ακολουθία που επικαλύφθηκε από το ανώτερο τμήμα των ετερολιθικών φάσεων του ανώτερου Μεσσηνίου. Στη λεκάνη του Μάλεμε τα γυψούχα μέτωπα εναποτέθηκαν σε ένα περιβάλλον sabkha πάνω από την υποκείμενη ακολουθία ιλυολιθικών/κροκαλοπαγών φάσεων κατά τη διάρκεια του Μεσσηνίου. Η συνεχόμενη θαλάσσια ιζηματογένεση στη λεκάνη του Πλατάνου από το ανώτερο Τορτόνιο μέχρι το ανώτατο Μεσσήνιο δείχνει ότι η πτώση του επιπέδου της θάλασσας κατά τη διάρκεια της εκτεταμένης αφυδάτωσης της Μεσογείου δεν ήταν καταγεγραμμένη σε αυτή τη λεκάνη.

Στη λεκάνη του Πλατάνου, κατά το ανώτερο Πλειόκαινο, ενδιάμεσες στρώσεις κανονικών ρηχών θαλάσσιων αμμούχων αργίλων και αργιλούχων ψαμμιτών αποτέθηκαν ασύμφωνα με τρόπο παράκτιο στα ιζήματα του Μειοκένου. Αυτά τα μέτωπα του ανώτερου Πλειοκαίνου απουσιάζουν από την λεκάνη του Κισσάμου, ενώ στη λεκάνη του Μάλεμε η θαλάσσια ιζηματογένεση από το ανώτερο Μειόκαινο μέχρι το κατώτερο Πλειόκαινο είναι συνεχής στα έξω και άνω περιβάλλοντα των ορίων.



Σχήμα 3.5: Χάρτης εξέλιξης (Kontopoulos et al. 1996)

3.5.3 Στρωματογραφική εξέλιξη λεκάνης Κισσάμου (Κατά Keupp & Bellas 2000)

Η διάρκεια της διαδικασίας τεκτονισμού-ιζηματογένεσης στην ασύμμετρη λεκάνη του Κισσάμου ήταν σε χρονική κλίμακα μικρότερης των 10 εκατομμυρίων χρόνων. Όπως προέκυψε από την σύνθεση διαφόρων βιοστρωματογραφικών, λιθοστρωματογραφικών στοιχείων και γεωλογικών χαρτογραφήσεων (σε κλίμακα 1:25000 και τοπικά σε κλίμακα 1:5000) και από την βιβλιογραφία, η διαδικασία κράτησε από το από το ανώτερο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα. Όπως θα αποδειχθεί παρακάτω, ομάδες κόκκινων κροκαλοπαγών φαίνεται να σηματοδοτούν ευκρινή γεγονότα και να χωρίζουν την ανάπτυξη της λεκάνης σε τρία σαφώς διακριτά στρωματογραφικά διαστήματα, τα οποία θεωρούνται βασικά κλειδιά για την ερμηνεία της οργάνωσης της λεκάνης.

Θα περιγραφούν τρία επίπεδα των μη θαλάσσιων αποθέσεων και των απότομα διαβρωμένων επιφανειών σε συνδυασμό με μια επαναλαμβανόμενη εντατική τεκτονική δραστηριότητα κατά την οποία παράγονται μεγάλες ποσότητες κροκαλοπαγών αποθέσεων. Υπάρχουν 12 κύρια στάδια, που μπορούν να αναγνωριστούν, στην εξέλιξη της λεκάνης, τα οποία παρατίθενται παρακάτω:

1) Στο χρονικό διάστημα από το μέσο Τορτόνιο, κυριάρχησαν διαδικασίες ρηξιγενών κινήσεων οι οποίες έλεγξαν τόσο την παλαιοπεριφέρεια όσο και το παλαιοβάθος της μελετώμενης νέας λεκάνης.

2) Κανονικά ρήγματα στα νότια και ανατολικά περιθώρια, και μια φάση χαμηλής στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας, στη συνέχεια παράγουν το ονομαζόμενο μέλος των λατυποπαγών (BM, Breccia Member) του σχηματισμού των Τοπολίων επαναδραστηριοποιώντας το τεκτονικά προσχηματισμένο λατυποπαγές. Είναι παχιές αλληλουχίες ισχυρώς συμπαγοποιημένων, συνήθως μονόμικτων λατυποπαγών φάσεων, των οποίων τα ανθρακικά τμήματα περιέχουν μεγάλα τρηματοφόρα του γένους Νουμουλιτών Λουτήσιας ηλικίας, όπως τα νεώτερά τους απολιθώματα (οι σήραγγες κοντά στα χωριά Τοπόλια και Κακόπετρος βρίσκονται στον σχηματισμό αυτόν στο νότιο όριο της λεκάνης). Ανάλογης ηλικίας δεδομένα για την ύπαρξη αυτού του σχηματισμού έχουν επίσης αναφερθεί στην περιοχή της Παλαιόχωρας στη Νότια Κρήτη από τον Seidel (1968).

3) Παράλληλα με την αρχική τεκτονική φάση ομάδες κόκκινων κροκαλοπαγών αποτέθηκαν διαμέσου διαβρωσιγενών διαδικασιών, εν μέρει λόγω της ρηξιγενούς και εν μέρει λόγω της παλαιοκλιματικής επίδρασης. Αυτά θεωρούνται τα πρώτα νεογενή κροκαλοπαγή και εδώ ονομάζονται κατώτερα κόκκινα κροκαλοπαγή (LRC, Lower Red Conglomerates). Θεωρείται ότι προέκυψαν από μικρά ποτάμια συστήματα όπου κυριάρχησαν παχιές δελταϊκές φάσεις. Οι διάφορες προνεογενείς ενότητες που κατά θέσεις υπήρχαν επικαλύφθηκαν ασύμφωνα από αυτά τα κροκαλοπαγή.

4) Στο μεταξύ είχαμε τοπικά απόθεση του κυρίως θαλάσσιου σχηματισμού της Κουκουνάρας (ονομασία σύμφωνα με Freudenthal, 1969). Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από κροκαλοπαγή και από ψαμμίτες, ενώ στα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης είχαμε περαιτέρω ανάπτυξη τουρβιδιτών. Τοπικά είχαμε τεκτονική συνιζηματογενή, βυθίζοντας την λεκάνη και μεταβάλλοντας απότομα την κλίση της περιοχής ιζηματογένεσης. Σύμφωνα με τις νέες αντιλήψεις που αναπτύσσονται στο άρθρο αυτό, **οι σχηματισμοί Κουκουναράς και Κισσάμου εν μέρει θεωρούνται φάσεις βαθιάς θάλασσας**. Στα δυτικά περιθώρια της λεκάνης του Καστελίου έχουμε εμφάνιση ανθρακικών αποθέσεων ρηχής θάλασσας με κόκκινα φύκη, αχινούς, κοραλλιογενή σχηματισμούς και ψαμμίτες. Αυτά αντιπροσωπεύουν τις παράκτιες φάσεις τύπου Α (κατά Frydas & Keupp, 1996), ή τον σχηματισμό Ρόκα του Freudenthal (1969) και επικάθονται ασύμφωνα: α) στο μέλος των λατυποπαγών (π.χ. δίπλα στο χωριό Αστρίκας), ή β) στα κόκκινα εδάφη (παλαιοεδάφη REF) π.χ. στην χερσόνησο της Γραμβούσας, ή γ) στα πρώτα κόκκινα κροκαλοπαγή, ή δ) στις άλλες προνεογενείς μονάδες (π.χ. της ζώνης Πίνδου στην Πολυρηγία και στην Γραμβούσα).

5) Τοπικές διακυμάνσεις της επιφάνειας της θάλασσας σε σχέση με τους διαφορετικούς ρυθμούς βύθισης οδήγησαν σε εκτεταμένη ανάπτυξη παλαιοκαρστ κυρίως κατά μήκος των δυτικών και λιγότερο των νότιων περιθωρίων (π.χ. χερσόνησος Ροδοπού), ενώ στα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης αποτέθηκαν ψαμμίτες ρηχής θάλασσας με *Megabalanus* sp. (το βιογεγονός αυτό χρονολογείται γύρω στα όρια Τορτονίου/Μεσσηνίου χρησιμοποιώντας δεδομένα από ανθρακικά ναοαπολιθώματα.).

6) Μία βάθυνση της θάλασσας συνέβη ξανά (νέα καθίζηση της ιζηματογενούς λεκάνης όπου ως επακόλουθο είχε την άνοδο του επιπέδου της θάλασσας). **Ακολουθίες φάσεων βαθιάς θάλασσας αποτέθηκαν στην Ποταμίδα** και άλλες θέσεις απόθεσης στην αρχή του Μεσσήνιου.

7) Κατά τη διάρκεια του Μεσσηνίου η ευρέως γνωστή «φάση αλμυρότητας του Μεσσηνίου» ήταν το κύριο φαινόμενο στην Μεσόγειο. Μεγάλες ποσότητες εβαποριτών (τρία διαφορετικά είδη στο βόρειο τμήμα της λεκάνης) εναποτέθηκαν. Στα νότια τμήματα (π.χ. Πολυρρήνια) κυριάρχησαν κυρίως ψαμμίτες και σε μερικά σημεία παράκτιες κροκολαπαγείς αναβαθμίδες (ηλικίας πριν από το μέσο Μεσσήνιο).

8) Συγχρόνως με τους εβαπορίτες, έλαβε χώρα ασβεστούχος καθίζηση σε υφάλους και βιοκλαστικών ασβεστολίθων στα ανατολικά και νοτιοανατολικά της λεκάνης (ανώτερη, παλαιότερη παράκτια φάση τύπου Α). Αυτοί σε γενικές γραμμές κατατάχθηκαν σε floatstones (προέλευση από επιπλέοντα συστατικά) και σε βιοκλαστικούς floatstones έως ψηφιδωτούς ασβεστολίθους (πχ. συμπλέγματα υφάλων Ζυμβραγού, Πανέθυμνος).

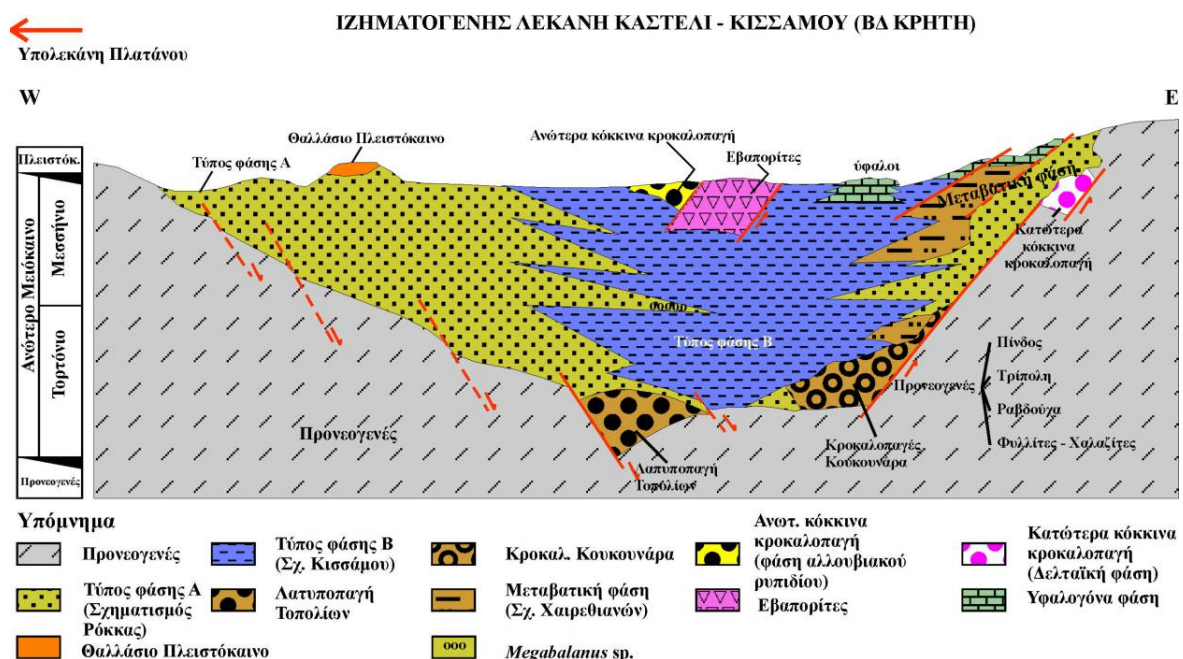
9) Ακολούθησε η ανύψωση της λεκάνης και στη συνέχεια σημαντική μείωση της περιοχής απόθεσης και της θαλάσσια ιζηματογένεσης, η οποία σταμάτησε οριστικά κατά το τέλος της φάσης. Η μακρά παρατεταμένη απόθεση των Μέσων Κόκκινων Κροκαλοπαγών (MRC) που συσχετίζεται μερικώς με τον σχηματισμό Χάτζι (κατά Freudenthal, 1969) επικρατεί. Αυτό το δεύτερο αποθετικό γεγονός των κροκαλοπαγών σηματοδοτεί το τέλος της πρώτης φάσης ιζηματογένεσης στη λεκάνη του Καστελίου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν χαρακτηριστικός ορίζοντας. Ισχυρή τεκτονική αστάθεια υπήρχε κατά τη διάρκεια της απόθεσης των MRC, η οποία ήταν μεταγενέστερη των εβαποριτών, μετά το μέσο Μεσσήνιο.

10) Σε αντίθεση, για τις λεκάνες του Πλατάνου και των Βουκολιών, οι οποίες βρίσκονται δυτικά και ανατολικά αντίστοιχα, δεν υπάρχουν στοιχεία για τις θαλάσσιες αποθέσεις κατά την εποχή του Πλειόκαινου στην λεκάνη του Καστελίου. Επιπροσθέτως στο ανώτερο Πλειόκαινο η επανενεργοποίηση το τεκτονικού πλαισίου επηρέασε ελαφρώς

τη γεωμετρία της λεκάνης και προκάλεσε τοπικές βυθίσεις δημιουργώντας θαλάσσιες, αβαθείς αποθέσεις ψαμμιτών (εσωτερικά των μέσων ηπειρωτικών αποθέσεων), άμμων και βαθμίδων (δεύτερος κύκλος ιζηματογένεσης –C).

11) Η γενική ανύψωση της βορειοδυτικής Κρήτης κατά το Ολόκαινο προσδιορίζεται μέσω των διάφορων ακτογραμμών. Παραδείγματα αποτελούν η αρχαία ελληνική πόλη Φαλάσαρνα στην λεκάνη του Πλατάνου και οι αρχαιολογικές ανασκαφές τάφων στην πόλη του Καστελίου (στο μέσο ή στο κέντρο της ιζηματογενούς λεκάνης).

12) Η προηγούμενη ανύψωση και οι συνεχείς διαβρωτικές διαδικασίες δημιούργησαν τρίτη ομάδα από ηπειρωτικές-ποτάμιες αποθέσεις, που ονομάζονται Άνω Κόκκινα Κροκαλοπαγή (URCS). Είναι επίσης γνωστά και ως αλουβιακά ριπίδια Πύργου-Καλυβιανής και εκτείνονται στη λεκάνη του Καστελίου και του Πλατάνου, ιδιαίτερα στα βόρεια τμήματα, δείχνοντας έτσι την κοινή τους ανάπτυξη κατά το Ολόκαινο. Οι νεότερες καταθέσεις μαζί με τις παραπάνω (URCS) θεωρούνται: α) παλιές αιολικές αποθέσεις, άγνωστης ηλικίας, αλλά με ελάχιστη ηλικία 2,8 χιλιάδες χρόνια. Οι αιολικές καταθέσεις θα έπρεπε σίγουρα να είναι παλαιότερες από τότε που κατασκευάστηκε το αρχαίο λιμάνι στα Φαλάσαρνα το 800 π.Χ., β) πρόσφατα και προϊστορικά παράλια πετρώματα, γ) πρόσφατες αμμώδεις θίνες, οι οποίες υπάρχουν και στη λεκάνη του Καστελίου (στην παραλία και από την Αφράτα προς την ανατολή, όπου επιτυγχάνεται το μέγιστο πάχος) και στην λεκάνη του Πλατάνου (Φαλάσαρνα) προς τη δύση.



Σχήμα 3.6: Ιζηματογενής λεκάνη Κισσάμου (Keupp & Bellas 2000)

3.5.4 Σύμπλεγμα Αλλουβιακού Ριπιδίου Τοπολίων (κατά Seidel 2003)

Το σύμπλεγμα αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων καλύπτει μια περιοχή έκτασης 15 km². Οι φάσεις ιζηματογένεσης του συμπλέγματος αυτού, μαζί με τις ιζηματολογικές ερμηνείες, παρατίθενται στις παρακάτω ενότητες.

Φάσεις Ιζηματογένεσης

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ 1: ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΩΝ ΤΟΥ ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΟΥ ΡΙΠΙΔΙΟΥ

Φάσεις Α:

Αδρομερή κλαστικά υλικά με μέγεθος κόκκων από ογκόλιθοι έως τεμάχια (ή ακόμα και μεγάλες πλάκες), παρατηρούνται στα φαράγγια Τοπολίων και Σασσάλου. Τα υπερμεγέθη κλαστικά υλικά καλύπτονται εξολοκλήρου από νεότερες αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων. Λόγω της αποσάθρωσης και της βλάστησης που περιβάλλουν τα λατυπο-κροκαλοπαγή, είναι δύσκολο σε κάποιες περιοχές να διακρίνουμε την κατάπτωση βράχων (τεμαχίων) από τις περιμετρικές αποθέσεις της αδρομερούς ροής κορημάτων. Τα περισσότερα μεγάλα τεμάχια αποτελούνται από κυανότεφρους έως τεφρούς ασβεστόλιθους, ενώ κατά τόπους έχουν παρατηρηθεί τεμάχια μαρμάρου.

Η κατάπτωση των ογκολίθων πραγματοποιήθηκε κατά την αποκόλληση τους από μια απότομης κλίσης κατωφέρεια. Μετά την πτώση τους, τα τεμάχια αυτά, αποτέθηκαν στο πλησιέστερο ριπίδιο και ενστρωματώθηκαν ή μεταφέρθηκαν σε κατώτερο ριπίδιο μέσω μεταγενέστερης ροής κορημάτων. Η κατάπτωση βράχων μπορεί να ενεργοποιήθηκε από σεισμικές δραστηριότητες, από την ηλιακή ακτιβολία ή ακόμα και από έντονες βροχοπτώσεις.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ 2: ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΡΟΗΣ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΠΛΗΣΙΕΣΤΕΡΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΙΑΜΕΣΩΝ ΡΙΠΙΔΙΩΝ

Οι αποθέσεις ροής κορημάτων κυριαρχούν στο πλησιέστερο και ενδιάμεσο μέρος του αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων, καλύπτοντας το 70-80% της εμφάνισης. Τρεις τύποι φάσεων (B1, B2 και C) διακρίνονται στη συγκέντρωση 2. Οι αποθέσεις και των τριών

τύπων φάσεων είναι ανεπαρκώς ταξινομημένοι, περιέχουν συνδετικό υλικό και υποστηρίζονται είτε από κλαστικά υλικά είτε από συνδετικό υλικό είτε και από τα δύο, αναλόγως τη θέση τους μέσα στο ριπίδιο. Τα απομακρυσμένα μέρη του αλλουβιακού ριπιδίου των Τοπολίων κυριαρχούνται από αποθέσεις ροής νερού (συγκέντρωση 3).

Φάσεις B1 (συνεκτικές αποθέσεις ροής κορημάτων) **Φάσεις B2** (μη συνεκτικές αποθέσεις ροής κορημάτων)

Οι φάσεις B1 αποτελούνται από μη ταξινομημένες, άστρωτες, πλούσιες σε κλαστικό υλικό κροκάλες μέσα στο συνδετικό υλικό. Το μέγεθος κόκκων κυμαίνεται από πολύ λεπτόκοκκους βοτσαλοειδής χάλικες μέχρι αδρομερή κροκαλοειδής χάλικες. Τα περισσότερα κλαστικά υλικά είναι αδρομερή έως πολύ αδρομερή βοτσαλοειδή χαλίκια. Τα κλαστικά υλικά που αποτελούνται από μεγάλους ογκόλιθους εμφανίζονται σπάνια αλλά μερικές φορές παρατηρούνται σε διαφορετικές τοποθεσίες και μπορούν να χαρακτηριστούν ως υπερμεγέθη κλαστικά υλικά.

Σε στρώματα με υψηλότερες συγκεντρώσεις χαλικών, τα κλαστικά υλικά είναι εν μέρει σε επαφή μεταξύ τους και ο συνολικός ιστός μοιάζει με τον τυπικό κλαστικό ιστό (μεταβατικού τύπου στις φάσεις B2). Στις περισσότερες περιπτώσεις τα κλαστικά υλικά είναι υπογωνιώδη έως στρογγυλά. Μόνο ένα μικρό ποσοστό εμφανίζεται ως γωνιώδεις. Αυτή η διαφοροποίηση στη μορφή των κλαστικών υλικών είναι τυπικό γνώρισμα σε τέτοιου είδους αποθέσεις. Τα μικρότερα κλαστικά υλικά είναι πιο στρογγυλεμένα από τα μεγαλύτερα. Το σχήμα τους ποικίλει από μονοδιάστατο έως λεπιοειδές. Τα κλαστικά υλικά αποτελούνται κυρίως από τεφρούς έως μαύρους ασβεστόλιθους, δολομιτικούς ασβεστόλιθους ή δολομίτες και κατά δεύτερο λόγο από ψαμμίτες μέχρι γραουβάκες. Σε μερικές τοποθεσίες (π.χ. Φαράγγι Τοπολίων και Σασάλου) παρατηρούνται υπερμεγέθη κλαστικά υλικά με διάμετρο μεγαλύτερη του ενός μέτρου.

Οι αποθέσεις ροής κορημάτων των φάσεων B1 δεν παρουσιάζουν λεπίωση. Επίσης, δεν εμφανίζονται απολιθώματα στο λεπτόκοκκο συνδετικό υλικό. Είναι πολύ δύσκολο να διακρίνουμε ξεχωριστά στρώματα διότι τα ιζήματα παρουσιάζουν υψηλή αμαγαλματοποίηση, ενώ τα σύνορα τα σύνορα των προγενέστερων ξεχωριστών στρωμάτων επίσης δεν είναι ορατά. Αλλαγές στη συγκέντρωση των κλαστικών υλικών, στην κατανομή της κοκκομετρίας και στην ποσότητα του περιεχόμενου συνδετικού υλικού σε κάποια σημεία ή διαστρώσεις άλλων τύπων φάσεων, αποτελούν σημάδι

αναγνώρισης και υπολογισμού του πάχους, του αζιμούθιου και της κλίσης των στρωμάτων αυτών. Μόνο σε μερικές περιπτώσεις διακρίνεται στρωμάτωση που δημιουργείται από κόκκους οι οποίοι παρουσιάζουν ευθύγραμμη διάταξη των παράλληλων c-αξόνων με αποτέλεσμα την ροή τους σε συγκεκριμένη διεύθυνση. Σε κάποια ξεχωριστά στρώματα, η ανάστροφη διαβάθμιση βοηθάει στην αναγνώριση της στρωμάτωσης.

Οι φάσεις B2 είναι παράγωγες των φάσεων B1 και παρεμβάλλονται στις δεύτερες. Σε σχέση με τις φάσεις B1, η ποσότητα των ιλυολιθικών ιζημάτων μειώνεται. Ο ιστός υποστηρίζεται από κλαστικά υλικά και είναι πλούσιος σε συνδετικό υλικό. Κατά τόπους εμφανίζονται εσωτερικοί πόροι, ενώ σε μερικά σημεία η στρωμάτωση είναι ορατή. Τα κλαστικά υλικά παρουσιάζουν συγκεκριμένο προσανατολισμό στις περισσότερες των περιπτώσεων. Τα συνολικά ιζηματολογικά χαρακτηριστικά αντιστοιχούν με αυτά των φάσεων B1.

Οι δομές, μη ταξινομημένων και άστρωτων ιλυοδών και αμμώδων κόκκων και χαλίκων (από πολύ λεπτούς λατύπες έως χονδροειδείς κροκάλες) που υποστηρίζονται από συνδετικό υλικό, των φάσεων B1 και B2 είναι χαρακτηριστικές των αποθέσεων ροής κορημάτων (Selby 1994, Blair 1999b, Einsele 2000). Το πάχος, το μέγεθος και η πλευρική κατάληξη αυτών των στρώσεων, όταν είναι εμφανείς, δείχνουν ότι η ροή κορημάτων πραγματοποιήθηκε με μεγάλη ένταση. Μετά την απόθεση, τα στρώματα ροής κορημάτων, αμαγαλματοποιήθηκαν μεταξύ τους καθέτως και πλευρικώς, καθιστώντας πολύ δύσκολη και σχεδόν αδύνατη, τη διάκριση των ξεχωριστών αποθέσεων. Η κοινή έγκληση υλικών, των οποίων η κοκκομετρία κυμαίνεται από ιλώδης έως χαλικώδης, αποδεικνύει ότι αυτή ήταν η τυπική ιζηματογενής ακολουθία στις πλευρικές κατωφέρειες τροφοδοτούμενη από τη πηγή, μέσω κλιματικών και τεκτονικών καταμερισμών ανθρακικών πετρωμάτων. Η ταξινόμηση των ιζημάτων ήταν προφανώς φτωχή. Η ροή κορημάτων ενεργοποιήθηκε πιθανών από έντονα καιρικά φαινόμενα. Μετά την διαδρομή τους από την πηγή, οι μάζες της ροής κορημάτων αποτέθηκαν, επικρατώντας στο πλησιέστερο έως το μέσο αλλουβιακό ριπίδιο ως αποτέλεσμα λέπτυνσης σε κρίσιμα επίπεδα μέσω διαστολής (Blair 1999b).

Φάσεις C (αποθέσεις ροής κορημάτων φτωχές σε κλαστικά υλικά ή αποθέσεις ροής ιλύος)

Η κυρίαρχη κοκκομετρία στις αποθέσεις ροής ιλύος είναι ιλώδης και ψαμμιτική. Χαλικώδεις κλαστικά υλικά μερικές φορές ενστρωματώνονται μέσα στο λεπτόκοκκο συνδετικό υλικό. Το πάχος των στρωμάτων φτάνει μέχρι και τα 80 cm μέγιστο. Αυτές οι στρώσεις δημιουργούνται μαζί με αποθέσεις ροής κορημάτων των φάσεων B-τύπου πετρωμάτων. Οι στρώσεις των φάσεων C παρουσιάζουν τυπικά γωνιώδη όρια και έχουν τραπεζοειδή έως ακανόνιστη γεωμετρία. Αυτά τα στρώματα μπορούν εύκολα να εντοπιστούν πλευρικά σε ακτινικές τομές (π.χ. στο φαράγγι Τοπολίων). Σε μερικές τοποθεσίες παρατηρούνται μικροβιαλικές δομές δίνοντας στοιχεία ιζηματογενούς δέσμευσης κυανοβακτηριδίων ή μυκήτων. Οι μικροβιαλίτες παρουσιάζουν κυματόμορφη, ακανόνιστη ελασματοποίηση μικροσπαριτών εναλλασσόμενη με λεπτοφυλλώδεις ιλυόλιθους.

Η ροή ιλύος είναι στοιχείο της αφθονίας των λεπτόκοκκων ιζημάτων (ιλώδης έως αμμώδης) που βρίσκονται πλευρικά της περιοχής τροφοδοσίας. Αυτό το λεπτόκοκκο υλικό ξεπλύθηκε (κατωφερικά) κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων οδηγώντας στο σχηματισμό της ροής ιλύος. Η ροή αυτή αποτέθηκε στον ενεργό αποθετικό λοβό μετά την διάχυση του υπέρκορου πορικού νερού. Το ‘παγωμα’ αυτού του είδους της ροής πραγματοποιείτε είτε μέσω ‘συνεκτικού παγώματος’ είτε, στην περίπτωση μη συνεκτικού αμμώδους συνδετικού υλικού, μέσω ‘παγώματος λόγω τριβής’ είτε μέσω και των δύο διαδικασιών (Einsele 2000).

Οι μικροβιαλίτες αποδεικνύουν τη ύπαρξη ελάχιστης συσσώρευσης νερού στην επιφάνεια του αλλοβιακού ριπιδίου. Λόγω των υποκείμενων ιλυολιθικών ιζημάτων, η διαρροή του νερού ήταν αργή. Σε αυτές τις συνθήκες υγρασίας, οι μικροβιαλίτες αναπτύχθηκαν ραγδαία πριν την εξάτμιση του νερού. Η ιλύς ξεπλύθηκε επεισοδιακά (μέσω ισχυρών βροχοπτώσεων) μέσα σε αυτά τα βυθίσματα καλύπτοντας αυτές τις δομές. Έπειτα, νέες μικροβιαλικές δομές αναπτύχθηκαν.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ 3: ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΤΟΥ ΑΠΟΜΑΚΡΙΣΜΕΝΟΥ (ΚΑΤΩΤΕΡΟΥ) ΡΙΠΙΔΙΟΥ

Φάσεις D:

Οι φάσεις αυτές υποστηρίζονται από λεπτόκοκκα μέχρι αδρόκοκκα κλαστικά υλικά. Σε μερικές εμφανίσεις είναι ορατή μια ελαφριά λεπίωση, λόγω της ευθυγράμμισης των υποπαράλληλων αξόνων των επιμηκών αδρόκοκκων υλικών, ως προς τη διεύθυνση της ροής του νερού. Οι αποθέσεις ροής νερού είναι ταξινομημένες, ενώ τα κλαστικά υλικά είναι μερικώς στρογγυλεμένα έως καλώς στρογγυλεμένα, η στρωμάτωση είναι εμφανής λόγω των εναλλαγών στη δομή, τη συγκέντρωση και τη διανομή των αδρόκοκκων υλικών (χαλικών) (π.χ. βόρεια της περιοχής Κακοπέτρος). Τα ιζήματα παρουσιάζουν παράλληλη στρωμάτωση. Ο αποτελούμενος από κλαστικά υλικά ιστός, εμφανίζεται με τη μορφή στρώσεων οι οποίες δημιουργούνται από αδρόκοκκα υλικά (βότσαλα).

Σε γενικές γραμμές, το μέγεθος των κόκκων μειώνεται κατά τη διάρκεια της ροής αυξάνοντας την απόσταση μεταφοράς σε βορειότερες διευθύνσεις. Το πάχος των στρώσεων φτάνει τα 20 με 25 cm κατά μέσω όρο. Διαφορετικές στρώσεις παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό συμπαγοποίησης. Σε μερικές θέσεις, είναι ορατοί κάποιοι στυλόλιθοι οι οποίοι δημιουργήθηκαν από έντονη συμπίεση των κλαστικών ασβεστολιθικών πετρωμάτων της κλαστικής δομής του σχηματισμού.

Οι αποθέσεις ροής νερού εμφανίζονται γενικώς, σε απομακρυσμένα σημεία του αλλουβιακού ριπιδίου. Η μερικώς λεπιοειδής και κλαστική δομή είναι ενδεικτική της ροής νερού των επιφανειακών καναλιών αναστομούμενης διακλάδωσης (Koster & Steel 1984). Μερικές φορές, στις αποθέσεις ροής νερού, παρατηρούνται περαμβολές στα πλησιέστερα και ενδιάμεσα μέρη. Αυτές οι αποθέσεις φαίνεται να αναπτύχθηκαν κατά την διάρκεια ύφεσης του πλυμμηρικού σταδίου μιας βροχόπτωσης (Blair & McPherson 1998), όταν η ροή κορημάτων σταμάτησε να τροφοδοτείται από την πλευρική αστοχία πρανών, και όταν η πηγή τροφοδοσίας συνέχισε να διοχετεύει το νερό της βροχής (Blair & McPherson 1992, 1994, 1998). Η απόθεση των υδάτινων σχηματισμών έλαβε χώρα σε περιόδους περιορισμένης παροχής ιζημάτων, λεπτομερότερων της μέσης άμμου, από την πηγή τροφοδοσίας (cf. Blair 1999c). Για παράδειγμα όταν η πηγή αποδεσμεύτηκε από το

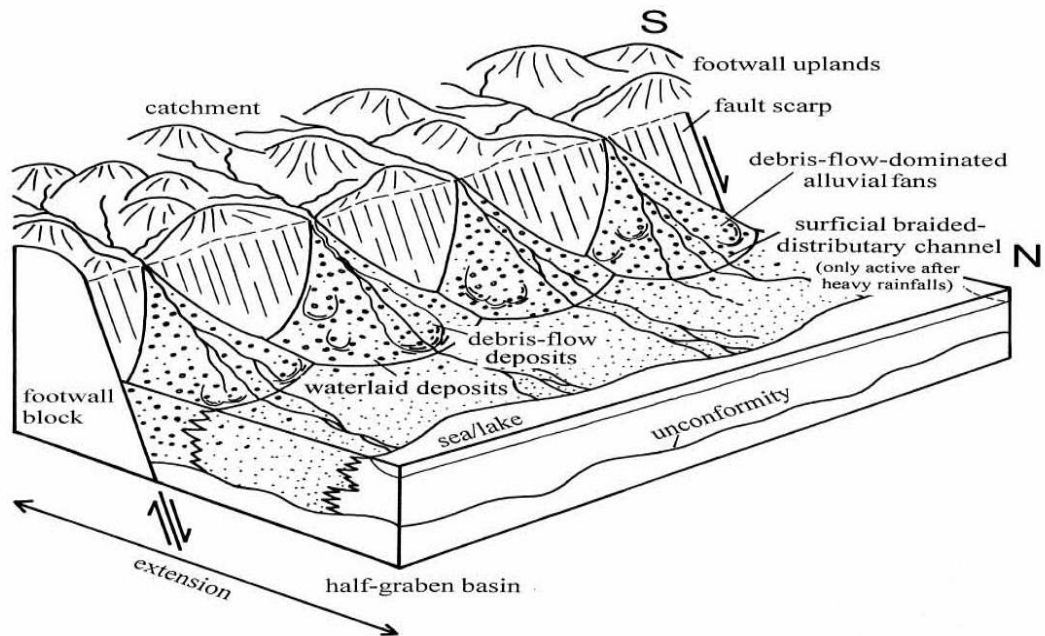
λεπτόκοκκο υλικό λόγω της προγενέστερης ροής κορημάτων η οποία απομάκρυνε το δειτρίτικο υλικό οποιουδήποτε μεγέθους κόκκου.

Μοντέλο Απόθεσης (Seidel 2003)

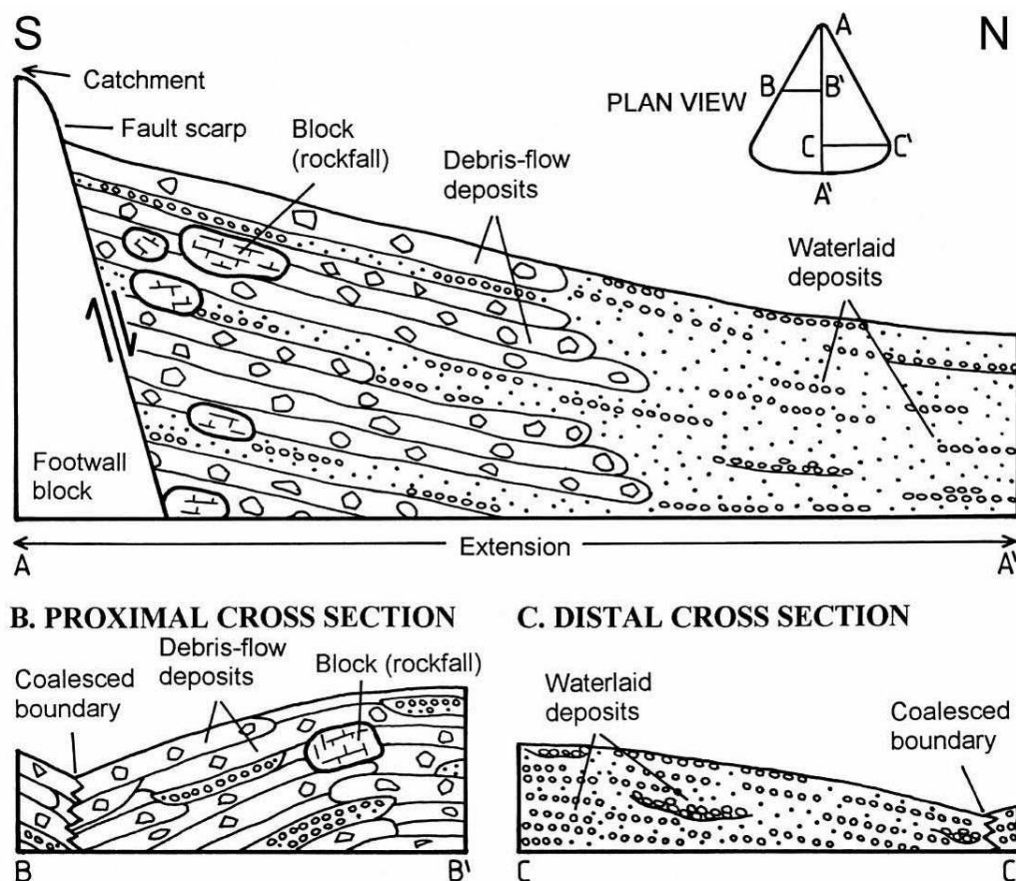
Η μελέτη του αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων μας παρέχει ένα ιζηματολογικό μοντέλο για την τροφοδοσία των αλλουβιακών ριπιδίων από τεράστιες μάζες κλαστικού υλικού. Το σύμπλεγμα αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων σχηματίστηκε μέσω απόθεσης ροής κορημάτων και υδάτινων αποθέσεων που προήλθαν από μια πηγή στα νότια, υποκείμενη από ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα τα οποία σχηματίζουν μία υπωρειακή αμφίπλευρη οροσειρά.

Οι φάσεις ροής κορημάτων αποτελούνται από ελαφρώς ταξινομημένους, υποστηριζόμενους από συνδετικό υλικό, βοτσαλοειδείς, κροκαλοειδείς και ογκολιθικούς χάλικες. Επίσης, χαρακτηρίζονται από την έλλειψη ευδιάκριτης στρωμάτωσης λόγω τη αμαγαλματοποίησης των μεμονωμένων δειτρίτικών υλικών. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό είναι η απουσία εσωτερικού ιστού. Παρόλο που έχει υποστηριχθεί ότι η αποσάθρωση των καθαρών ασβεστολίθων παρεμποδίζουν τη δημιουργία ροής ιζημάτων μέσω βαρύτητας, το σύμπλεγμα αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων δείχνει ότι είναι πιθανή η δημιουργία δειτρίων στην πηγή τροφοδοσίας που υπόκεινται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα. Οι αποθέσεις των απομακρυσμένων σημείων του αλλουβιακού ριπιδίου αποδίδονται στην ιζηματογένεση μέσω ενός δικτύου πλεγμένων καναλιών όπως παρατηρήθηκαν σε ενεργές νεότερες επιφάνειες ριπιδίων ή σε πλημμυρικές συνθήκες υπό ύφεση με μη καταστροφικές αποφορτίσεις, που είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία μιας μορφής συμπλέγματος ρευμάτων, στην οποία εκλείπουν οι αδρόκοκοι χάλικες. Η εμφάνιση διαστρώσεων που αποτελούνται από κλαστικά υλικά και εμφανίζονται στο πλησιέστερο ριπίδιο, σχετίζονται με ένα κανάλι φάσεων αποτελούμενο από χάλικες, οι οποίοι συγκεντρώθηκαν μέσω της τοπικής αναδημιουργίας φάσεων της ροής κορημάτων. Γενικά η αλλαγή της ροής κορημάτων σε ποτάμιες δομές είναι προφανώς διαβαθμισμένη. Τέτοια φαίνεται να είναι και η περίπτωση των αλλουβιακών ριπιδίων στη περιοχή των Τοπολίων. Στα μοντέλα που περιγράφονται παραπάνω, η ραγδαία αποστράγγιση μεγάλης ποσότητας νερού, σχετίζεται με τις βροχοπτώσεις στην περιοχή τροφοδοσίας κατά την διάρκεια άνυδρων-ημιάνυδρων κλιματικών συνθηκών. Παρόμοιες κλιματικές συνθήκες πιθανών να υπήρξαν κατά το μέσο-Μειόκενο στο σύμπλεγμα αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων.

Το σύμπλεγμα αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων χαρακτηρίζεται από μια υπωρειακή ακολουθία υπό μία οροσειρά η οποία πιστεύεται ότι δημιουργήθηκε μέσω μιας πηγής αποστράγγισης στα βόρεια (εικόνα 3.7). Εμφανίζει μια τυπική γεωμετρία ημιτάφρου συνεχώς επεκτεινόμενη. Το πάχος αυτής της κλαστικής σφήνας μειώνεται προς το βορρά, με απότομη μείωση της στρωμάτωσης και της κοκκομετρίας αντιστοιχίζοντας την διεύθυνση μεταφοράς από το νότο προς το βορρά (εικόνα 3.8). Οι πιο αδρόκοκκες αποθέσεις, όπως ογκόλιθοι, βρίσκονται κοντά στην πηγή τροφοδοσίας. Μακρύτερα από τα βουνά βρίσκονται πιο λεπτόκοκκες αποθέσεις. Η στρογγυλότητα των κλαστικών υλικών αυξάνει με την αύξηση της απόστασης μεταφοράς. Το πάχος του συμπλέγματος αλλουβιακού ριπιδίου των Τοπολίων υπολογίζεται άνω των 500 m αποδεικνύοντας την υψηλή τροφοδοσία ιζημάτων από την πηγή και τη μακροχρόνια ανάπτυξη τεκτονικών φαινομένων που ήταν αποτέλεσμα έντονης τεκτονικής δράσης. Στη βάση του περιγράμματος του αποθετικού μοντέλου, τα Μεσομειοκενικά γεμίσματα της λεκάνης (λατυπο-κροκαλοπαγή) της περιοχής Σιρικόρι-Τοπόλια-Κακοπέτρος, ταξινομούνται ως ριπιδικά κροκαλοπαγή. Εργαστηριακές μελέτες και μελέτες πεδίου, συμπεριλαμβανομένου SEM- και CL, αποκάλυψαν έντονη συμπίεση και τσιμεντοποίηση μετά την απόθεση.



Εικόνα 3.7: Σχηματικό διάγραμμα το οποίο δείχνει την πηγή τροφοδοσίας (λεκάνη απορροής) και τα αποθετικά χαρακτηριστικά του συμπλέγματος αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων. Τα ιζήματα προέρχονται από μια πολυσημειακή πηγή, πιθανώς δομημένη κατά μήκος μιας ρηξιγενούς κατωφέρειας. Τα ξεχωριστά ριπίδια κυριαρχούνται από διαδικασίες ροής κορημάτων.



Εικόνα 3.8: Κάθετες τομές του συμπλέγματος αλλουβιακού ριπιδίου Τοπολίων οι οποίες απεικονίζουν τις φάσεις και τη στρωματογραφία για: (Α) μία ακτινική τομή, (Β) την πλησιέστερη εγκάρσια τομή ριπιδίου, (C) μία απομακρυσμένη εγκάρσια τομή ριπιδίου.

3.6 ΕΝΤΑΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Για να είναι εφικτή η κατανόηση των διαδικασιών σύμφωνα με τις οποίες δημιουργήθηκαν οι σχηματισμοί που αναφέρονται στις προηγούμενες παραγράφους, χρησιμοποιούνται διάφορα γενικά στρωματογραφικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται σε βασικές θεωρίες οι οποίες περιγράφουν την ιζηματογένεση και τα αποθεματικά περιβάλλοντα, και στην συνέχεια προσμετρώντας και άλλες παραμέτρους, όπως οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές, και οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας, προσπαθώντας να περιγράψουν τα παλαιοπεριβάλλοντα δημιουργίας των σχηματισμών.

Τα ιζηματογενή αποθεματικά περιβάλλοντα μπορούμε να τα κατατάξουμε σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Τα ηπειρωτικά, που βρίσκονται στο χώρο της ξηράς, τα θαλάσσια, που βρίσκονται στο χώρο των θαλασσών και ωκεανών και τα μεταβατικά, που

βρίσκονται στην οριακή ζώνη ξηράς-θάλασσας και μπορούν να επηρεάζονται από τις συνθήκες που επικρατούν στην ξηρά και από τις συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα. Κάθε μια από τις τρεις αυτές κατηγορίες χωρίζεται σε μικρότερες αυτοτελείς ομάδες κι αυτές με τη σειρά τους χωρίζονται σε μικρότερα συγκεκριμένα περιβάλλοντα. Ανάλογα με τη λεπτομέρεια που απαιτεί η ιζηματολογική έρευνα μπορούμε τελικά να φθάσουμε σε τμήματα των περιβαλλόντων απόθεσης. Ένα σύστημα ταξινόμησης των περιβαλλόντων απόθεσης παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1, παρότι πρέπει να σημειωθεί ότι οι ιζηματολόγοι δεν έχουν συμφωνήσει σε ένα σύστημα και έτσι συχνά στα διάφορα βιβλία ιζηματολογίας παρατηρούνται διαφορές.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΜΑΔΕΣ		ΜΕΡΗ
ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΑ	ΕΡΗΜΙΚΑ		Πετροπρόποδες, ριπίδια, χείμαρροι, αμμώδεις θίνες, αλμυρές λίμνες, sabhkas
	ΠΑΓΕΤΩΔΗ		Αλπικά/Ηπειρωτικά. Παγετώδεις-περιπαγετώδεις ζώνες, παγετοποτάμια, παγετολιμναία, παγετοθαλάσσια.
	ΠΟΤΑΜΙΑ (ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΑ)		Αλλουβιακά ριπίδια, πλεξοειδείς-μαιονδρικοί ποταμοί, αλλουβιακές-παράκτιες πεδιάδες (όχθες, κοίτες κλπ).
	ΕΛΩΔΗ ΛΙΜΝΑΙΑ		Τροπικά, αλμυρά, παράκτια, παλιρροϊκά, ποτάμια Μεγάλων Γ.Π., Μέσων Γ.Π., Τροπικές, αλμυρές, ορεινές, μόνιμες, εφήμερες, εβαπορτικές (ακτές, δέλτα αβαθή)
ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ	ΕΚΒΟΛΩΝ ΔΕΛΤΑΙΚΑ		Κοίτες-στόμια εκβολών, περιθώρια υπερχείλισης Δελταϊκή πλατφόρμα (κοίτες, έλη), δελταϊκή κατωφέρεια, προδελταϊκή πλατφόρμα
	ΦΙΟΡΔ	ΚΛΑΣΤΙΚΑ	Λιμνοθάλασσες (λαγκούνες), θίνες, ακτές, φράγματα, παράκτιες-παλιρροϊκές πεδιάδες, αβαθή ρηχά.
	ΠΑΡΑΚΤΙΑ	ΜΗ ΚΛΑΣΤΙΚΑ	Sabhkas, έλη, λιμνοθάλασσες (λαγκούνες), ακτές, φράγματα, ύφαλοι, παλιρροϊκές ζώνες (ανθρακικά-εβαπορτικά)
		ΚΛΑΣΤΙΚΑ	Παλιρροϊκές ζώνες, αμμώδεις ράχες, αργιλλώδη κοιλώματα
ΘΑΛΑΣΣΙΑ	ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΙΚΑ (0-200m)	ΜΗ ΚΛΑΣΤΙΚΑ	Ανθρακικές πλατφόρμες, τράπεζες, φράγματα, ύφαλοι, ατόλλες, εβαπορτικές λεκάνες
	ΩΚΕΑΝΙΑ (200-2000m)	ΚΑΤΩΦΕΡΕΙΑΣ/ΡΑΧΗΣ	Κοντορίτες-τουρβιδίτες, δεβρικές ροές, ολισθήσεις
		ΠΥΘΜΕΝΑ	Κλαστικά-τουρβιδικά, μη κλαστικά ανθρακικά-πυριτικά-εβαπορτικά
	ΑΒΥΣΣΙΚΑ/ΠΕΛΑΓΙΚΑ (>2000m)	ΚΛΑΣΤΙΚΑ ΜΗ ΚΛΑΣΤΙΚΑ	Τουρβιδικά, σκελετικά, αργιλλικά, παγετώδη Ανθρακικά, πυριτικά, εβαπορτικά, φωσφορικά
		ΑΥΘΥΓΕΝΗ	Χημικά-βιογενή

Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση των ιζηματογενών αποθεματικών περιβαλλόντων (Ζεληλίδης 2005)

Παρατηρείται ότι συνοψίζοντας τα στρωματογραφικά μοντέλα απόθεσης για την περιοχή μελέτης από τους διάφορους συγγραφείς υπάρχουν έντονες διαφορές στις απόψεις περί απόθεσης των ιλυολίθων στην περιοχή μελέτης.

Σύμφωνα με το μοντέλο του Freudenthal (1969), τα ιζήματα αυτά είναι αποτεθειμένα σε αβυσσικό περιβάλλον. Αντίθετα ο Κοντόπουλος (Kontopoulos et al, 1996) θεωρεί ότι οι ιλυολιθικές αυτές φάσεις προέρχονται από την περιοχή της υφαλοκρηπίδας, στα ανώτερα τμήματα της ηπειρωτικής κατωφέρειας. Τέλος οι Keupp

και Bellas (2000) θεωρούν τα ιζήματα αυτά ως φάσεις βαθιάς θάλασσας, που προέρχονται από το κατώτερο τμήμα της κατωφέρειας.

Αν και δεν υπάρχει ομόφωνη άποψη από τους ανωτέρω ερευνητές για το βάθος απόθεσης των ιλυολίθων μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι γενικά δέχονται ότι το βάθος απόθεσης θα πρέπει να ξεπερνάει τα 200 μέτρα.

Όπως έχει δειχθεί (μοντέλο Seidel 2003) η κύρια πηγή τροφοδοσίας για την δημιουργία του μεγάλου πάχους, άστρωτης ακολουθίας, αποτελεί το ριπίδιο των Τοπολίων στο οποίο η συμμετοχή του ανθρακικού υλικού είναι υψηλή. Αυτό δικαιολογεί και την υψηλή περιεκτικότητα των ιλυολίθων σε ανθρακικό κλάσμα.

3.7 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΙΛΥΟΛΙΘΩΝ

Στην ιζηματολογία ο όρος «ιλύς» είναι μια κλαστική απόθεση, η οποία αποτελείται κυρίως από κόκκους με μέγεθος μικρότερο των 62,5 μm (4φ). Η ιζηματολογική ταξινόμηση κατά Folk (1968) αποτελείται από τις κατηγορίες του πηλού ήτοι, 3,9 - 62,5 μm ή 4φ-8φ και της αργίλου, η οποία γενικά απαρτίζεται από κόκκους μικρότερους από 3,9 μm ή 8φ.

Οι ιλυώδεις παράκτιες σύγχρονες αποθέσεις σχεδόν πάντα περιλαμβάνουν ένα ποσοστό οργανικής ύλης, περίπου 3-5%, η οποία προέρχεται από εισαγωγή αιωρούμενου, κυρίως οργανικού υλικού στη ζώνη της απόθεσης της ιλύος. Η οργανική ύλη προέρχεται από χερσογενείς (από αποσάθρωση έντονης βλάστησης) και θαλάσσιες βιογενετικές πηγές καθώς και από τις επιτόπιες βιογενετικές διαδικασίες, όπως βλέννες και περιττώματα από σκώλικες και άλλους ωφέλιμους οργανισμούς που κατοικούν στην επιφάνεια της ιλύος. Σε πολλές περιπτώσεις το οργανικό υλικό περιλαμβάνει αποσαθρώματα φυτικής προέλευσης προερχόμενα από διάφορες πηγές όπως θαλάσσια φυτά ή παρακείμενες αποικίες πλαγκτού και φυτοπλαγκτού. Η βιογενετική συνεισφορά στις ιλυώδεις ιζηματογενείς αποθέσεις μπορεί να περιλαμβάνει επίσης μικρά κομμάτια κελυφών, αγκάθια θαλάσσιων αχινών και κελύφη διατόμων, τρηματοφόρα, όστρακα και κοκκόλιθους. Τα ορυκτολογικά συστατικά που μπορεί να απαρτίζουν την ιλύ περιλαμβάνουν λεπτόκκοκες άμμους και φερτό εδαφικό υλικό. Η σύνθεση των ορυκτολογικών συστατικών επηρεάζεται από την διαθεσιμότητα της περιοχής, και μπορεί να περιλαμβάνει χαλαζία, ασβεστίτη, δολομίτη, αστρίους, μαρμαρυγίες και μικρές ποσότητες βαρέων ορυκτών.

Μια σπουδαία ιδιότητα της ιλύος είναι η ρεολογία της, δηλαδή πως ρέει και πως παραμορφώνεται. Τυπικά η ιλύς που εναποτίθενται στη παλλιροιακή ζώνη είναι μαλακή, εύκαμπτη, μεγάλης πλαστικότητας, σαπωναειδούς υφής, θιξοτροπική και περιλαμβάνει μεγάλη ποσότητα νερού στη φυσική της δομή. Στο πεδίο είναι δυνατό κάποιος να βυθιστεί έως την μέση προσπαθώντας να διασχίσει τέτοιες δομές. Αυτό το θιξοτροπικό στοιχείο δείχνει ότι με γεωτεχνική ορολογία η ιλύς συμπεριφέρεται ποικιλοτρόπως είτε έχοντας βισκοπλαστικές ιδιότητες είτε σαν ρευστή ουσία και συμπεριφέρεται σε κάποιο βαθμό διαφορετικά σαν μη συνεκτικό τμήμα στο περιβάλλον ιζηματογένεσης.

Στα πλούσια σε ιλύ ρηχά νερά των ιλυωδών παράκτιων αποθέσεων ο πυθμένας της θάλασσας μπορεί να χαρακτηριστεί ως «ρευστή ιλύς», κατάσταση στην οποία οι κόκκοι εν μέρει δημιουργούν κολλοειδή συμπύκνωμα και η ημίρρευστη αυτή ουσία έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό. Ως «ρευστή ιλύς» μπορεί να οριστεί μια υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση ιζημάτων με συγκεντρώσεις στερεών που υπερβαίνουν τα 10 g/l, μια συγκέντρωση στην οποία οι επιβραδυνόμενοι κόκκοι αρχίζουν και στερεοποιούνται και αυτό είναι ορατό με γυμνό μάτι (Kirby 1988).

Επίσης τα ιλυώδη παράκτια ιζήματα έχουν ενδιαφέροντα γεωχημικά χαρακτηριστικά, που σχετίζονται με τις χημικές αντιδράσεις μικροοργανισμών μέσα στις ιλυώδεις αποθέσεις. Κάτω από τα όξινα επιφανειακά στρώματα, συνήθως μόνο μερικά εκατοστά, η ιλύς συχνά δείχνει μπλε-μαύρη και βγάζει μια έντονη θειούχα μυρωδιά. Το χρώμα καθώς και η μυρωδιά οφείλονται στον σχηματισμό του FeS σε αναγωγικό περιβάλλον. Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις τα σουλφίδια (θειούχα, πχ FeS) δημιουργούνται από τα θειικά (FeSO_4) υπό την δράση βακτηρίων, τα οποία αντλούν ενέργεια από την οξειδωση του οργανικού υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Γεωφυσική διασκοπία με τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας στην περιοχή της Ποταμίδας.

Οι έρευνες που έγιναν στην περιοχή της Ποταμίδας στηρίχθηκαν σε δείγματα που πάρθηκαν από τα φυσικά πρηνή του σχηματισμού το πάχος του οποίου δεν ξεπερνά σε όλη την ανάπτυξή του τα 40 μέτρα. Σε αυτόν τον ιζηματολογικό σχηματισμό τα πρώτα 25 μέτρα περίπου αποτελούν την συμπαγή ιλυολιθική ακολουθία. Για να διαπιστώσουμε αν η βάση της ιλυολιθικής ακολουθίας βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια ή σε μεγαλύτερα

βάθη, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική διασκόπηση με την χρήση μεθόδων που στηρίζονται στην μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης των γεωλογικών σχηματισμών. Η διασκόπηση αυτή πραγματοποιήθηκε με την συνεργασία του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Παρακάτω περιγράφεται συνοπτικά η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας και τα αποτελέσματα της διασκόπησης.

4.1.1 Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι έχουν σαν στόχο τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Η μετρούμενη ποσότητα είναι η ηλεκτρική τάση, από την οποία επιδιώκεται ο καθορισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι της γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο του φυσικού δυναμικού
- Μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο της ειδικής αντίστασης
- Μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας
- Μέθοδο των ισοδυναμικών γραμμών

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, και στην Τεχνική Γεωλογία.

Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι η πιο διαδεδομένη από τις ηλεκτρικές μεθόδους τόσο από την λειτουργική πλευρά όσο και από την θεωρητική πλευρά.

Έχει σκοπό τον καθορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους, ή καλύτερα την κατανομή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος που ονομάζεται γεωηλεκτρική δομή. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία τεχνητών

ηλεκτρικών πεδίων. Το ηλεκτρικό πεδίο επηρεάζεται από τη δομή του υπεδάφους, και επομένως από τις μετρήσεις του δυναμικού είναι δυνατός ο καθορισμός της δομής.

4.1.2 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση

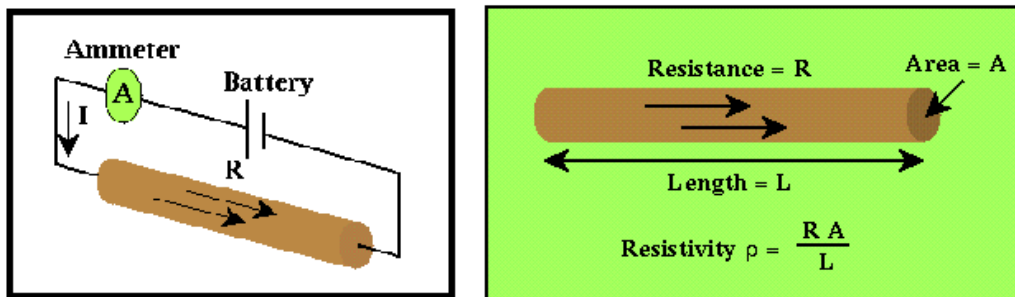
Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την ηλεκτρική διασκόπηση. Ο υπολογισμός της στηρίζεται στο νόμο του ohm (σχήμα 4.1): Αν μια ορθογώνια ράβδος με διατομή A και μήκος L διαρρέεται από ρεύμα έντασης I , η τάση V ανάμεσα στις άκρες της ράβδου θα είναι :

$$V = IR$$

Όπου R η ηλεκτρική αντίσταση (Ω)

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{RA}{L}$$



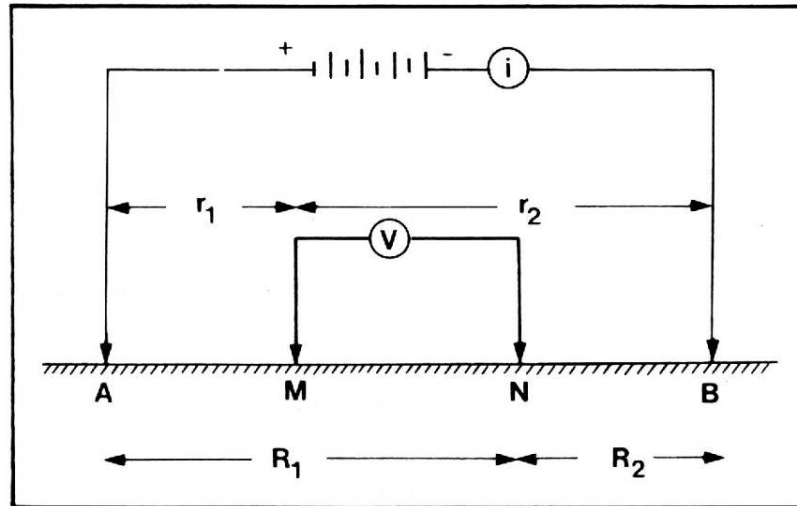
Σχήμα 4.1 : Σχηματική απεικόνιση του νόμου του Ohm (<http://galitzin.mines.edu>).

Η μονάδα μέτρησης της ειδικής αντίστασης στο διεθνές σύστημα μονάδων, SI, είναι το Ωm , μερικές φορές χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega\text{cm}$ όπου $1 \Omega\text{m} = 100 \Omega\text{cm}$. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του πετρώματος, με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το siemens/m.

Το σχήμα 4.2 αντιπροσωπεύει μια τυπική διάταξη που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Υπάρχουν τα ηλεκτρόδια ρεύματος AB που είναι συνδεδεμένα με ένα αμπερόμετρο για τον υπολογισμό της έντασης του ρεύματος που εισάγεται στο έδαφος, ενώ τα ηλεκτρόδια MN είναι τα ηλεκτρόδια τάσης, που

συνδέονται με βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης. Εφαρμόζοντας το νόμο του ohm προκύπτει ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\rho = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \quad (1)$$

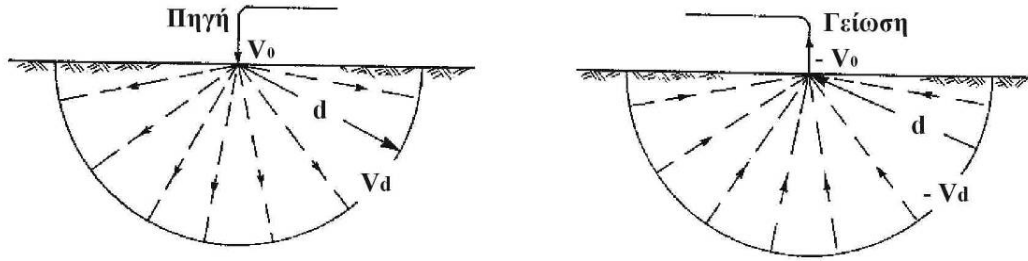


Σχήμα 4.2 : Τυπική διάταξη ηλεκτροδίων. (<http://galitzin.mines.edu>).

4.1.3 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομογενή γη

Έστω ότι συνδέουμε τη Γη με το θετικό και τον αρνητικό πόλο μιας μπαταρίας (Σχήμα 4.3). Επειδή εφαρμόζουμε διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων ρεύμα εμφανίζεται στο υπέδαφος με κατεύθυνση από το θετικό (source) προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο (sink) σύμφωνα με τη συμβατική φορά του ρεύματος. Ας εξετάσουμε ξεχωριστά τη ροή ρεύματος για τα δύο ηλεκτρόδια.

Είναι αυτονόητο ότι το ηλεκτρόδιο που συνδέθηκε με το θετικό πόλο απέκτησε θετικό φορτίο και διοχετεύει ρεύμα στη Γη. Για ευκολία θεωρούμε τη Γη ομογενές μέσο με αποτέλεσμα την ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε το γενικότερο πρόβλημα όπου



Σχήμα 4.3 : Ομοιόμορφη ροή ηλεκτρικών φορτίων προς όλες τις κατευθύνσεις σε ομογενές μέσο (Γκανιάτσος, 2000, Σούρλας, 2000).

η ειδική αντίσταση στο υπέδαφος εμφανίζει χωρική μεταβολή, δηλαδή $\rho = \rho(x,y,z)$ όπου x,y,z οι συντεταγμένες της θέσης.

Τώρα θα εξετάσουμε τι συμβαίνει σε απόσταση d από το θετικό ηλεκτρόδιο. Τα ηλεκτρικά φορτία κινούνται από το ηλεκτρόδιο και κατανέμονται σε ημισφαίριο ακτίνας d . Το εμβαδόν του είναι $S=2\pi d^2$. Αν στην αντίσταση ενός κυλινδρικού αγωγού αντικαταστήσουμε το εμβαδόν έχουμε:

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{\rho d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi d} \quad (2)$$

$$\text{Από την σχέση } R=V/I \text{ έχουμε } V = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} = V_0 - V_d \quad (3)$$

Η (3) εκφράζει τη διαφορά μεταξύ του δυναμικού V_0 στο θετικό ηλεκτρόδιο και του δυναμικού V_d σε οποιοδήποτε σημείο που βρίσκεται στο υπέδαφος και σε απόσταση d από το ηλεκτρόδιο. Ισοδυναμική επιφάνεια ονομάζεται η επιφάνεια όπου το δυναμικό παραμένει σταθερό. Στην περίπτωση ομογενούς μέσου σύμφωνα με την (3), οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι σφαιρικές.

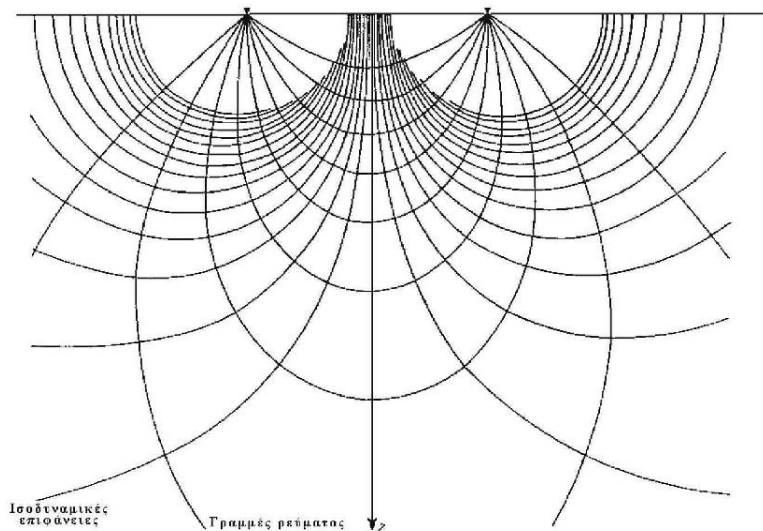
Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο ισχύουν αντίστοιχα φαινόμενα μόνο που το ρεύμα έχει φορά προς το ηλεκτρόδιο. Έτσι ισχύει η σχέση:

$$-V = IR = \frac{I\rho}{2\pi d} = V_d - V_0 \quad (4)$$

Το δυναμικό είναι μονόμετρο μέγεθος. Το δυναμικό σε σημείο M του ηλεκτρικού πεδίου που οφείλεται στα δύο ηλεκτρόδια ρεύματος ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών κάθε ηλεκτρόδιου. Το δυναμικό V σε σημείο που απέχει d_2 και d_1 από το θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα, είναι:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (5)$$

Η (5) περιγράφει το δυναμικό σε κάθε σημείο του υπεδάφους. Ενώνοντας σημεία ίδιου δυναμικού λαμβάνουμε τις ισοδυναμικές επιφάνειες (Σχήμα 4.4). Το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει πάντα κάθετα προς τις ισοδυναμικές επιφάνειες.



Σχήμα 4.4 : Απεικόνιση του δυναμικού πεδίου με δυναμικές γραμμές

4.1.4 Ειδική ηλεκτρική αντίσταση ορυκτών και πετρωμάτων

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ορυκτών και πετρωμάτων αποτελούν αντικείμενο μελέτης για σχεδόν δύο αιώνες. Η ειδική αντίσταση, ρ , είναι η ηλεκτρική ιδιότητα των πετρωμάτων που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Το αντίστροφο, $\sigma = 1/\rho$, της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης λέγεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα περισσότερα ορυκτά και πετρώματα δεν είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού. Μόνο τα μεταλλικά ορυκτά και τα πετρώματα με σημαντική συγκέντρωση σε αυτά τα ορυκτά παρουσιάζουν αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω της αγωγής του ηλεκτρισμού από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των μετάλλων (ηλεκτρονική αγωγή).

Τα πυριγενή και τα μεταμορφωμένα πετρώματα συνήθως παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές του ρ σε σχέση με τα ιζηματογενή. Αυτό οφείλεται στο ότι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των ιζηματογενών κυρίως πετρωμάτων επηρεάζεται από το πορώδες και τη περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα (ηλεκτρολυτική αγωγή). Η ακόλουθη εμπειρική σχέση συνδέει την ειδική αντίσταση ρ των ιζηματογενών πετρωμάτων και το πορώδες ϕ :

$$\rho = a \rho_0 \phi - m \quad (6)$$

όπου ρ_0 η ειδική αντίσταση του νερού που περιέχεται στους πόρους του πετρώματος, ϕ ο λόγος του όγκου των πόρων προς τον ολικό όγκο του πετρώματος (πορώδες) και a, m σταθερές (με τιμές κατά προσέγγιση 0,5-2,5 για το a και 1,3-2,5 για το m (Telford et al 1976, Grant and West 1965, Παπαζάχος 1986). Η σχέση αυτή γνωστή και ως νόμος του Archie, δείχνει ότι η ειδική αντίσταση αυξάνει όταν ελαττώνεται το πορώδες του πετρώματος.

Η λιθολογία και η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο. Με το πέρασμα του χρόνου, το συνολικό πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων μεγαλώνει με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης που ασκούν τα στρώματα αυτά στα υποκείμενα. Άρα τα μεγαλύτερης ηλικίας υποκείμενα στρώματα παρουσιάζουν αυξημένη συνοχή, μικρό πορώδες και μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση.

Ο γενικός αυτός κανόνας δεν ισχύει πάντα και ιδιαίτερα για τα τριτογενή ιζήματα τα οποία έχοντας σχηματιστεί σε γλυκό νερό, κατά κύριο λόγο, έχουν μεγαλύτερες ειδικές αντιστάσεις από τα μεσοζωικά ιζήματα τα οποία σχηματίστηκαν σε αλμυρό νερό, αφού η περιεκτικότητα σε ιόντα παίζει ως γνωστό αποφασιστικό ρόλο στη διέλευση του ρεύματος.

Για τα πετρώματα που είναι διαποτισμένα με νερό υπάρχει έμμεση σχέση μεταξύ της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και της λιθολογίας ή της γεωλογικής ηλικίας καθώς οι δύο παράγοντες αυτοί καθορίζουν το πορώδες. Στα κρυσταλλικά πετρώματα των οποίων το πορώδες είναι εξαιρετικά χαμηλό, η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται αποκλειστικά σχεδόν, στις ρωγμές που υπάρχουν στα πετρώματα αυτά.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των ηλεκτρολυτών είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας:

$$\rho_\theta = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha_\theta (\theta - 18^\circ)} \quad (7)$$

όπου ρ_θ : η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία $\theta^\circ\text{C}$

ρ_{18} : η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε θερμοκρασία 18°C

α_θ : ο θερμικός συντελεστής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (για τους περισσότερους ηλεκτρολύτες $\alpha_\theta = 0,025/^\circ\text{C}$).

Συνοψίζοντας, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των υδροφόρων και μη σχηματισμών ελαττώνεται με την αύξηση:

- του όγκου του νερού στο πέτρωμα

- της περιεκτικότητας σε χλωριόντα ή ελεύθερα ιόντα του υπόγειου ύδατος
- της θερμοκρασίας (αύξηση της ευκινησίας των ιόντων)
- της περιεκτικότητας σε αργίλους
- του βαθμού κορεσμού του διαλύματος στους πόρους του πετρώματος
- της καρστικοποίησης
- της εξαλλοίωσης.

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται χαρακτηριστικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που προέκυψαν από γεωηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις αναφοράς σε θέσεις όπου τα πετρώματα εμφανίζονται επιφανειακά στην Κρήτη.

Στις διασκοπίσεις μικρού βάθους, η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος επιτυγχάνεται κυρίως από διαλυμένα άλατα όπως το ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό νάτριο που υπάρχουν στο ίδιο το έδαφος – κυρίως για αργιλώδη εδάφη – ή προέρχονται από τα υποκείμενα γεωλογικά στρώματα, βροχοπτώσεις, σύγχρονα γεωργικά λιπάσματα ή άλλες ανθρωπογενείς διαδικασίες. Επίσης συγκεντρώσεις ριζών και κολλοειδών στο νερό επηρεάζουν την αγωγιμότητα.

Εδώ θα πρέπει να διευκρινισθεί ότι σε περίπτωση κορεσμού του εδάφους σε νερό η ειδική ηλεκτρική αντίσταση επηρεάζεται από τη σύνδεση μεταξύ των πόρων. Όταν πρόκειται για ξηρά εδάφη ακόμα και οι ελάχιστες ποσότητες νερού που συκρατούνται σε πολύ μικρούς πόρους είναι σημαντική.

Συνήθως το μέγεθος των ανωμαλιών είναι μεγαλύτερο μετά από μία μακρά περίοδο ξηρού και θερμού καιρού, με την παρατήρηση ότι σημαντικό ρόλο παίζει η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (Al Chalabi και Rees, 1962). Διακρίνοντας τα εδάφη σε κοκκώδη, και συμπαγή (Carr 1982) παρατηρήθηκε διαφορετική μεταβολή στις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης μεταξύ περιόδων διαφορετικής υγρασίας. Κατά τη διάρκεια λοιπόν της υγρής περιόδου, το επίπεδο της υγρασίας είναι μέγιστο και γι' αυτό η ειδική ηλεκτρική αντίσταση γίνεται ελάχιστη στα κοκκώδη εδάφη, ενώ στα συμπαγή εδάφη η υγρασία παραμένει μικρή και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεγάλη. Αντίθετα τη ξηρή περίοδο μόνο οι μικροί πόροι είναι πληρωμένοι με νερό με αποτέλεσμα τα αργιλώδη να είναι πιο αγωγίμα από τα κοκκώδη εδάφη.

Είναι φανερό ότι συμπαγή πετρώματα όπως ο γρανίτης είναι ελάχιστα αγωγίμα, οι πιο πορώδεις δολομίτες είναι πολύ περισσότερο, ενώ ακόμη καλύτεροι αγωγοί είναι η άμμος και η άργιλος.

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ωm)
<u>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ</u>	80-250
<i>ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ</i>	
<u>Άργιλοι</u>	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και Χαλίκια κορεσμένα	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
Συμπαγής δολομίτης	>104
Πορώδης δολομίτης	100-1000
<i>ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ</i>	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500
ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	102 –106

Πίνακας 4.1 : Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων.

4.1.5 Φαινόμενη ειδική αντίσταση

Οι παραπάνω σχέσεις προέκυψαν θεωρώντας ότι τα επιφανειακά στρώματα της Γης είναι ομογενή, αυτό όμως δεν ισχύει και συνεπώς η ειδική ηλεκτρική αντίσταση δεν είναι σταθερή σε αυτά. Η αντίσταση που υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση (σχέση 1) εκφράζει το μέσο όρο των τιμών των αντιστάσεων των διαφόρων υλικών που βρίσκονται στα επιφανειακά στρώματα, και ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ_a).

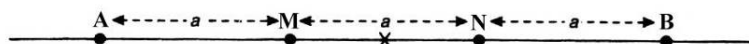
Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από την κατανομή της ειδικής αντίστασης στο υπέδαφος και από τη γεωμετρία των ηλεκτροδίων. Ο υπολογισμός της είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί στον καθορισμό της πραγματικής

ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιείται μεγάλος αριθμός διαφορετικών διατάξεων ηλεκτροδίων

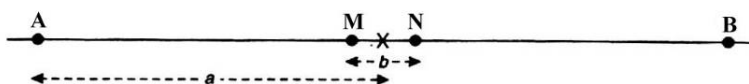
4.1.6 Διατάξεις Ηλεκτροδίων

Υπάρχουν πολλές διατάξεις ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται σήμερα στην ύπαιθρο, ανάλογα με την περιοχή, το μέγεθος των δομών που αναμένονται, τον εξοπλισμό και την εξοικείωση του προσωπικού. Στο Σχήμα 4.5 απεικονίζονται οι πιο συνηθισμένοι τύποι. Οι διατάξεις τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές επειδή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα της αντίστασης επαφής, δηλαδή της ηλεκτρικής αντίστασης στην θέση του ηλεκτροδίου.

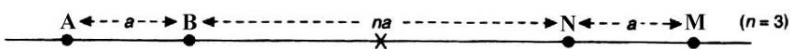
Wenner



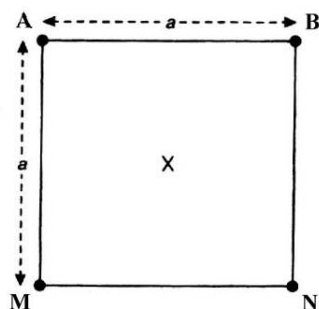
Schlumberger



Dipole-dipole



Square



Σχήμα 4.5 : Διατάξεις ηλεκτροδίων (κατά Reynolds, 1997).

Στη διάταξη **Wenner** ισχύει $AM = MN = NB = a$ δηλαδή τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις (Σχήμα 5). Η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση δίνεται από τη σχέση

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

όπου ο γεωμετρικός συντελεστής ισούται με $2\pi a$.

Οι κυριότεροι παράγοντες κατά την επιλογή της διάταξης στην ηλεκτρική βυθοσκόπηση είναι το μέγιστο βάθος διασκόπησης και η διακριτική ικανότητα τους.

Οι διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται δίπολα (twin-probe, πόλου – διπόλου) έχουν μεγαλύτερο βάθος διασκόπησης για συγκεκριμένο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων (Tsourlos, 1995) σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους. Οι διατάξεις Wenner, Schlumberger και διπόλου – διπόλου έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα στο ίδιο βάθος σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις.

4.1.7 Μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας και τα αποτελέσματά της μπορούν να συγκριθούν σε ακρίβεια με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση. Με αυτό τον τρόπο εντοπίζονται ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως π.χ. μεταπτώσεις καθώς και τυχών αλλαγές στη στρωματογραφία.

Πολύ σημαντικός είναι ο καθορισμός της απόστασης των ηλεκτροδίων ρεύματος πριν να ξεκινήσει η χαρτογράφηση, καθώς από αυτή την απόσταση εξαρτάται το βάθος μέχρι το οποίο οι σχηματισμοί στο υπέδαφος επιδρούν στη διαμόρφωση της τιμής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ_a .

Επειδή δεν είναι εύκολος ο άμεσος υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος από μετρήσεις στην επιφάνεια της γης, υπολογίζεται αρχικά η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a , η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στο υπέδαφος. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ , σε αντίθεση με τη φαινόμενη που είναι φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, είναι ιδιότητα των πετρωμάτων και των ορυκτών.

Η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης εξαρτάται από τις ιδιότητες του πετρώματος όπως:

- α) την ορυκτολογική σύσταση
- β) το πορώδες, τη φύση και τη θερμοκρασία των περιεχόμενων ρευστών
- γ) τη κατάσταση ρηγμάτωσης
- δ) το πάχος των υπερκείμενων στρωμάτων.

4.1.8 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας

Τα δεδομένα που συλλέγονται με την τομογραφία αποτελούν την ψευδοτομή του υπεδάφους. Το επόμενο βήμα είναι η αναστροφή των δεδομένων, δηλαδή ο υπολογισμός της πραγματικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται από το εργαστήριο εφαρμοσμένης γεωφυσικής είναι το RES2DINV. Το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο το οποίο προκύπτει θέτοντας κάποια τιμή για την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση υπολογίζει τις τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και τις συγκρίνει με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης.

Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση. Τα βήματα της επεξεργασίας είναι τα εξής:

- Ανοίγουμε το πρόγραμμα RES2DIV και χρησιμοποιώντας την εντολή «read data file – file» καταχωρούνται τα δεδομένα στο πρόγραμμα.
- Η αναστροφή των δεδομένων (από τιμές της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στις αντίστοιχες τιμές της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) επιτυγχάνεται με την εντολή «least_squares inversion – Inversion».
- Προκύπτουν τρία μοντέλα, όπου το τελευταίο παρουσιάζει την κατανομή της πραγματικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, δηλαδή την γεωηλεκτρική δομή του υπεδάφους.

- Αν το σφάλμα (RMS) που προκύπτει από την σύγκριση των δύο πρώτων μοντέλων (μοντέλα μετρούμενης και υπολογιζόμενης φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) δεν είναι ικανοποιητικό, τότε γίνεται προσπάθεια να μειωθεί το σφάλμα διώχνοντας κάποια σημεία που θεωρούνται ως μην αξιόπιστα δεδομένα χρησιμοποιώντας την εντολή (exterminate bad data points – edit).
- Το τελικό μοντέλο στο οποίο καταλήγετε αποθηκεύεται χρησιμοποιώντας την εντολή (save screen as BMP file – print)

4.2 Πραγματοποίηση Μετρήσεων και Ερμηνεία Αποτελεσμάτων

Η διαδικασία της γεωφυσικής έρευνας περιλάμβανε την πραγματοποίηση τριών ηλεκτρικών τομογραφιών. Η πρώτη πραγματοποιήθηκε στη βάση του νεογενούς σχηματισμού (φωτογραφία 4.1) με τον συνδυασμό των διατάξεων διπόλου – διπόλου και Wenner – Schlumberger, ενώ η δεύτερη έγινε στο πάνω μέρος του σχηματισμού, όπου προηγείται ένα στρώμα εδάφους, με την διάταξη Wenner – Schlumberger.

Η διάταξη διπόλου – διπόλου αποδίδει καλύτερη πλευρική ανάλυση, δείχνοντας έτσι την ομοιογένεια των στρωμάτων. Ενώ αντίθετα, η διάταξη Wenner – Schlumberger υπερτερεί στην κατακόρυφη ανάλυση, δίνοντας καλύτερη στρωματογραφική διάταξη στην περιοχή μελέτης. Η διακριτική ικανότητα της διάταξης **Wenner – Schlumberger** είναι **α πλευρικά και 1,6α σε βάθος** ενώ της διάταξης **διπόλου – διπόλου** είναι **1,7α και 1,1α αντίστοιχα**. Χρησιμοποιήθηκαν 27 «έξυπνα» ηλεκτρόδια, τα οποία εναλλάσσονται αυτόματα από ηλεκτρόδια ρεύματος σε ηλεκτρόδια τάσης χωρίς να χρειάζεται να επέμβει ο χρήστης.



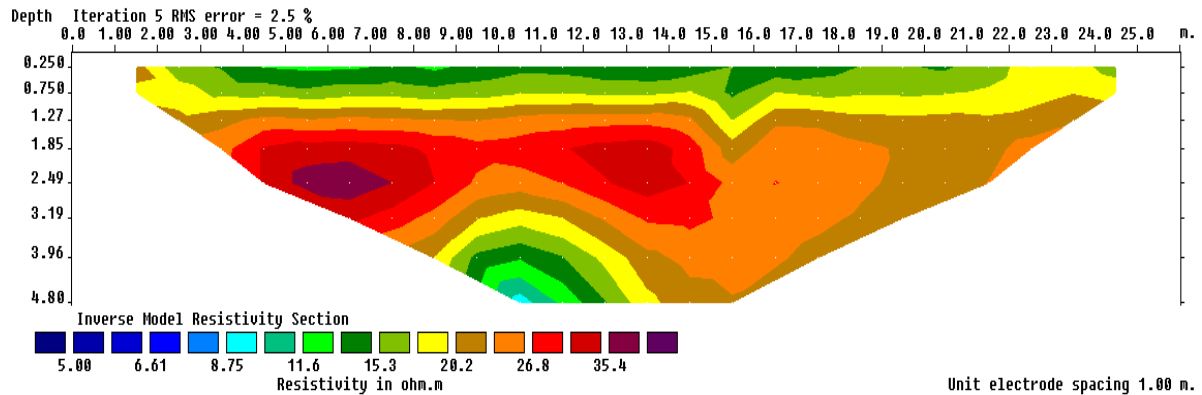
Φωτογραφία 4.1: Γραμμές γεωφυσικής διασκόπισης από Google Earth

Γραμμή διασκόπισης 1 στη βάση του σχηματισμού:



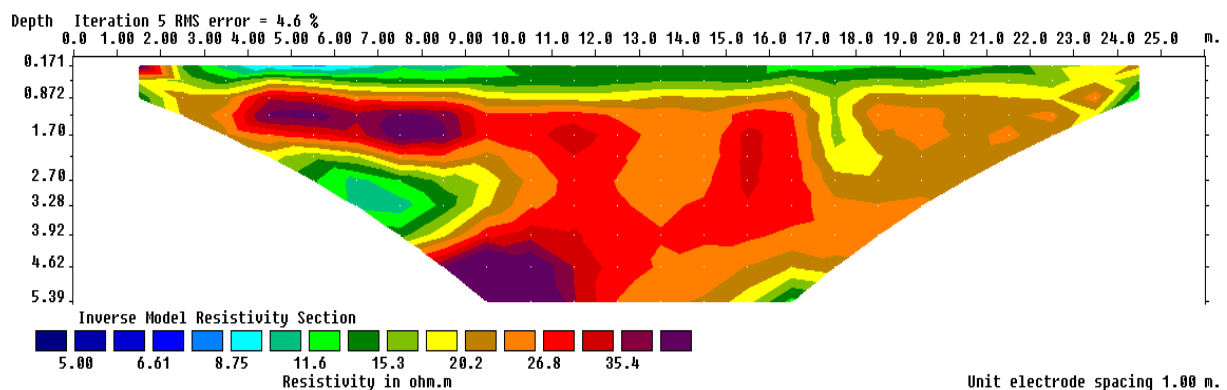
Φωτογραφία 4.2: Γραμμή διασκόπισης στη βάση του σχηματισμού

Διάταξη Wenner – Schlumberger:



Παρατηρούμε μια διαχωριστική επιφάνεια η οποία ξεχωρίζει δύο στρώματα σχετικά διαφορετικής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το πρώτο στρώμα έχει πάχος περίπου 1 μέτρο και αποτελείται από πετρώματα χαμηλότερης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Το πρώτο αυτό στρώμα μπορεί να ερμηνευτεί σαν «ενυδατωμένος» ιλύολιθος από το παρακείμενο ρέμα. Το δεύτερο στρώμα, πάχους περίπου τριών μέτρων, διαφοροποιείται όσο αναφορά την ειδική ηλεκτρική αντίσταση παρουσιάζοντας μεγαλύτερες τιμές και μπορεί να ερμηνευτεί σαν συμπαγής ιλύολιθος.

Διάταξη διπόλου – διπόλου:

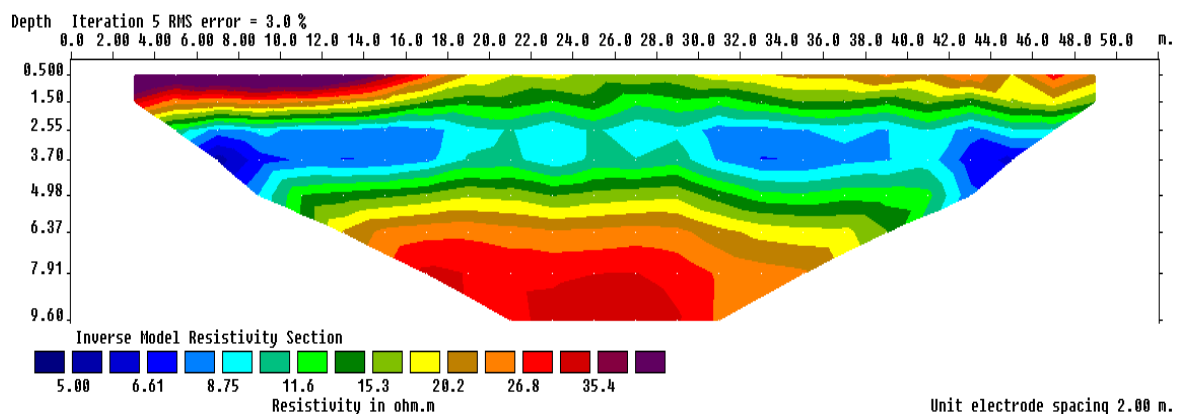


Σε αυτή τη διάταξη, επίσης διακρίνεται η διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων «ενυδατωμένου» ιλύολιθου από το παρακείμενο ρέμα και του συμπαγούς. Εδώ όμως παρατηρούμε και την ομοιογένεια των στρωμάτων αυτών με εξαίρεση το

σημείο αριστερά, που βρίσκεται σε βάθος περίπου 3 μέτρα στο δεύτερο στρώμα, το οποίο παρουσιάζει αρκετά χαμηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε σχέση με το υπόλοιπο στρώμα. Η περιοχή αυτή βρίσκεται πολύ κοντά στην κοίτη του ρέματος. Υπό γωνία στην διεύθυνση της διάταξης και σε διεύθυνση ΒΑ/ΝΔ παρατηρήθηκαν ρήγματα σε όλον τον ιλυολιθικό σχηματισμό. Πιθανώς η περιοχή αυτή να αντιπροσωπεύει σε κατά βάθος ενυδάτωση των ιλυολίθων κατά μήκος ενός ρήγματος το οποίο δεν είναι επιφανειακά ορατό.

Γραμμή διασκόπησης 2 στο πάνω μέρος του σχηματισμού:

Διάταξη Wenner – Schlumberger:



Σε αυτή τη γραμμή διασκόπησης, η οποία έγινε στο πάνω μέρος του σχηματισμού, διακρίνουμε δύο διαχωριστικές επιφάνειες αφού προστέθηκε και το στρώμα του εδάφους. Επίσης, μπορούμε να διακρίνουμε ευκρινέστερα τις ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις του δεύτερου στρώματος σε σχέση με την προηγούμενη γραμμή διασκόπησης η οποία έγινε στη βάση του σχηματισμού. Έτσι, παρατηρούμε το στρώμα του εδάφους το οποίο έχει πάχος περίπου ενός μέτρου. Ακολουθεί το δεύτερο στρώμα, πάχους επίσης ενός μέτρου περίπου, το οποίο χαρακτηρίζεται από πετρώματα πολύ χαμηλής αντίστασης. Η περιοχή αυτή μπορεί να ερμηνευτεί σαν «ενυδατομένος» ιλυόλιθος κάτω από το εδαφικό κάλυμμα. Και τέλος, ακολουθεί το τρίτο στρώμα το οποίο, όπως διαπιστώσαμε και στην πρώτη γραμμή διασκόπησης, αποτελείται από σχετικά μεγαλύτερης αντίστασης πετρώματα και μπορεί να ερμηνευτεί σαν συμπαγής ιλυόλιθος.

Στην περιοχή μελέτης, ο σχηματισμός έχει ύψος περίπου 40 μέτρα. Η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε από τη βάση (μηδενικό ύψος) μέχρι τα 24 μέτρα όπου βρισκόταν ο πρώτος ορίζοντας ψαμμιτούχας κρούστας. Ο κύριος λόγος της γεωφυσικής διασκόπισης είναι η εκτίμηση της υπεδαφικής ομοιογένειας και η ένδειξη τυχόν απότομων αλλαγών του σχηματισμού στο υπέδαφος. Πρέπει να αναφερθεί ότι ο σκοπός της μεθόδου δεν ήταν η εύρεση του συνολικού πάχους του σχηματισμού.

Σε γενικές γραμμές, οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις του νεογενή σχηματισμού, όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις, είναι αρκετά χαμηλές. Για την ακρίβεια κυμαίνονται από 5 έως 35 Ωm περίπου. Στην πλειοψηφία τους, οι μετρήσεις, βρίσκονται στην περιοχή των 20 με 35 Ωm. Βάση της θεωρίας της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας που αναπτύχθηκε στο τέταρτο κεφάλαιο και λαμβάνοντας υπόψη τον πίνακα 4.1 μπορούμε συμπερασματικά να πούμε ότι:

A) Διακρίθηκε ένας εδαφικός ορίζοντας

B) Κάτω από τον εδαφικό ορίζοντα διακρίθηκε ένα στρώμα πάχους ενός περίπου μέτρου που μπορεί να ερμηνευτεί σαν «ενυδατωμένος» ιλυόλιθος κάτω από το εδαφικό κάλυμμα. Παραπλήσιες τιμές παρουσιάζονται και στον «ενυδατωμένο» ιλυόλιθο από το παρακείμενο ρέμα στη βάση του σχηματισμού.

Γ) Διακρίθηκε μια περιοχή σε κατά βάθος ενυδάτωση των ιλυολίθων κατά μήκος ενός ρήγματος το οποίο δεν είναι επιφανειακά ορατό.

Δ) Διακρίθηκε η σε βάθος επέκταση του συμπαγούς ιλυόλιθου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ, ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

Συνοπτικά η διαδικασία ελέγχου και ανάλυσης των δειγμάτων περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

Αρχική προετοιμασία των δειγμάτων και επιλογή αντιπροσωπευτικού τμήματος από το καθένα, ώστε να χρησιμοποιηθεί στις περαιτέρω αναλύσεις.

Τοποθέτηση των δειγμάτων μαζί με κατάλληλα προσθετικά στον φούρνο σύντηξης, με σκοπό την δημιουργία μεταλλικής φάσης χρυσού (χελώνα). Η διαδικασία είναι μέθοδος αναγωγικής τήξης.

Έψηση της κάθε χελώνας ξανά στον φούρνο σύντηξης, σε προσροφητικά δοχεία, ώστε να απομακρυνθεί ο περιεχόμενος μόλυβδος. Το εναπομένον προϊόν είναι κράμα αργύρου και (πιθανώς) χρυσού και αποκαλείται μεταλλική χάντρα.

Διαλυτοποίηση των χαντρών με χρήση νιτρικού οξέος.

Ανάλυση του διαλύματος για την περιεκτικότητά του σε χρυσό, και αναγωγή των αποτελεσμάτων στην αρχική ποσότητα.

Η ανάλυση των δειγμάτων όσον αφορά την περιεκτικότητά σε χρυσό έγινε με την μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης. Η μέθοδος XRF χρησιμοποιήθηκε για αρχική ανάλυση των δειγμάτων με σκοπό όμως την απόκτηση γνώσης σχετικά με την χημική σύσταση των δειγμάτων, και έχοντας υπ' όψη ότι για τέτοιου είδους ανάλυση η διακριτική ικανότητα του οργάνου δεν ξεπερνάει τα 5 ppm και άρα δεν ήταν αναμενόμενη η εμφάνιση χρυσού. Ακόμη στα δείγματα πραγματοποιήθηκε και ορυκτολογική ανάλυση με την μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Επίσης, στα δείγματα μετρήθηκε, με την μέθοδο Rock-Eval, ο περιεχόμενος ολικός οργανικός άνθρακας, ενώ χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος ασβεστιμετρίας για την μέτρηση του περιεχόμενου ασβεστίτη.

Όσο αναφορά την κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής Laser του εργαστηρίου Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων και η ανάλυση υγρομέτρου στο εργαστήριο Υδρογεωλογίας.

Στις επόμενες παραγράφους παρέχεται το τεχνικό υπόβαθρο των μεθόδων που προαναφέρονται καθώς και των μεθόδων κοκκομετρικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν.

5.1.1 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΗ LASER (Mastersizer S)

Ο Mastersizer S αναλυτής (φωτογραφία 5.4) είναι ένα σύστημα με 2mW ισχύς He/Ne laser που χρησιμοποιείται για να υπολογίζει την κατανομή κατά μέγεθος του προς ανάλυση υλικού. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου βασίζεται στην εκτροπή των ακτίνων laser, όταν αυτές προσπίπτουν σε κόκκους. Η γωνία εκτροπής εξαρτάται από το μέγεθος του κόκκου και συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερο το μέγεθος, τόσο μικρότερη η γωνία και αντίστροφα. Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ο αναλυτής είναι :

A) Οπτική μονάδα μέτρησης (optical measurement unit)

Η Mastersizer οπτική μονάδα μέτρησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

- *Πομπό (transmitter)*, που περιλαμβάνει τη μονάδα του laser.
- *Δέκτη (receiver)*, που περιλαμβάνει τη μονάδα του ανιχνευτή.

- *Περιοχή κάλυψης του δείγματος (sample area cover)*, που περιλαμβάνει το κελί μέτρησης.
- *Φακό (range lens)*. Ο φακός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο 300 RF που αναλύει κόκκους με μέγεθος από 0.05-880 μm .

B) Μονάδα αιώρησης του δείγματος (sample suspension unit)

Η μονάδα αυτή διασπείρει το υλικό και είναι κατάλληλη για την μέτρηση της πλειοψηφίας των υλικών. Το σύστημα χρησιμοποιεί 1 lt νερό μέσα στο οποίο το υπό μέτρηση υλικό είναι διασπαρμένο. Περιλαμβάνει, επίσης, ένα σύστημα υπερήχων και ανάδευσης για την διασπορά των συνεκτικών υλικών και για την αποφυγή της κροκίδωσης των κόκκων. Κατά την διαδικασία της μέτρησης ο πολφός με τη βοήθεια μιας αντλίας κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ του κελιού μέτρησης και της δεξαμενής (sample suspension unit).

Γ) Σύστημα υπολογιστή

Ο αναλυτής Laser περιλαμβάνει, ένα σύστημα υπολογιστή (DTK computer) ο οποίος είναι συμβατός με το λειτουργικό πρόγραμμα της Malvern, και έναν εκτυπωτή HP Deskjet 600 ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.



Φωτογραφία 5.1 : Αναλυτής Mastersizer

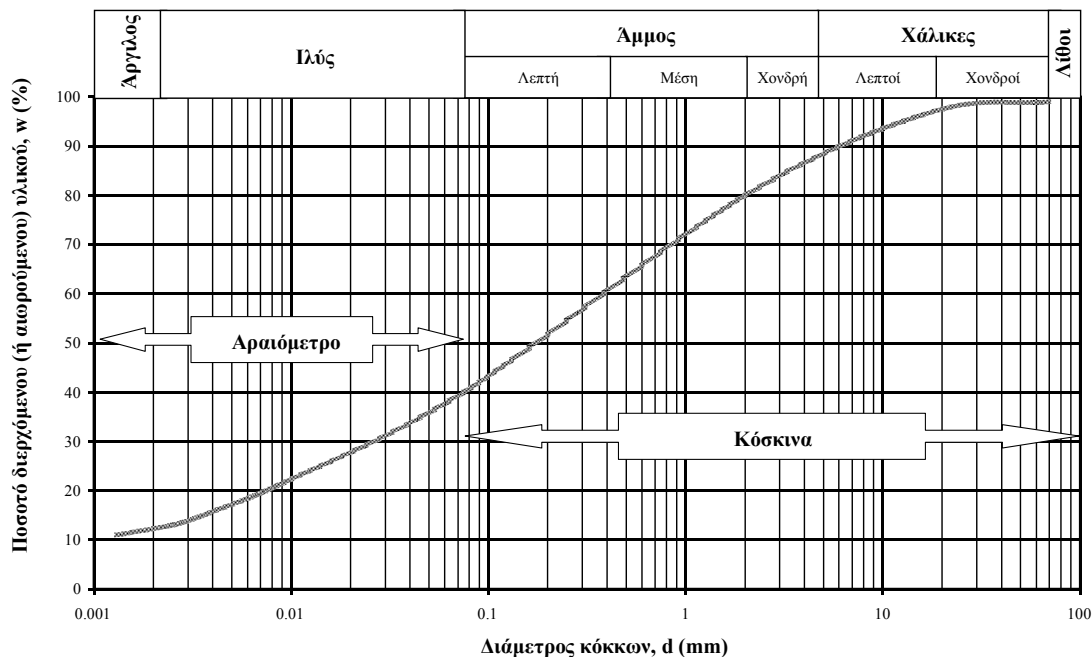
5.1.2 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΥΓΡΟΜΕΤΡΟ (ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ)

Η **κοκκομετρική ανάλυση** έχει ως σκοπό τον καθορισμό του μεγέθους των κόκκων από τους οποίους αποτελείται ένα έδαφος και τελικά την ταυτοποίησή του. Τα αποτελέσματά της παρουσιάζονται με την κοκκομετρική καμπύλη.

Προκειμένου να καθοριστούν τα ποσοστά των κοκκομετρικών κλασμάτων ενός εδαφικού δείγματος, αυτό θα πρέπει να διέλθει από σειρά κοσκίνων (**κοσκίνηση**).

Το μικρότερο κόσκινο που χρησιμοποιούμε συχνότερα έχει διάμετρο οπής πλέγματος ίση με **0,075 mm** (= 200 mesh, κόσκινο No. 200). Εάν τουλάχιστο το 5% της μάζας του δείγματος που εξετάζεται διέλθει από το κόσκινο αυτό (μέγεθος κόκκων < 0,075 mm), η ανάλυση θα πρέπει να συνεχισθεί με την χρήση αραιομέτρου (**αραιομέτρηση**).

Στο **σχήμα 5.5** παρουσιάζεται παράδειγμα κοκκομετρικής καμπύλης, καθώς και τα όρια εφαρμογής της κάθε μεθόδου προσδιορισμού κοκκομετρικών κλασμάτων (κοσκίνηση – αραιομέτρηση).



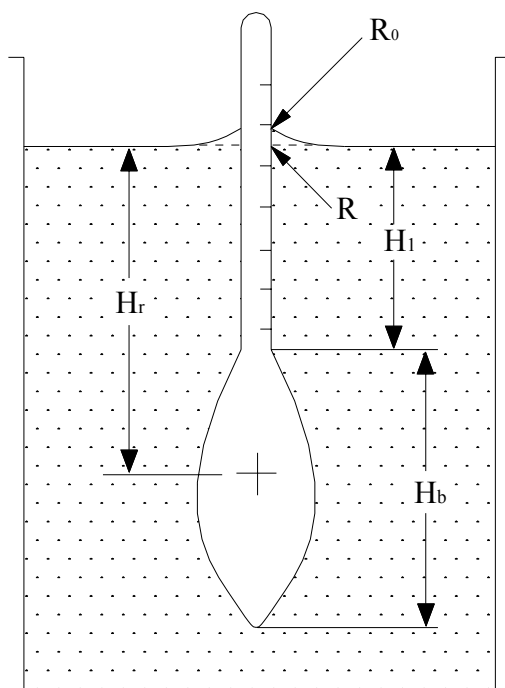
Σχήμα 5.1: Παράδειγμα κοκκομετρικής καμπύλης (πρότυπα ASTM).

Ανάλυση με αραιόμετρο- αρχή λειτουργίας

Χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα ξηρού εδαφικού δείγματος, η οποία μαζί με απιονισμένο νερό και αντικροκιδωτικό (ώστε να αποφευχθεί η συσσωμάτωση των εδαφικών κόκκων) τοποθετείται σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 ml. Στο διάλυμα που δημιουργείται αρχίζει αμέσως **καθίζηση των εδαφικών κόκκων**, η οποία είναι δυνατό να διαρκέσει πολλές ώρες ή και ημέρες.

Κατά την διάρκεια της καθίζησης καταγράφεται, ανά τακτά χρονικά διαστήματα, η μάζα των εδαφικών κόκκων που βρίσκονται στο διάλυμα "εν αιωρήσει" (δεν έχουν ακόμη κατακαθίσει). Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιείται το **αραιόμετρο** (αναφέρεται και ως **πυκνόμετρο** ή **υδρόμετρο**).

Κοινό αραιόμετρο (μέσα σε ογκομετρικό κύλινδρο που περιέχει διάλυμα εδαφικών κόκκων) παριστάνεται στο **σχήμα 5.6**.



Σχήμα 5.2: Σχηματική παράσταση αραιομέτρου μέσα σε διάλυμα εδαφικών κόκκων.

Το αραιόμετρο τοποθετείται έτσι ώστε να "επιπλέει" (ένα τμήμα της συσκευής βυθίζεται) στο διάλυμα του εδαφικού δείγματος που εξετάζεται. Η αρχή λειτουργίας του οργάνου αυτού στηρίζεται στην σχέση αναλογίας κοκκομετρίας στερεού/ ποσότητα

υγρού. Σε συγκεκριμένη ποσότητα νερού μετά την προσθήκη αντικροκκιδωτικού προστίθεται η προς μέτρηση συγκεκριμένη ποσότητα ιλυολίθου. Όσο διαρκεί η καθίζηση των κόκκων, το διάλυμα αραιώνει στο άνω μέρος του (μείωση της πυκνότητας) και το αραιόμετρο κατέρχεται τείνοντας να βυθιστεί πλήρως.

Η παραπάνω απλή λειτουργία του αραιομέτρου, με την κατάλληλη βαθμονόμηση, επιτρέπει την καταγραφή της πυκνότητας του άνω μέρους του πολφού. Ως κόκκοι "εν αιωρήσει" θεωρούνται αυτοί που συμμετέχουν (σε δεδομένη χρονική στιγμή) στο άνω μέρος του διαλύματος και ως εκ τούτου ρυθμίζουν την πυκνότητα του πολφού που μετράται με την βύθιση της συσκευής.

Διεξαγωγή μετρήσεων

Τοποθετούνται περίπου 400 gr ξηρού εδαφικού δείγματος σε δοχείο των 250 ml, στο οποίο προστίθενται 125 ml νατρίουχου εξαμεταφωσφορικού διαλύματος (διάλυμα Calgon) 5% κ.β. Όπως προαναφέρθηκε, το Calgon λειτουργεί ως παράγοντας διασποράς (αντικροκιδωτικό), ώστε να αποφευχθεί η συσσωμάτωση των εδαφικών μορίων. Το μείγμα ανακατεύεται καλά και αφήνεται τουλάχιστον 16 ώρες να διαποτιστεί.

Στη συνέχεια, μεταφέρεται στο δοχείο του αναμίκτη και αναμιγνύεται περίπου για 1 λεπτό, προκειμένου να διαλυθούν πιθανά συσσωματώματα.

Τέλος, το μείγμα μεταφέρεται σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000 ml, ο οποίος πληρείται με απιονισμένο νερό. Αφού σφραγιστεί το στόμιο του κυλίνδρου με καπάκι, αναταράσσεται και αμέσως μετά τοποθετείται μέσα στο υδατόλουτρο, το οποίο έχει ήδη τεθεί σε λειτουργία (στους 20°C).

Μόλις το δείγμα αποκτήσει ομοιογενή και κοινή θερμοκρασία με αυτήν του υδατόλουτρου ο κύλινδρος αφαιρείται, αναταράσσεται και επανατοποθετείται. Αμέσως αρχίζει καθίζηση των εδαφικών κόκκων (έναρξη καθίζησης).

Το αραιόμετρο τοποθετείται ώστε να επιπλέει στο διάλυμα "εν ηρεμία" και λαμβάνονται μετρήσεις στο 1°, 2° και 4° λεπτό από την έναρξη της καθίζησης. Το αραιόμετρο θα πρέπει να τοποθετείται στο διάλυμα τουλάχιστον 20 sec πριν την πρώτη μέτρηση.

Η παραπάνω διαδικασία (αφαίρεση κυλίνδρου, ανάμιξη διαλύματος, επανατοποθέτηση κυλίνδρου, μετρήσεις με αραιόμετρο) επαναλαμβάνεται, προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία των μετρήσεων. Εάν οι δεύτερες μετρήσεις διαφέρουν από τις πρώτες λιγότερο από 1 (gr), θεωρούνται αξιόπιστες. Σε αυτή την περίπτωση συνεχίζεται κανονικά η λήψη μετρήσεων ανά τακτά χρονικά διαστήματα.

Ταυτόχρονα με τις ενδείξεις του υδρομέτρου καταγράφονται και μετρήσεις θερμοκρασίας (T).

5.1.3 ΑΣΒΕΣΤΙΜΕΤΡΙΑ

Προσδιορισμός Ασβεστίτη με το Ασβεστίμετρο Τύπου Dietrich-Frunhling

Ο προσδιορισμός του ασβεστίτη (CaCO_3) με το ασβεστίμετρο Dietrich-Frunhling (εικ. 5.1) (βάσει τυποποίησης NORMAL 1998) είναι ένας ογκομετρικός προσδιορισμός .

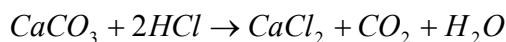


Εικόνα 5.1: Ασβεστίμετρο Τύπου Dietrich-Frunhling

Οι χημικές μέθοδοι ανάλυσης στηρίζονται στην επίδραση ενός αντιδραστηρίου σε γνωστή ποσότητα του δείγματος η οποία έχει σαν αποτέλεσμα είτε:

- Το σχηματισμό μιας ουσίας που περιέχει το προς προσδιορισμό συστατικό.
- Το σχηματισμό μιας ουσίας που είναι γνωστή η στοιχειομετρική της σχέση με το προσδιοριζόμενο συστατικό.

Ο προσδιορισμός του ασβεστίτη λοιπόν στηρίζεται στη μέτρηση του όγκου του CO_2 που εκλύεται από την επίδραση διαλύματος υδροχλωρικού οξέος στο δείγμα σύμφωνα με την εξώθερμη αντίδραση:



Όργανα - Αντιδραστήρια

1. Ασβεστίμετρο τύπου Dietrich-Frühling
2. HCl οξύ 1:3
3. Πρότυπο δείγμα ασβεστολίθου

5.1.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ROCK-EVAL ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΟΛΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (TOC)

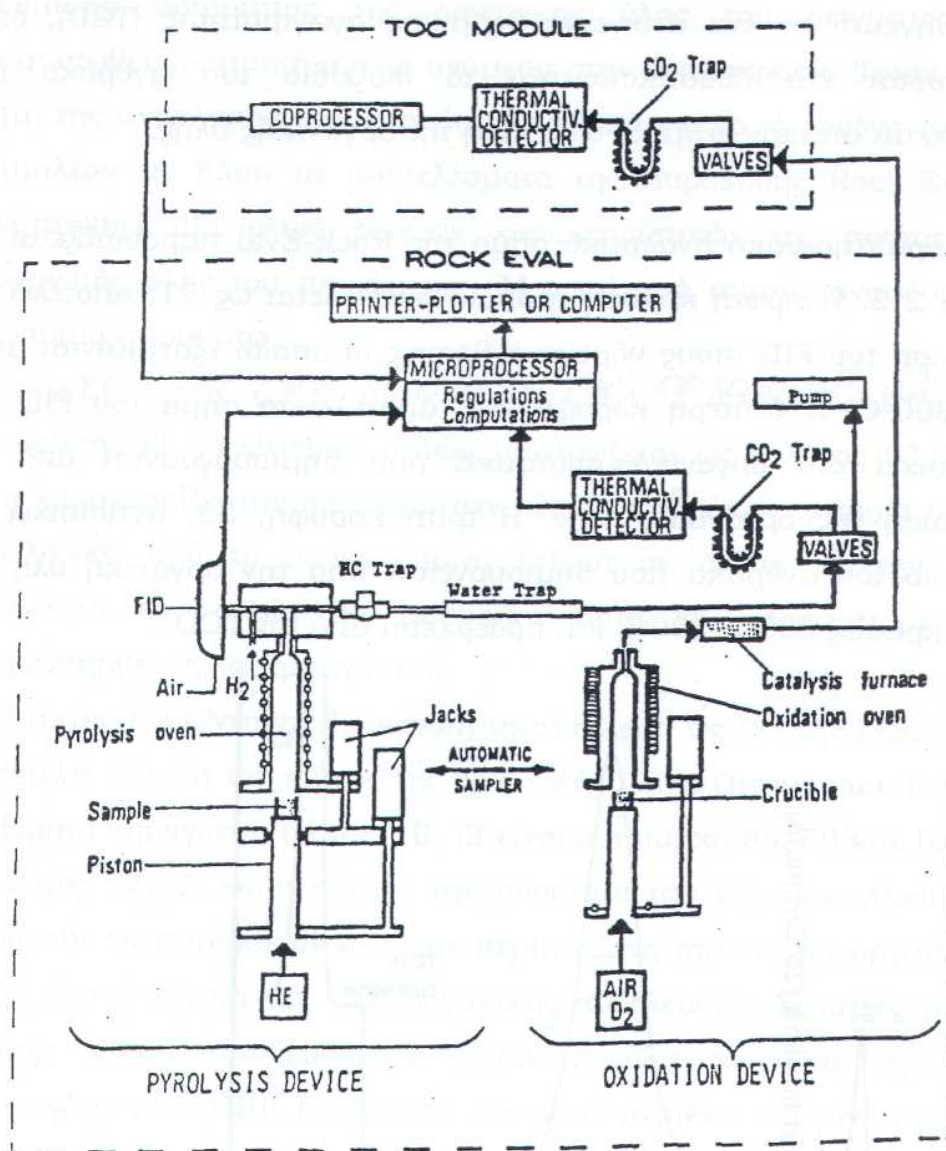
Η μεθοδολογία ανάκτησης χρυσού με την μέθοδο της πυρομεταλλουργίας εμπεριέχει ανάκτηση χρυσού από το κυανιούχο διάλυμα με την χρήση ενεργού άνθρακα. Η ύπαρξη οργανικού υλικού στα ιζήματα αποτελεί, για την προβληματική της παρούσας εργασίας, έναν παράγοντα που θα πρέπει να εξεταστεί. Πιθανές αυξομειώσεις στην περιεκτικότητα του συνολικού οργανικού άνθρακα θα πρέπει να συνυπολογιστούν. Για τον σκοπό αυτό μετρήθηκε στο σύνολο των ιλυολιθικών δειγμάτων το ποσοστό του περιεχόμενου ολικού οργανικού άνθρακα.

Ο αναλυτικός προσδιορισμός του ολικού οργανικού άνθρακα (Total Organic Carbon, TOC) αποτέλεσε την πλέον διαδεδομένη τεχνική χαρακτηρισμού και αποτίμησης του παραγωγικού δυναμικού μητρικών πετρωμάτων γένεσης υδρογονανθράκων. Η ανάλυση αυτή συνίσταται στην θερμοπρογραμματιζόμενη πυρόλυση του οργανικού υλικού, η οποία συνήθως πραγματοποιείται σε εργαστηριακές διατάξεις που ονομάζονται Rock-Eval. Η τεχνική αναπτύχθηκε στο Γαλλικό Ινστιτούτο Πετρελαίου (IFP). Τα αναλυτικά αποτελέσματα της πυρόλυσης Rock-Eval επιτρέπουν την αξιολόγηση των δειγμάτων ως προς τους παρακάτω τρεις σημαντικούς γεωχημικούς παράγοντες:

- την ποσότητα της οργανικής ύλης
- την ποιότητα της οργανικής ύλης
- το επίπεδο της θερμικής ωριμότητας της

Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συγκριτική αποτίμηση δειγμάτων από σχηματισμούς και να εντοπίσει μεταβολές στην σύσταση τους στο χώρο, ανιχνεύοντας έτσι πιθανές διαδρομές μετανάστευσης και τις διεργασίες υπό τις οποίες αυτή πραγματοποιήθηκε. Σχηματικά η διάταξη Rock-Eval παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.11.

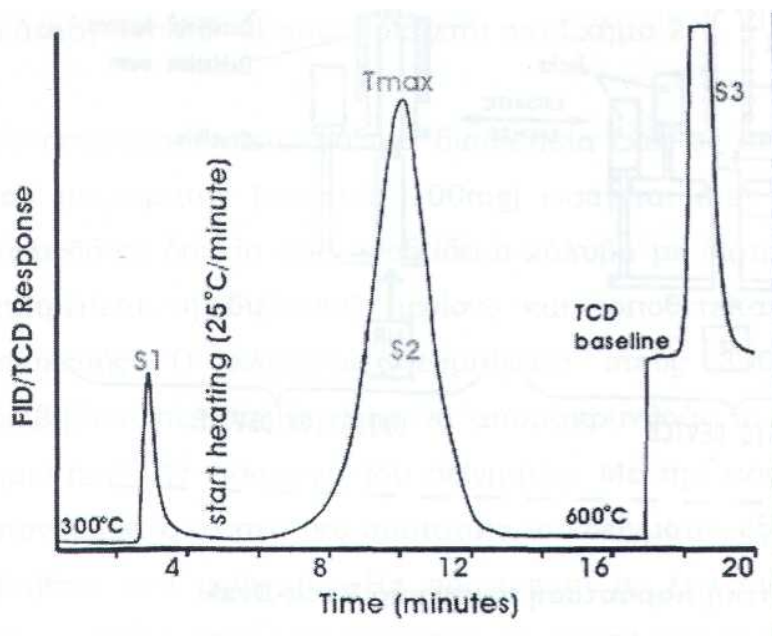
Εν συντομία η πειραματική διαδικασία έχει ως ακολούθως: Το δείγμα του πετρώματος (περίπου 100mg) εισάγεται στον δειγματοφορέα, ένα κυλινδρικό δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα με διάτρητες βάσεις ώστε να επιτρέπεται η διέλευση αερίου, και τοποθετείται στον κλίβανο της συσκευής. Ο κλίβανος θερμαίνεται στους 300°C με ταυτόχρονη διαβίβαση αερίου He ώστε να απομακρυνθούν τα συστατικά του αέρα πριν από την εισαγωγή του δείγματος. Με την εισαγωγή του δείγματος στον κλίβανο τα πτητικά συστατικά του δείγματος εξατμίζονται και με την βοήθεια του ρεύματος He οδηγούνται σε ένα διακλαδωτή, ο οποίος διαχωρίζει το ρεύμα σε δύο μέρη. Το πρώτο από αυτά, αφού περάσει από μία υδατοπαγίδα καταλήγει σε μια παγίδα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂ trap). Το δεύτερο ρεύμα οδηγείται σε ένα ανιχνευτή ιονισμού φλόγας (FID), όπου ανιχνεύονται και ποσοτικοποιούνται οι περιεχόμενοι υδρογονάνθρακες, δηλαδή τα συστατικά του οργανικού υλικού του δείγματος τα οποία μπορούν να εξατμιστούν μέχρι τους 300°C. Η διαδικασία της εξάτμισης των συστατικών στον κλίβανο διαρκεί λίγα λεπτά (συνήθως 2min) και στην συνέχεια αυξάνεται με ένα σταθερό ρυθμό (συνήθως 25°C/min). Τα προϊόντα της πυρόλυσης οδηγούνται επίσης στον FID, όπου αναλύονται και ποσοτικοποιούνται.



Σχήμα 5.3: Σχηματική παράσταση συσκευής Rock-Eval

Όταν η θερμοκρασία του κλιβάνου φθάσει τους 390°C, η παγίδα του CO₂ απομονώνεται από το ρεύμα των αερίων, για να αποκλειστεί η ρόφηση CO₂ το οποίο πλέον δημιουργείται από την θερμική διάσπαση των ανθρακικών συστατικών του πετρώματος και όχι από την οργανική ύλη. Η πυρόλυση του οργανικού υλικού στον κλίβανο συνεχίζεται μέχρι τους 550°C ή 600°C. Με το τέλος της πυρόλυσης η παγίδα CO₂ επανασυνδέεται στο ρεύμα του αερίου, εκροφάται το περιεχόμενο αέριο και οδηγείται σε ένα ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας (TCD), όπου ανιχνεύεται και ποσοτικοποιείται το διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από την θερμική διάσπαση της οργανικής ύλης.

Ένα χαρακτηριστικό αναλυτικό σήμα της Rock-Eval παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.12. Η πρώτη κορυφή η οποία αναφέρεται ως S1, αποτελεί την απόκριση του FID στους υδρογονάνθρακες οι οποίοι εξατμίζονται μέχρι τους 300°C. Η δεύτερη κορυφή, S2, αποτελεί το σήμα του FID που αντιστοιχεί στα οργανικά συστατικά που δημιουργούνται από την πυρόλυση της οργανικής ύλης. Η τρίτη κορυφή, S3, αντιστοιχεί στο διοξείδιο του άνθρακα που δημιουργείται από την οργανική ύλη στις θερμοκρασίες 300°C - 390°C και προέρχεται από τον TCD.



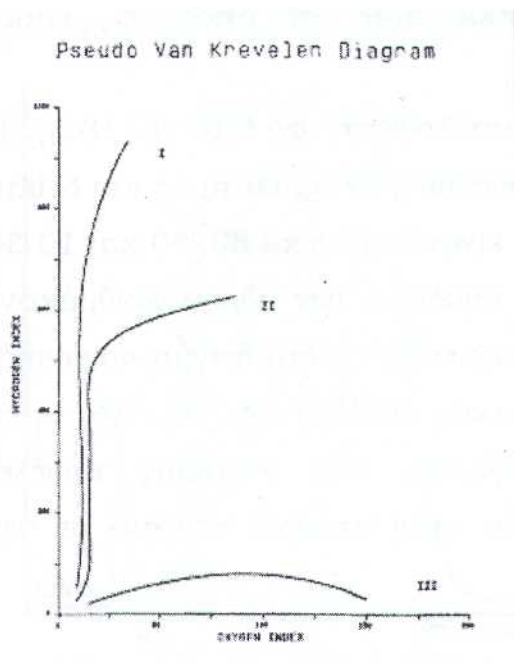
Σχήμα 5.4: Τυπική ανάλυση Rock-Eval

Το μέγεθος (εμβαδόν) των κορυφών αυτών αποτελεί μέτρο της ποσότητας των υφιστάμενων στο δείγμα υδρογονανθράκων (κορυφή S1), της οργανικής ύλης που μπορεί επιπλέον να παράξει το δείγμα με εξάτμιση ή πυρόλυση (κορυφή S2) και του παραγόμενου από την οργανική ύλη διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ 300°C-390°C. Μία επιπλέον σημαντική γεωχημική παράμετρος που προσδιορίζεται από την διαδικασία Rock-Eval είναι η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο υψηλότερο σημείο της κορυφής S2, η οποία αναφέρεται ως T_{max} και αποτελεί ένα μέτρο της θερμικής ωριμότητας της οργανικής ύλης του δείγματος. Έχει διαπιστωθεί γραμμική σχέση ανάμεσα στην θερμοκρασία T_{max} και την τιμή της ανάκλασης του βιτρινίτη R_o ειδικά για το κηρογόνο τύπου III. Επιπλέον με βάση τα αποτελέσματα της πυρόλυσης Rock-Eval έχει αναπτυχθεί μία σειρά δεικτών χαρακτηριστικών της ποιότητας της οργανικής ύλης του πετρώματος. Μερικοί από αυτούς αναφέρονται εν συντομία παρακάτω.

Ο δείκτης PI (Production Index) υπολογίζεται ως ο λόγος $S1/(S1+S2)$ και χαρακτηρίζει την ποσότητα των υδρογονανθράκων η οποία παρήχθη γεωλογικά από το συγκεκριμένο δείγμα σε σχέση με την μέγιστη ποσότητα την οποία θα μπορούσε αυτό να αποδώσει, επομένως χαρακτηρίζει την ωριμότητα του.

Ο δείκτης PC (Pyrolized Carbon) υπολογίζεται ως $0,83*(S1+S2)/10$ και αποτελεί ένδειξη του είδους της οργανικής ύλης. Οι τιμές του δείκτη για δείγματα κηρογόνου τύπου I, II, III είναι αντίστοιχα 80, 50 και 10-30. Ο λόγος S2/S3 χαρακτηρίζει την ποσότητα των υδρογονανθράκων που μπορούν να παραχθούν από την περιεχόμενη στο δείγμα οργανική ύλη προς την ποσότητα του CO₂ οργανικής προέλευσης. Χαμηλές τιμές του δείκτη αυτού υποδεικνύουν οργανική ύλη χερσαίας προέλευσης (κηρογόνο τύπου III) δεδομένου ότι αυτή περιέχει οξυγόνο σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Επιπλέον από την πυρόλυση Rock-Eval υπολογίζονται και οι δείκτες οξυγόνου και υδρογόνου, για τον προσδιορισμό των οποίων απαιτείται επιπλέον η τιμή του ολικού οργανικού άνθρακα. Έχουν αναπτυχθεί διατάξεις Rock-Eval συνδυασμένες με τον προσδιορισμό του συνολικού οργανικού άνθρακα. Στις διατάξεις αυτές το δείγμα που περιέχει την οργανική ύλη μετά την διαδικασία της πυρόλυσης μεταφέρεται σε ένα κλίβανο οξείδωσης όπου θερμαίνεται στους 600°C σε ρεύμα αέρα. Τα προϊόντα της οξείδωσης (καύσης) μετά από αφυδάτωση οδηγούνται σε ανιχνευτή TCD για τον προσδιορισμό του παραχθέντος διοξειδίου του άνθρακα. Ο περιεχόμενος σε αυτό άνθρακας προστίθεται στον αντίστοιχο της εξάτμισης/πυρόλυσης της οργανικής ύλης από τις κορυφές S1 και S2 και έτσι υπολογίζεται ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC). Οι δείκτες οξυγόνου και υδρογόνου (Oxygen and Hydrogen Index) υπολογίζονται στην συνέχεια ως οι λόγοι $(S3/TOC \cdot 100)$ και $(S2/TOC \cdot 100)$ αντίστοιχα. Η γραφική απεικόνιση των τιμών των δύο αυτών δεικτών (Σχήμα 5.13) δημιουργεί ένα διάγραμμα ανάλογο του διαγράμματος van Krevelen. Το διάγραμμα αυτό επιτρέπει τον χαρακτηρισμό της οργανικής ύλης και τον βαθμό της θερμικής ωριμότητας της (Πασαδάκης 2007).



Σχήμα 5.5: Σχηματική απεικόνιση δεικτών οξυγόνου και υδρογόνου (OI, HI)

5.1.5 ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

Για την αναγνώριση της ορυκτολογικής σύστασης δειγμάτων, χρησιμοποιείται η μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων x (XRD). Η μέθοδος XRD (X-Ray Diffraction), επιτρέπει την απευθείας μέτρηση των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως καθώς και των γωνιών πρόσπτωσης (Κωστάκης, 1992).

Ο πρώτος που χρησιμοποίησε τις ακτίνες-χ για κρυσταλλογραφική ανάλυση ήταν ο Bragg, το 1913. Η περίθλαση των ακτίνων-χ στους κρυστάλλους συμβαίνει όταν αυτές προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου. Αν θεωρηθεί ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων, τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση, την απόσταση d , τότε σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει:

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

Όπου : $n \rightarrow$ τάξη ανάκλασης,

$\lambda \rightarrow$ μήκος κύματος

$d \rightarrow$ πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου

$\theta \rightarrow$ γωνία πρόσπτωσης

Αφού τα δείγματα αναλυθούν στο περιθλασίμετρο, τα αποτελέσματα έχουν την μορφή μιας καμπύλης με διάφορες κορυφές παρόμοιας με αυτή των αποτελεσμάτων της μεθόδου XRF, όπου κάθε κορυφή αντιστοιχεί στο επίπεδο ανάκλασης του κρυσταλλικού πλέγματος των ορυκτών που υπήρχαν στο δείγμα. Για την αναγνώριση των ορυκτών χρησιμοποιείται βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει τις κορυφές ανάκλασης κάποιων ήδη ταυτοποιημένων ορυκτών, οπότε και με αντιστοίχιση εξάγεται η ορυκτολογική σύσταση του δείγματος.

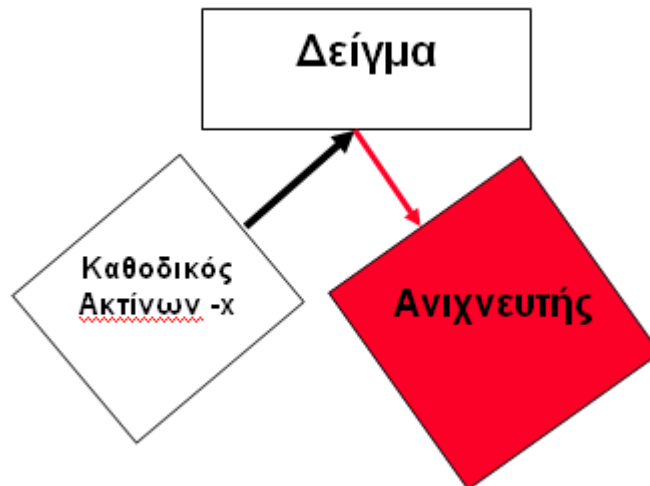
Το περιθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου D - 500 Siemens του Εργαστηρίου Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

5.1.6 ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRF)

Γενικά η μέθοδος XRF βασίζεται στην μέτρηση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα άτομο ενός στοιχείου όταν αυτό βομβαρδίζεται με μία συγκεκριμένη ακτινοβολία. Η μέθοδος γενικά είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη διότι έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

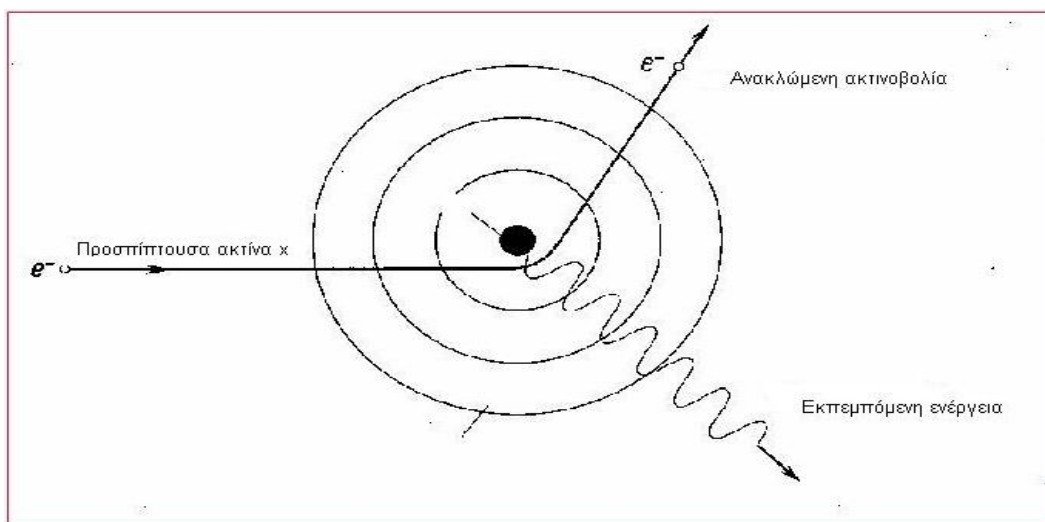
- Μικρή σχετικά προετοιμασία των δειγμάτων, υγρών και στερεών.
- Η ανάλυση δεν είναι καταστροφική για το δείγμα.
- Παρέχει ακριβή και γρήγορα αποτελέσματα για ποσότητες από μερικά ppm έως και 100% του δείγματος.
- Μπορεί να εξετάσει μεγάλο εύρος στοιχείων (από το Na μέχρι το U).
- Η ανάλυση που παρέχεται είναι ποιοτική αλλά και ποσοτική.

Υπάρχουν δύο κύρια είδη αναλυτών XRF τα οποία διαφέρουν ως προς την διάταξη του ανιχνευτή ακτινοβολίας, το WDX-XRF και το EDX-XRF το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη ανάλυση.



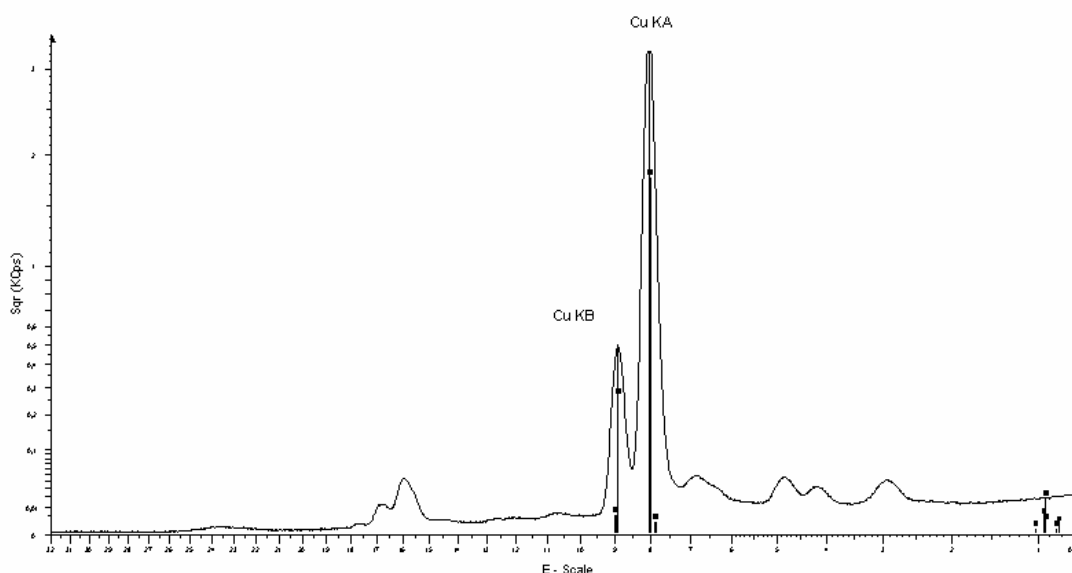
Σχήμα 5.6:Χαρακτηριστική διάταξη XRF

Στο σχήμα 5.14 βλέπουμε την χαρακτηριστική διάταξη ανιχνευτή, καθοδικού σωλήνα και δείγματος που συναντάται στους ED-XRF ανιχνευτές, ενώ στο παρακάτω σχήμα 5.15 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο προκαλείται η εκπομπή ακτινοβολίας από τα άτομα κάθε στοιχείου.



Σχήμα 5.7: Αρχή λειτουργίας XRF

Η προσπίπτουσα ακτίνα x μεταφέρει συγκεκριμένη ενέργεια στο άτομο της ουσίας το οποίο με την σειρά του αποβάλλει την «παραπανίσια» ενέργεια εκπέμποντας ένα κβάντο ή αλλιώς ένα πακέτο ενέργειας. Η ενέργεια του κβάντου εξαρτάται από το πόσο ισχυρά δεμένα είναι τα ηλεκτρόνια κάθε ατόμου με τον πυρήνα του, και είναι χαρακτηριστική κάθε στοιχείου. Έτσι ο ανιχνευτής του οργάνου λαμβάνοντας σήμα για κάθε κβάντο που εκπέμπεται παρουσιάζει μία καμπύλη στην οποία φαίνεται η ενεργειακή στάθμη κάθε «χτυπήματος» και η ποσότητα των χτυπημάτων που δέχτηκε κατά την ανάλυση ενός δείγματος.



Σχήμα 5.8: Καμπύλη αποτελεσμάτων XRF

Από την καμπύλη αυτής της μορφής μπορούμε στην συνέχεια να αναγάγουμε κάθε κορυφή της σε ένα στοιχείο, βασιζόμενοι στο μήκος κύματος άρα και την

ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, ενώ από το ύψος της καμπύλης βρίσκουμε την ποσόστωση του αντίστοιχου στοιχείου στο δείγμα.

5.1.7 ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Η φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ) βασίζεται στη μέτρηση της απορρόφησης ακτινοβολίας χαρακτηριστικού μήκους κύματος από ελεύθερα ουδέτερα άτομα ενός στοιχείου που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση. Η ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου γίνεται είτε με φλόγα (οπότε έχουμε την φλογοφασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, ΦΦΑΑ), είτε με ηλεκτρικά θερμαινόμενο κλίβανο (οπότε έχουμε την άφλογη φασματοφωτομετρία ατομικής απορρόφησης, ΑΦΑΑ). Η διέγερση των ατόμων γίνεται με απορρόφηση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται από μία εξωτερική πηγή και διαβιβάζεται μέσα από το νέφος των ατόμων. Η ενέργεια που παρέχεται αντιστοιχεί σε αυτή που απαιτείται για μία ηλεκτρονική μετάπτωση από την θεμελιώδη κατάσταση σε μία διεγερμένη κατάσταση. Η θερμοκρασία της φλόγας πρέπει να διατηρείται κατά το δυνατό χαμηλή σε τέτοιο επίπεδο, ώστε η ενέργεια της φλόγας να επαρκεί για την ατομοποίηση του προσδιοριζόμενου στοιχείου. Στην ΦΑΑ ενδιαφέρει ο αριθμός των ατόμων στη θεμελιώδη κατάσταση, ο οποίος αντιπροσωπεύει την πλειονότητα των ατόμων μέσα στη φλόγα. Στην τεχνική αυτή ο νόμος του Beer διατυπώνεται με την σχέση:

$$A = \log(P_0/P) = 0.434 k \nu L = \lambda_1 N_0 L = \lambda_2 C$$

Όπου A = Απορρόφηση, P_0 = η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο νέφος των ατόμων, P = η ισχύς της εξερχόμενης ακτινοβολίας, μετά την διόδο από το νέφος, $k \nu$ = συντελεστής ατομικής απορρόφησης, ο οποίος είναι ανάλογος προς τον αριθμό των ατόμων που απορροφούν την ακτινοβολία συχνότητας ν , άρα και της συγκέντρωσης του διαλύματος, λ_1, λ_2 = σταθερές αναλογίας που σχετίζονται με τον συντελεστή ατομικής απορρόφησης και εξαρτώνται από τις πειραματικές συνθήκες, L = το μήκος της διαδρομής που διανύθηκε μέσα στο νέφος των ατόμων, N_0 = ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται στη θεμελιώδη κατάσταση ανά μονάδα όγκου του νέφους, C = η συγκέντρωση του προσδιοριζόμενου στοιχείου στο εισαγόμενο διάλυμα.

Επειδή τελικά ισχύει ότι $A = f(C) = \lambda C$ η χρήση της εξίσωσης στην ανάλυση γίνεται με την βοήθεια πρότυπης καμπύλης αναφοράς.

5.1.8 ΠΥΡΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΧΡΥΣΟΥ

Οι κατεργασίες που εφαρμόζονται για την απομόνωση του χρυσού από τα δείγματα είναι η πυρομεταλλουργική χημική ανάλυση που περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται και αναλύονται όλα τα βήματα και οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την δειγματοληψία, την επεξεργασία και την ανάλυση των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα επεξεργασίας και ανάλυσης των ολικών ιλυολιθικών δειγμάτων, του ψαμμιτικού κλάσματος αυτών και τέλος η επεξεργασία και ανάλυση των σιδηροπυριτών.

5.2.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Στην περιοχή της Ποταμίδας Κισσάμου του νομού Χανίων συλλέχθηκαν τα εξής δείγματα:

23 ιλυολιθικά δείγματα 7 kg το καθένα (POTA 1 – 23)

1 δείγμα σιδηρούχας κρούστας που αναπτύχθηκε σε ψαμμιτική στρώση (POTA 24)

2 δείγματα σιδηροπυριτών διαφορετικού σχήματος (Α επιμήκη, Β στρογγυλά)

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε δύο φυσικά πρανή της μη στρωσιγενούς ιλυολιθικής ακολουθίας, στην στρωματογραφική επαλληλία των Νεογενών σχηματισμών που εμφανίζονται και δομούν πιθανώς το κεντρικό τμήμα της ιζηματογενούς λεκάνης του Καστελίου, στην εν λόγω περιοχή (φωτογραφία 5.1).



Φωτογραφία 5.2: Περιοχή δειγματοληψίας, όψη προς ανατολικά

Κάθε δείγμα είχε περίπου 1m υψομετρική διαφορά από το άλλο. Η συλλογή έγινε σε 2 διαφορετικές γραμμές δειγματοληψίας ώστε να συμπεριληφθούν και τα 2 πρηνή του σχηματισμού (φωτογραφία 5.2). Δύο από τα δείγματα (Pota 5 και Pota 12) πάρθηκαν από δύο διαφορετικές θέσεις (στα δυο διαφορετικά πρηνή) που στρωματογραφικά βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο. Από το συνολικά περίπου 40 μέτρων εμφανούς πάχους σχηματισμό πάρθηκαν δείγματα στα πρώτα 25 περίπου μέτρα, που με βάση τις βιβλιογραφικές αναφορές καλύπτουν το στρωματογραφικό εύρος του ανώτερου Τορτονίου – Μεσσήνιου.



Φωτογραφία 5.3:Κάτοψη της περιοχής μελέτης και σημεία δειγματοληψίας με τη βοήθεια του GoogleEarth

5.2.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΟΛΙΚΩΝ ΙΛΥΟΛΙΘΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Αρχικά, όλα τα δείγματα (εκτός των σιδηροπυριτών) οδηγήθηκαν στα εργαστήρια εμπλουτισμού μεταλλευμάτων όπου και σπάστηκαν σε σιαγονωτό σπαστήρα (φωτογραφία 5.3), σε μέγεθος 30 mm περίπου και διαχωρίστηκαν με τη βοήθεια του διαχωριστή Jones, ώστε να είναι πιο εύκολη η μετέπειτα επεξεργασία τους. Τα 2 δείγματα σιδηροπυριτών (ΦΑ ΦΒ) επεξεργάστηκαν ξεχωριστά (βλέπε ενότητα 5.4). Για το δείγμα της κρούστας (POTA 24) ακολουθήθηκε επίσης διαφορετική διαδικασία. Η ιδιαιτερότητά του έγκειται στο γεγονός ότι το δείγμα αυτό δεν ήταν χαλαρό ίζημα αλλά είχε μεγάλη πυκνότητα και σκληρότητα σε σχέση με τους ιλυόλιθους, όπως επίσης και μηδενική σχεδόν υγρασία.

Το δείγμα που είχε επιλεγεί έπρεπε να έχει μέγιστο μέγεθος κόκκων 4 mm. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκε ξανά ο σιαγονωτός σπαστήρας, αυτή την φορά στο ελάχιστο δυνατό άνοιγμα. Ύστερα, υπό την δράση νερού, πραγματοποιήθηκε υγρή κοσκίνιση στο κόσκινο των 0,063mm. Το συγκρατούμενο κλάσμα του δείγματος απομονώθηκε για την διαδικασία επεξεργασίας και ανάλυσης που περιγράφεται παρακάτω (ενότητα 5.2.3).



Φωτογραφία 5.4: Σιαγωνωτός σπαστήρας

Πριν την υγρή κοσκίνιση, απομονώθηκε ένα μέρος των ολικών δειγμάτων (ψαμμιτικό και ιλυολιθικό κλάσμα) για την κοκκομετρική ανάλυσή τους. Έτσι, για τα 23 ολικά δείγματα, εκτός του δείγματος της κρούστας, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι για την κοκκομετρική ανάλυση του υλικού ώστε τα αποτελέσματα να συγκριθούν μεταξύ τους. Οι μέθοδοι αυτοί ήταν η κοκκομετρική ανάλυση με αναλυτή laser (Mastersizer S) και η κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο.

Αν και δεν υπήρχε θεωρητικά πρόβλημα ομογενοποίησης των δειγμάτων διότι με την παραμονή τους σε υδατικό διάλυμα επακολουθούσε ρευστοποίηση, θεωρήθηκε αναγκαίο να συγκριθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον αναλυτή laser με αποτελέσματα των ιδίων δειγμάτων που αναλύθηκαν με υγρόμετρο. Στην πρώτη μέθοδο (Mastersizer S) η ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν της τάξης του 0,5 gr, ενώ με την μέθοδο του υγρόμετρου χρησιμοποιήθηκε δείγμα βάρους 400 gr.

5.2.2.1 Επεξεργασία δεδομένων και αποτελέσματα Mastersizer S και Υγρόμετρου

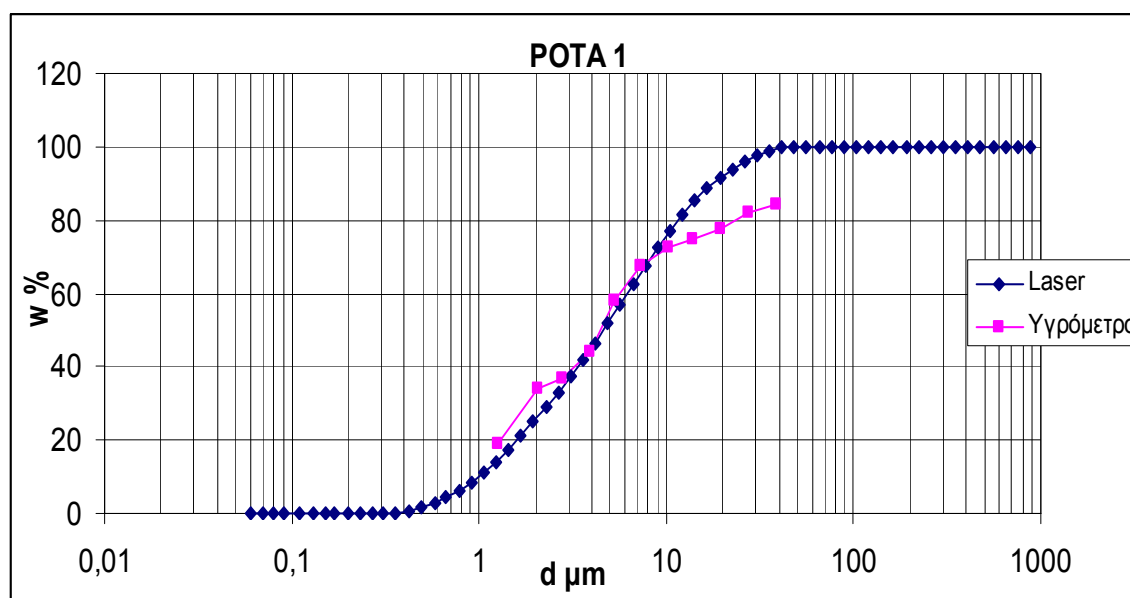
Χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής Laser για είκοσι τρία (23) δείγματα (εκτός του δείγματος της κρούστας) και μάλιστα σε τρία (3) από αυτά έγιναν δύο (2) με τρεις (3) επαναλήψεις των αναλύσεων. Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία των εκτυπωμένων αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν οι κοκκομετρικές καμπύλες των

δειγμάτων ,οι οποίες μελετήθηκαν και παρατηρήθηκε ότι η κοκκομετρία του υλικού είναι σχεδόν ίδια για όλα τα δείγματα και το υλικό είναι πολύ λεπτόκοκκο.

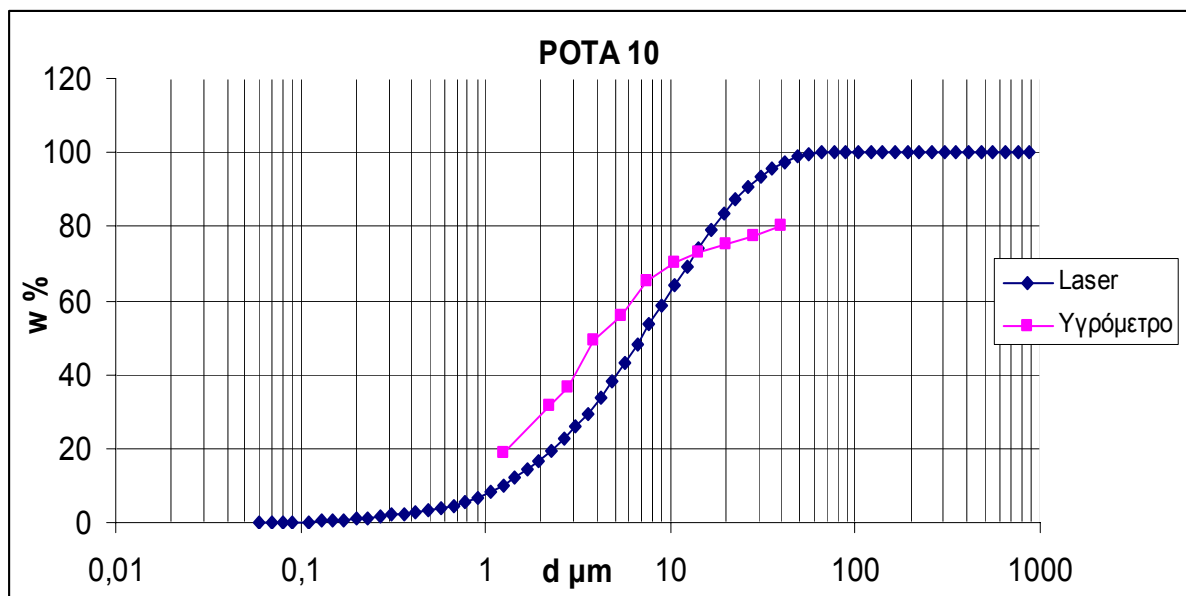
Όπως διακρίνεται από τις καμπύλες κατανομής, οι οποίες παρατίθενται παρακάτω για 4 δείγματα (pota 1, 10, 15, 23), πρόκειται για μια «ομαλή κατανομή» με αργιλικό κλάσμα ($< 0,0020 \text{ mm}$) της τάξης του 20% και ιλυολιθικό κλάσμα ($0,0625 \text{ mm}$ έως $0,0020 \text{ mm}$) 80%. Οπότε τα δείγματα είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκα και μπορούν να χαρακτηριστούν με βάση το κοκκομετρικό τους μέγεθος ως **αργιλώδης ιλύς**.

Η μέθοδος του υγρόμετρου χρησιμοποιήθηκε ενδεικτικά, επίσης για τα τέσσερα ίδια δείγματα (pota 1, 10, 15, 23). Μελετώντας τις κοκκομετρικές καμπύλες, οι οποίες προέκυψαν και παρατίθενται παρακάτω, παρατηρήθηκε ότι η κατανομή είναι επίσης κανονική και το υλικό αποτελείται κυρίως από ιλύ, σε ποσοστό περίπου 75% και από άργιλο, σε ποσοστό περίπου 25%. Οπότε τα ίδια δείγματα σε σύγκριση με την προηγούμενη μεθοδολογία (ανάλυση Laser) δείχνουν μια ανεκτή απόκλιση της τάξης του 5% και εμπίπτουν επίσης στην περιοχή **αργιλώδης ιλύς**.

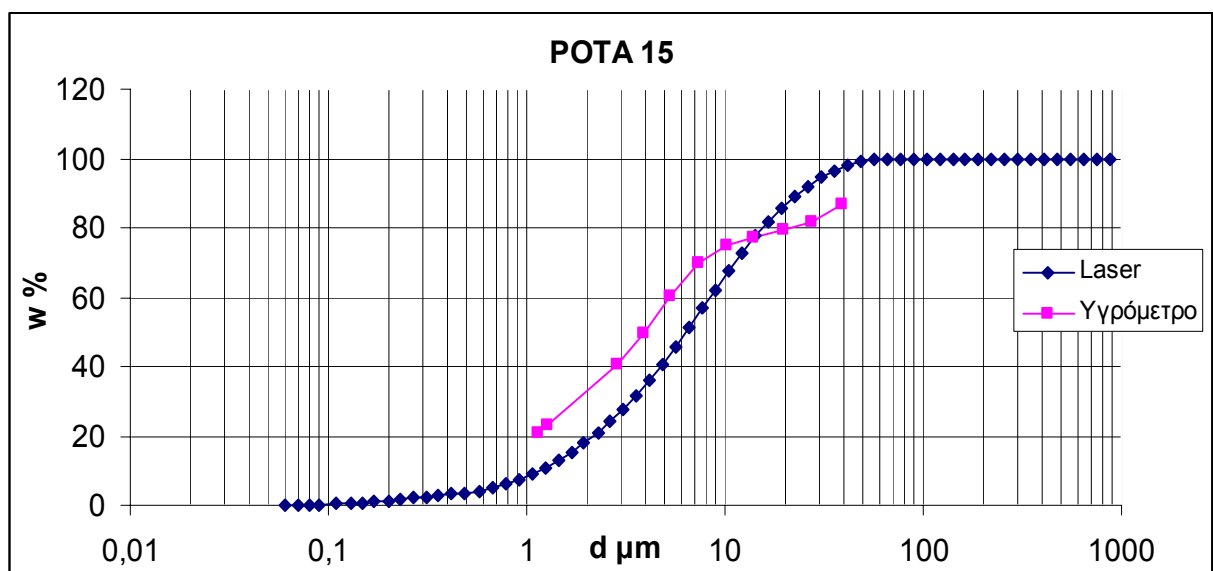
Στην συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά οι κοκκομετρικές καμπύλες που αντιστοιχούν στα δείγματα pota 1, pota 10, pota 15 και pota 23 (σχήματα 5.1, 5.2, 5.3, 5.4) για την σύγκριση των δυο μεθόδων.



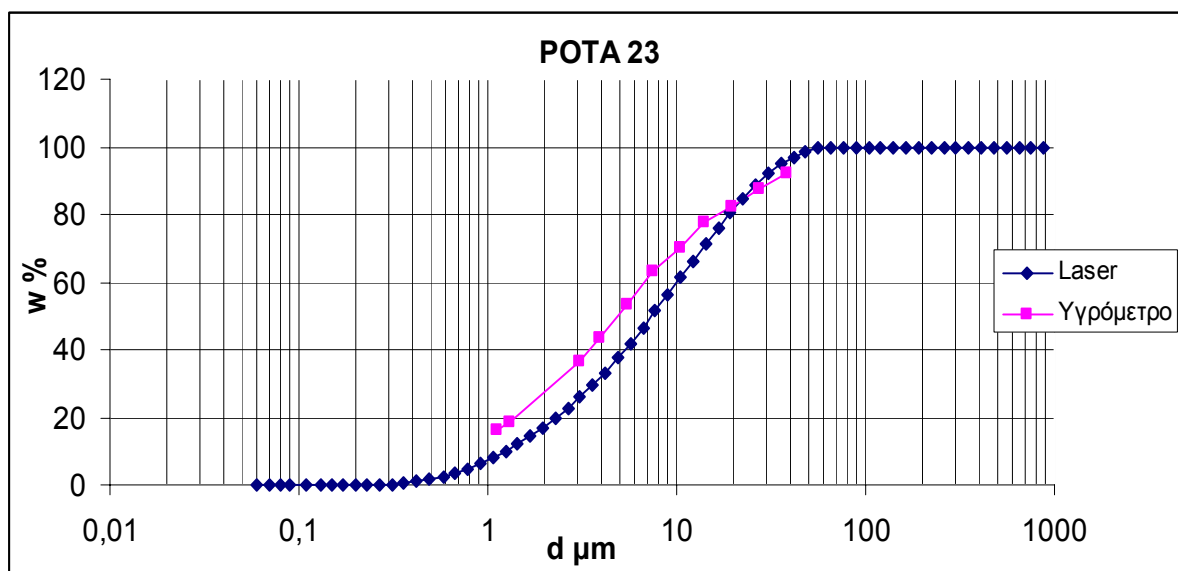
Σχήμα 5.9: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 1



Σχήμα 5.10: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 10



Σχήμα 5.11: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 15



Σχήμα 5.12: Κοκκομετρικές καμπύλες δείγματος pota 23

5.2.2.2 Μέτρηση pH

Η πρώτη εργαστηριακή επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε ήταν η μέτρηση του pH στα είκοσι τρία ιλυολιθικά δείγματα (εξαιρέθηκε η κρούστα POTA 24) και η οποία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας, με τη βοήθεια του ειδικού ηλεκτρονικού pHμέτρου InoLab και του μαγνητικού αναδευτήρα. Σκοπός της μέτρησης είναι η επιβεβαίωση της βασικής (ανθρακικής) σύστασης των δειγμάτων, κάτι το οποίο θα δειχθεί και με τις επόμενες αναλύσεις.

Για την μέτρηση του pH ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

20 gr δείγματος αναδεύεται σε 40 ml απιοντισμένου νερού. Το αφήνουμε να ηρεμίσει για 10 λεπτά και ύστερα το αναδεύουμε πάλι. Τέλος, το αφήνουμε να ηρεμήσει άλλα 5 λεπτά και παίρνουμε την μέτρηση με το ειδικό ηλεκτρόδιο του οργάνου.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Δείγμα	pH	T (C°)
Pota 1	7,9	19,5
Pota 2	8,15	19,3
Pota 3	8,35	19,4
Pota 4	8,2	19,3
Pota 5	8,05	19,2
Pota 6	8,28	19,3
Pota 7	8,05	19,1
Pota 8	8,5	19
Pota 9	8,55	18,9
Pota 10	8,24	19
Pota 11	8,22	18,9
Pota 12	8,15	19,2
Pota 13	8,51	19,5
Pota 14	8,4	19,4
Pota 15	8,33	19,4
Pota 16	8,25	19,4
Pota 17	8,24	19,4
Pota 18	8,28	19,3
Pota 19	8,43	19,3
Pota 20	8,28	19,4
Pota 21	8,07	19,3
Pota 22	8,33	19,3
Pota 23	8,28	19,2

Πίνακας 5.1 : Αποτελέσματα μετρήσεων pH

Το βασικό pH (> 7) που προέκυψε μας οδηγεί σε ένα πρώτο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ανθρακικής σύστασης ιλυολιθικά δείγματα.

5.2.2.3 Επεξεργασία δειγμάτων και αποτελέσματα Ασβεστιμετρίας

Εκτέλεση Μεθόδου

- Ποσότητα από το δείγμα 0,6-0,7 gr (έως 1 gr σε περιπτώσεις χαμηλών αναμενόμενων περιεκτικοτήτων σε ανθρακικό συστατικό) μεταφέρεται στην κωνική φιάλη του ασβεστίμετρου μαζί με δοκιμαστικό κυλινδρικό σωλήνα που περιέχει διάλυμα HCl 1:3.
- Η φιάλη κλείνει με το πώμα του οργάνου και προτού ανακινηθεί κλείνει και η στρόφιγγα ώστε να παρεμποδιστεί η διαφυγή του εκλυόμενου αερίου στην ατμόσφαιρα. Η φιάλη ανακινείται μέχρις ότου ολοκληρωθεί η αντίδραση του οξέος με το δείγμα.

- Το αέριο που εκλύεται εκτοπίζει τη στήλη του κόκκινου διαλύματος (ελαφρά οξινομένο διάλυμα νερού με μερικές σταγόνες HCl και την προσθήκη δείκτη ερυθρού του μεθυλίου).
- Αφού εξισορροπηθεί η πίεση μέσα στη στήλη με την ατμοσφαιρική, καταγράφεται η ένδειξη από τη βαθμονομημένη κλίμακα του οργάνου, που αντιστοιχεί στον όγκο (σε ml) του αερίου που εκλύθηκε κατά την αντίδραση.
- Παράλληλα με τα άγνωστα δείγματα, μετράται πρότυπο δείγμα ασβεστολίθου, στην προκειμένη περίπτωση περιεκτικότητας 99,01% σε $CaCO_3$ (43,56% CO_2) για να υπολογιστεί ένας συντελεστής διόρθωσης (για τη βαθμονόμηση του οργάνου) ενώ επίσης καταγράφονται η πίεση και η θερμοκρασία κατά την διάρκεια του πειράματος για την αναγωγή του εκλυόμενου όγκου CO_2 σε Κ.Σ..
- Η τάση ατμών του νερού P_{H_2O} απαιτείται προκειμένου να βρούμε την τάση P_{CO_2} και για δεδομένη θερμοκρασία και δίνεται από πίνακα.
- Συνίσταται η μέτρηση παραπάνω του ενός προτύπου όταν πρόκειται να μετρηθούν πάνω από πέντε δείγματα.
- Από το ποσοστό επί τοις εκατό σε CO_2 που προσδιορίζεται μετά τις απαραίτητες διορθώσεις ως προς τα πρότυπα και τις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος, υπολογίζεται στοιχειομετρικά η περιεκτικότητα του δείγματος σε $CaCO_3$.

Υπολογισμοί

Αρχικά υπολογίζεται το ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος του CO_2 που εκλύεται από κάθε δείγμα για να αναχθεί στη συνέχεια, σε ποσοστό επί τοις εκατό σε ανθρακικό ασβέστιο στο δείγμα. Ο υπολογισμός γίνεται σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- Μετατροπή του όγκου του CO_2 που μετράται σε όγκο σε κανονικές συνθήκες.

$$V_{\text{Κ.Σ.}} = [(P - P_{H_2O}) * (\epsilon \nu \delta \epsilon \iota \xi \eta) * 273] / [(273 + \theta) * 760]$$

- Η περιεκτικότητα Π% του προτύπου σε CO_2 είναι:

$$\Pi\% = [\epsilon \nu \delta \epsilon \iota \xi \eta] / [\mu \acute{\alpha} \zeta \alpha] * 0,196$$

όπου $0,196 = M.B._{CO_2} / 22400 * 100$

- Μετατροπή του όγκου του CO_2 σε γραμμάρια CO_2

$$\text{Τα } 22400 \text{ ml } CO_2 \text{ σε Κ.Σ.} \rightarrow 44 \text{ gr } CO_2$$

$$\text{Τα } V_{\text{Κ.Σ.}} \text{ ml } CO_2 \quad \rightarrow \quad \frac{44 * V_{\text{Κ.Σ.}}}{22400} \quad \text{gr } CO_2$$

- Ο συντελεστής διόρθωσης είναι: $\Sigma\Delta = 43,56 / \Pi\%$
- Στην περίπτωση που υπεισέρχονται περισσότερα από 1 πρότυπα θα πρέπει να προσδιοριστεί η μέση τιμή των προτύπων και βάσει αυτής να γίνει διόρθωση των αντίστοιχων τιμών για τα άγνωστα δείγματα.
- Από τις διορθωμένες περιεκτικότητες του δείγματος σε CO_2 και τα αντίστοιχα μοριακά βάρη, υπολογίζεται η περιεκτικότητα σε $CaCO_3$. Δεδομένου ότι 1 gr CO_2 αντιστοιχούν 2,273 gr $CaCO_3$, το ποσοστό του περιεχόμενου ασβεστίτη(%) είναι: **Ασβεστίτης (%) = $V_{CO_2} * 0,196 * \Sigma\Delta / M$**

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα της μεθόδου αναγράφονται στο παρακάτω πίνακα:

Δείγμα	Βάρος δείγμ.	P	T	P _{H2O}	V _{CO2} total	V _{CO2} ασβεστ.	% CO ₂	% CO ₂	Ασβεστίτης
	(gr)	(mmHg)	(°C)	-	(ml)	ΚΣ (ml)	std ασβεσ.	ασβεστίτη	%
Πρότυπο Cc-1	0,6857	755	28	26,739	181	157,31	44,96	43,56	99,01
Πρότυπο Cc-2	0,6291	755	28	26,739	157,5	136,88	42,65	43,56	99,01
Πρότυπο Cc-3	0,6096	755	28	26,739	156	135,58	43,59	43,56	99,01
pota 1	0,6329	755	28	26,739	57,5	49,97	43,73	15,41	35,04
pota 2	0,6354	755	28	26,739	58	50,41	43,73	15,49	35,21
pota 3	0,6559	755	28	26,739	55	47,80	43,73	14,23	32,34
pota 4	0,6283	755	28	26,739	58,5	50,84	43,73	15,80	35,91
pota 5	0,6306	755	28	26,739	58,5	50,84	43,73	15,74	35,78
pota 6	0,6540	755	28	26,739	54	46,93	43,73	14,01	31,85
pota 7	0,6414	755	28	26,739	56	48,67	43,73	14,81	33,67
pota 8	0,6087	755	28	26,739	59,5	51,71	43,73	16,59	37,70
pota 9	0,6692	755	28	26,739	68	59,10	43,73	17,24	39,19
pota 10	0,6322	755	28	26,739	54,5	47,37	43,73	14,63	33,25
pota 11	0,6093	755	28	26,739	56,5	49,10	43,73	15,73	35,76
pota 12	0,6651	755	28	26,739	58,5	50,84	43,73	14,92	33,92
pota 13	0,6362	755	28	26,739	52	45,19	43,73	13,87	31,52
pota 14	0,6304	755	28	26,739	56	48,67	43,73	15,07	34,26
pota 15	0,647	755	28	26,739	48,5	42,15	43,73	12,72	28,91
pota 16	0,6055	755	28	26,739	50,5	43,89	43,73	14,15	32,17
pota 17	0,6382	755	28	26,739	58,5	50,84	43,73	15,55	35,35
pota 18	0,6032	755	28	26,739	55	47,80	43,73	15,47	35,17
pota 19	0,642	755	28	26,739	46,5	40,41	43,73	12,29	27,94
pota 20	0,6183	755	28	26,739	56,5	49,10	43,73	15,51	35,24
pota 21	0,6201	755	28	26,739	52	45,19	43,73	14,23	32,34
pota 22	0,6395	755	28	26,739	57	49,54	43,73	15,12	34,38
pota 23	0,6121	755	28	26,739	60	52,15	43,73	16,63	37,81
pota 24	0,6116	755	28	26,739	28,5	24,77	43,73	7,91	17,97

Πίνακας 5.2 : Αποτελέσματα μεθόδου Ασβεστιμετρίας

Διαπιστώνουμε ότι τα ποσοστά του ασβεστίτη είναι αρκετά υψηλά, εκτός του τελευταίου δείγματος (POTA 24) που είναι η σιδηρούχα κρούστα. Αυτό δικαιολογεί και τα αποτελέσματα των μετρήσεων pH που προηγήθηκαν. Επίσης, όπως θα παρατηρήσουμε στις παρακάτω αναλύσεις (XRF, XRD), επαληθεύεται το γεγονός ότι τα συγκεκριμένα ιλυολιθικά δείγματα είναι ασβεστιτικά. Έτσι θα μπορούσαμε να τα χαρακτηρίσουμε με βάση τη σύστασή τους ως μαργαϊκούς ιλιόλιθους.

5.2.2.4 Παράθεση αποτελεσμάτων μεθόδου Rock-Eval (TOC)

Η μέτρηση του ολικού οργανικού άνθρακα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Χημείας και Τεχνολογίας Υδρογονανθράκων με την μέθοδο Rock-Eval, που περιγράφηκε παραπάνω, σε όλα τα ιλυολιθικά δείγματα, συμπεριλαμβανομένου της σιδηρούχας κρούστας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Sample	Mass (mg)	Tmax (K)	S1	S2	S3	TOC (%)
POTA 1	75	427	0	0,05	0,66	0,24
POTA 2	73	363	0,05	0,17	0,72	0,26
POTA 3	72,3	363	0,04	0,15	0,65	0,21
POTA 4	69,3	425	0	0,05	0,54	0,19
POTA 5	71	372	0,05	0,18	0,66	0,27
POTA 6	69	359	0,05	0,18	0,65	0,29
POTA 7	67,8	361	0,05	0,13	0,72	0,26
POTA 8	66,1	433	0	0,06	0,57	0,25
POTA 9	76,4	382	0,01	0,03	0,61	0,25
POTA 10	67,7	364	0,05	0,23	0,66	0,26
POTA 11	74,3	349	0,08	0,22	0,59	0,26
POTA 12	67,9	374	0	0,04	0,67	0,2
POTA 13	67,8	365	0,02	0,11	0,7	0,24
POTA 14	68,9	359	0,02	0,14	0,66	0,23
POTA 15	64	381	0,07	0,23	0,84	0,34
POTA 16	61,4	362	0,04	0,13	0,68	0,23
POTA 17	70	372	0,04	0,1	0,62	0,26
POTA 18	75,1	353	0	0,03	0,58	0,22
POTA 19	66,8	351	0,07	0,17	0,65	0,26
POTA 20	71,8	372	0,05	0,13	0,75	0,25
POTA 21	67,6	369	0,05	0,16	0,71	0,34
POTA 22	74,2	354	0	0,02	0,66	0,2
POTA 23	67,4	411	0,05	0,07	0,84	0,21
POTA 24	74,6	445	0,01	0,04	1,97	0,11

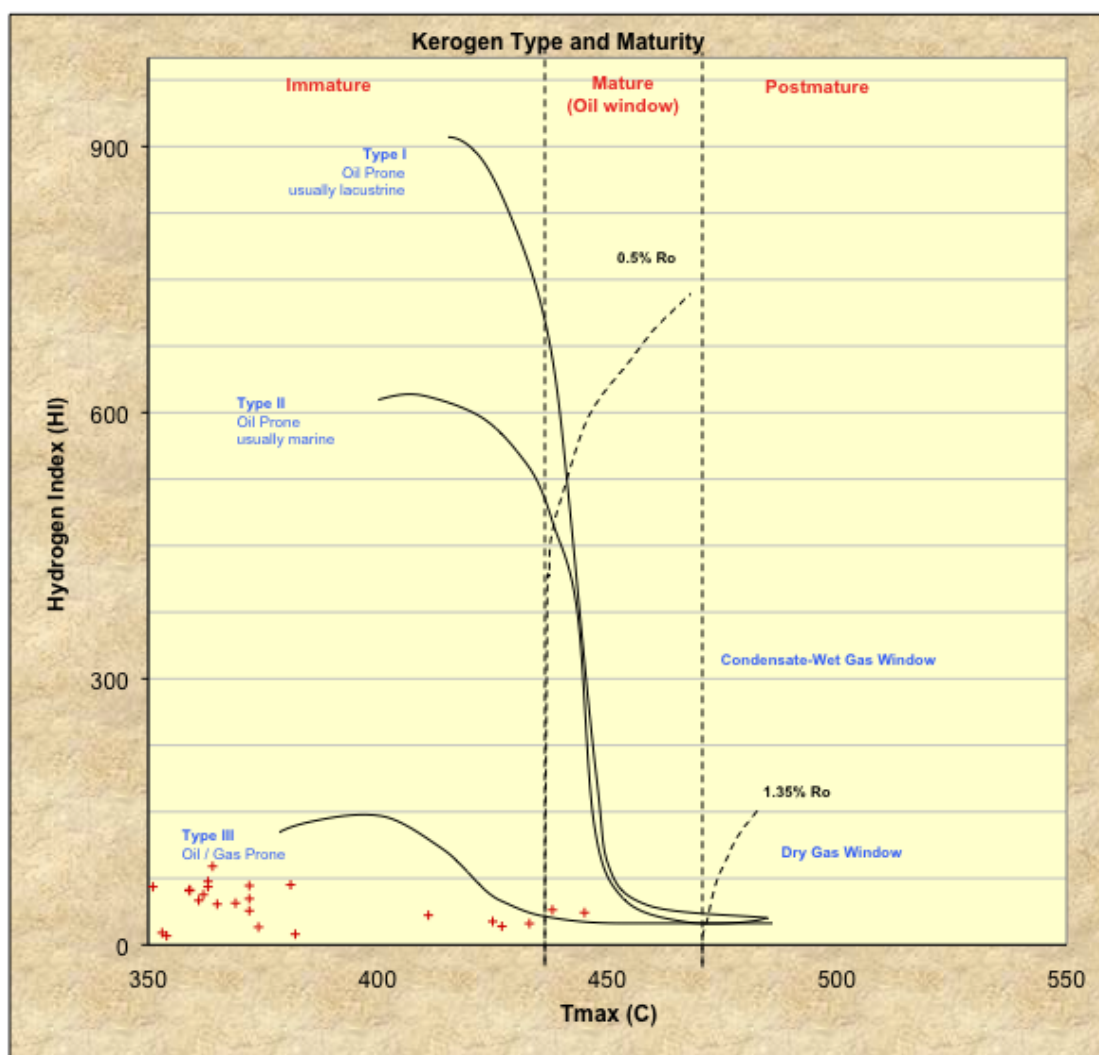
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα ανάλυσης ολικού οργανικού άνθρακα (TOC)

Παρατηρούμε ότι η ποσότητα του ολικού οργανικού άνθρακα δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στα ιλυολιθικά δείγματα. Εξαίρεση αποτελεί το

δείγμα της σιδηρούχας κρούστας το οποίο παρουσιάζει την μικρότερη ποσότητα ολικού οργανικού άνθρακα. Όπως αναφέραμε στο τρίτο κεφάλαιο, τα σύγχρονα ιλυολιθικά πετρώματα περιέχουν ένα ποσοστό οργανικής ύλης, περίπου 3-5%, η οποία προέρχεται από εισαγωγή αιωρούμενου, οργανικού υλικού στη ζώνη της απόθεσης της ιλύος. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων τα οποία δείχνουν μια σχετική ομοιογένεια σε μικρή σχετικά περιεκτικότητα ολικού οργανικού άνθρακα μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την προέλευση των ιζημάτων για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα (ψευδο) van Krevelen. Από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι η οργανική ύλη είναι ανώριμη, χερσαίας προέλευσης.



BASILINE RESOLUTION, INC.
ANALYTICAL LABORATORIES



Σχήμα 5.13: Προβολή των τιμών TOC σε διάγραμμα (ψευδο) van Krevelen

5.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΨΑΜΜΙΤΙΤΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΙΛΥΟΛΙΘΩΝ

Μετά τη θραύση των 23 ιλυολιθικών δειγμάτων και των μεθόδων που αναλύθηκαν παραπάνω, πραγματοποιήθηκε υγρή κοσκίνηση με χρήση του κοσκίνου των 0,063mm και έτσι διαχωρίστηκε το ιλυολιθικό από το ψαμμιτικό κλάσμα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα της υγρής κοσκίνησης 400 γραμμαρίων από κάθε δείγμα (εκτός της κρούστας) η οποία πραγματοποιήθηκε για μια πρώτη εκτίμηση της ποσότητας του ψαμμιτικού κλάματος των ιλυολίθων και του ποσοστού του παραμένοντος υλικού.

Δείγματα	Αρχικό Υλικό (gr)	Παραμένον Υλικό +63 μ m (gr)	Παραμένον Υλικό +63 μ m (%)
POTA 1	400	8.768	2,2
POTA 2	400	9.504	2,4
POTA 3	400	8.462	2,1
POTA 4	400	10.482	2,6
POTA 5	400	10.760	2,7
POTA 6	400	7.115	1,8
POTA 7	400	10.177	2,5
POTA 8	400	8.097	2,0
POTA 9	400	8.899	2,2
POTA 10	400	8.848	2,2
POTA 11	400	10.617	2,6
POTA 12	400	10.154	2,5
POTA 13	400	7.774	1,9
POTA 14	400	10.415	2,6
POTA 15	400	7.783	1,9
POTA 16	400	10.613	2,6
POTA 17	400	11.839	3,0
POTA 18	400	9.086	2,3
POTA 19	400	8.729	2,2
POTA 20	400	9.700	2,4
POTA 21	400	10.404	2,6
POTA 22	400	80,400	20,1
POTA 23	400	6.839	1,7

Πίνακας 5.4: Παραμένον ψαμμιτικό κλάσμα από 400 gr αρχικού υλικού

Διαπιστώνουμε ότι κατά την υγρή κοσκίνηση περνούσε το σύνολο σχεδόν του υλικού καθώς ήταν πολύ λεπτόκοκκο με αποτέλεσμα το παραμένον ψαμμιτικό υλικό να βρίσκεται σε πολύ μικρή ποσότητα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει και τις αναλύσεις Laser και αραιομέτρου που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Εξαίρεση αποτελεί το δείγμα POTA 22 στο οποίο το ποσοστό του παραμένοντος

υλικού είναι περίπου δεκαπλάσιο σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι επειδή το δείγμα αυτό βρίσκεται στην μετάβαση προς τον ψαμμιτικό ορίζοντα, με αποτέλεσμα την αύξηση του χονδροκόκκου κλαστικού υλικού.

Για τις ανάγκες της εργασίας, επιλέχθηκαν 8 αντιπροσωπευτικά δείγματα (συμπεριλαμβανομένου της κρούστας POTA 24) τα οποία επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με μεθόδους που περιγράφηκαν παραπάνω, τα αποτελέσματα των οποίων παρατίθενται στις παρακάτω ενότητες. Τα δείγματα που επιλέχθηκαν είναι: POTA 1, 4, 8, 12, 18, 22, 23, 24.

5.2.3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων XRD

Η τελική επεξεργασία των δεδομένων, η ταυτοποίηση και η ημιποσοτική ανάλυση των ορυκτών έγινε με την χρήση του λογισμικού EVA. Η ορυκτολογική σύσταση που προέκυψε, καθώς και η ποσοστιαία ημιποσοτική ανάλυσή τους παρουσιάζεται στον πίνακα 5.6.

Ορυκτολογική σύσταση	POTA 1 (%)	POTA 4 (%)	POTA 8 (%)	POTA 12 (%)	POTA 18 (%)	POTA 22 (%)	POTA 23 (%)	POTA 24 (%)
Ασβεστίτης	22,4	19,0	26,1	20,5	20,5	39,3	35,3	19,3
Χαλαζίας	30,1	37,4	29,8	27,9	33,2	5,7	12,7	7,3
Μοσχοβίτης	24,7	18,7	20,8	22,2	23,1	17,5	23,4	15,4
Σιδηροπυρίτης	7,6	5,9	6,2	4,8	6,8	5,1	4,1	-
Παραγονίτης	6,2	8,6	6,2	13,4	6,7	-	-	-
Χλωρίτης	4,0	4,4	4,0	4,6	4,0	4,2	3,3	-
Δολομίτης	5,0	5,9	7,0	6,7	5,6	17,7	11,1	-
Αραγονίτης	-	-	-	-	-	10,6	7,4	-
Γύψος	-	-	-	-	-	-	2,8	38,4
Γκαιτίτης	-	-	-	-	-	-	-	19,6

Πίνακας 5.5: Ποσοστιαία ημιποσοτική ορυκτολογική ανάλυση μεθόδου περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD)

Τα κύρια ορυκτά οι συναθροίσεις των οποίων έχουν δημιουργήσει το ψαμμιτικό κλάσμα των ιλυολίθων και τα οποία απαντώνται και στα 8 δείγματα είναι Χαλαζίας+ Ασβεστίτης + Μοσχοβίτης + Σιδηροπυρίτης + Χλωρίτης + Δολομίτης και έπονται τα ορυκτά Παραγονίτης ± Αραγονίτης ± Γύψος (Πίνακας 4.6). Στην σιδηρούχα κρούστα του ψαμμίτη εκτός από τα κύρια ορυκτά (Χαλαζίας + Ασβεστίτης + Μοσχοβίτης + Σιδηροπυρίτης) εντοπίστηκε Γκαιτίτης και Γύψος.

Επίσης, στα δείγματα POTA 22 και POTA 23 παρατηρούμε σχεδόν το διπλάσιο ποσοστό του ορυκτού Ασβεστίτη και το σχετικά πολύ μικρότερο ποσοστό του ορυκτού Χαλαζία.

Όπως φαίνεται από την χωρική κατανομή της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων, μπορούν να χαρακτηριστούν ορυκτολογικά ομοιογενείς. Η ανεύρεση του ορυκτού γύψος στη σιδηρούχα κρούστα επιβεβαιώνει το (από την βιβλιογραφία γνωστό) στρωματογραφικό όριο μεταξύ Ανώτερου Τορτονίου – Μεσσηνίου.

Ορυκτό	Χημικός τύπος
Χαλαζίας	SiO ₂
Ασβεστίτης	CaCO ₃
Χλωρίτης	(Mg, Fe) ₅ (Al, Si) ₅ O ₁₀ (OH) ₈
Αραγονίτης	CaCO ₃
Παραγονίτης	NaAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂
Γύψος	CaSO ₄ (H ₂ O) ₂
Δολομίτης	(Ca,Mg)CO ₃
Σιδηροπυρίτης	FeS ₂
Γκαιτίτης	α-Fe ₂ O ₃ H ₂ O

Πίνακας 5.6: Χημική σύσταση των ορυκτών που εντοπίστηκαν με την μέθοδο XRD

Όσο αναφορά την ορυκτολογική ανάλυση του ιλυολιθικού κλάσματος (- 0,063mm), αυτή αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για την διπλωματική εργασία του Μαργαρίτη Γιώργου με θέμα: ‘Γεωλογική Μελέτη για την Ανίχνευση και τον Εντοπισμό Ιχθών Χρυσού σε Ιλυολίθους του Νεογενούς στη Δυτική Κρήτη’. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά τα αποτελέσματα αναλύσεων XRD της διπλωματικής εργασίας του Μαργαρίτη Γιώργου, για τα συγκεκριμένα 8 δείγματα που αναλύθηκαν και στην παρούσα εργασία για το ψαμμιτικό κλάσμα (+ 0,063mm).

A/A Δείγματος	Τύπος Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	A/A Δείγματος
pota 1	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης Καολινίτη	Παραγωνίτης Μοντοριλλονίτης Αραγονίτης Δολομίτης
pota 4	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Παραγωνίτης Αραγονίτης Δολομίτης Καολινίτης
pota 8	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Παραγωνίτης Μοντοριλλονίτης Αραγονίτης Δολομίτης
pota 12	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Παραγωνίτης Αραγονίτης Δολομίτης Καολινίτης
pota 18	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Παραγωνίτης Αραγονίτης Δολομίτης Καολινίτης
pota 22	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Παραγωνίτης Αραγονίτης Δολομίτης Καολινίτης
pota 23	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Παραγωνίτης Αραγονίτης Δολομίτης Καολινίτης
pota 24	Ιλυόλιθος	Χαλαζίας Ασβεστίτης Ιλλίτης Χλωρίτης	Δολομίτης Βασανίτης Γκαιτίτης

**Πίνακας 5.7: Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης δειγμάτων (XRD)
(από Μαργαρίτη 2009)**

5.2.3.2 Αποτελέσματα αναλύσεων XRF

Η μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων X (XRF), η οποία εφαρμόστηκε στα 8 δείγματα που επιλέξαμε, πραγματοποιήθηκε για να αποκτήσουμε γνώση σχετικά με την χημική σύσταση των δειγμάτων. Αυτό θα μας βοηθήσει και στην πυρομεταλλουργική διεργασία (ενότητα 5.2.3.3) όπου είναι αναγκαία η χημική σύσταση των συγκεκριμένων δειγμάτων. Η μέθοδος αυτή μπορεί να εντοπίσει μόνο ενώσεις που βρίσκονται σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 0,02% στο δείγμα που αντιστοιχεί σε 200 ppm δηλαδή 200 gr ανά τόνο μεταλλεύματος. Η περιεκτικότητα αυτή είναι υπερβολικά μεγάλη για χρυσό και γι' αυτό σκοπός της ανάλυσης XRF δεν είναι να εντοπιστεί χρυσός αλλά να αποκτηθεί μια πρώτη εκτίμηση για την δομή και την σύσταση του δείγματος.

Συγκεκριμένα, έγινε ανάλυση XRF στο ψαμμιτικό κλάσμα των δειγμάτων pota1, pota 4, pota 8, pota 12, pota 18, pota 22, pota 23 και στο κατάλληλα προετοιμασμένο, όπως περιγράφεται παραπάνω, pota 24.

Για την κατασκευή των ταμπλετών πάρθηκαν 5 gr από το κάθε προς ανάλυση δείγμα και προστεθήκαν 10% κ.β. Wax.

Οι μετρήσεις έγιναν στο εργαστήριο Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας. Τα αποτελέσματα της μεθόδου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	pota 1 (%)	pota 4 (%)	pota 8 (%)	pota 12 (%)	pota 18 (%)	pota 22 (%)	pota 23 (%)	pota 24 (%)
Na ₂ O	-	6,04	-	-	-	8,5	8,58	5,27
MgO	-	1,99	1	2,41	-	4,54	2,83	2,47
Al ₂ O ₃	3,14	3,64	3,32	4,61	3,73	1,99	2,6	1,97
SiO ₂	40,41	46,13	39,4	43,43	46,9	13,06	20,28	9,58
P ₂ O ₅	0,22	0,28	0,22	0,22	0,2	0,41	0,41	0,69
SO ₃	8,13	5,82	6,01	3,71	5,85	2,73	7,38	29,75
Cl		0,16	-	0,08	0,07	0,16	0,13	0,05
K ₂ O	0,72	1,06	0,81	1,58	0,92	0,63	0,85	0,72
CaO	34,42	25,54	37,33	30,94	30,86	60,39	44,06	26,15
TiO ₂	0,53	0,63	0,63	0,77	0,79	0,29	0,37	0,19
V	-	-	-	-	-	-	0,03	0,02
Cr	-	0,02	-	0,01	0,01	0	0,01	0,01
MnO	-	0,03	-	0,13	0,07	0,13	0,07	0,05
Fe ₂ O ₃	11,97	8,33	10,83	11,74	10,17	6,59	10,86	21,55
Ni	-	0	-	0,01	-	0	0	0,01
Cu	-	-	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
ZnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03
Rb	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
SrO	0,38	0,23	0,38	0,28	0,35	0,54	0,53	0,58
ZrO ₂	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	-	0,02	-
BaO	-	-	-	-	-	-	0,94	0,87
PbO	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03
Sum	100	100	100	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.8: Αποτελέσματα XRF (με κόκκινο χρώμα τονίζονται τα σημαντικότερα οξείδια)

Οι ποσοστιαίες αναλογίες των οξειδίων των στοιχείων που μετρήθηκαν διαφοροποιούν την σιδηρούχα κρούστα (pota 24) από τα δείγματα του ψαμμιτικού κλάσματος των ιλυολίθων. Οι υψηλές τιμές **29,75%** για το SO₃ και **21,55%** για το Fe₂O₃ συνδέονται η πρώτη με το ορυκτό Γύψος και η δεύτερη με το ορυκτό Γκαιτίτη, που αναγνωρίστηκαν με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X. Επίσης, το δείγμα POTA 22 παρουσιάζει σχεδόν το διπλάσιο ποσοστό σε CaO λόγω του διπλάσιου ποσοστού Ασβεστίτη (39,3%) αλλά και του ορυκτού Αραγονίτη

(10,6%) που εντοπίστηκαν και μετρήθηκαν με τη μέθοδο XRD (βλ. Πίνακα 5.6). Το ίδιο συμβαίνει και με το δείγμα POTA 23 αλλά σε μικρότερο βαθμό. Αξιόλογη είναι και η διαφορά των δυο αυτών δειγμάτων στο ποσοστό του SiO_2 , καθώς είναι πολύ μικρότερο από τα υπόλοιπα δείγματα, όπως φαίνεται και από τη μέθοδο XRD (στο ορυκτό του Χαλαζία, βλ. Πίνακα 5.6).

Γενικώς, το ψαμμιτικό κλάσμα των ιλυολίθων δεν παρουσιάζει, μεταξύ των δειγμάτων, μεγάλες αποκλίσεις στη χημική σύσταση, γεγονός που δείχνει ότι το σύνολο των γεωλογικών διεργασιών που οδήγησε στην απόθεση των ιλυολίθων (μητρικά πετρώματα, διεργασίες διάβρωσης μεταφοράς και απόθεσης, τεκτονική δραστηριότητα, κλιματικοί παράγοντες) παρέμειναν κατά το γεωλογικό αυτό διάστημα σχετικά σταθερές. Οι υψηλές σχετικές τιμές του οξειδίου του ασβεστίου δείχνουν ότι σε μεγάλο ποσοστό οι πηγές τροφοδοσίας των ιλυολίθων ήταν ανθρακικά πετρώματα ενώ οι υψηλές σχετικές τιμές του σιδήρου παραπέμπουν αφ' ενός στην ύπαρξη σιδηροπυριτών που αφθονούν στα ανοξικά περιβάλλοντα των ιλυολίθων και αφ' εταίρου σε πρωτογενή κλαστικού τύπου μεταφορά και συναπόθεση οξειδίων του σιδήρου.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ενδεικτικά τα αποτελέσματα αναλύσεων XRF της διπλωματικής εργασίας του Μαργαρίτη Γιώργου που αφορά το ιλυολιθικό κλάσμα (- 0,063mm) των ίδιων δειγμάτων.

	pota 1	pota 4	pota 8	pota 12	pota 18	pota 22	pota 23	pota 24
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Na2O	0	0	3,69	0	3,97	0	7,68	4,3
MgO	3,6	2,28	3,47	2,11	3,1	2,06	3,49	2,33
Al2O3	7,07	6,57	5,58	7,44	6,02	7,46	5,93	3,27
SiO2	41,91	41,88	38,25	42,75	40,16	41,99	36,28	19,48
P2O5	0,18	0,18	0,15	0,18	0,22	0,26	0,49	0,6
SO3	0,37	0,38	0,29	0,25	0,3	0,39	0,44	21,56
Cl	0,07	0	0,07	0	0,1	0,03	0,16	0,06
K2O	3,28	2,23	2,91	2,52	3,17	2,41	2,98	1,38
CaO	32,99	36,26	35,45	33,89	32,86	34,53	33,4	23,9
TiO2	1,01	1	1,05	1,08	0,94	1,05	0,81	0,38
V	0	0	0	0	0	0	0	0,03
Cr	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02
MnO	0,16	0,1	0,13	0,1	0,17	0,14	0,15	0,07
Fe2O3	9,07	8,82	8,65	9,38	8,64	9,38	7,87	20,96
Ni	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
Cu	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
ZnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04
Rb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01
SrO	0,13	0,16	0,16	0,16	0,18	0,17	0,18	0,56
ZrO2	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
Nb	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0
BaO	0	0	0	0	0,03	0	0	0,95
PbO	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0,01	0	0,03
Sum	100	100	100	100	100	100	100	100

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα XRF (από Μαργαρίτη 2009)

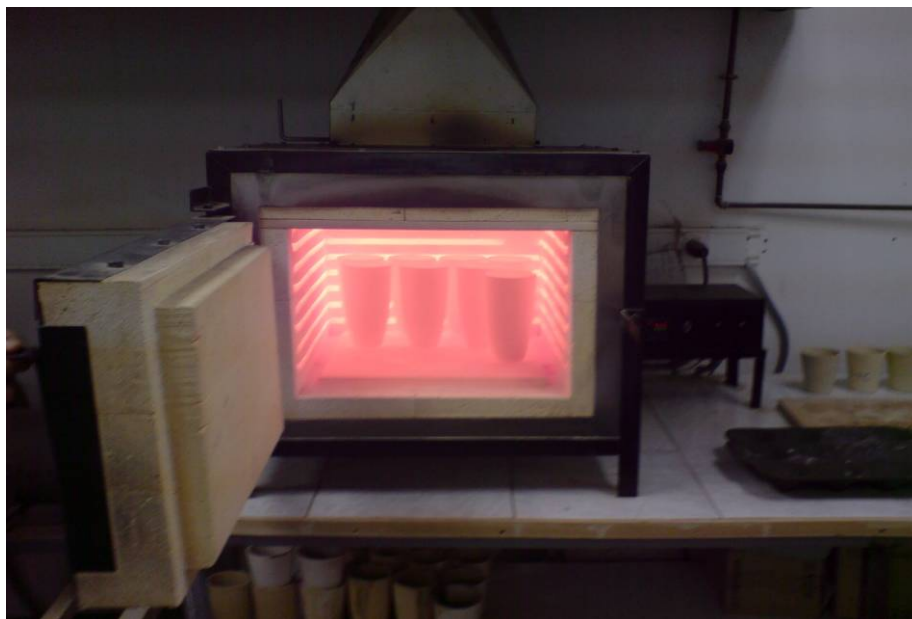
5.2.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΥΡΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Για να είναι δυνατή η ανάλυση των δειγμάτων και ο υπολογισμός της περιεκτικότητάς τους σε χρυσό είναι απαραίτητη η απομόνωση της μεταλλικής φάσης χρυσού του κάθε δείγματος, με την διαδικασία της αναγωγικής τήξης. Για τον σκοπό αυτό είναι αναγκαία η χρήση κάποιων προσθετικών (συλλιπασμάτων), ο ρόλος των οποίων καθώς και ο τρόπος υπολογισμού του κατάλληλου βάρους για το καθένα εξηγείται παρακάτω. Τα συλλιπάσματα αυτά ήταν:

- Ανθρακικό Νάτριο (Na_2CO_3), με αποκλειστικό σκοπό την ρύθμιση της ευτηκτότητας της σκωρίας, σε βάρος ίσο με το δείγμα του μεταλλεύματος.
- Λιθάργυρος (PbO), με σκοπό την αύξηση της ρευστότητας της σκωρίας αλλά και την δημιουργία της απαραίτητης μεταλλικής φάσης (χελώνα).
- Ανθρακικό Ασβέστιο (Ca_2CO_3), απαραίτητο για την εξουδετέρωση του βασικού οξειδίου του αργιλίου που τυχόν περιέχει το μετάλλευμα.
- Πυρίτιο (SiO_2), απαραίτητο για την εξουδετέρωση των όξινων οξειδίων που περιέχει τόσο το μετάλλευμα όσο και τα προσθετικά.

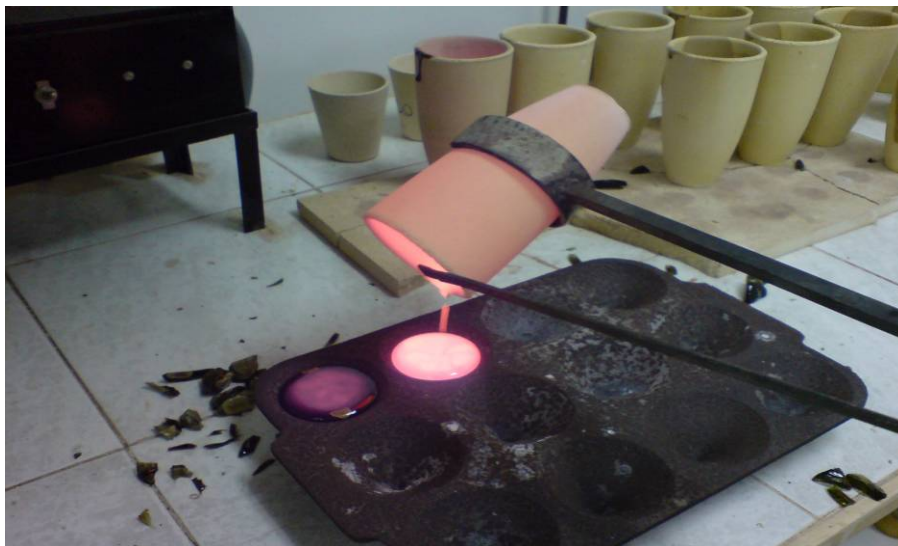
- Βόρακας ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), σε αναλογία ίση με το ένα τρίτο του απαιτούμενου πυριτίου με σκοπό την αύξηση της ευτηκτότητας.
- Αλεύρι (μαγειρικό), σαν αναγωγικό μέσο, απαραίτητο για την δημιουργία μεταλλικής φάσης στα δείγματα που δεν περιείχαν άνθρακα.
- Silver alloy, το οποίο είναι μίγμα αργύρου (Ag), αποτελούμενο από 10% w/w, νιτρικό άργυρο (AgNO_3) σε ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3). Ο άργυρος είναι απαραίτητος ώστε να δημιουργηθεί ικανοποιητική σε ποσότητα μεταλλική φάση ευγενών μετάλλων χρυσού και αργύρου (χάντρα), μετά την οξείδωση του περιεχομένου στην «χελώνα» μολύβδου.
- Νιτρικό Κάλιο (KNO_3), σαν οξειδωτικό μέσο, το οποίο προστέθηκε μόνο στα δείγματα του ενεργού άνθρακα, λόγω του ότι ο άνθρακας είναι έντονα αναγωγικός.

Αναλυτικότερα, τα δείγματα αναμίχθηκαν με τα κατάλληλα συλλιπάσματα και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν στα κατάλληλα πυρίμαχα κύπελλα. Για την αναγωγική τήξη χρησιμοποιήθηκαν 30g από τα δείγματα POTA 1, 4, 8, 12, 18, 22, 23, 24. Τα κύπελλα με την σειρά τους τοποθετήθηκαν στον φούρνο σύντηξης, στην θερμοκρασία των 950°C (έντονα αναγωγική τήξη) (φωτογραφία 5.5). Για να επέλθει πλήρης τήξη του υλικού το δείγμα έπρεπε να παραμείνει στην θερμοκρασία αυτή για περίπου δύο ώρες ενώ για να φτάσει ο φούρνος την απαιτούμενη θερμοκρασία χρειαζόταν τουλάχιστον άλλες δύο ώρες από την στιγμή της ενεργοποίησής του.



Φωτογραφία 5.5: Φούρνος σύντηξης στην θερμοκρασία των 950°C

Μετά το πέρας του απαραίτητου χρόνου, ο φούρνος ανοιγόταν για κάθε κύπελλο δείγματος το οποίο με την χρήση ειδικής μονωτικής λαβίδας μεγάλου μήκους, χυτευόταν σε ειδικά μεταλλικά καλούπια κωνικού σχήματος (φωτογραφία 5.6). Με τον τρόπο αυτό μετά την πήξη του μίγματος και λόγω της διαφοράς πυκνότητας των υλικών, στο κάτω μέρος του κώνου μαζευόταν η μεταλλική φάση (χελώνα), η οποία περιείχε πια μόνο μόλυβδο (Pb), χρυσό (Au), και άργυρο (Ag), ενώ πάνω από αυτήν στερεοποιούνταν η σκωρία (φωτογραφία 5.7).



Φωτογραφία 5.6: Διαδικασία χύτευσης



Φωτογραφία 5.7: Διαχωρισμός σκωρίας από μεταλλική φάση

Για τον διαχωρισμό των δύο φάσεων ήταν αρκετή η θραύση με σφυρί της σκωρίας, η οποία είχε πια υαλώδη μορφή, και η απομάκρυνση της «χελώνας» (φωτογραφία 5.8).



Φωτογραφία 5.8: Μεταλλική φάση (χελώνες)

Οξείδωση Μόλυβδου (Κυπέλωση)

Η μεταλλική φάση που προκύπτει από την αναγωγική σύντηξη, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για αναλυτικές μετρήσεις, λόγω της υπερβολικά μεγάλης συγκέντρωσης μόλυβδου που περιέχει.

Για να αφαιρεθεί ο μόλυβδος, οι «χελώνες» που συλλέχθηκαν, με την χρήση μικρού σφυριού, διαπλατύνθηκαν, ώστε να έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε πυρίμαχα προσροφητικά κύπελλα και επανατοποθετήθηκαν στον φούρνο σύντηξης, για μια περίπου ώρα ακόμα στους 950 °C (φωτογραφία 5.9). Με τον τρόπο αυτό ο μόλυβδος οξειδώθηκε και απομακρύνθηκε από το υπόλοιπο δείγμα είτε με την μορφή ατμού μέσω του απαγωγού του φούρνου, είτε με την μορφή ρευστού όπου και προσροφάτε από το ίδιο το κύπελλο.



Φωτογραφία 5.9: Οξείδωση μολύβδου

Τελικά μετά το πέρας της μίας ώρας, στο κύπελλο έχει απομείνει μία μικρή μεταλλική χάντρα η οποία αποτελείται από τον άργυρο, που είχε προστεθεί κατά την σύντηξη, και τον χρυσό που πιθανών να περιέχεται σε κάθε δείγμα (φωτογραφία 5.10).



Φωτογραφία 5.10: Μεταλλικές χάντρες μετά την οξείδωση

ΤΕΛΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Τελικός σκοπός της εργασίας ήταν η ανάλυση των δειγμάτων ως προς την περιεκτικότητά τους σε χρυσό με την μέθοδο φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης. Για να μπορεί να γίνει η ανάλυση, βασική προϋπόθεση είναι τα δείγματα να είναι σε μορφή διαλύματος. Έτσι, οι χάντρες που δημιουργήθηκαν κατά την πυρομεταλλουργική κατεργασία έπρεπε να διαλυτοποιηθούν.

Διαλυτοποίηση χαντρών

Η διαλυτοποίηση των χαντρών, έγινε με την χρήση πυκνού νιτρικού οξέος. Αναλυτικότερα, η κάθε χάντρα τοποθετήθηκε σε ογκομετρική φιάλη των 10ml στην οποία προστέθηκαν 0,8 ml νιτρικού οξέως (50%). Οι ογκομετρικές φιάλες τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο στους 100 °C. Σε χρονικό διάστημα, το οποίο εξαρτάται από την περιεκτικότητα των χαντρών σε χρυσό και μπορεί να κυμαίνεται από 10 min έως και αρκετές ώρες, η χάντρα οξειδώνεται και αρχίζει και διαλύεται έως ότου διαλυτοποιηθεί πλήρως ο άργυρος. Στην συνέχεια οι ογκομετρικές φιάλες απομακρύνονται από το υδατόλουτρο, και προστίθενται σε αυτές 1,2 ml υδροχλωρικού οξέος (37%). Το υδροχλωρικό οξύ επιτυγχάνει την συμπλοκοποίηση του χρυσού και του αργύρου, και προκαλεί την δημιουργία λευκού ιζήματος AgCl στον πυθμένα της ογκομετρικής φιάλης.

5.2.3.4 Εφαρμογή και αποτελέσματα των μετρήσεων με την μέθοδο της Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς που απαιτείται χρησιμοποιήθηκε αρχικό διάλυμα χρυσού συγκέντρωσης 500 ppm, από το οποίο με διαδοχικές αραιώσεις χρησιμοποιώντας την σχέση: $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$, όπου C_1 , C_2 είναι η αρχική και η τελική συγκέντρωση αντίστοιχα, και V_1 , V_2 ο αρχικός και τελικός όγκος, παρήχθησαν διαλύματα των 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 5.0 και 10 ppm.

Οι μετρήσεις έγιναν με το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης (φωτογραφία 5.11), του εργαστηρίου Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, το οποίο είναι τύπου Analyst 100 της εταιρίας Perkin Elmer.



Φωτογραφία 5.11: Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης τύπου Analyst 100 της εταιρίας Perkin Elmer

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν η περιεκτικότητα σε χρυσό κάθε διαλύματος. Για να εξαχθούν συμπεράσματα είναι απαραίτητη η μετατροπή των αποτελεσμάτων σε τιμές περιεκτικότητας επί του αρχικού δείγματος. Έτσι απαιτούνταν ο υπολογισμός του χρυσού που περιεχόταν στο διάλυμα με βάση το αποτέλεσμα της μέτρησης. Η ποσότητα αυτή ήταν η ίδια που περιεχόταν στην χάντρα κάθε δείγματος, η οποία προέκυπτε από την πυρομεταλλουργική διεργασία και αντιστοιχούσε σε ποσότητα χρυσού περιεχόμενη στα 30gr του δείγματος. Στον πίνακα 5.8 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την μέθοδο της φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης, σε τιμές περιεκτικότητας επί του διαλύματος, περιεκτικότητας επί της μεταλλικής χάντρας και τελικά επί του αρχικού δείγματος (των 30gr).

Δείγματα Ψαμμιτικού Κλάσματος και Κρούστας (+0,063 mm)				
Δείγμα	Περιγραφή δείγματος	Περιεκτικότητα διαλύματος (ppb)	Περιεκτικότητα Χάντρας σε χρυσό (mg)	Μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού στο αρχικό δείγμα (ppb)
pota 1	Ψαμμιτικό κλάσμα Ιλυόλιθου	187,00	0,001870	62
pota 4	Ψαμμιτικό κλάσμα Ιλυόλιθου	36,00	0,000360	12
pota 8	Ψαμμιτικό κλάσμα Ιλυόλιθου	31,00	0,000310	10
pota 12	Ψαμμιτικό κλάσμα Ιλυόλιθου	28,00	0,000280	9
pota 18	Ψαμμιτικό κλάσμα	26,00	0,000260	9

	Ιλυόλιθου			
pota 22	Ψαμμιτικό κλάσμα Ιλυόλιθου	27,00	0,000270	18
pota 23	Ψαμμιτικό κλάσμα Ιλυόλιθου	30,00	0,000300	20
				M.O. = 20
pota 24	Σιδηρούχα Κρούστα	36,00	0,000360	12

Πίνακας 5.10: Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα δείγματα ψαμμιτικού κλάσματος (ποσότητα των 30gr)

Ανάλυση Ολικών Ιλυολιθικών Δειγμάτων

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρυσού με τη μέθοδο φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης (ΦΑΑ) για τα ολικά ιλυολιθικά δείγματα τα οποία συμπεριλαμβάνουν και το ψαμμιτικό κλάσμα αλλά και το ιλυολιθικό κλάσμα (- 0,063 mm). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την προετοιμασία και επεξεργασία για την ανάλυση των ολικών ιλυολιθικών δειγμάτων είναι η ίδια με αυτή που περιγράφεται παραπάνω για τα δείγματα του ψαμμιτικού κλάσματος. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

Ολικά Δείγματα Ιλυολίθων				
Δείγμα	Περιγραφή δείγματος	Περιεκτικότητα διαλύματος (ppb)	Περιεκτικότητα Χάντρας σε χρυσό (mg)	Μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού στο ολικό δείγμα (ppb)
pota 1	Ιλυόλιθος	141,50	0,001415	47
pota 4	Ιλυόλιθος	77,00	0,000770	26
pota 8	Ιλυόλιθος	59,00	0,000590	20
pota 12	Ιλυόλιθος	182,00	0,001820	61
pota 18	Ιλυόλιθος	181,00	0,001810	60
pota 22	Ιλυόλιθος	169,00	0,001690	56
pota 23	Ιλυόλιθος	124,50	0,001245	42
				M.O. = 44,5
pota 24	Κρούστα	162,00	0,001620	54

Πίνακας 5.11: Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα ολικά δείγματα ιλυολίθων (ποσότητα 30 γρ.)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθούν οι αναλύσεις και για το ιλυολιθικό κλάσμα των δειγμάτων ώστε να σχηματιστεί μία άποψη για την χωρική κατανομή και το ισοζύγιο του χρυσού στα εξεταζόμενα δείγματα.

Από την διπλωματική εργασία του κυρίου Μαργαρίτη Γιώργου, Μηχανικού Ορυκτών Πόρων, με θέμα: ‘ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΙΧΝΩΝ ΧΡΥΣΟΥ ΣΕ ΙΛΥΟΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΝΕΟΓΕΝΟΥΣ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΚΡΗΤΗ’, χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων χρυσού (πίνακας 5.10) των ίδιων δειγμάτων για το ιλυολιθικό κλάσμα (-0,063 mm) ώστε να υπολογίσουμε τη συνολική περιεκτικότητα χρυσού (ψαμμιτικό+ιλυολιθικό κλάσμα) και να τη συγκρίνουμε με την μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού των ολικών ιλυολιθικών δειγμάτων (βλ. πίνακα 5.11). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των δειγμάτων αυτών είναι η ίδια με αυτή που περιγράφεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Δείγματα Ιλυολιθικού Κλάσματος (-0,063 mm)				
Δείγμα	Περιγραφή δείγματος	Περιεκτικότητα διαλύματος (ppb)	Περιεκτικότητα Χάντρας σε χρυσό (mg)	Μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού στο αρχικό δείγμα (ppb)
pota 1	Ιλυόλιθος	39.00	0.00039	13
pota 4	Ιλυόλιθος	47.00	0.00047	16
pota 8	Ιλυόλιθος	137.00	0.00137	46
pota 12	Ιλυόλιθος	39.00	0.00039	13
pota 18	Ιλυόλιθος	43.00	0.00043	14
pota 22	Ιλυόλιθος	31.00	0.00031	10
pota 23	Ιλυόλιθος	34.00	0.00034	11
				M.O. = 18
pota 24	Κρούστα	35.00	0.00035	12

Πίνακας 5.12: Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα δείγματα ιλυολιθικού κλάσματος (ποσότητα 30 γρ.) (από Μαργαρίτη 2009)

Ο ολικός περιεχόμενος χρυσός στα δείγματα είναι το άθροισμα του χρυσού που περιέχεται στο ψαμμιτικό κλάσμα (το οποίο είναι περίπου 2,5% επί του ολικού κλάσματος, βλ. πίνακα 5.4) και του χρυσού που περιέχεται στο ιλυολιθικό κλάσμα (το οποίο είναι περίπου 97,5% επί του ολικού κλάσματος). Στον παρακάτω πίνακα συγκρίνονται η **υπολογιζόμενη** συνολική περιεκτικότητα χρυσού (άθροισμα χρυσού στο ψαμμιτικό και ιλυολιθικό κλάσμα, λαμβάνοντας υπόψη τα ποσοστά στα οποία βρίσκεται το κάθε κλάσμα επί του ολικού) και η **μετρούμενη** συνολική περιεκτικότητα χρυσού (περιεκτικότητα χρυσού στο ολικό δείγμα) για κάθε δείγμα.

Δείγμα	Υπολογιζόμενη συνολική περιεκτικότητα χρυσού (ppb)	Μετρούμενη συνολική περιεκτικότητα χρυσού (ppb)
pota 1	14,1	47
pota 4	16	26
pota 8	45,1	20
pota 12	13	61
pota 18	14	60
pota 22	11,6	56
pota 23	11,2	42
pota 24	24	54
M.O	22,4	45,7

Πίνακας 5.13: Σύγκριση υπολογιζόμενης και μετρούμενης συνολικής περιεκτικότητας χρυσού στα εξεταζόμενα δείγματα

Τέλος για τον υπολογισμό του σχετικού πειραματικού σφάλματος χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$\text{Σχετικό σφάλμα} = \left| \frac{A - B}{A + B} \right|$$

Όπου Α: μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού στο ολικό δείγμα

και Β: υπολογιζόμενη συνολική (ψαμμιτικό + ιλυολιθικό κλάσμα)
περιεκτικότητα χρυσού

Δείγμα	Σχετικό πειραματικό σφάλμα (%)
pota 1	53
pota 4	24
pota 8	38
pota 12	65
pota 18	62
pota 22	66
pota 23	58
pota 24	38

Πίνακας 5.14: Πειραματικό σχετικό σφάλμα

5.2.4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΩΝ

Για την ανάλυση των σιδηροπυριτών ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία. Από την περιοχή δειγματοληψίας συλλέχθηκαν δύο είδη δειγμάτων σιδηροπυριτών (φωτογραφίες 5.12 και 5.13): το Α, σιδηροπυρίτες επιμήκους σχήματος (622 gr) και το Β, σιδηροπυρίτες στρογγυλού σχήματος (647 gr). Αρχικά τα δείγματα σπάστηκαν σε σιαγονωτό σπαστήρα και μετά οδηγήθηκαν στο σπαστήρα περιστρεφόμενων δίσκων (φωτογραφία 5.14) για επιπρόσθετη μείωση της κοκκομετρίας τους. Για την επίτευξη της τελικής επιθυμητής κοκκομετρίας, τα δύο δείγματα λειοτριβήθηκαν σε περιστρεφόμενο ραβδόμυλο.



Φωτογραφία 5.12 : Σιδηροπυρίτες επιμήκους σχήματος (Α)

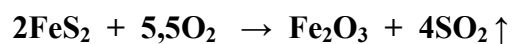


Φωτογραφία 5.13: Σιδηροπυρίτες στρογγυλού σχήματος (Β)



Φωτογραφία 5.14: Σπαστήρας περιστρεφόμενων δίσκων

Ακολούθως, σε 250 gr από το κάθε δείγμα πραγματοποιήθηκε οξειδωτική φρύξη στους 700 °C διάρκειας μίας ώρας. Ο κύριος λόγος της οξειδωτικής φρύξης είναι η διάσπαση του πλέγματος του σιδηροπυρίτη ώστε να απελευθερωθεί ο υπομικροσκοπικός χρυσός που μπορεί να βρίσκεται εγκλωβισμένος στο εσωτερικό του. Το γεγονός αυτό θα διευκολύνει την ανάλυση των δειγμάτων για τον εντοπισμό χρυσού που ακολουθεί. Επίσης με την οξειδωτική φρύξη απομακρύνεται το θείο με τη μορφή SO₂ σύμφωνα με την αντίδραση:



Μετά τη οξειδωτική φρύξη το βάρος των δειγμάτων, τα οποία ονομάστηκαν ΦΑ και ΦΒ αντίστοιχα, μειώθηκε σε 185,9 gr (ΦΑ) και 184,9 gr (ΦΒ).

5.2.4.1 Χημική Ανάλυση Σιδηροπυριτών με τη Μέθοδο XRF

Για την πυρομεταλλουργική επεξεργασία των δειγμάτων αλλά και για την γνωστοποίηση της χημικής σύστασης αυτών, ήταν απαραίτητη η χημική τους ανάλυση με τη μέθοδο φασματομετρίας ακτίνων X (XRF) (βλέπε ενότητα 5.3.2).

Τα δείγματα Α, Β, ΦΑ, ΦΒ οδηγήθηκαν στο εργαστήριο Γεωχημείας και προετοιμάστηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως περιγράφεται και στην ενότητα 5.3.2. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	A (%)	B (%)	ΦΑ (%)	ΦΒ (%)
Na ₂ O	2,53	2,05	-	-
MgO	2,26	2,37	-	-
Al ₂ O ₃	2,04	2,1	1,77	1,88
SiO ₂	7,44	7,87	11,11	11,58
P ₂ O ₅	0,56	0,62	0,11	0,1
SO ₃	53,12	52,79	5,73	5,35
Cl	0,02	-	-	-
K ₂ O	0,28	0,32	0,69	0,73
CaO	1,51	1,41	2,3	2,14
TiO ₂	0,13	0,12	0,19	0,18
V	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr	0,02	0,02	0,03	0,03
Fe ₂ O ₃	29,64	30,06	77,1	77,42
ZnO	0,15	0,1	0,37	0,25
Rb	0,01	0,01	0,02	0,02
SrO	0,03	0,01	0,07	0,04
BaO	0,16	0,04	0,3	0,07
PbO	0,08	0,07	0,18	0,17
Mo	0	0,01	0,01	0,02
Sum	100	100	100	100

Πίνακας 5.15: Αποτελέσματα XRF Σιδηροπυριτών

Τα οξείδια που βρίσκονται σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι αυτά του σιδήρου, του θείου και του πυριτίου, κάτι που είναι λογικό λόγω της γενικής χημικής σύστασης των σιδηροπυριτών. **Επίσης, παρατηρούμε, στα δείγματα μετά την οξειδωτική φρύξη (ΦΑ, ΦΒ), την αύξηση του οξειδίου του σιδήρου και την μείωση του ποσοστού του θείου, κάτι το οποίο εξηγείται στοιχειομετρικά από την παραπάνω αντίδραση φρύξης του σιδηροπυριτίτη.**

5.2.4.2 Πυρομεταλλουργική Διεργασία Σιδηροπυριτών και Αποτελέσματα Αναλύσεων Χρυσού με την Μέθοδο Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης

Μετά την χημική τους ανάλυση με την μέθοδο XRF, τα δείγματα ΦΑ και ΦΒ επεξεργάστηκαν πυρομεταλλουργικά για την απομόνωση της μεταλλικής φάσης του κάθε δείγματος, με την διαδικασία της αναγωγικής τήξης, ώστε να πραγματοποιηθεί αργότερα ο υπολογισμός της περιεκτικότητάς τους σε χρυσό (μέθοδος φασματοφωτομετρίας ατομικής απορρόφησης). Αφού, 15 gr από το κάθε δείγμα αναμίχθηκαν με τα κατάλληλα συλλιπάσματα, ακολουθήθηκε ακριβώς η ίδια διαδικασία που περιγράφεται στην ενότητα 5.3.3 και 5.3.4 για την σύντηξη του μίγματος, την χύτευσή του, τον διαχωρισμό της μεταλλικής φάσης, την οξείδωση του μολύβδου, τη δημιουργία χάντρας, την διαλυτοποίησή της και τελικά την εφαρμογή των μετρήσεων με την μέθοδο της Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης.

Στον πίνακα 5.14 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε τιμές περιεκτικότητας επί του διαλύματος, περιεκτικότητας επί της μεταλλικής χάντρας και τελικά επί του αρχικού δείγματος (των 15 gr στα ΦΑ, ΦΒ).

Δείγματα Σιδηροπυριτών				
Δείγμα	Περιγραφή δείγματος	Περιεκτικότητα διαλύματος (ppb)	Περιεκτικότητα Χάντρας σε χρυσό (mg)	Μετρούμενη περιεκτικότητα χρυσού στο αρχικό δείγμα (ppb)
ΦΑ	Φρύγμα Σιδηροπυρίτη	56,00	0,000560	37
ΦΒ	Φρύγμα Σιδηροπυρίτη	48,00	0,000480	32
				M.O = 34,5

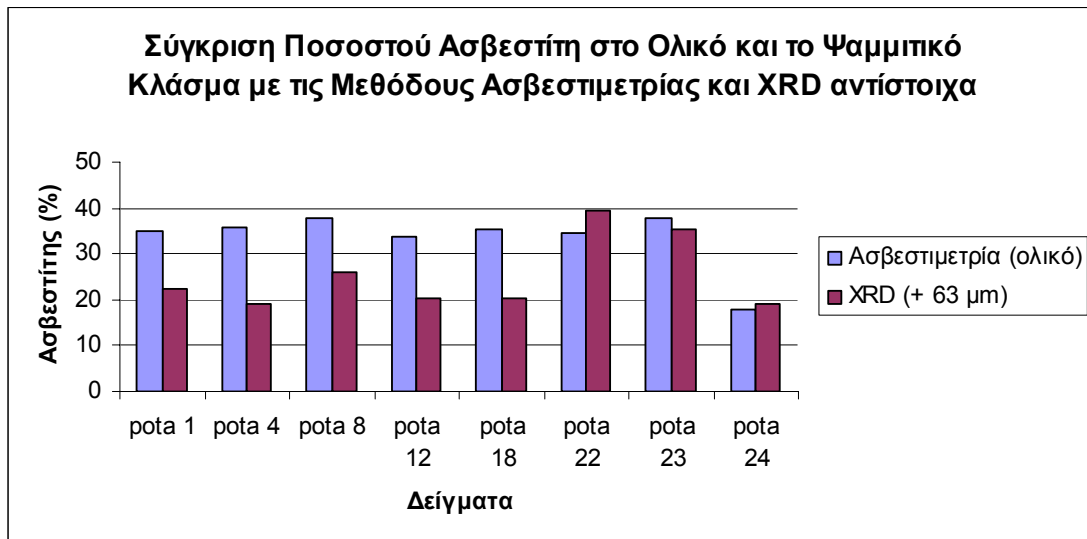
Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα μετρούμενου ολικού χρυσού στα δείγματα σιδηροπυριτών (σε 15 gr)

5.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στα πλαίσια των διαφόρων σταδίων της ολοκλήρωσης της εργασίας αυτής προέκυψαν αποτελέσματα τα οποία μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

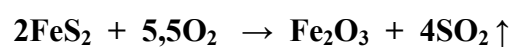
- Όπως διακρίνεται από τις καμπύλες κατανομής που προέκυψαν από την μέτρηση της κοκκομετρίας με τον αναλυτή Mastersizer S, πρόκειται για μια «ομαλή κατανομή» με αργιλικό κλάσμα της τάξης του 20% και ιλυολιθικό κλάσμα 80%. Τα δείγματα είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκα και μπορούν να χαρακτηριστούν ως αργιλώδης ιλύς. Τα ίδια δείγματα που υποβλήθηκαν σε κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο δείχνουν μια ανεκτή απόκλιση της τάξης του 5% και εμπίπτουν επίσης στην περιοχή **«αργιλώδης ιλύς».**
- Μετά την εφαρμογή της μεθόδου ασβεστιμετρίας σε όλα τα δείγματα διαπιστώνουμε ότι τα ποσοστά του ασβεστίτη είναι αρκετά υψηλά, εκτός του τελευταίου δείγματος (POTA 24) που είναι η σιδηρούχα κρούστα. Αυτό δικαιολογεί και τα αποτελέσματα των μετρήσεων pH που προηγήθηκαν, οι οποίες έδωσαν βασικά υδατικά διαλύματα των δειγμάτων.
- Η μέτρηση ολικού οργανικού άνθρακα (TOC) που πραγματοποιήθηκε σε όλα τα ολικά ιλυολιθικά δείγματα, έδωσε πολύ μικρά ποσοστά οργανικού άνθρακα τα οποία δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των, με εξαίρεση το δείγμα της σιδηρούχας κρούστας το οποίο παρουσιάζει το μικρότερο ποσοστό.
- Τα κύρια ορυκτά στο ψαμμιτικό κλάσμα των ιλυολίθων τα οποία απαντώνται και στα 8 δείγματα είναι Χαλαζίας + Ασβεστίτης + Μοσχοβίτης + Σιδηροπυρίτης + Χλωρίτης + Δολομίτης και έπονται τα ορυκτά Παραγονίτης ± Αραγονίτης.
- Στο παρακάτω σχηματικό διάγραμμα συγκρίνεται η ποσότητα του περιεχόμενου ασβεστίτη στα ολικά δείγματα (ψαμμιτικό + ιλυολιθικό κλάσμα), που μετρήθηκε με την μέθοδο ασβεστιμετρίας, με την ποσότητα του περιεχόμενου ασβεστίτη στο ψαμμιτικό κλάσμα των ιλυολίθων, που μετρήθηκε με την μέθοδο XRD. Επισημαίνεται το γεγονός ότι κατά την μέθοδο XRD πραγματοποιήθηκε ημιποσοτική ανάλυση των δειγμάτων, οπότε είναι αναμενόμενο κάποιο σφάλμα, όπως παρατηρείται παρακάτω στα δείγματα pota 22 και pota 24. Από το διάγραμμα αυτό δεν φαίνεται καμμία διαφοροποίηση της κατανομής του ασβεστίτη στο ψαμμιτικό κλάσμα εκτός από τις εμφανείς διαφοροποιήσεις που δείχνουν τα δείγματα 22 (μετάβαση προς το ψαμμιτικό στρώμα), 24 (σιδηρούχα κρούστα που επικαλύπτει το

ψαμμιτικό στρώμα) και δείγμα 23 που βρίσκεται πάνω από το ψαμμιτικό στρώμα.



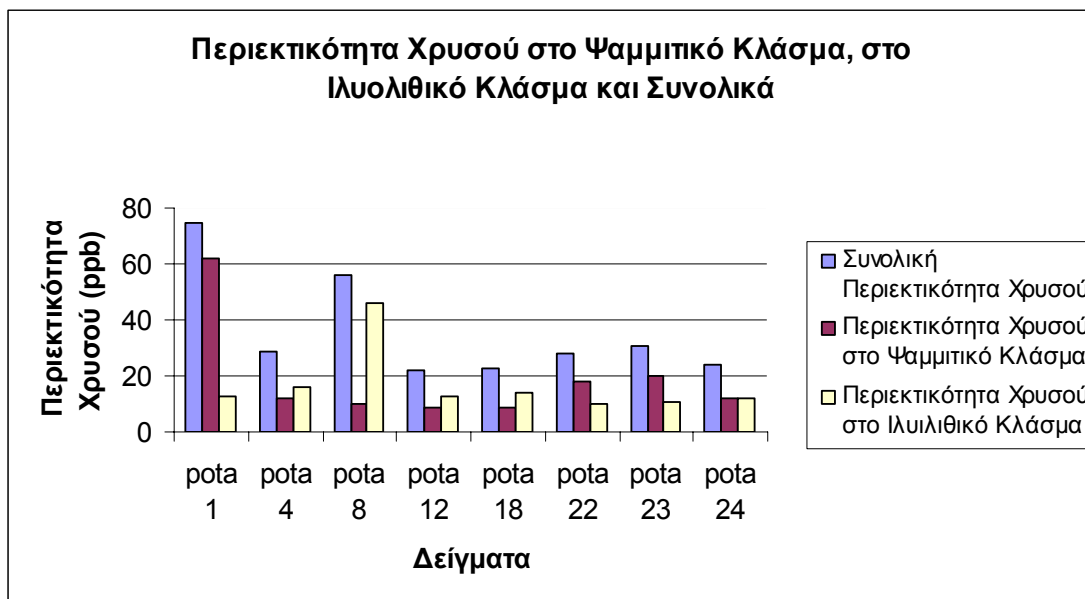
Σχήμα 5.14: Σύγκριση ποσοστού ασβεστίτη στο ολικό και το ψαμμιτικό κλάσμα με τις μεθόδους ασβεστιμετρίας και XRD αντίστοιχα

- Στο δείγμα της σιδηρούχας κρούστας αναγνωρίστηκαν με την μέθοδο της Περιθλασιμετρίας Ακτίνων Χ τα ορυκτά Γύψος και Γκαϊτίτης, όπου επιβεβαιώνεται το (από την βιβλιογραφία γνωστό) στρωματογραφικό όριο μεταξύ Ανώτερου Τορτονίου – Μεσσηνίου.
- Με την μέθοδο της Φασματομετρίας Ακτίνων Χ προσδιορίστηκαν, στα 8 επιλεγμένα δείγματα του ψαμμιτικού κλάσματος των ιλυολίθων και στα 4 δείγματα των σιδηροπυριτών, οι κύριες και οι συνοδές ποσοστιαίες αναλογίες των οξειδίων τους. Οι υψηλές σχετικά τιμές του οξειδίου του ασβεστίου, στο ψαμμιτικό κλάσμα των ιλυολίθων, δείχνουν ότι σε μεγάλο ποσοστό η πηγή τροφοδοσίας αυτών ήταν ανθρακικά πετρώματα ενώ οι υψηλές σχετικά τιμές του οξειδίου του σιδήρου παραπέμπουν αφ ενός στην ύπαρξη σιδηροπυριτών, που αφθονούν στα ανοξικά περιβάλλοντα των ιλυολίθων και αφ εταίρου σε πρωτογενή κλαστικού τύπου μεταφορά και συναπόθεση οξειδίων των σιδήρου. Στα δείγματα των σιδηροπυριτών μετά την οξειδωτική φρύξη (ΦΑ, ΦΒ), παρατηρήσαμε την αύξηση του οξειδίου του σιδήρου και τη μείωση του θειικού οξέος, που οφείλεται στην αντίδραση οξειδωτικής φρύξης του σιδηροπυρίτη:

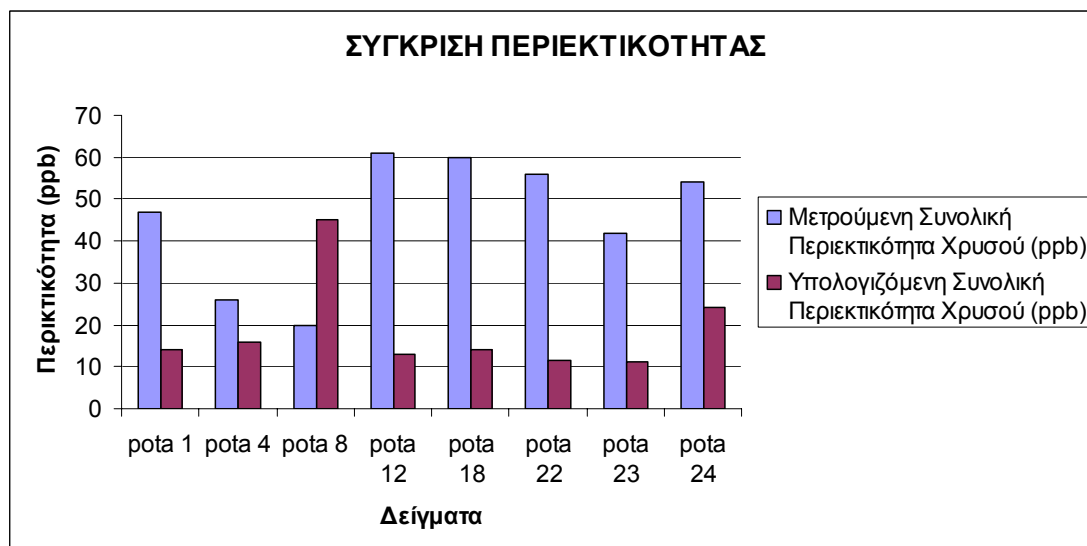


- Οι τελικές τιμές χρυσού που μετρήθηκαν με την μέθοδο της Φασματοφωτομετρίας Ατομικής Απορρόφησης στα οχτώ επιλεγμένα δείγματα

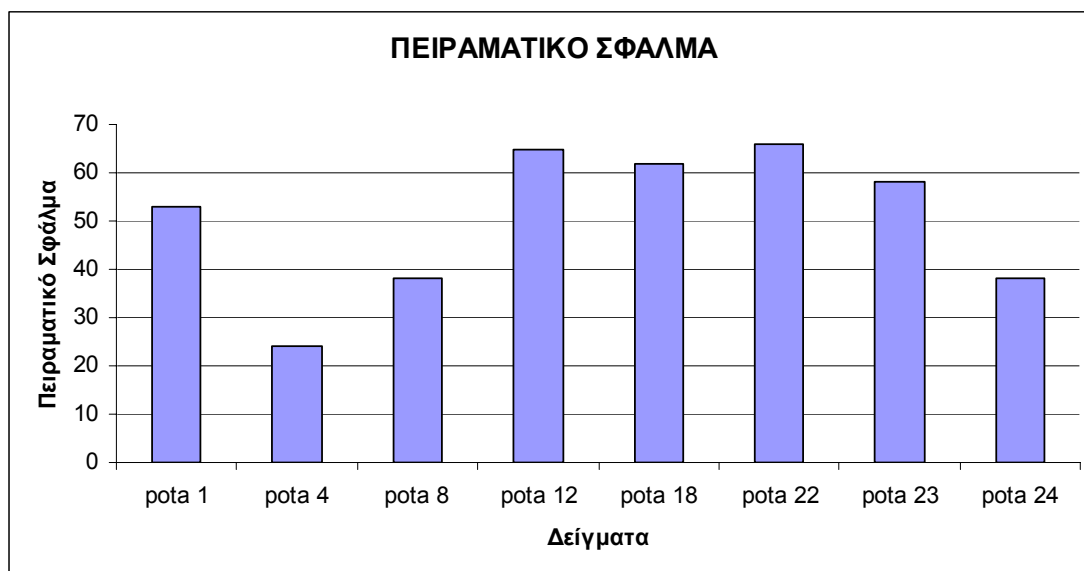
του ψαμμιτικού κλάσματος, του ιλυολιθικού κλάσματος και των ολικών δειγμάτων, αλλά και των σιδηροπυριτών, τα οποία προηγουμένως είχαν επεξεργαστεί με διεργασίες πυρομεταλλουργίας, παρατίθενται ακολούθως γραφικά:



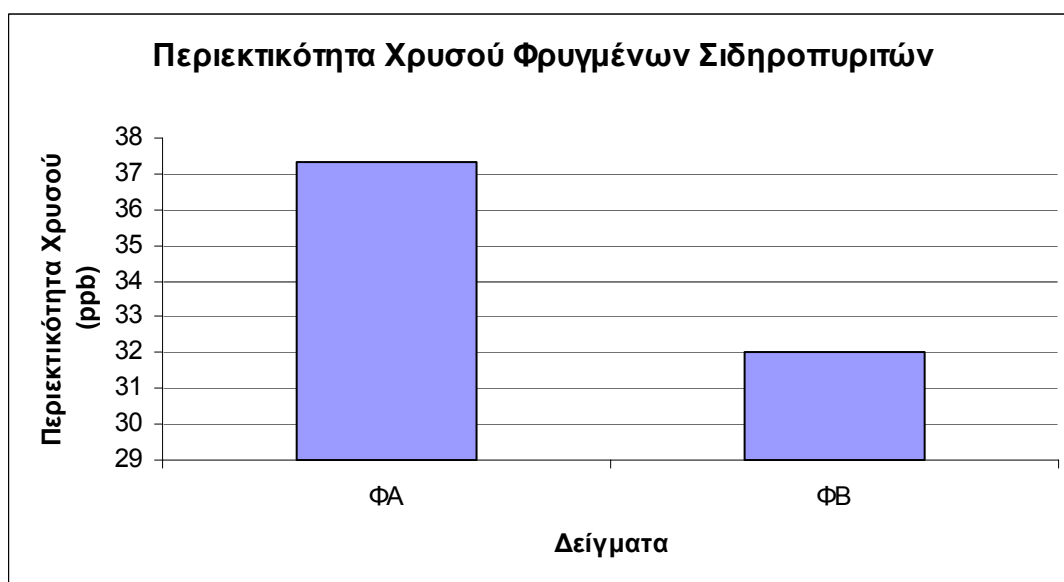
Σχήμα 5.15: Μετρούμενη Περιεκτικότητα χρυσού στο ψαμμιτικό κλάσμα, στο ιλυολιθικό κλάσμα και συνολικά



Σχήμα 5.16: Σύγκριση μετρούμενης συνολικής και υπολογιζόμενης συνολικής περιεκτικότητας χρυσού



Σχήμα 5.17: Πειραματικό σφάλμα



Σχήμα 5.18: Περιεκτικότητα χρυσού στα δείγματα των φρυγμένων σιδηροπυριτών

6.1 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα από τα προβλήματα στα οποία πρέπει να δοθεί απάντηση παρατηρώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων είναι οι διαφορετικές τιμές της υπολογιζόμενης συνολικής περιεκτικότητας χρυσού με αυτά της μετρούμενης συνολικής περιεκτικότητας χρυσού που παρατηρούνται μεταξύ των δειγμάτων.

Το σχετικό πειραματικό σφάλμα για το σύνολο των δειγμάτων προκύπτει ότι είναι της τάξεως του 24 - 66%, τιμές οι οποίες είναι μεγάλες. Πιθανές αιτίες του σφάλματος αυτού μπορούν να θεωρηθούν οι ακόλουθες:

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την μέτρηση χρυσού δεν είναι η βέλτιστη. Αν και στα πρότυπα διαλύματα χρυσού, ακόμα και των χαμηλών συγκεντρώσεων, δεν παρατηρήθηκε απόκλιση των μετρήσεων, παρόλα αυτά με την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης βρισκόμασταν στα όρια ανιχνευσιμότητας των ιχνών του χρυσού. Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι ο «φούρνος γραφίτη», για την ίδια μέθοδο, θα πρέπει να χρησιμοποιείται για αυτές τις συγκεντρώσεις.

Όπως έχει φανεί και από τις υπαίθριες παρατηρήσεις διάσπαρτοι μέσα στη μάζα των ιλυολίθων υπάρχουν κόκκοι και συσσωματώματα σιδηροπυριτών. Υπάρχουν σιδηροπυρίτες σε μέγεθος εκατοστού καθώς επίσης και διάσπαρτοι σε πολύ μικρότερο μέγεθος μέσα στην κυρία μάζα των ιλυολίθων. Σε ανοξικά περιβάλλοντα οι σιδηροπυρίτες είναι συνήθως οι φορείς του χρυσού. Υπομικροσκοπικός χρυσός βέβαια μπορεί να βρίσκεται και σε άλλα ορυκτά όπως χαλαζίας αλλά και ιλλίτης. Στην εργασία αυτήν δεν επεκταθήκαμε σε μια ενδελεχή αναζήτηση των ιχνών χρυσού σε όλα τα απίθανα ορυκτά, αλλά κυρίως σε μια πρώτη σύγκριση αποτελεσμάτων στο ολικό δείγμα, σε πιθανούς κύριους φορείς, όπως οι σιδηροπυρίτες, και στο ψαμμιτικό κλάσμα. Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στις τιμές των ιδίων, διαφορετικού όμως βάρους, δειγμάτων μπορεί να ερμηνευτεί σαν αποτέλεσμα ανισοκατανομής του υπομικροσκοπικού μεγέθους σιδηροπυριτών, που βρίσκονται διάσπαρτοι στην ιλυολιθική μάζα. Κατά τη δειγματοληψία ενός δείγματος, που έχει χρυσό σε διαλυτή μορφή, μπορεί να επέρχεται το φαινόμενο του nugget effect και να παρουσιάζονται μεγάλα σφάλματα κατά την ανάλυση.

Για την προέλευση του χρυσού πρέπει να ανατρέξει κανείς στην γεωλογική εξέλιξη της περιοχής.

6.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά το πέρας της τελευταίας Αλπικής παροξυσμικής φάσης και την ανύψωση του κύριου όγκου του Αλπικού Ορογενούς των Ελληνίδων Οροσειρών,

ακολούθησε μια περίοδος 10 - 12 περίπου εκατομμυρίων ετών με έντονες ανακατατάξεις και δημιουργία νέων περιοχών ιζηματογένεσης. Οι νέες αυτές ιζηματογενείς λεκάνες δέχθηκαν κλαστικά ιζήματα από την διάβρωση του νέου Ορογενούς. Με άλλα λόγια η λιθολογία των σχηματισμών του Νεογενούς επηρεάστηκε και καθορίστηκε από την λιθολογία των πετρωμάτων που μετά το πέρας της Αλπικής Ορογένεσης αποτελούσαν χερσογενή τμήματα υπό διάβρωση.

Πιο συγκεκριμένα, η πλειονότητα των Νεογενών εμφανίσεων της Κρήτης χαρακτηρίζεται από επιπλυσιγενείς ακολουθίες. Αυτό σημαίνει, είτε ότι έγινε μια ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης, είτε ότι οι συσχετιζόμενες περιοχές υπέστησαν βύθιση. Αυτές οι σχετικές κατακόρυφες κινήσεις λίγο ή πολύ συμπίπτουν με πολύ σημαντικές ιζηματολογικές μεταβολές. Τα ιζήματα άλλαξαν από κυρίως κλαστικά, κατά την διάρκεια του Τορτόνιου, σε κυρίως ανθρακικά κατά το Μεσσήνιο. Το χρονικό αυτό όριο είναι πολύ σημαντικό για τις περιοχές της Μεσογείου, γιατί όπως έχει αποδειχθεί στην μετάβαση από το Τορτόνιο στο Μεσσήνιο, η αλλαγή στο είδος της ιζηματογένεσης σχετίζεται πέραν της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας, με μια κλιματική αλλαγή που επηρέασε όλες τις περιοχές εντός και περίξ της Μεσογείου και είναι γνωστή σαν Messinian Event: Η έντονη τεκτονική δράση οδήγησε στην απομόνωση της Μεσογείου από τον Ατλαντικό ενώ ταυτόχρονα άρχισε να ανυψώνει πολλές περιοχές ιζηματογένεσης, δηλαδή περιοχές που δεχόταν ιζήματα πελαγικής φάσης (π.χ. αργιλικά, ιλυολίθους) άρχισαν να δέχονται νηριτικής φάσης ιζήματα (π.χ. κροκαλοπαγή, ψαμμίτες). Τα περιβάλλοντα απόθεσης δεν άλλαξαν απότομα αλλά σταδιακά, όπως σταδιακά άλλαξε και το κλίμα της περιοχής που έγινε ξηρό και θερμότερο.

Αυτή η σταδιακή αλλαγή στο είδος της ιζηματογένεσης είναι εμφανής ακόμη και στην στενή περιοχή έρευνας. Όπως φάνηκε και από τα αποτελέσματα της μεθόδου ηλεκτρικής τομογραφίας πέρα από την διάκριση του εδαφικού ορίζοντα και των ενυδατωμένων τμημάτων της ιλυολιθικής ακολουθίας, η συμπαγής ακολουθία ιλυολίθων είναι μεγαλύτερου πάχους της ορατής και μεταβαίνει στο ανώτερο τμήμα της σε ένα ψαμμιτικό στρώμα διαφορετικής λιθολογίας που οριοθετείται από δομή ξήρανσης, που είναι η σιδηρούχα κρούστα.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ορυκτολογική σύσταση των ιλυολίθων είναι σχεδόν παραπλήσια, που σημαίνει ότι δεν αλλάζει η πηγή τροφοδοσίας, η οποία δεν είναι άλλη από το μεταμορφωμένο αλπικό υπόβαθρο που υπάρχει και σήμερα στην περιοχή. Σε αυτήν την συγκεκριμένη ορυκτολογική σύσταση κρίθηκε σκόπιμο να εξεταστεί η ποσοστιαία συμμετοχή του ολικού οργανικού άνθρακα, διότι είναι γνωστό ότι ο οργανικός άνθρακας «παγιδεύει», με προσρόφηση τον χρυσό από το

νερό των πόρων (εφ' όσον υπάρχει) ενός ιζήματος που βρίσκεται στα αρχικά στάδια της διαγένεσης. Όπως έδειξαν οι μετρήσεις της μεθόδου TOC, οι περιεκτικότητες του ολικού οργανικού άνθρακα είναι πολύ μικρές και ομοιογενείς και δεν επηρεάζουν την τελική κατανομή χρυσού στα δείγματα. Ο συνδυασμός των αργιλικών κλασμάτων της Φυλλιτικής Χαλαζιακής Σειράς με τους ανθρακικούς σχηματισμούς των Πλακωδών Ασβεστολίθων, της Ενότητας του Τρυπαλίου και των υπερκειμένων ανθρακικών της Ζώνης της Τρίπολης, τροφοδότησαν τα κλαστικά ιζήματα του Νεογενούς στην περιοχή. Η εμφάνιση, ζωνών γύψου και γκαιτίτη εντός των ιλυόλιθων μαρτυρούν την αλλαγή του κλίματος. Όσο το κλίμα είναι ψυχρό και υγρό, υπερτερούν τα κλαστικά ιζήματα, όταν το κλίμα γίνεται θερμό και ξηρό, υπερτερούν τα χημικά ιζήματα. Χρονικά αυτή η εναλλαγή συμπίπτει με το χρονικό διάστημα μεταξύ 7,5 – 6 εκατομμύρια χρόνια μέχρι την εμφάνιση των μεγάλου πάχους αποθέσεων γύψου που είναι ευρέως διαδεδομένοι στους Νεογενείς σχηματισμούς του Μεσσηνίου της Κρήτης.

Είναι γνωστό από την βιβλιογραφία ότι προσχωματικός χρυσός εμπλουτίζεται σε παγετώδεις και ποτάμιες αποθέσεις. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις τα υλικά που μεταφέρονται και από τους παγετώνες και από τους ποταμούς είναι διαφορετικής κοκκομετρίας και σύστασης. Η μεγάλη διαφορά στην πυκνότητα των κόκκων που φέρουν χρυσό, κατά την κίνηση τους σε μεγάλες αποστάσεις, οδηγεί σε εγκλωβισμό και φυσικό εμπλουτισμό τους κατά θέσεις. Αυτές οι φυσικές παγίδες οδηγούν στην δημιουργία των προσχωματικών κοιτασμάτων χρυσού. Εάν υπάρξει αρκετός χρόνος και το κατάλληλο ανάγλυφο, τμήματα αυτών των ποσοτήτων χρυσού, μεταφέρονται είτε υπό μορφή συμπλόκων είτε υπό μορφή μικροσκοπικών και υπομικροσκοπικών τεμαχιδίων και εμπλουτίζουν χρονικά είτε το θαλάσσιο περιβάλλον είτε αποτίθενται. Διότι μια φυσιολογική διαδικασία διάβρωσης και άμεσης απόθεσης στο θαλάσσιο αποθετικό περιβάλλον θα οδηγούσε σε τιμές υποβάθρου. Εκτός εάν η πηγή τροφοδοσίας ήταν πολύ πλούσια σε χρυσό, κάτι που δεν έχει παρατηρηθεί. Επομένως το πρόβλημα ανάγεται στην κατανόηση της στρωματογραφικής και τεκτονικής εξέλιξης.

Προσπαθώντας να συνθέσει κανείς τα αποτελέσματα των βιβλιογραφικών αναφορών σχετικά με την τεκτονική και την στρωματογραφική εξέλιξη της ιζηματολογικής λεκάνης του Καστελίου, τμήμα της οποίας δομεί η ιλυολιθική ακολουθία στην Ποταμίδα, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι από άποψη αποθετικού περιβάλλοντος, εν μέρει αυτά είναι αντιφατικά και χρειάζονται περισσότερα στοιχεία που θα εδραιώσουν το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης. Η στρωματογραφική σχέση των

ιλυολίθων με τα νεώτερης ηλικίας πετρώματα μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τις αποθετικές διεργασίες και τελικά για το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης.

Θεωρητικά, η περιοχή κατά το ανώτερο Τορτόνιο, ήταν τεκτονικά πολύ έντονα επηρεασμένη και θα περίμενε κανείς μια ετερογένεια στην ιλυολιθική ακολουθία στην περιοχή της Ποταμίδας. Κάτι τέτοιο όμως δεν παρατηρήθηκε, αντίθετα παρατηρήθηκε μια σχετική ορυκτολογική και κοκκομετρική ομοιογένεια η οποία συνοδεύεται από μια ομοιογένεια στην χωρική κατανομή των ιχνών χρυσού. Αυτές είναι ενδείξεις ύπαρξης χρόνου αναγκαίου για την μεταφορά και απόθεση ήδη προσυγκεντρωμένων ποσοτήτων χρυσού που πιθανώς να προέρχονταν από κάποιες υπάρχουσες παγίδες.

Για να δημιουργηθούν οι φυσικές παγίδες, προϋπόθεση είναι να υπάρχει χρυσός που διαβρώνεται από τα μητρικά πετρώματα και επανάληψη διεργασιών μεταφοράς του. Στην περίπτωση της στενής περιοχής μελέτης, τα μητρικά πετρώματα της Φυλλιτικής Χαλαζιακής Σειράς, εμπεριέχουν ηφαιστειακά πετρώματα βασικής σύστασης και ταυτόχρονα χαλαζιακές φλέβες που κατά θέσεις περιέχουν χρυσό της τάξης των ppm.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μετρήθηκε η περιεκτικότητα του χρυσού στο ψαμμιτικό κλάσμα των ιλυολίθων, που αποτελεί ένα μικρό (2,5%) κλάσμα του ολικού δείγματος. Υπάρχουν όμως μετρήσεις (Μαργαρίτης, 2009) της περιεκτικότητας χρυσού στα ίδια δείγματα του ιλυολιθικού κλάσματος, καθώς επίσης τιμές περιεκτικότητας χρυσού στα ίδια δείγματα στο ολικό κλάσμα. Εάν ληφθούν υπόψη οι τιμές χρυσού που μετρήθηκαν στα δείγματα ολικού κλάσματος προκύπτει ένας συντελεστής φυσικού εμπλουτισμού 15. Συγκρίνοντας τη μέγιστη μετρούμενη τιμή (61 ppb), τη μέση τιμή των δειγμάτων (45,7 ppb) με τον μέσο όρο περιεκτικότητας χρυσού αντίστοιχων πετρωμάτων του Μεσογειακού χώρου (περίπου 3 ppb) και ταυτόχρονα, αν οι μετρούμενες τιμές συγκριθούν με τιμές που προέκυψαν με συντελεστή φυσικού εμπλουτισμού 100, όπως παρατηρήθηκε σε παραπλήσιας ηλικίας ψαμμιτικής κοκκομετρίας Νεογενή πετρώματα από την περιοχή του Σταλού της ΒΔ Κρήτης (Δημόπουλος 2007), μπορεί να εκφραστεί η άποψη ότι στην ευρύτερη περιοχή των Νεογενών της ΒΔ Κρήτης υπάρχουν ενδείξεις διαδικασιών σχηματισμού απόθεσης χρυσού εντός των Νεογενών σχηματισμών.

Εάν δεχθούμε ότι «συγκεντρώσεις χρυσού μερικών δεκάδων ppb μπορούν να υποδεικνύουν διαδικασίες σχηματισμού απόθεσης χρυσού» (Crocket 1993), τότε σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπως στην περιοχή μελέτης οι τιμές που μετρήθηκαν είναι ενδείξεις για περαιτέρω έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- Γραμματικόπουλος Α., κ.α.(2005): *Συμβολή της εφαρμοσμένης ορυκτολογίας στις μεταλλουργικές διεργασίες χρυσού*.- Μεταλλειολογικά και Μεταλλουργικά χρονικά.
- Δημόπουλος Ν. (2007): *Κατανομή ανακτώμενου και ολικού χρυσού σε ιζήματα από κυκλοστρωματογραφικές ακολουθίες του Νεογενούς στη δυτική Κρήτη – Διπλωματική εργασία*, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Ζεληλίδης Α.(2005): *Στρωματογραφία ακολουθιών – Σημειώσεις Μαθήματος*, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Κωστάκης Γ. (1999): *Κεφάλαια Ακτινοσκοπίας των Κρυστάλλων*, Σημειώσεις για τους σπουδαστές του τμήματος Μηχ.Ο.Π. του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- Κωστάκης Γ. (2001): *Συστηματική Ορυκτολογία*, Σημειώσεις για τους σπουδαστές του τμήματος Μηχ.Ο.Π. του Πολυτεχνείου Κρήτης. Χανιά
- Ντρίνια Χ. (1996): *Κλαστική ιζηματογένεση στο ανώτερο Καινοζωικό της Δυτικής Κρήτης – Ηλεκάνη των Αποστόλων – Διδακτορική διατριβή*, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Hamdan H. (2004): *Ασκήσεις Υπαίθρου IV, Η μέθοδος της ηλεκτρικής τομογραφίας*.
. Χανιά
- Μελιδώνης Ν. (1992): *Γενική Κοιτασματολογία*. Πανεπιστήμιο Πατρών. – ΟΕΔΒ, .
. Αθήνα.
- Μουντράκης, Δ. (1985): *Γεωλογία της Ελλάδας*, Θεσσαλονίκη.
- Πασαδάκης Ν. (2007): *Οργανική γεωχημεία ιζηματογενών πετρωμάτων, Οι βιοδείκτες*, Σημειώσεις μαθήματος για τους σπουδαστές του τμήματος Μηχ.Ο.Π. του Πολυτεχνείου Κρήτης, Χανιά.
- Μαργαρίτης Γ. (2009): *Γεωλογική μελέτη ανίχνευσης και εντοπισμού χρυσού σε ιλυολίθους του Νεογενούς στη δυτική Κρήτη - Διπλωματική εργασία*, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
- Παντελάκη Ο. (2001): *Ανάκτηση χρυσού από τον φλύσχη της Ιονίου ζώνης με φιλικές προς το περιβάλλον βαρυτομετρικές μεθόδους – Μεταπτυχιακή διατριβή*, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Ξενόγλωσση

- Freudenthal, T. (1969): *Stratigraphy of Neogene deposits in the Khania Province, Crete, with special reference to foraminifera of the family Planorbulinidae and the genus Heterostegina* - Utrecht Micropaleontological Bulletins, 1, 208 p.
- Folk RL (1968): *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Co, Austin Texas, 170p.
- Foster R. P. (1993): *Gold Metallogeny and Exploration*. – Chapman & Hall (London – Madras).
- Gray DJ (1997): *Low temperature aqueous geochemistry*, Exploration Geochemistry and Hydrothermal Geochemistry, University of Tasmania.(in Foster 1993)
- Keupp H. & Bellas S. (2000): *Neogene development of the sedimentary basins of NW Crete island, Chania Prefecture, South Aegean Arc System (Greece)* – Berliner geowiss. Abh, E 34, 3-117, Berlin.
- Kirby RH (1988): *Genetic stratigraphy, depositional systems and reservoir performance of the Burgan Formation, Greater Burgan Field (abstract)*. GeoArabia, Middle East Petroleum Geosciences v.1, n.1, p.158.
- Kontopoulos N. , Zelilidis A. & Frydas D. (1996): *Late Neogene sedimentary and tectonostratigraphic evolution of northwestern Crete island, Greece* – N.Jb.Geol. Palaont.Abh, 202, 3, 287-311, Stuttgart, Dezember.
- Korobushkina ED, Chernyak AS & Mineef GG (1974): *Dissolution of gold by microorganisms and products of metabolism*, Microbiol, 43, 37-41.
- Meulenkamp, J.E. (1969): *Stratigraphy of Neogene deposits in the Rethymnon Province, Crete, with special reference to the phylogeny of uniserial Uvigerina from the Mediterranean region* - Utrecht Micropaleontological Bulletins, 2, 172 p.
- Nekrasov I. Y. (1996): *Geochemistry, Mineralogy and Genesis of Gold Deposits*. – A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Yannopoulos, J. C.(1990): *The Extractive Metallurgy of Gold*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Seidel M. (2003): *Tectono-Sedimentary evolution of middle Miocene supra-detachment basins (Western Crete, Greece)*. Koln
- Taylor K.G, Macquaker J.H.S (1999): *Early diagenetic pyrite morphology in a mudstone-dominated succession: the Lower Cleveland Ironstone Formation, eastern England*. University of Manchester

Διαδίκτυο

http://galitzin.mines.edu/INTROGP/notes_template.jsp?url=RES%2FNOTES%2Frockres.html&page=DC%20Resistivity%3A%20Notes%3A%20Rock%20Resistivities

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την κοκκομετρική μελέτη με αναλυτή Laser (Mastersizer S), οι κοκκομετρικές καμπύλες που αντιστοιχούν σε αυτά τα αποτελέσματα και τα ακτινοδιαγράμματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων X που χρησιμοποιήθηκαν για την ορυκτολογική ανάλυση στην παρούσα εργασία.



MASTERSIZER

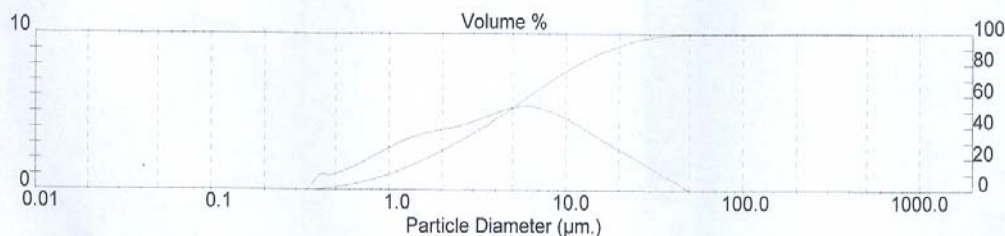
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 1	Run Number: 1	Measured: Fri, Mar 23, 2007 12:37PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 2	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 12:37PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 19.1 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 2.029 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0063 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9040 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.00 um	D (v, 0.5) = 4.65 um	D (v, 0.9) = 17.81 um
D [4, 3] = 7.36 um	D [3, 2] = 2.50 um	Span = 3.615E+00	Uniformity = 1.117E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.23	7.72	67.52
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.00	9.00	72.52
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.66	10.48	77.17
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.25	12.21	81.43
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	3.81	14.22	85.23
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	3.35	16.57	88.58
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	2.90	19.31	91.48
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	2.48	22.49	93.96
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	2.06	26.20	96.02
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.63	30.53	97.65
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.21	35.56	98.86
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.78	41.43	99.64
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	0.36	48.27	100.00
0.36	0.81	0.42	0.81	48.27	0.00	56.23	100.00
0.42	0.95	0.49	1.76	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.15	0.58	2.91	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.47	0.67	4.38	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.84	0.78	6.21	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	2.25	0.91	8.46	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.65	1.06	11.11	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	3.03	1.24	14.15	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	3.35	1.44	17.50	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	3.58	1.68	21.08	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.76	1.95	24.84	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.92	2.28	28.76	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	4.08	2.65	32.84	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	4.29	3.09	37.13	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.55	3.60	41.69	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.85	4.19	46.54	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	5.12	4.88	51.66	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.30	5.69	56.96	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.33	6.63	62.29	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: 01684 892456 Fax: 01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14
Serial Number:

p. 1
26 Mar 07 13:08

Σχήμα 1: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 1

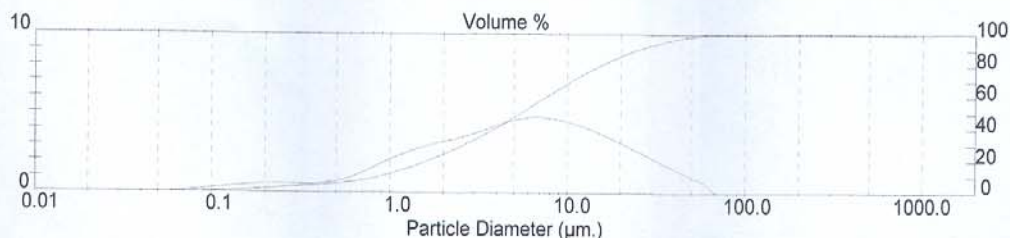
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 2	Run Number: 2	Measured: Fri, Mar 23, 2007 12:42PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 3	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 12:42PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 31.0 %
Presentation: 30JD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.025 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0085 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.3505 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.85 um	D (v, 0.5) = 5.44 um	D (v, 0.9) = 24.33 um
D [4, 3] = 9.52 um	D [3, 2] = 1.68 um	Span = 4.312E+00	Uniformity = 1.325E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	4.74	7.72	60.81
0.06	0.05	0.07	0.08	7.72	4.66	9.00	65.47
0.07	0.10	0.08	0.18	9.00	4.52	10.48	69.99
0.08	0.17	0.09	0.35	10.48	4.30	12.21	74.29
0.09	0.25	0.11	0.59	12.21	4.05	14.22	78.34
0.11	0.33	0.13	0.92	14.22	3.75	16.57	82.09
0.13	0.41	0.15	1.33	16.57	3.42	19.31	85.51
0.15	0.48	0.17	1.80	19.31	3.06	22.49	88.57
0.17	0.54	0.20	2.34	22.49	2.70	26.20	91.27
0.20	0.58	0.23	2.92	26.20	2.35	30.53	93.62
0.23	0.58	0.27	3.50	30.53	1.99	35.56	95.61
0.27	0.56	0.31	4.05	35.56	1.63	41.43	97.24
0.31	0.54	0.36	4.60	41.43	1.28	48.27	98.52
0.36	0.58	0.42	5.17	48.27	0.92	56.23	99.44
0.42	0.66	0.49	5.84	56.23	0.56	65.51	100.00
0.49	0.81	0.58	6.65	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.05	0.67	7.69	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.35	0.78	9.04	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.71	0.91	10.75	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.06	1.06	12.80	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.38	1.24	15.18	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.67	1.44	17.85	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.90	1.68	20.75	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.10	1.95	23.85	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.27	2.28	27.13	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.45	2.65	30.57	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.65	3.09	34.23	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.90	3.60	38.13	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.17	4.19	42.30	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.43	4.88	46.73	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.62	5.69	51.35	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.72	6.63	56.07	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 2: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 2

Result: Analysis Report

Sample ID: POTA 3 b
Sample File: MANUTS
Sample Path: F:\
Sample Notes:

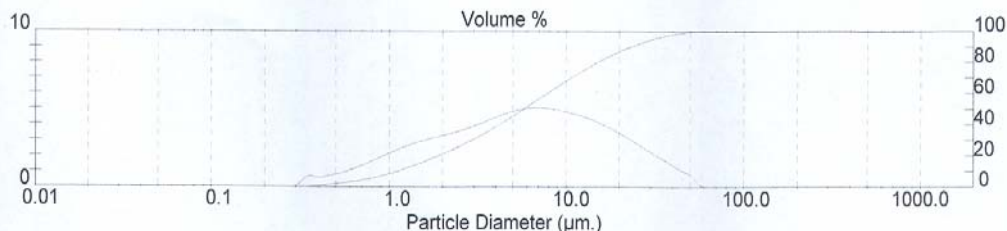
Sample Details
Run Number: 4
Record Number: 5

Measured: Fri, Mar 23, 2007 12:54PM
Analysed: Fri, Mar 23, 2007 12:54PM
Result Source: Analysed

System Details
Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: None Obscuration: 18.2 %
Presentation: 30JD [Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]
Analysis Model: Polydisperse Residual: 1.533 %
Modifications: None

Result Statistics
Distribution Type: Volume Concentration = 0.0068 %Vol Density = 2.650 g / cub. cm Specific S.A. = 0.8051 sq. m / g
Mean Diameters: D (v, 0.1) = 1.11 um D (v, 0.5) = 5.80 um D (v, 0.9) = 23.05 um
D [4, 3] = 9.35 um D [3, 2] = 2.81 um Span = 3.780E+00 Uniformity = 1.159E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.05	7.72	59.43
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.99	9.00	64.42
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.85	10.48	69.27
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.65	12.21	73.91
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.41	14.22	78.32
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.10	16.57	82.42
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.75	19.31	86.17
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.34	22.49	89.51
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	2.88	26.20	92.39
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	2.43	30.53	94.82
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.98	35.56	96.80
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.52	41.43	98.32
0.31	0.58	0.36	0.58	41.43	1.07	48.27	99.39
0.36	0.63	0.42	1.21	48.27	0.61	56.23	100.00
0.42	0.73	0.49	1.94	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	0.90	0.58	2.84	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.14	0.67	3.98	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.44	0.78	5.42	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.78	0.91	7.20	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.12	1.06	9.32	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.44	1.24	11.77	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.73	1.44	14.50	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.96	1.68	17.46	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.16	1.95	20.62	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.36	2.28	23.98	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.55	2.65	27.53	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.79	3.09	31.33	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.07	3.60	35.40	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.38	4.19	39.78	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.67	4.88	44.45	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.90	5.69	49.35	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.02	6.63	54.37	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 3: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 3

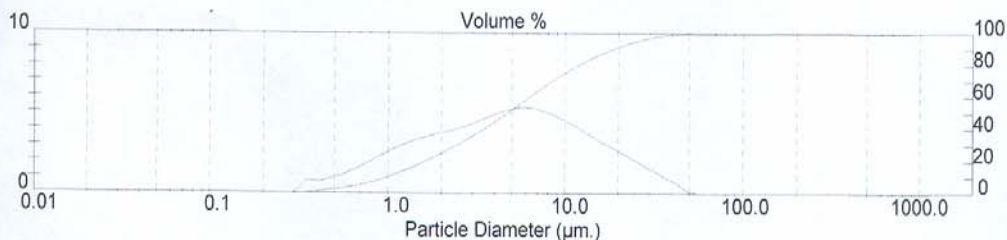
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 4	Run Number: 6	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:01PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 7	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:01PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 23.5 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.566 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0079 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9201 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 0.99 um	D (v, 0.5) = 4.73 um	D (v, 0.9) = 18.46 um
D [4, 3] = 7.58 um	D [3, 2] = 2.46 um	Span = 3.694E+00	Uniformity = 1.140E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.20	7.72	66.90
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.96	9.00	71.87
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.62	10.48	76.49
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.23	12.21	80.72
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	3.79	14.22	84.51
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	3.36	16.57	87.87
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	2.95	19.31	90.82
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	2.54	22.49	93.36
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	2.13	26.20	95.49
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.72	30.53	97.21
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	1.31	35.56	98.53
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	0.90	41.43	99.43
0.31	0.68	0.36	0.68	41.43	0.49	48.27	99.92
0.36	0.75	0.42	1.43	48.27	0.08	56.23	100.00
0.42	0.88	0.49	2.31	56.23	0.00	65.51	100.00
0.49	1.09	0.58	3.40	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.39	0.67	4.79	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.75	0.78	6.54	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	2.15	0.91	8.70	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	2.54	1.06	11.24	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.91	1.24	14.15	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	3.22	1.44	17.38	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	3.46	1.68	20.84	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	3.65	1.95	24.49	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.83	2.28	28.32	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	4.01	2.65	32.34	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	4.25	3.09	36.59	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	4.53	3.60	41.12	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.85	4.19	45.97	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	5.12	4.88	51.09	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.30	5.69	56.39	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.32	6.63	61.70	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 4: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 4

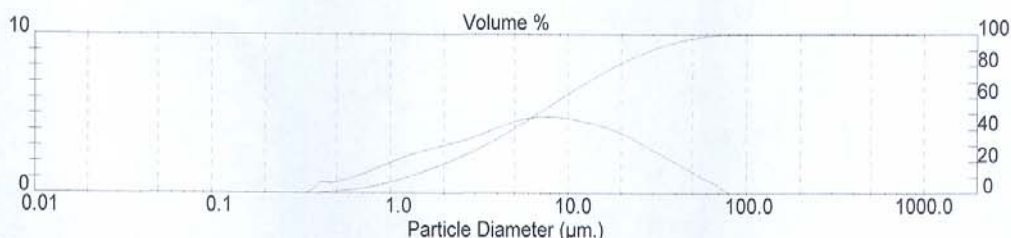
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 5	Run Number: 7	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:06PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 8	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:06PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 19.0 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.209 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0081 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.7090 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.23 um	D (v, 0.5) = 6.72 um	D (v, 0.9) = 28.59 um
D [4, 3] = 11.40 um	D [3, 2] = 3.19 um	Span = 4.070E+00	Uniformity = 1.250E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.81	7.72	54.37
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.81	9.00	59.18
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.74	10.48	63.91
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.61	12.21	68.52
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.45	14.22	72.97
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.26	16.57	77.24
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.01	19.31	81.24
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.70	22.49	84.95
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.34	26.20	88.28
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	2.92	30.53	91.20
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.51	35.56	93.71
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.09	41.43	95.80
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.67	48.27	97.47
0.36	0.59	0.42	0.59	48.27	1.26	56.23	98.73
0.42	0.67	0.49	1.26	56.23	0.84	65.51	99.57
0.49	0.81	0.58	2.07	65.51	0.43	76.32	100.00
0.58	1.03	0.67	3.10	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.29	0.78	4.39	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.61	0.91	5.99	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.91	1.06	7.91	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.22	1.24	10.12	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.48	1.44	12.61	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.70	1.68	15.31	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.90	1.95	18.20	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.08	2.28	21.29	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.27	2.65	24.56	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.50	3.09	28.06	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.77	3.60	31.82	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.06	4.19	35.88	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.35	4.88	40.23	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.58	5.69	44.82	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.74	6.63	49.55	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 5: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 5

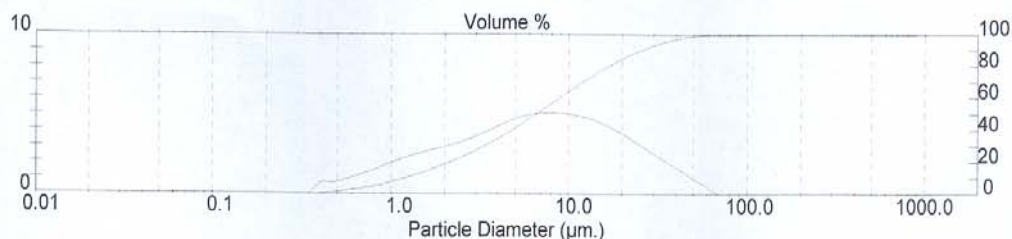
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 6	Run Number: 8	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:09PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 9	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:09PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 25.1 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.036 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0108 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.7235 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.21 μ m	D (v, 0.5) = 6.54 μ m	D (v, 0.9) = 25.35 μ m
D [4, 3] = 10.39 μ m	D [3, 2] = 3.13 μ m	Span = 3.694E+00	Uniformity = 1.137E+00

Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%	Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.09	7.72	55.55
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.10	9.00	60.65
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	5.03	10.48	65.68
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.89	12.21	70.57
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.73	14.22	75.30
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.43	16.57	79.73
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.07	19.31	83.80
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.66	22.49	87.46
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.19	26.20	90.65
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	2.72	30.53	93.38
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.26	35.56	95.64
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.79	41.43	97.43
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.32	48.27	98.75
0.36	0.62	0.42	0.62	48.27	0.86	56.23	99.61
0.42	0.72	0.49	1.34	56.23	0.39	65.51	100.00
0.49	0.86	0.58	2.20	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.08	0.67	3.28	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.34	0.78	4.61	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.63	0.91	6.25	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.92	1.06	8.17	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.20	1.24	10.37	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.45	1.44	12.83	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.66	1.68	15.49	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.85	1.95	18.34	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.05	2.28	21.38	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.26	2.65	24.64	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.52	3.09	28.17	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.83	3.60	32.00	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.18	4.19	36.18	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.51	4.88	40.69	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.79	5.69	45.48	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.98	6.63	50.46	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 6: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 6

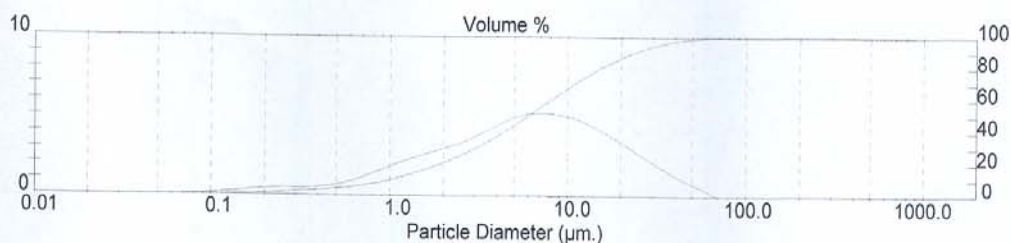
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 7	Run Number: 9	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:12PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 10	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:12PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 24.5 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.581 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0076 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0892 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.01 um	D (v, 0.5) = 5.95 um	D (v, 0.9) = 23.10 um
D [4, 3] = 9.51 um	D [3, 2] = 2.08 um	Span = 3.712E+00	Uniformity = 1.153E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	5.20	7.72	58.84
0.06	0.02	0.07	0.02	7.72	5.16	9.00	64.00
0.07	0.04	0.08	0.06	9.00	5.02	10.48	69.02
0.08	0.07	0.09	0.13	10.48	4.84	12.21	73.86
0.09	0.12	0.11	0.25	12.21	4.51	14.22	78.37
0.11	0.18	0.13	0.43	14.22	4.13	16.57	82.50
0.13	0.24	0.15	0.67	16.57	3.72	19.31	86.21
0.15	0.32	0.17	0.99	19.31	3.27	22.49	89.48
0.17	0.39	0.20	1.38	22.49	2.80	26.20	92.28
0.20	0.45	0.23	1.83	26.20	2.33	30.53	94.61
0.23	0.48	0.27	2.31	30.53	1.87	35.56	96.47
0.27	0.48	0.31	2.79	35.56	1.43	41.43	97.91
0.31	0.48	0.36	3.27	41.43	1.04	48.27	98.95
0.36	0.52	0.42	3.79	48.27	0.70	56.23	99.64
0.42	0.62	0.49	4.40	56.23	0.35	65.51	99.99
0.49	0.75	0.58	5.15	65.51	0.01	76.32	100.00
0.58	0.96	0.67	6.11	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.21	0.78	7.33	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.52	0.91	8.84	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.81	1.06	10.65	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.10	1.24	12.76	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.37	1.44	15.12	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.60	1.68	17.72	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.82	1.95	20.55	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.05	2.28	23.60	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.31	2.65	26.90	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.61	3.09	30.51	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.96	3.60	34.47	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.34	4.19	38.81	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.70	4.88	43.51	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.98	5.69	48.50	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.15	6.63	53.84	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 7: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 7

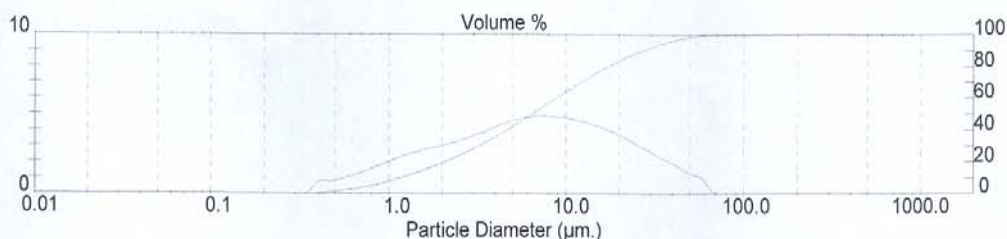
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 8	Run Number: 10	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:14PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 11	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:15PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 24.8 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.074 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0105 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.7408 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.17 um	D (v, 0.5) = 6.46 um	D (v, 0.9) = 27.20 um
D [4, 3] = 10.83 um	D [3, 2] = 3.06 um	Span = 4.028E+00	Uniformity = 1.230E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.87	7.72	55.67
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.85	9.00	60.52
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.77	10.48	65.29
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.63	12.21	69.92
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.46	14.22	74.38
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.22	16.57	78.59
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.93	19.31	82.52
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.58	22.49	86.10
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.18	26.20	89.28
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	2.78	30.53	92.07
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.38	35.56	94.45
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.99	41.43	96.44
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.59	48.27	98.02
0.36	0.69	0.42	0.69	48.27	1.19	56.23	99.21
0.42	0.78	0.49	1.46	56.23	0.79	65.51	100.00
0.49	0.92	0.58	2.38	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	1.14	0.67	3.52	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.40	0.78	4.91	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.70	0.91	6.61	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.99	1.06	8.61	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.28	1.24	10.89	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.54	1.44	13.42	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.74	1.68	16.16	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.92	1.95	19.08	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.11	2.28	22.19	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.30	2.65	25.49	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.53	3.09	29.02	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.81	3.60	32.83	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.11	4.19	36.94	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.41	4.88	41.35	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.65	5.69	46.00	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.80	6.63	50.80	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 8: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 8

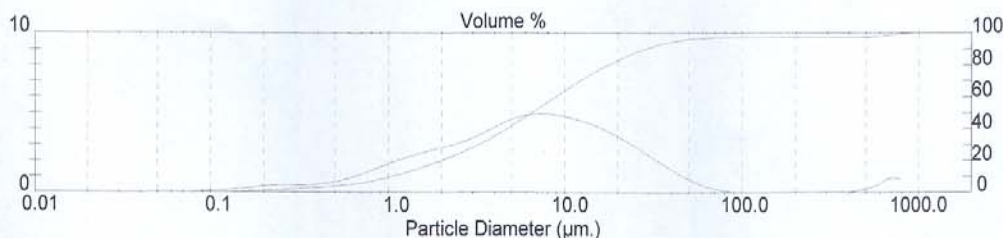
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 9	Run Number: 11	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:26PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 12	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:26PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 18.5 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.775 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0059 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0027 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.04 μ m	D (v, 0.5) = 6.49 μ m	D (v, 0.9) = 28.34 μ m
D [4, 3] = 27.82 μ m	D [3, 2] = 2.26 μ m	Span = 4.205E+00	Uniformity = 3.851E+00

Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%	Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.94	7.72	55.61
0.06	0.01	0.07	0.01	7.72	4.92	9.00	60.53
0.07	0.02	0.08	0.03	9.00	4.80	10.48	65.33
0.08	0.04	0.09	0.07	10.48	4.62	12.21	69.95
0.09	0.07	0.11	0.14	12.21	4.39	14.22	74.34
0.11	0.12	0.13	0.27	14.22	4.13	16.57	78.46
0.13	0.19	0.15	0.45	16.57	3.79	19.31	82.26
0.15	0.27	0.17	0.72	19.31	3.41	22.49	85.67
0.17	0.35	0.20	1.08	22.49	2.98	26.20	88.65
0.20	0.44	0.23	1.52	26.20	2.51	30.53	91.16
0.23	0.49	0.27	2.00	30.53	2.03	35.56	93.20
0.27	0.48	0.31	2.48	35.56	1.56	41.43	94.76
0.31	0.47	0.36	2.96	41.43	1.12	48.27	95.88
0.36	0.52	0.42	3.48	48.27	0.75	56.23	96.63
0.42	0.61	0.49	4.09	56.23	0.44	65.51	97.07
0.49	0.74	0.58	4.83	65.51	0.22	76.32	97.30
0.58	0.95	0.67	5.78	76.32	0.08	88.91	97.38
0.67	1.19	0.78	6.96	88.91	0.00	103.58	97.38
0.78	1.48	0.91	8.44	103.58	0.00	120.67	97.38
0.91	1.77	1.06	10.21	120.67	0.00	140.58	97.38
1.06	2.05	1.24	12.26	140.58	0.00	163.77	97.38
1.24	2.30	1.44	14.56	163.77	0.00	190.80	97.38
1.44	2.51	1.68	17.07	190.80	0.00	222.28	97.38
1.68	2.70	1.95	19.76	222.28	0.00	258.95	97.38
1.95	2.88	2.28	22.65	258.95	0.00	301.68	97.38
2.28	3.08	2.65	25.73	301.68	0.00	351.46	97.38
2.65	3.34	3.09	29.07	351.46	0.01	409.45	97.39
3.09	3.66	3.60	32.72	409.45	0.10	477.01	97.49
3.60	4.02	4.19	36.75	477.01	0.26	555.71	97.75
4.19	4.39	4.88	41.13	555.71	0.55	647.41	98.30
4.88	4.68	5.69	45.81	647.41	0.91	754.23	99.21
5.69	4.86	6.63	50.67	754.23	0.79	878.67	100.00



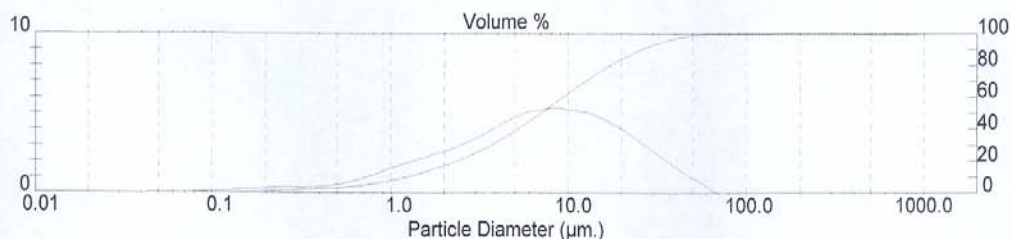
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 10 a	Run Number: 12	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:28PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 13	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:29PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 15.2 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.670 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0053 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9076 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.22 um	D (v, 0.5) = 6.99 um	D (v, 0.9) = 25.55 um
D [4, 3] = 10.67 um	D [3, 2] = 2.49 um	Span = 3.478E+00	Uniformity = 1.072E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.27	7.72	53.43
0.06	0.01	0.07	0.02	7.72	5.32	9.00	58.76
0.07	0.03	0.08	0.05	9.00	5.28	10.48	64.04
0.08	0.05	0.09	0.10	10.48	5.16	12.21	69.20
0.09	0.09	0.11	0.19	12.21	5.01	14.22	74.21
0.11	0.13	0.13	0.32	14.22	4.70	16.57	78.91
0.13	0.18	0.15	0.51	16.57	4.33	19.31	83.24
0.15	0.24	0.17	0.74	19.31	3.89	22.49	87.13
0.17	0.29	0.20	1.03	22.49	3.39	26.20	90.53
0.20	0.33	0.23	1.37	26.20	2.86	30.53	93.39
0.23	0.35	0.27	1.72	30.53	2.32	35.56	95.71
0.27	0.35	0.31	2.07	35.56	1.79	41.43	97.49
0.31	0.35	0.36	2.42	41.43	1.28	48.27	98.78
0.36	0.39	0.42	2.81	48.27	0.84	56.23	99.61
0.42	0.47	0.49	3.27	56.23	0.39	65.51	100.00
0.49	0.58	0.58	3.85	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.76	0.67	4.61	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	0.98	0.78	5.59	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.25	0.91	6.84	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.51	1.06	8.35	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.77	1.24	10.12	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.02	1.44	12.14	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.25	1.68	14.39	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.47	1.95	16.86	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.72	2.28	19.58	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.98	2.65	22.56	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.31	3.09	25.87	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.69	3.60	29.56	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.11	4.19	33.66	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.52	4.88	38.18	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.87	5.69	43.05	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.12	6.63	48.16	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 10: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 10

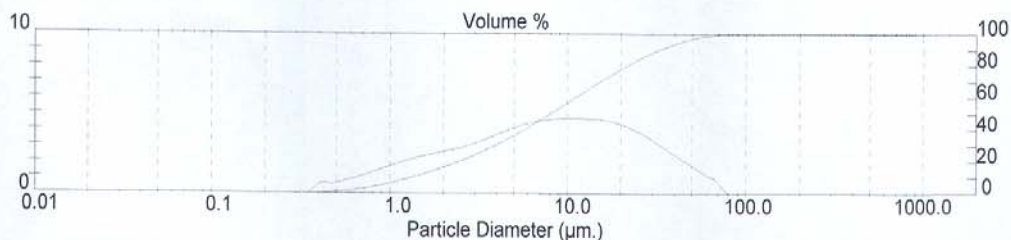
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 11	Run Number: 15	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:36PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 16	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:36PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 21.3 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.081 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0101 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.6503 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.31 um	D (v, 0.5) = 7.98 um	D (v, 0.9) = 32.42 um
D [4, 3] = 13.02 um	D [3, 2] = 3.48 um	Span = 3.900E+00	Uniformity = 1.198E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.57	7.72	49.01
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.67	9.00	53.68
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.71	10.48	58.40
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.72	12.21	63.12
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.69	14.22	67.81
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.64	16.57	72.45
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.50	19.31	76.95
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	4.27	22.49	81.22
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.96	26.20	85.18
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.55	30.53	88.73
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	3.08	35.56	91.81
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.60	41.43	94.40
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	2.12	48.27	96.52
0.36	0.55	0.42	0.55	48.27	1.64	56.23	98.16
0.42	0.63	0.49	1.18	56.23	1.16	65.51	99.32
0.49	0.75	0.58	1.94	65.51	0.68	76.32	100.00
0.58	0.95	0.67	2.88	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.18	0.78	4.06	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.45	0.91	5.51	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.71	1.06	7.23	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.97	1.24	9.20	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.20	1.44	11.39	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.38	1.68	13.77	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.54	1.95	16.31	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.70	2.28	19.00	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.87	2.65	21.87	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.08	3.09	24.95	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.33	3.60	28.28	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.63	4.19	31.91	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	3.93	4.88	35.84	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.20	5.69	40.04	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.41	6.63	44.45	754.23	0.00	878.67	100.00



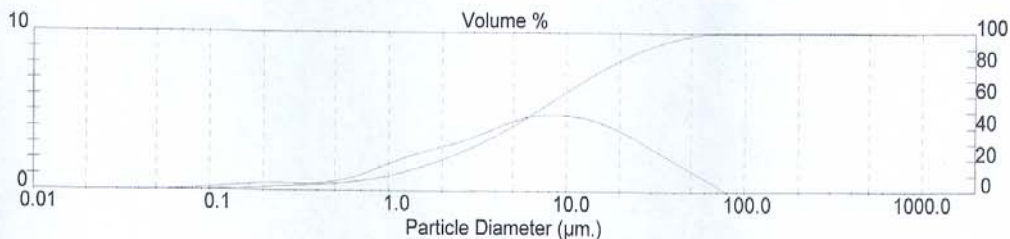
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 12	Run Number: 16	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:39PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 17	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:39PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 23.6 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.788 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0074 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.1190 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.04 um	D (v, 0.5) = 6.75 um	D (v, 0.9) = 28.08 um
D [4, 3] = 11.22 um	D [3, 2] = 2.02 um	Span = 4.008E+00	Uniformity = 1.236E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	4.78	7.72	54.23
0.06	0.04	0.07	0.06	7.72	4.82	9.00	59.05
0.07	0.08	0.08	0.14	9.00	4.79	10.48	63.84
0.08	0.13	0.09	0.27	10.48	4.70	12.21	68.54
0.09	0.19	0.11	0.46	12.21	4.59	14.22	73.13
0.11	0.25	0.13	0.71	14.22	4.36	16.57	77.49
0.13	0.31	0.15	1.03	16.57	4.07	19.31	81.56
0.15	0.37	0.17	1.40	19.31	3.73	22.49	85.29
0.17	0.42	0.20	1.81	22.49	3.34	26.20	88.63
0.20	0.45	0.23	2.28	26.20	2.91	30.53	91.54
0.23	0.45	0.27	2.71	30.53	2.48	35.56	94.02
0.27	0.43	0.31	3.14	35.56	2.05	41.43	96.07
0.31	0.42	0.36	3.56	41.43	1.62	48.27	97.70
0.36	0.45	0.42	4.02	48.27	1.20	56.23	98.89
0.42	0.52	0.49	4.54	56.23	0.77	65.51	99.66
0.49	0.64	0.58	5.18	65.51	0.34	76.32	100.00
0.58	0.84	0.67	6.02	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.08	0.78	7.11	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.39	0.91	8.49	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.68	1.06	10.17	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.96	1.24	12.14	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.22	1.44	14.36	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.45	1.68	16.81	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.65	1.95	19.46	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.85	2.28	22.31	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.06	2.65	25.37	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.30	3.09	28.67	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.58	3.60	32.24	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.89	4.19	36.13	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.20	4.88	40.33	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.46	5.69	44.80	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.66	6.63	49.46	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 12: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 12

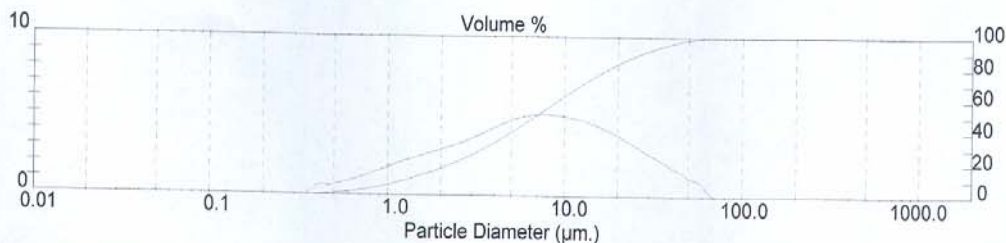
Result: Analysis Report

Sample ID: POTA 13	Sample Details	Run Number: 17	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:42PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 18	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:42PM	
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed	
Sample Notes:			

Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	System Details	Sampler: None	Obscuration: 16.9 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]		
Analysis Model: Polydisperse				Residual: 0.860 %
Modifications: None				

Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0074 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.6795 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.30 um	D (v, 0.5) = 6.84 um	D (v, 0.9) = 27.09 um
D [4, 3] = 11.02 um	D [3, 2] = 3.33 um	Span = 3.769E+00	Uniformity = 1.152E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	5.11	7.72	54.06
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	5.12	9.00	59.17
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	5.04	10.48	64.21
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.89	12.21	69.10
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.72	14.22	73.82
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.43	16.57	78.25
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.10	19.31	82.35
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.71	22.49	86.06
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.28	26.20	89.34
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	2.85	30.53	92.19
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.42	35.56	94.61
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	1.99	41.43	96.61
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.56	48.27	98.17
0.36	0.52	0.42	0.52	48.27	1.13	56.23	99.30
0.42	0.60	0.49	1.12	56.23	0.70	65.51	100.00
0.49	0.73	0.58	1.86	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.93	0.67	2.79	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.17	0.78	3.96	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.46	0.91	5.43	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.75	1.06	7.18	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.04	1.24	9.22	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.31	1.44	11.53	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.54	1.68	14.06	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.76	1.95	16.82	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.99	2.28	19.81	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.23	2.65	23.03	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.51	3.09	26.54	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.84	3.60	30.38	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.19	4.19	34.57	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.54	4.88	39.11	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.82	5.69	43.93	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.01	6.63	48.94	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 13: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 13



MASTERSIZER

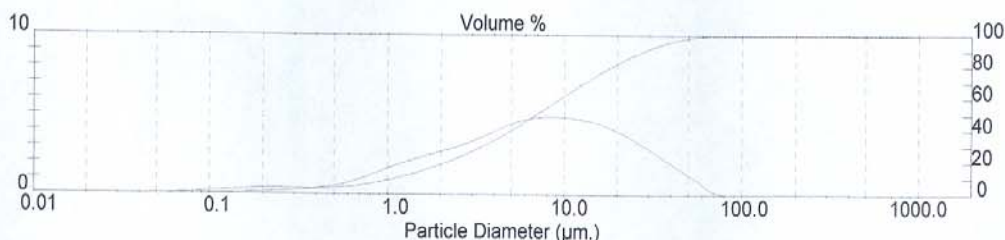
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 14	Run Number: 18	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:46PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 19	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:46PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 22.5 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.848 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0072 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0852 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.08 um	D (v, 0.5) = 6.92 um	D (v, 0.9) = 27.83 um
D [4, 3] = 11.21 um	D [3, 2] = 2.09 um	Span = 3.864E+00	Uniformity = 1.188E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	4.83	7.72	53.47
0.06	0.04	0.07	0.06	7.72	4.88	9.00	58.35
0.07	0.08	0.08	0.13	9.00	4.86	10.48	63.21
0.08	0.13	0.09	0.26	10.48	4.78	12.21	67.99
0.09	0.18	0.11	0.44	12.21	4.65	14.22	72.64
0.11	0.24	0.13	0.68	14.22	4.49	16.57	77.13
0.13	0.30	0.15	0.98	16.57	4.22	19.31	81.35
0.15	0.35	0.17	1.34	19.31	3.89	22.49	85.24
0.17	0.40	0.20	1.74	22.49	3.50	26.20	88.74
0.20	0.43	0.23	2.16	26.20	3.05	30.53	91.79
0.23	0.43	0.27	2.60	30.53	2.57	35.56	94.36
0.27	0.42	0.31	3.01	35.56	2.09	41.43	96.45
0.31	0.41	0.36	3.42	41.43	1.61	48.27	98.06
0.36	0.43	0.42	3.85	48.27	1.13	56.23	99.19
0.42	0.50	0.49	4.36	56.23	0.65	65.51	99.84
0.49	0.62	0.58	4.97	65.51	0.16	76.32	100.00
0.58	0.80	0.67	5.77	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.04	0.78	6.81	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.33	0.91	8.13	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.61	1.06	9.75	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.89	1.24	11.64	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.14	1.44	13.78	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.37	1.68	16.15	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.58	1.95	18.73	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.79	2.28	21.52	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.01	2.65	24.53	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.27	3.09	27.79	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.56	3.60	31.36	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.89	4.19	35.25	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.21	4.88	39.46	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.49	5.69	43.95	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.69	6.63	48.64	754.23	0.00	878.67	100.00



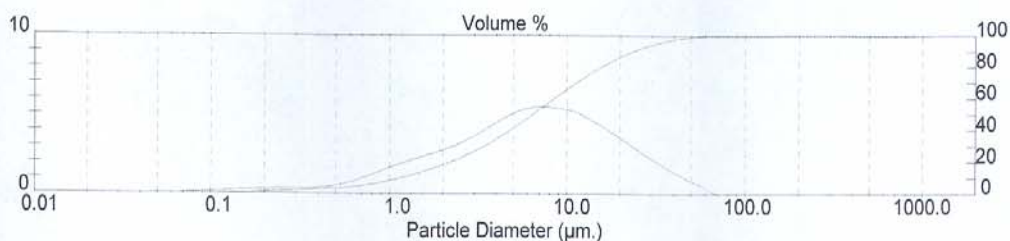
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 15	Run Number: 19	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:49PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 20	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:49PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 19.2 %
Presentation: 30JD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.675 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0064 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9925 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.16 um	D (v, 0.5) = 6.40 um	D (v, 0.9) = 23.48 um
D [4, 3] = 9.86 um	D [3, 2] = 2.28 um	Span = 3.491E+00	Uniformity = 1.083E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	5.49	7.72	56.76
0.06	0.02	0.07	0.03	7.72	5.47	9.00	62.23
0.07	0.05	0.08	0.08	9.00	5.34	10.48	67.57
0.08	0.08	0.09	0.16	10.48	5.15	12.21	72.72
0.09	0.13	0.11	0.29	12.21	4.78	14.22	77.49
0.11	0.18	0.13	0.46	14.22	4.35	16.57	81.85
0.13	0.23	0.15	0.69	16.57	3.89	19.31	85.73
0.15	0.28	0.17	0.97	19.31	3.40	22.49	89.13
0.17	0.32	0.20	1.30	22.49	2.90	26.20	92.03
0.20	0.36	0.23	1.65	26.20	2.40	30.53	94.43
0.23	0.37	0.27	2.02	30.53	1.93	35.56	96.36
0.27	0.36	0.31	2.38	35.56	1.48	41.43	97.84
0.31	0.35	0.36	2.73	41.43	1.08	48.27	98.92
0.36	0.39	0.42	3.12	48.27	0.72	56.23	99.64
0.42	0.48	0.49	3.60	56.23	0.36	65.51	100.00
0.49	0.60	0.58	4.20	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.80	0.67	5.00	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.04	0.78	6.04	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.33	0.91	7.37	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.61	1.06	8.97	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.88	1.24	10.86	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.14	1.44	13.00	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.38	1.68	15.38	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.61	1.95	17.99	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.87	2.28	20.86	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.16	2.65	24.03	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.52	3.09	27.55	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.94	3.60	31.49	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.39	4.19	35.88	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.82	4.88	40.70	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	5.17	5.69	45.88	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.40	6.63	51.27	754.23	0.00	878.67	100.00



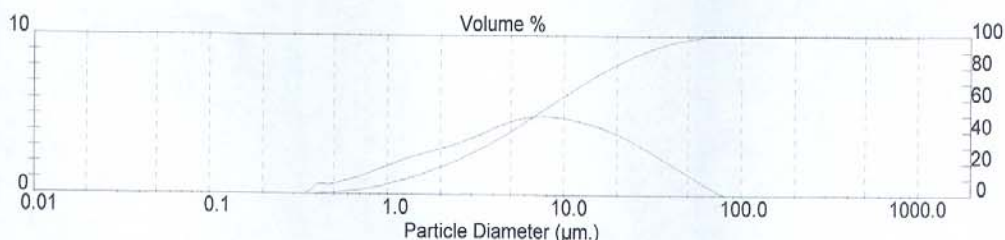
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 16	Run Number: 20	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:52PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 21	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:52PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 19.1 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 1.028 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0084 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.6885 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.27 um	D (v, 0.5) = 6.87 um	D (v, 0.9) = 28.30 um
D [4, 3] = 11.39 um	D [3, 2] = 3.29 um	Span = 3.933E+00	Uniformity = 1.205E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.94	7.72	53.78
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.94	9.00	58.73
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.86	10.48	63.59
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.72	12.21	68.31
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.55	14.22	72.86
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.34	16.57	77.20
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.07	19.31	81.27
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.76	22.49	85.04
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.40	26.20	88.44
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.00	30.53	91.43
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.55	35.56	93.98
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.10	41.43	96.08
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	1.65	48.27	97.73
0.36	0.55	0.42	0.55	48.27	1.20	56.23	98.93
0.42	0.64	0.49	1.19	56.23	0.76	65.51	99.69
0.49	0.77	0.58	1.96	65.51	0.31	76.32	100.00
0.58	0.98	0.67	2.94	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.22	0.78	4.16	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.51	0.91	5.68	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.80	1.06	7.48	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.09	1.24	9.57	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.35	1.44	11.91	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.57	1.68	14.48	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.78	1.95	17.26	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.99	2.28	20.26	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.22	2.65	23.47	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.48	3.09	26.95	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.79	3.60	30.74	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.12	4.19	34.86	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.43	4.88	39.29	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.69	5.69	43.98	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.86	6.63	48.84	754.23	0.00	878.67	100.00



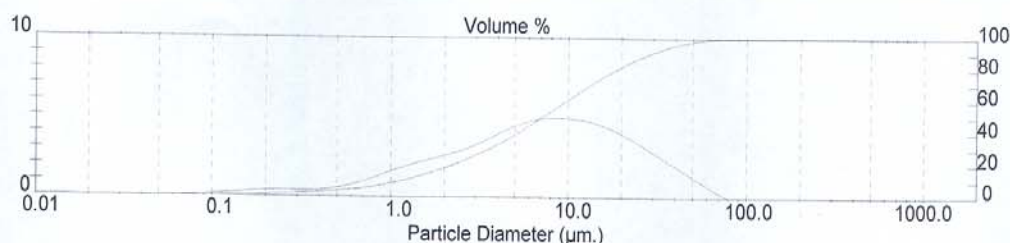
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 17	Run Number: 21	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:56PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 22	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:56PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 24.9 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.505 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0085 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0121 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.11 um	D (v, 0.5) = 7.08 um	D (v, 0.9) = 28.16 um
D [4, 3] = 11.41 um	D [3, 2] = 2.24 um	Span = 3.821E+00	Uniformity = 1.175E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	4.91	7.72	52.81
0.06	0.02	0.07	0.03	7.72	4.97	9.00	57.78
0.07	0.05	0.08	0.08	9.00	4.95	10.48	62.73
0.08	0.09	0.09	0.17	10.48	4.87	12.21	67.60
0.09	0.14	0.11	0.31	12.21	4.77	14.22	72.37
0.11	0.19	0.13	0.50	14.22	4.54	16.57	76.91
0.13	0.25	0.15	0.75	16.57	4.25	19.31	81.15
0.15	0.31	0.17	1.06	19.31	3.89	22.49	85.04
0.17	0.36	0.20	1.43	22.49	3.48	26.20	88.52
0.20	0.40	0.23	1.83	26.20	3.02	30.53	91.54
0.23	0.42	0.27	2.25	30.53	2.56	35.56	94.10
0.27	0.41	0.31	2.66	35.56	2.10	41.43	96.19
0.31	0.40	0.36	3.06	41.43	1.64	48.27	97.83
0.36	0.44	0.42	3.50	48.27	1.18	56.23	99.02
0.42	0.51	0.49	4.01	56.23	0.72	65.51	99.74
0.49	0.63	0.58	4.64	65.51	0.26	76.32	100.00
0.58	0.82	0.67	5.46	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.05	0.78	6.51	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.32	0.91	7.83	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.59	1.06	9.42	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.85	1.24	11.28	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.09	1.44	13.36	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.30	1.68	15.66	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.49	1.95	18.15	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.70	2.28	20.85	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.92	2.65	23.77	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.19	3.09	26.97	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.52	3.60	30.48	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.88	4.19	34.36	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.23	4.88	38.59	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.54	5.69	43.14	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.76	6.63	47.90	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 17: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 17

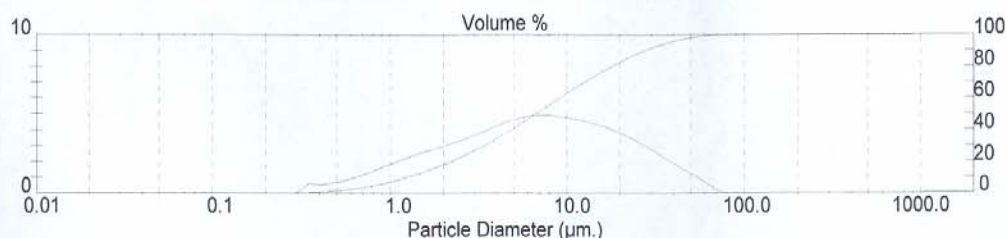
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 18	Run Number: 22	Measured: Fri, Mar 23, 2007 1:58PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 23	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 1:58PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 20.7 %
Presentation: 30JD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.970 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0087 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.7259 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.23 um	D (v, 0.5) = 6.66 um	D (v, 0.9) = 27.61 um
D [4, 3] = 11.08 um	D [3, 2] = 3.12 um	Span = 3.964E+00	Uniformity = 1.215E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.90	7.72	54.77
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.88	9.00	59.65
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.79	10.48	64.44
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.66	12.21	69.10
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.49	14.22	73.58
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.29	16.57	77.87
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.02	19.31	81.89
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.71	22.49	85.60
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.34	26.20	88.95
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	2.93	30.53	91.88
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.48	35.56	94.36
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.03	41.43	96.39
0.31	0.51	0.36	0.51	41.43	1.58	48.27	97.97
0.36	0.55	0.42	1.06	48.27	1.13	56.23	99.09
0.42	0.64	0.49	1.70	56.23	0.68	65.51	99.77
0.49	0.77	0.58	2.47	65.51	0.23	76.32	100.00
0.58	0.97	0.67	3.44	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.22	0.78	4.66	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.51	0.91	6.17	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.80	1.06	7.97	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.10	1.24	10.07	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.37	1.44	12.43	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.60	1.68	15.04	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.83	1.95	17.87	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	3.06	2.28	20.92	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.30	2.65	24.22	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.57	3.09	27.79	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.87	3.60	31.66	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.19	4.19	35.85	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.48	4.88	40.32	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.70	5.69	45.03	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.84	6.63	49.87	754.23	0.00	878.67	100.00





MASTERSIZER

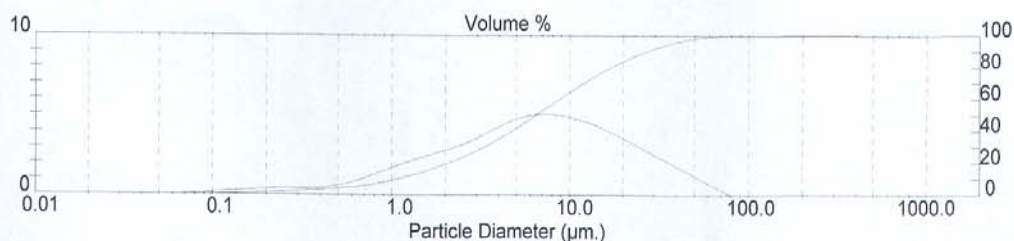
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 19	Run Number: 23	Measured: Fri, Mar 23, 2007 2:02PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 24	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 2:02PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 22.5 %
Presentation: 30JD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.669 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0073 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 1.0414 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.08 μ m	D (v, 0.5) = 6.46 μ m	D (v, 0.9) = 26.75 μ m
D [4, 3] = 10.75 μ m	D [3, 2] = 2.17 μ m	Span = 3.974E+00	Uniformity = 1.221E+00

Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%	Size Low (μ m)	In %	Size High (μ m)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	5.07	7.72	55.92
0.06	0.02	0.07	0.03	7.72	5.04	9.00	60.96
0.07	0.05	0.08	0.08	9.00	4.91	10.48	65.87
0.08	0.09	0.09	0.17	10.48	4.72	12.21	70.59
0.09	0.14	0.11	0.31	12.21	4.49	14.22	75.08
0.11	0.19	0.13	0.50	14.22	4.18	16.57	79.26
0.13	0.25	0.15	0.75	16.57	3.83	19.31	83.09
0.15	0.31	0.17	1.06	19.31	3.46	22.49	86.55
0.17	0.36	0.20	1.42	22.49	3.06	26.20	89.62
0.20	0.40	0.23	1.82	26.20	2.67	30.53	92.28
0.23	0.42	0.27	2.24	30.53	2.27	35.56	94.56
0.27	0.41	0.31	2.65	35.56	1.88	41.43	96.44
0.31	0.41	0.36	3.06	41.43	1.48	48.27	97.92
0.36	0.45	0.42	3.51	48.27	1.09	56.23	99.01
0.42	0.54	0.49	4.05	56.23	0.69	65.51	99.70
0.49	0.66	0.58	4.71	65.51	0.30	76.32	100.00
0.58	0.86	0.67	5.57	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.11	0.78	6.68	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.40	0.91	8.08	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.68	1.06	9.76	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.96	1.24	11.72	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.21	1.44	13.93	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.44	1.68	16.36	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.65	1.95	19.02	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.88	2.28	21.90	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.14	2.65	25.04	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.45	3.09	28.49	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.80	3.60	32.29	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.18	4.19	36.48	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.54	4.88	41.02	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.83	5.69	45.85	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	5.00	6.63	50.85	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 19: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 19

Result: Analysis Report

Sample ID: POTA 20
Sample File: MANUTS
Sample Path: F:\
Sample Notes:

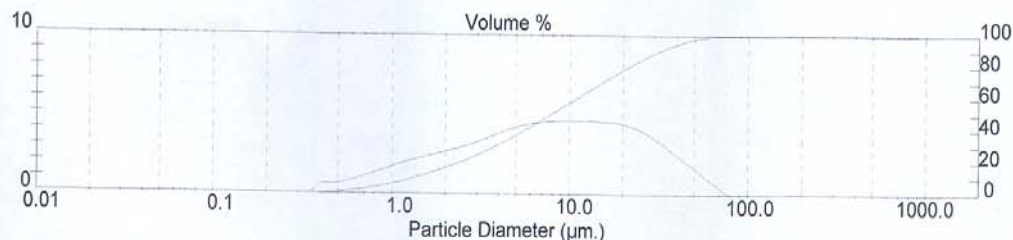
Sample Details
Run Number: 8
Record Number: 1

Measured: Thu, Mar 22, 2007 4:54PM
Analysed: Thu, Mar 22, 2007 4:54PM
Result Source: Analysed

System Details
Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: None Obscuration: 16.4 %
Presentation: 30JD [Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300] Residual: 0.953 %
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Result Statistics
Distribution Type: Volume Concentration = 0.0075 %Vol Density = 2.650 g / cub. cm Specific S.A. = 0.6502 sq. m / g
Mean Diameters: D (v, 0.1) = 1.32 µm D (v, 0.5) = 7.83 µm D (v, 0.9) = 31.48 µm
D [4, 3] = 12.68 µm D [3, 2] = 3.48 µm Span = 3.851E+00 Uniformity = 1.184E+00

Size Low (µm)	In %	Size High (µm)	Under%	Size Low (µm)	In %	Size High (µm)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.53	7.72	49.58
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.60	9.00	54.18
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.62	10.48	58.80
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.62	12.21	63.42
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.60	14.22	68.02
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.57	16.57	72.59
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.52	19.31	77.12
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	4.37	22.49	81.49
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	4.10	26.20	85.59
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.72	30.53	89.31
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	3.22	35.56	92.54
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.65	41.43	95.18
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	2.07	48.27	97.25
0.36	0.53	0.42	0.53	48.27	1.49	56.23	98.75
0.42	0.61	0.49	1.14	56.23	0.92	65.51	99.66
0.49	0.74	0.58	1.89	65.51	0.34	76.32	100.00
0.58	0.94	0.67	2.82	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.17	0.78	3.99	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.44	0.91	5.43	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.70	1.06	7.13	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.95	1.24	9.08	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.18	1.44	11.26	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.38	1.68	13.64	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.56	1.95	16.20	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.75	2.28	18.95	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.95	2.65	21.90	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.19	3.09	25.09	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.47	3.60	28.56	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.76	4.19	32.32	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.04	4.88	36.35	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.27	5.69	40.62	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.43	6.63	45.05	754.23	0.00	878.67	100.00



Malvern Instruments Ltd.

Malvern, UK

tel: 01684 892456 Fax: 01684 892789

Mastersizer S Ver. 2.14

Serial Number:

p. 28

26 Mar 07 13:14

Σχήμα 20: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 20

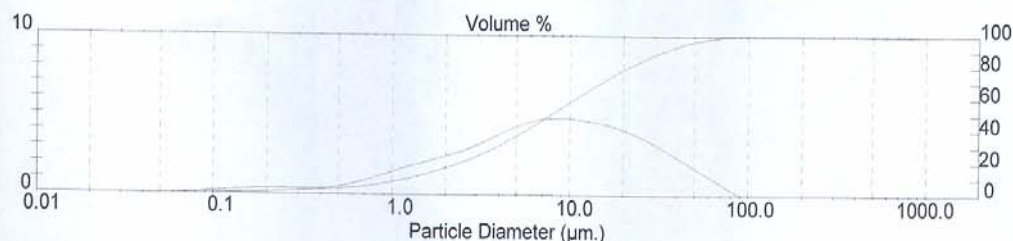
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 21	Run Number: 26	Measured: Fri, Mar 23, 2007 2:10PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 27	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 2:10PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 22.7 %
Presentation: 3OJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.713 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0080 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.9874 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.19 um	D (v, 0.5) = 7.75 um	D (v, 0.9) = 32.57 um
D [4, 3] = 12.96 um	D [3, 2] = 2.29 um	Span = 4.050E+00	Uniformity = 1.241E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.01	0.06	0.01	6.63	4.73	7.72	49.89
0.06	0.04	0.07	0.05	7.72	4.80	9.00	54.69
0.07	0.07	0.08	0.12	9.00	4.79	10.48	59.48
0.08	0.11	0.09	0.23	10.48	4.72	12.21	64.20
0.09	0.16	0.11	0.39	12.21	4.62	14.22	68.82
0.11	0.21	0.13	0.60	14.22	4.49	16.57	73.30
0.13	0.27	0.15	0.87	16.57	4.28	19.31	77.58
0.15	0.31	0.17	1.18	19.31	4.02	22.49	81.60
0.17	0.35	0.20	1.53	22.49	3.72	26.20	85.33
0.20	0.38	0.23	1.91	26.20	3.37	30.53	88.69
0.23	0.38	0.27	2.29	30.53	2.96	35.56	91.65
0.27	0.37	0.31	2.66	35.56	2.51	41.43	94.17
0.31	0.37	0.36	3.03	41.43	2.06	48.27	96.23
0.36	0.39	0.42	3.42	48.27	1.62	56.23	97.85
0.42	0.46	0.49	3.89	56.23	1.17	65.51	99.01
0.49	0.57	0.58	4.45	65.51	0.72	76.32	99.73
0.58	0.73	0.67	5.19	76.32	0.27	88.91	100.00
0.67	0.94	0.78	6.13	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.20	0.91	7.33	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.44	1.06	8.77	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.68	1.24	10.45	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	1.90	1.44	12.35	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.10	1.68	14.45	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.30	1.95	16.76	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.51	2.28	19.27	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.75	2.65	22.02	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.03	3.09	25.05	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.36	3.60	28.41	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.72	4.19	32.13	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.07	4.88	36.20	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.37	5.69	40.56	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.59	6.63	45.15	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 21: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 21

Result: Analysis Report

Sample ID: POTA 22
Sample File: MANUTS
Sample Path: F:\
Sample Notes:

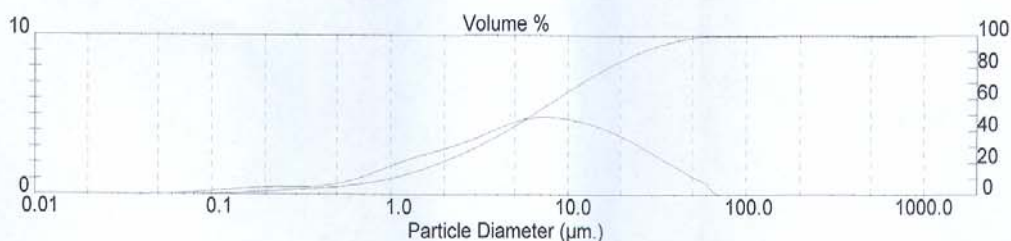
Sample Details
Run Number: 27
Record Number: 28

Measured: Fri, Mar 23, 2007 2:13PM
Analysed: Fri, Mar 23, 2007 2:13PM
Result Source: Analysed

System Details
Range Lens: 300RF mm Beam Length: 2.40 mm Sampler: None Obscuration: 27.7 %
Presentation: 3OJD [Particle R.I. = (1.5295, 1.0000); Dispersant R.I. = 1.3300]
Analysis Model: Polydisperse Residual: 0.713 %
Modifications: None

Result Statistics
Distribution Type: Volume Concentration = 0.0085 %Vol Density = 2.650 g / cub. cm Specific S.A. = 1.1634 sq. m / g
Mean Diameters: D (v, 0.1) = 0.98 um D (v, 0.5) = 6.30 um D (v, 0.9) = 26.30 um
D [4, 3] = 10.47 um D [3, 2] = 1.95 um Span = 4.018E+00 Uniformity = 1.230E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.02	0.06	0.02	6.63	4.84	7.72	56.43
0.06	0.04	0.07	0.06	7.72	4.83	9.00	61.26
0.07	0.08	0.08	0.14	9.00	4.74	10.48	66.00
0.08	0.13	0.09	0.27	10.48	4.61	12.21	70.60
0.09	0.19	0.11	0.46	12.21	4.45	14.22	75.05
0.11	0.25	0.13	0.72	14.22	4.20	16.57	79.25
0.13	0.31	0.15	1.03	16.57	3.91	19.31	83.17
0.15	0.37	0.17	1.40	19.31	3.57	22.49	86.74
0.17	0.42	0.20	1.83	22.49	3.19	26.20	89.93
0.20	0.46	0.23	2.28	26.20	2.75	30.53	92.68
0.23	0.47	0.27	2.76	30.53	2.32	35.56	95.01
0.27	0.47	0.31	3.22	35.56	1.89	41.43	96.90
0.31	0.47	0.36	3.69	41.43	1.46	48.27	98.36
0.36	0.51	0.42	4.20	48.27	1.03	56.23	99.40
0.42	0.60	0.49	4.81	56.23	0.60	65.51	100.00
0.49	0.73	0.58	5.54	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.94	0.67	6.48	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.19	0.78	7.67	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.49	0.91	9.16	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.77	1.06	10.93	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	2.05	1.24	12.98	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.30	1.44	15.28	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.52	1.68	17.79	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.72	1.95	20.52	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.93	2.28	23.45	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	3.16	2.65	26.61	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.43	3.09	30.04	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.74	3.60	33.78	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	4.06	4.19	37.84	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.37	4.88	42.21	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.61	5.69	46.82	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.77	6.63	51.59	754.23	0.00	878.67	100.00



Σχήμα 22: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 22

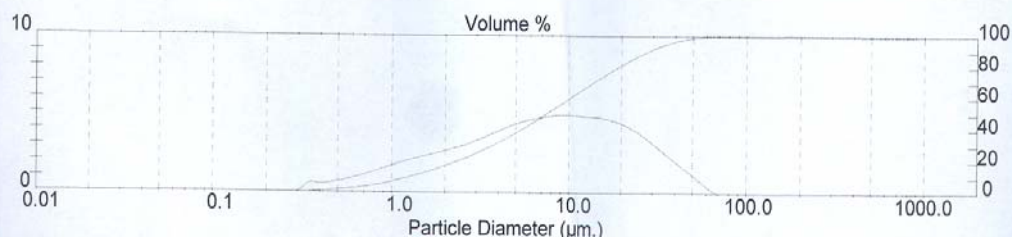
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: POTA 23	Run Number: 28	Measured: Fri, Mar 23, 2007 2:17PM
Sample File: MANUTS	Record Number: 29	Analysed: Fri, Mar 23, 2007 2:17PM
Sample Path: F:\		Result Source: Analysed
Sample Notes:		

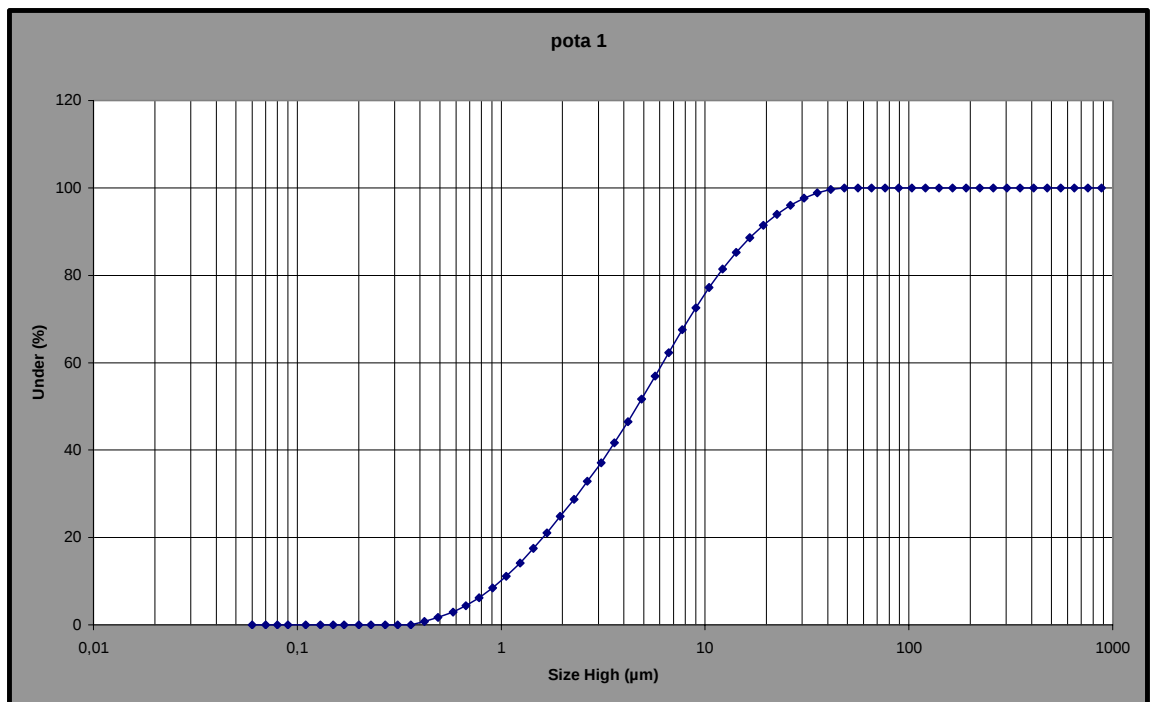
System Details			
Range Lens: 300RF mm	Beam Length: 2.40 mm	Sampler: None	Obscuration: 22.7 %
Presentation: 3QJD	[Particle R.I. = (1.5295, 1.0000);	Dispersant R.I. = 1.3300]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.829 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0100 %Vol	Density = 2.650 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.6992 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 1.25 um	D (v, 0.5) = 7.39 um	D (v, 0.9) = 27.71 um
D [4, 3] = 11.41 um	D [3, 2] = 3.24 um	Span = 3.578E+00	Uniformity = 1.101E+00

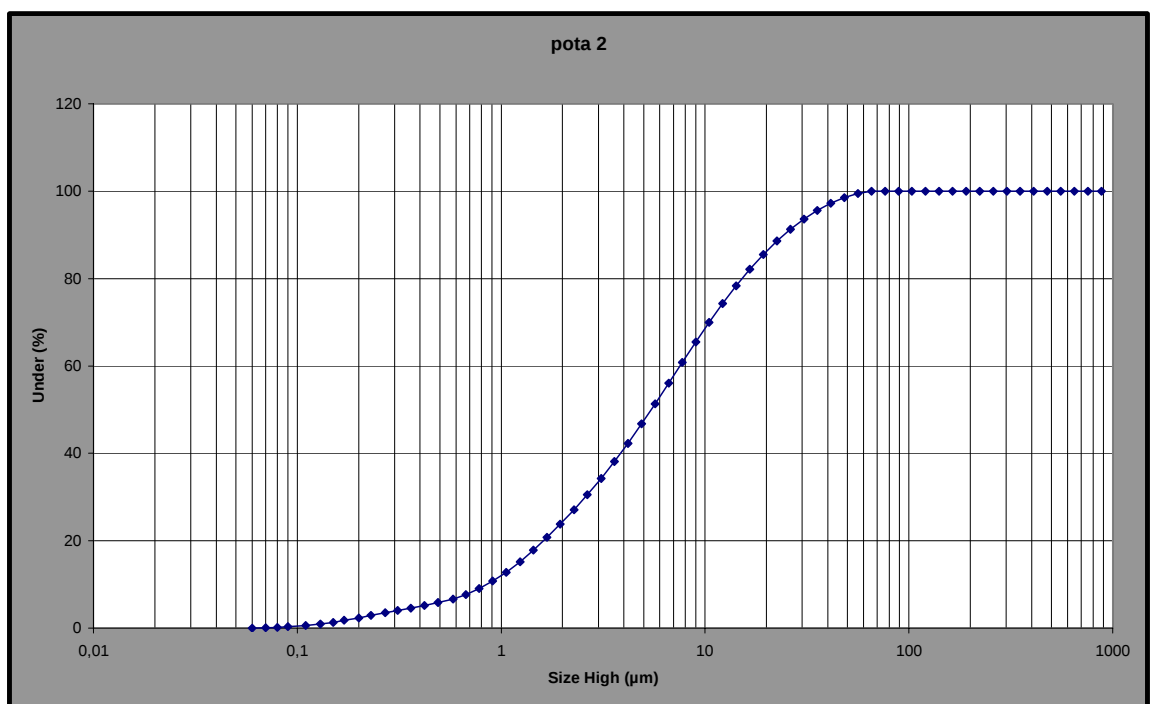
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	4.82	7.72	51.38
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	4.91	9.00	56.29
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.94	10.48	61.23
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.92	12.21	66.15
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.88	14.22	71.02
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.81	16.57	75.83
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	4.62	19.31	80.45
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	4.33	22.49	84.78
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.91	26.20	88.69
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.39	30.53	92.08
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.79	35.56	94.87
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	2.19	41.43	97.06
0.31	0.52	0.36	0.52	41.43	1.58	48.27	98.64
0.36	0.56	0.42	1.09	48.27	0.98	56.23	99.62
0.42	0.65	0.49	1.74	56.23	0.38	65.51	100.00
0.49	0.78	0.58	2.51	65.51	0.00	76.32	100.00
0.58	0.97	0.67	3.48	76.32	0.00	88.91	100.00
0.67	1.19	0.78	4.67	88.91	0.00	103.58	100.00
0.78	1.45	0.91	6.13	103.58	0.00	120.67	100.00
0.91	1.71	1.06	7.84	120.67	0.00	140.58	100.00
1.06	1.96	1.24	9.80	140.58	0.00	163.77	100.00
1.24	2.18	1.44	11.98	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	2.37	1.68	14.35	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	2.56	1.95	16.91	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	2.75	2.28	19.66	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	2.97	2.65	22.63	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	3.23	3.09	25.85	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	3.53	3.60	29.38	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	3.86	4.19	33.24	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	4.18	4.88	37.42	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	4.46	5.69	41.89	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	4.67	6.63	46.56	754.23	0.00	878.67	100.00



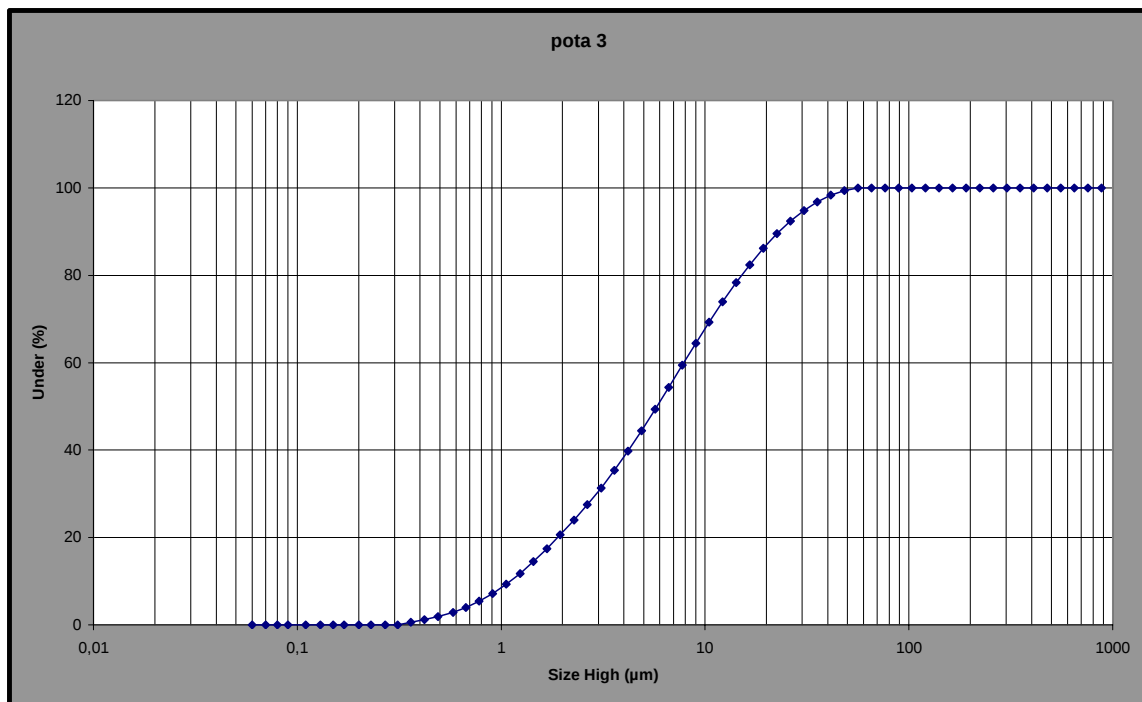
Σχήμα 23: Αποτελέσματα αναλυτή Laser για το δείγμα pota 23



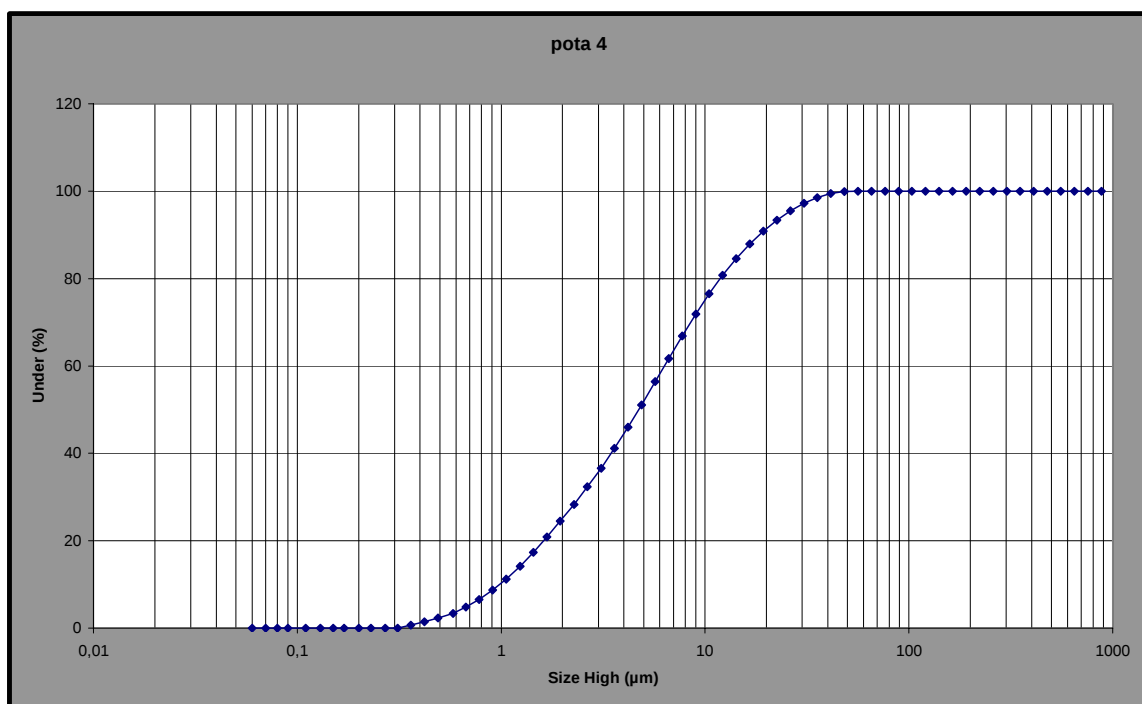
Σχήμα 24: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 1



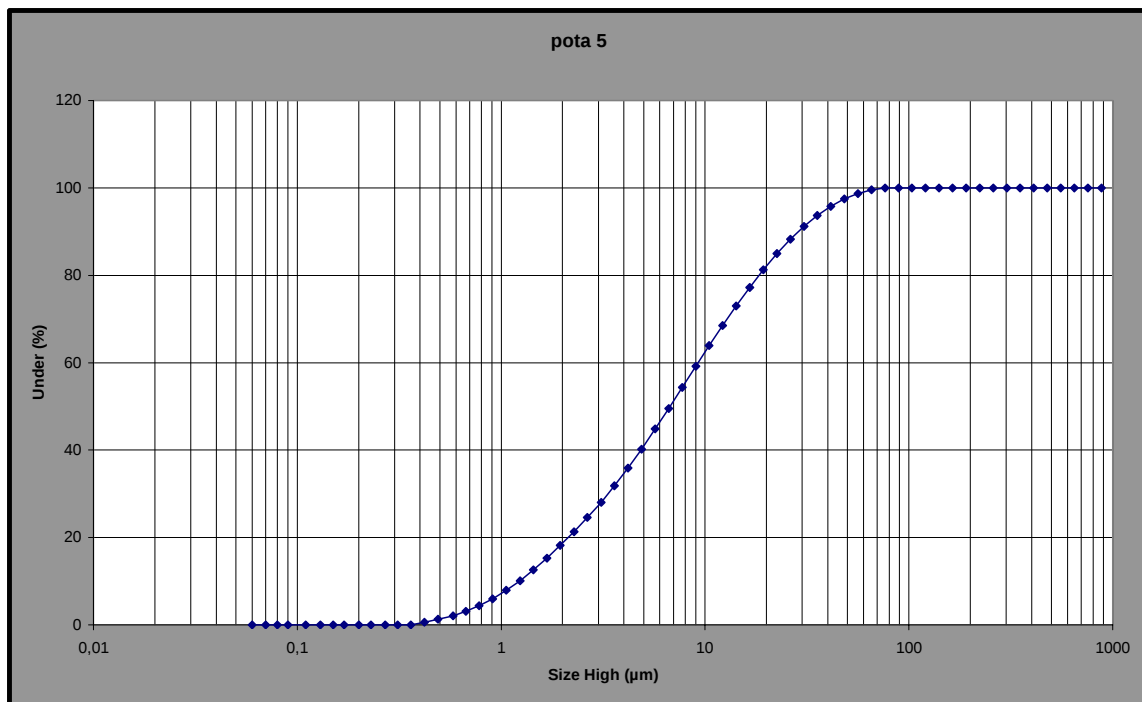
Σχήμα 25: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 2



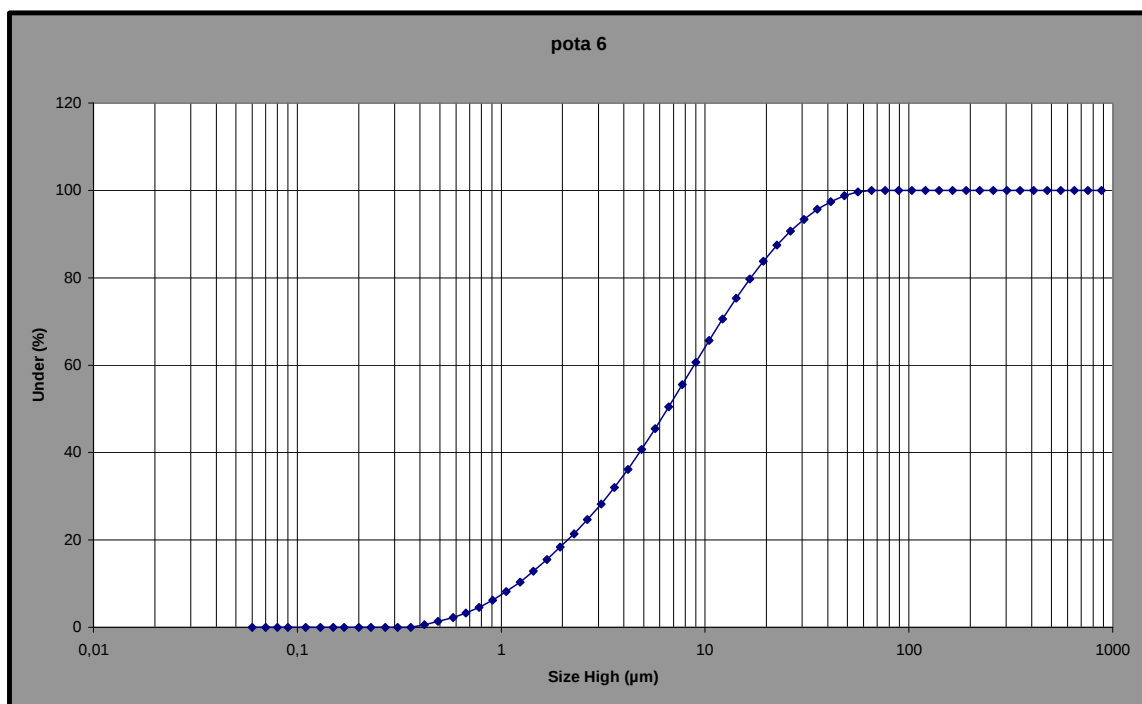
Σχήμα 26: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 3



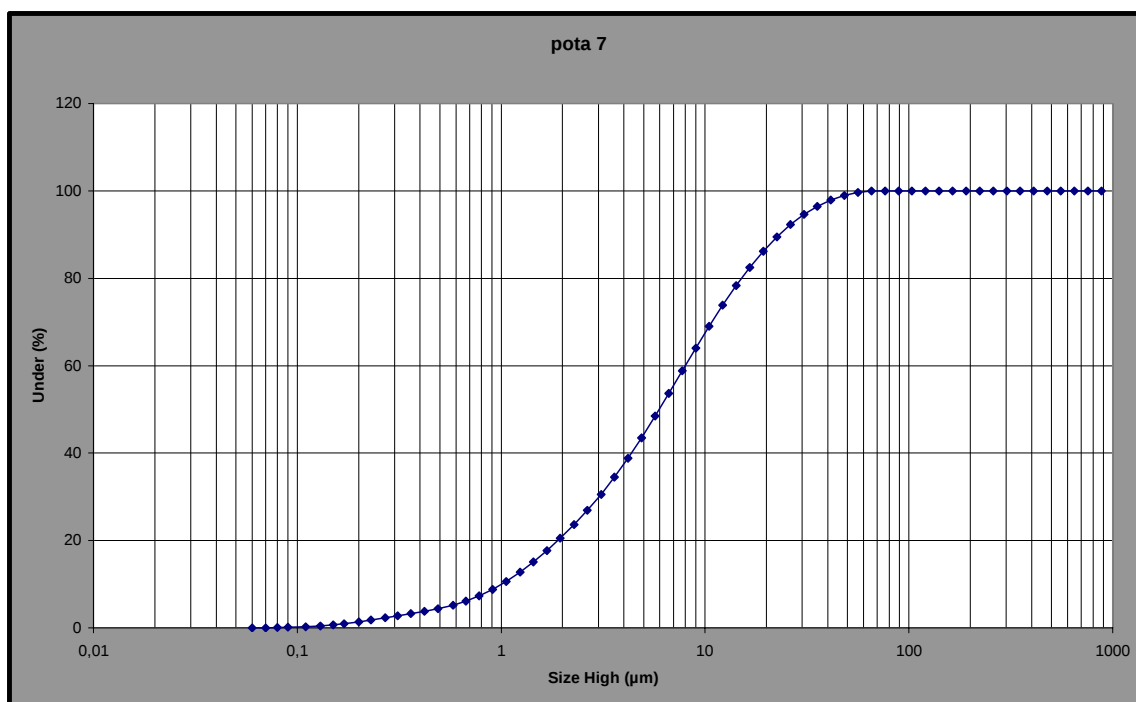
Σχήμα 27: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 4



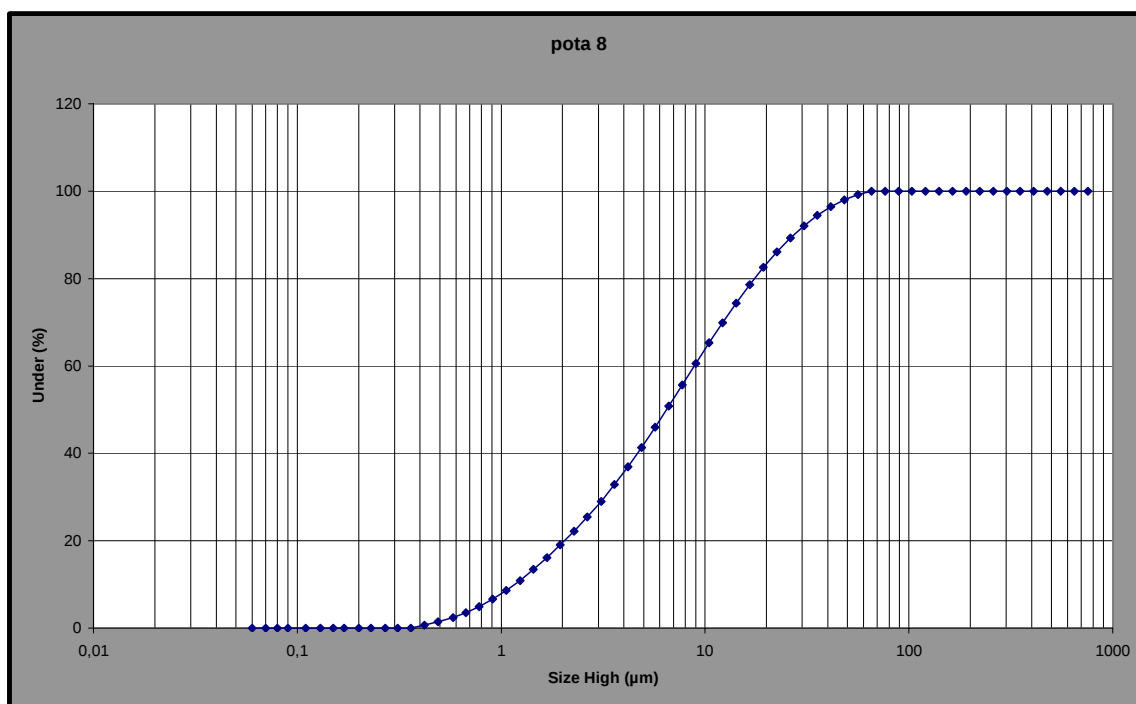
Σχήμα 28: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 5



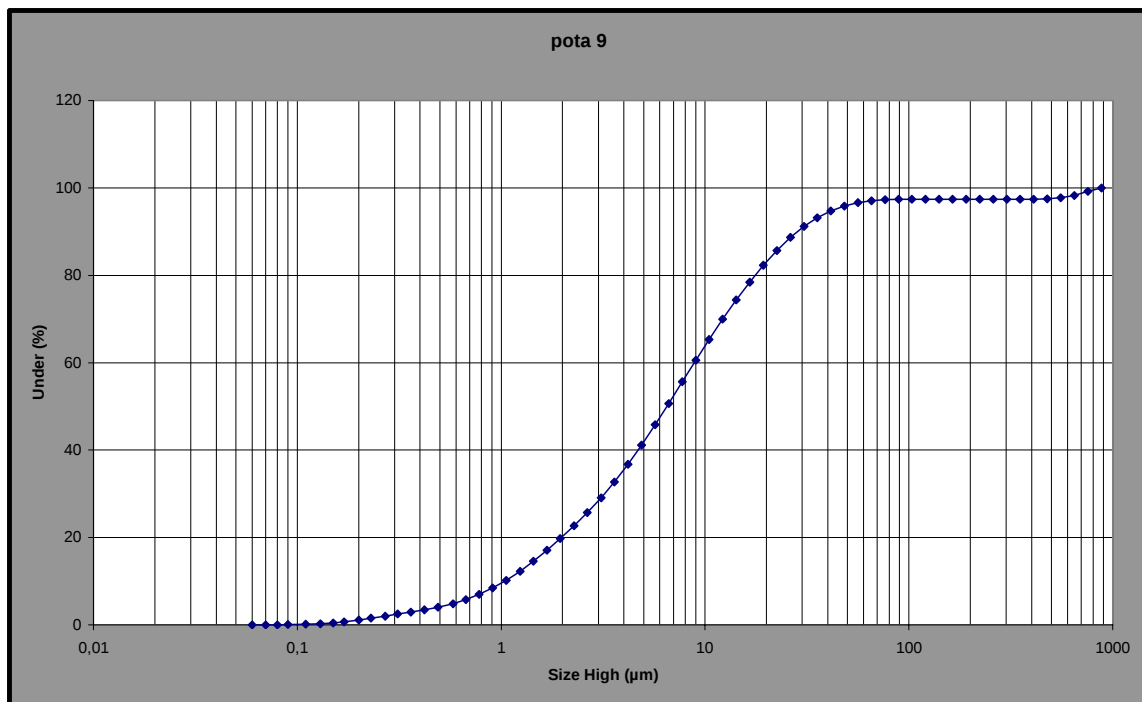
Σχήμα 29: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 6



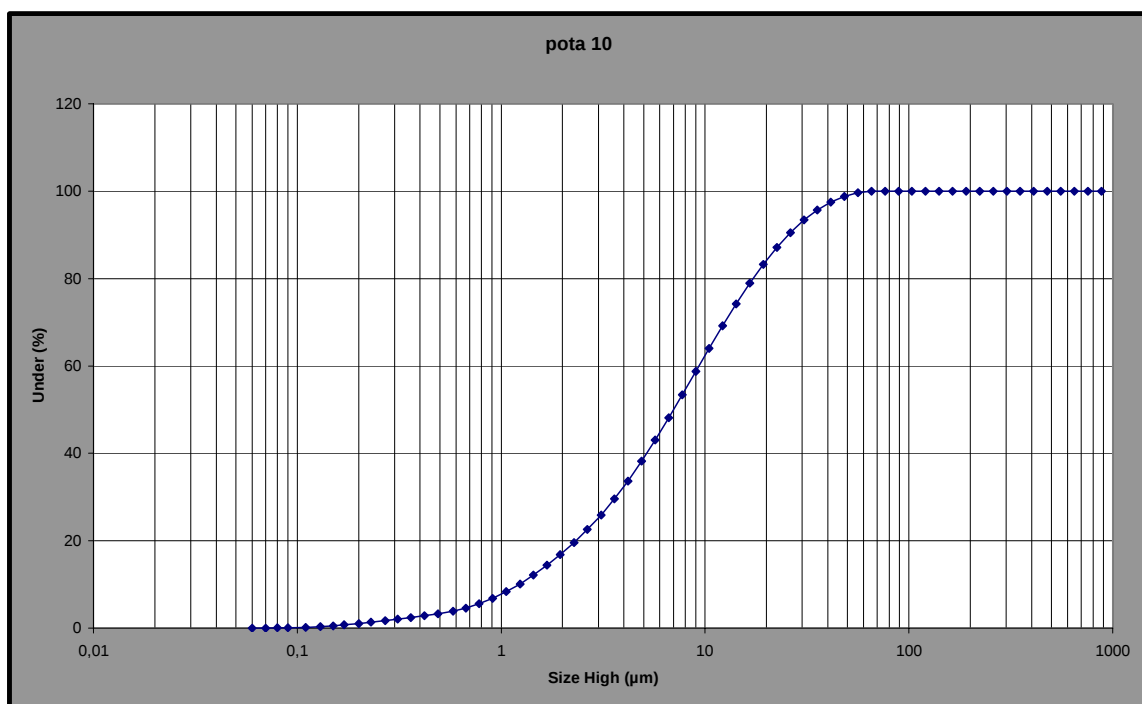
Σχήμα 30: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 7



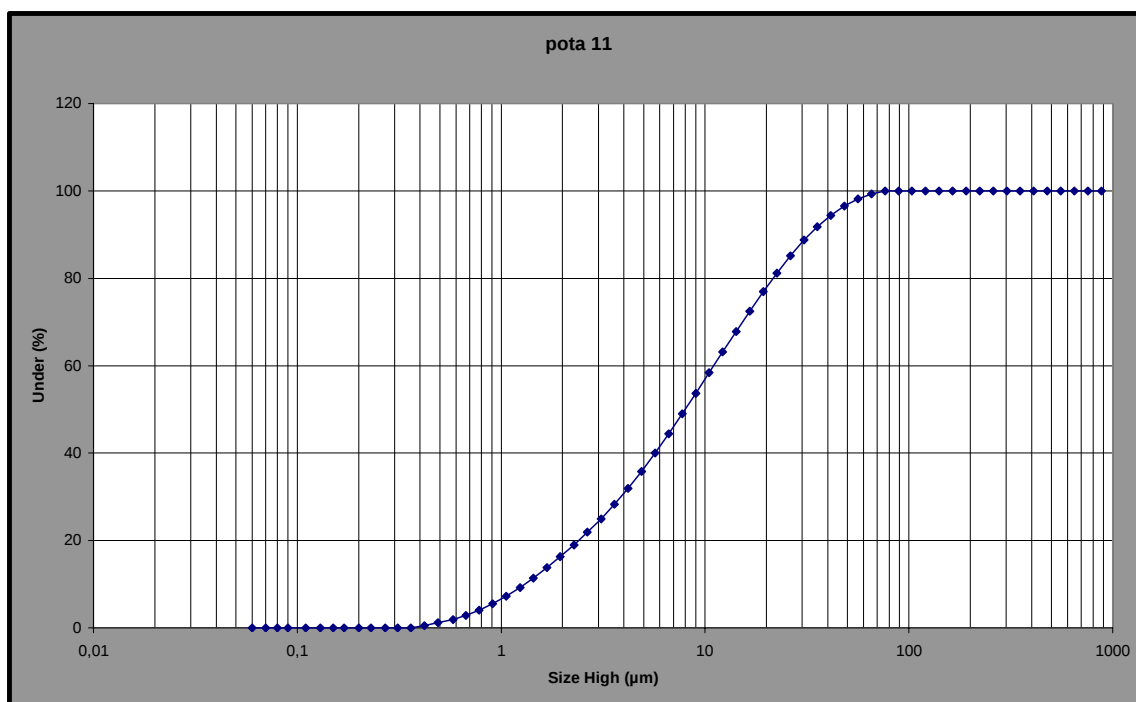
Σχήμα 31: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 8



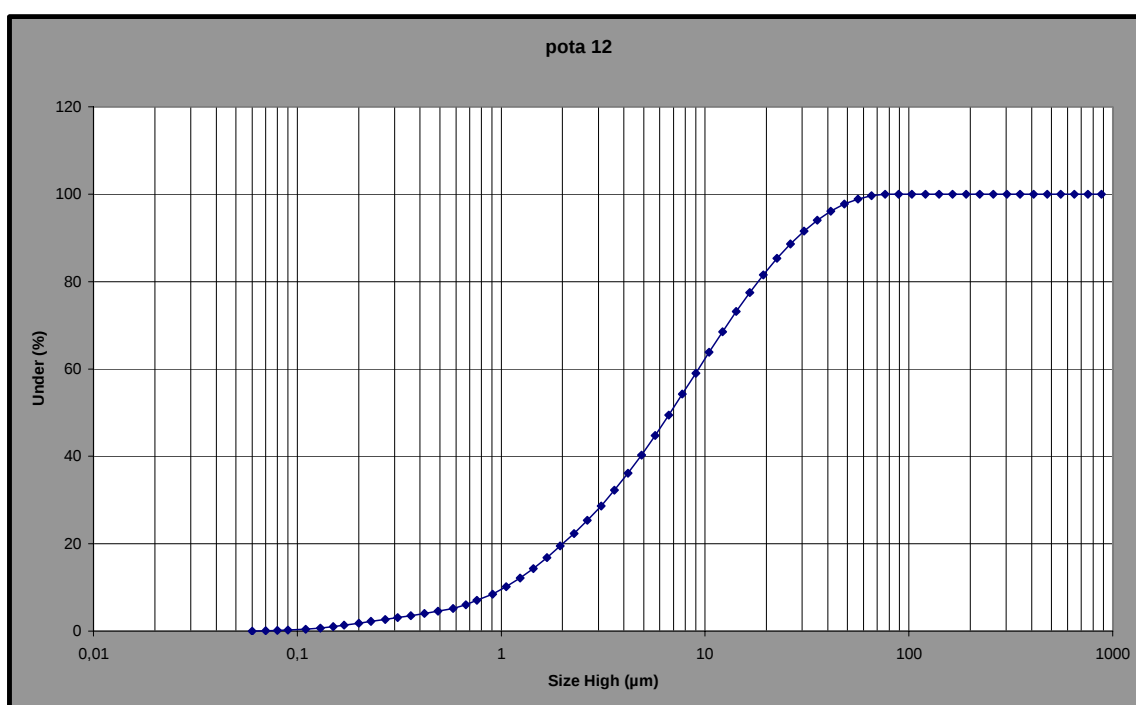
Σχήμα 32: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 9



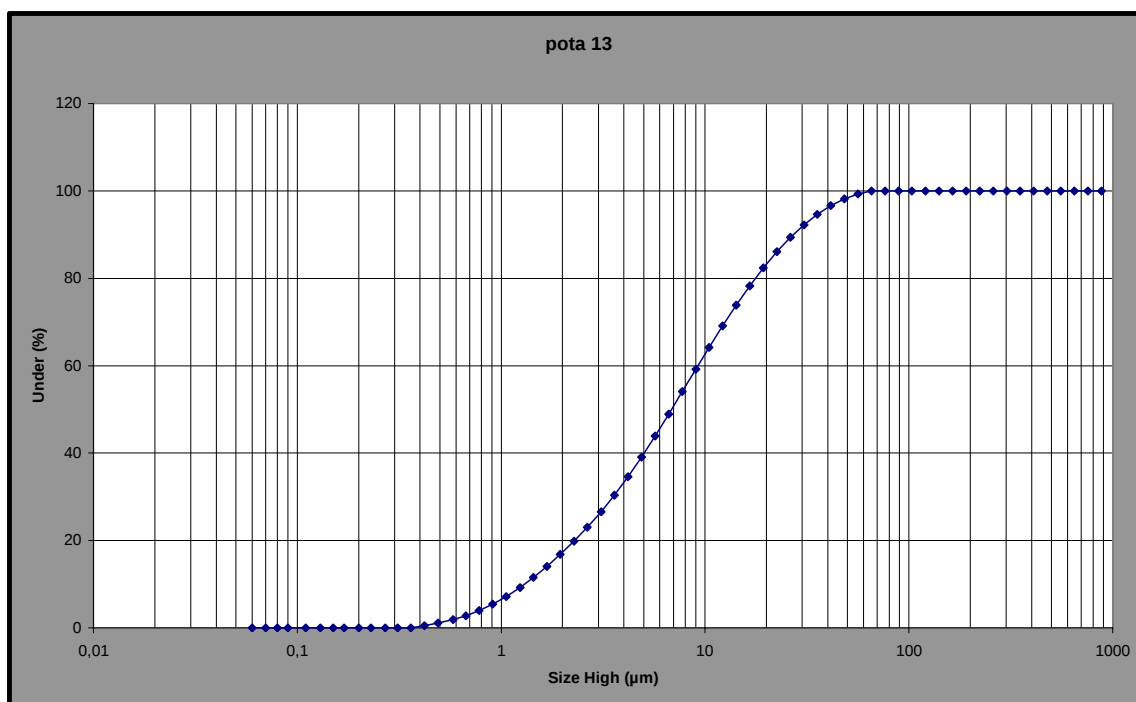
Σχήμα 33: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 10



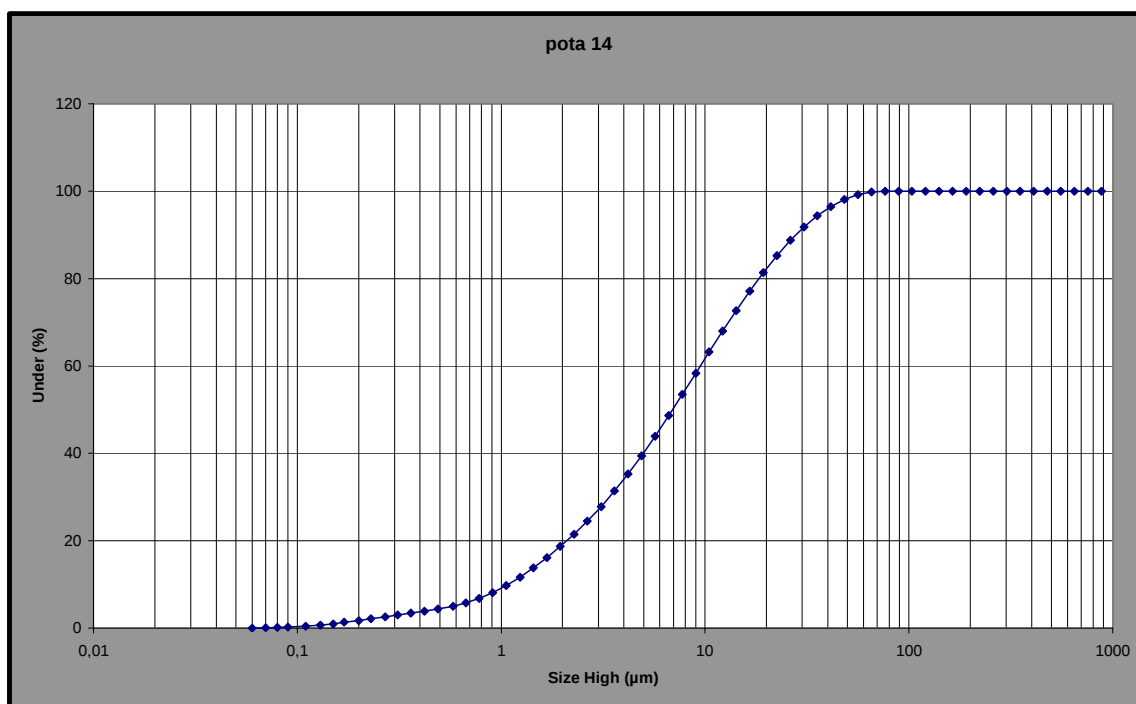
Σχήμα 34: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 11



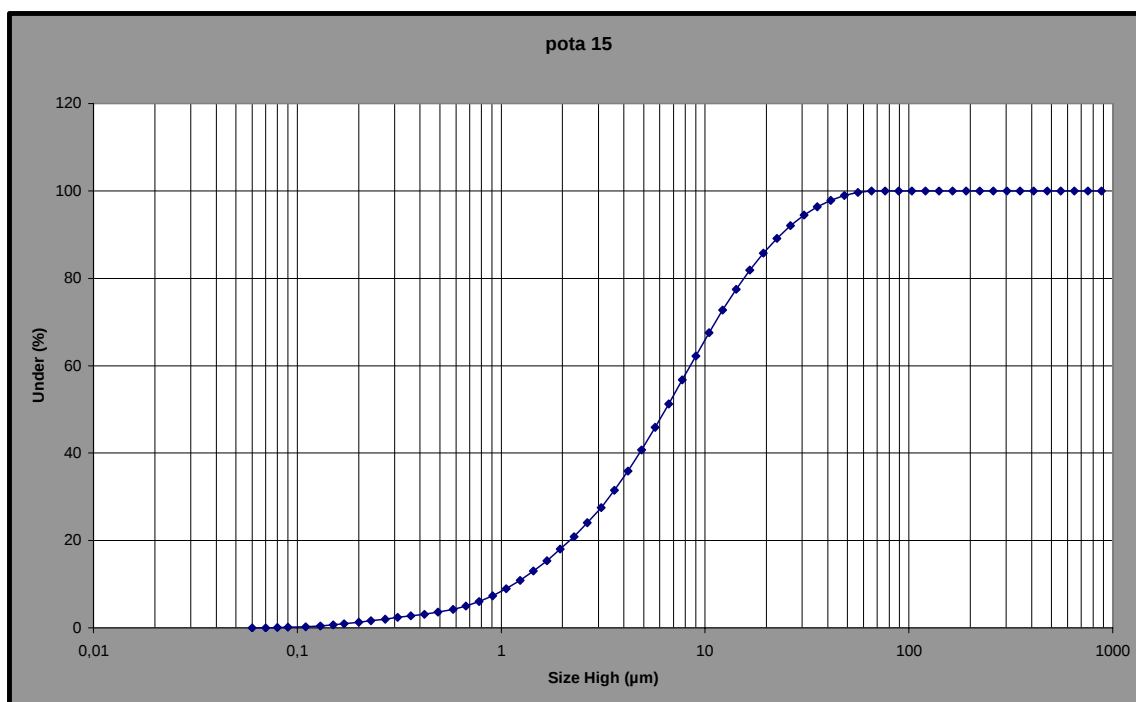
Σχήμα 35: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 12



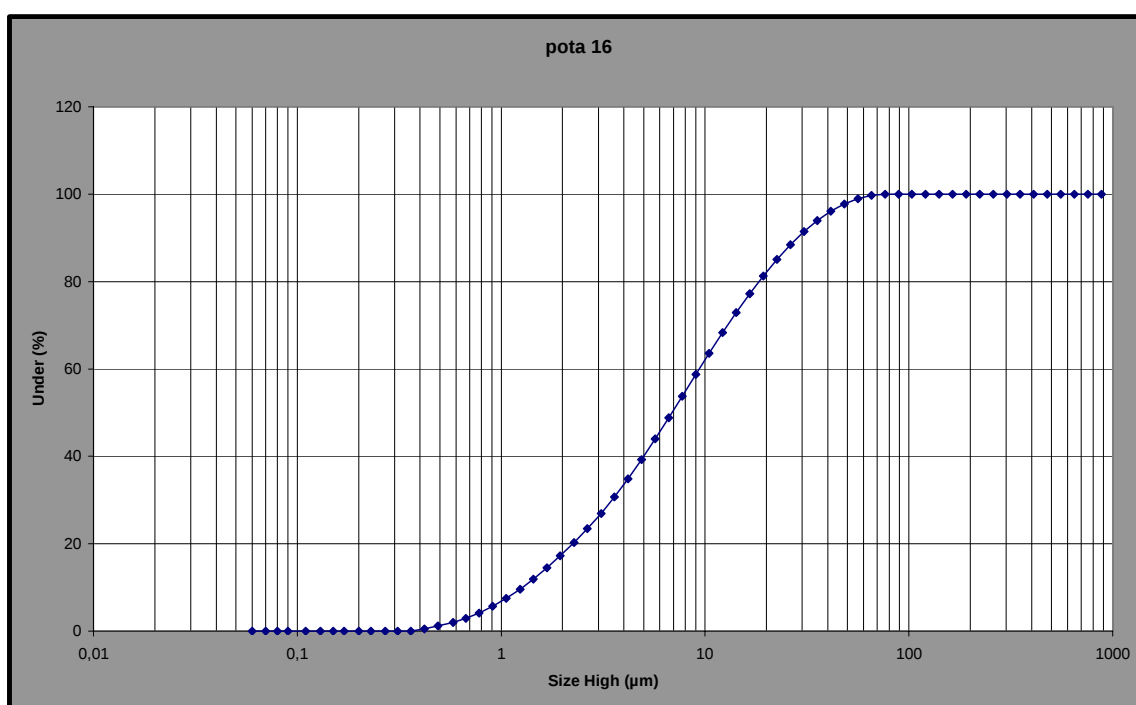
Σχήμα 36: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 13



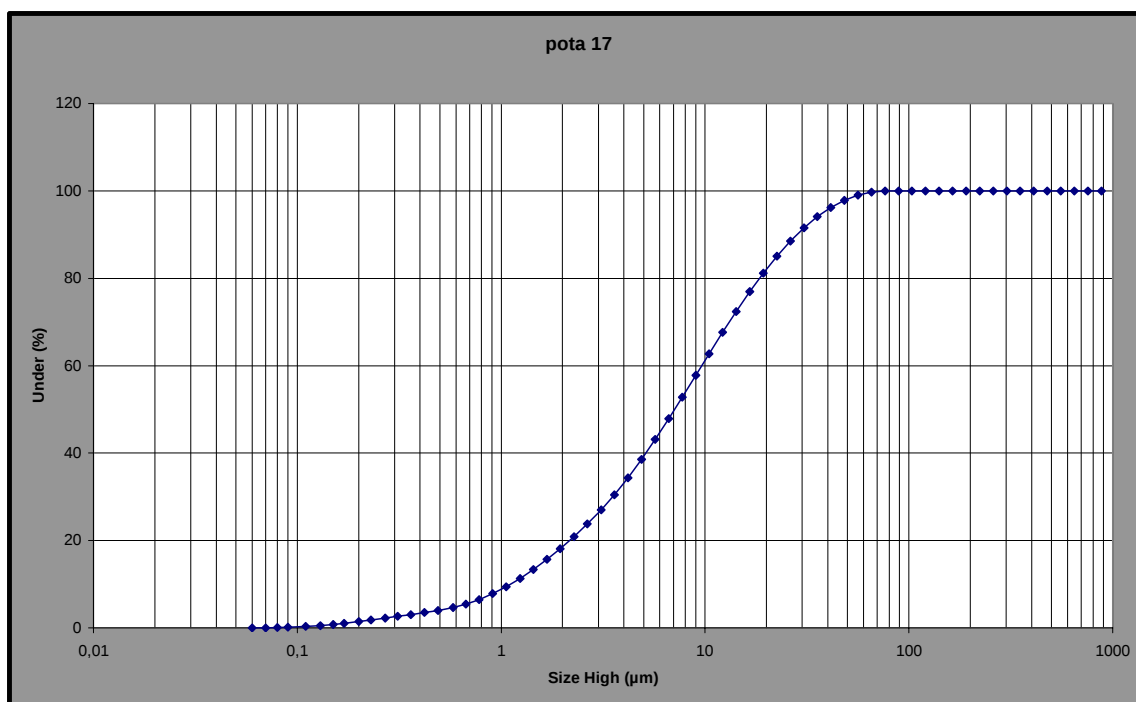
Σχήμα 37: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 14



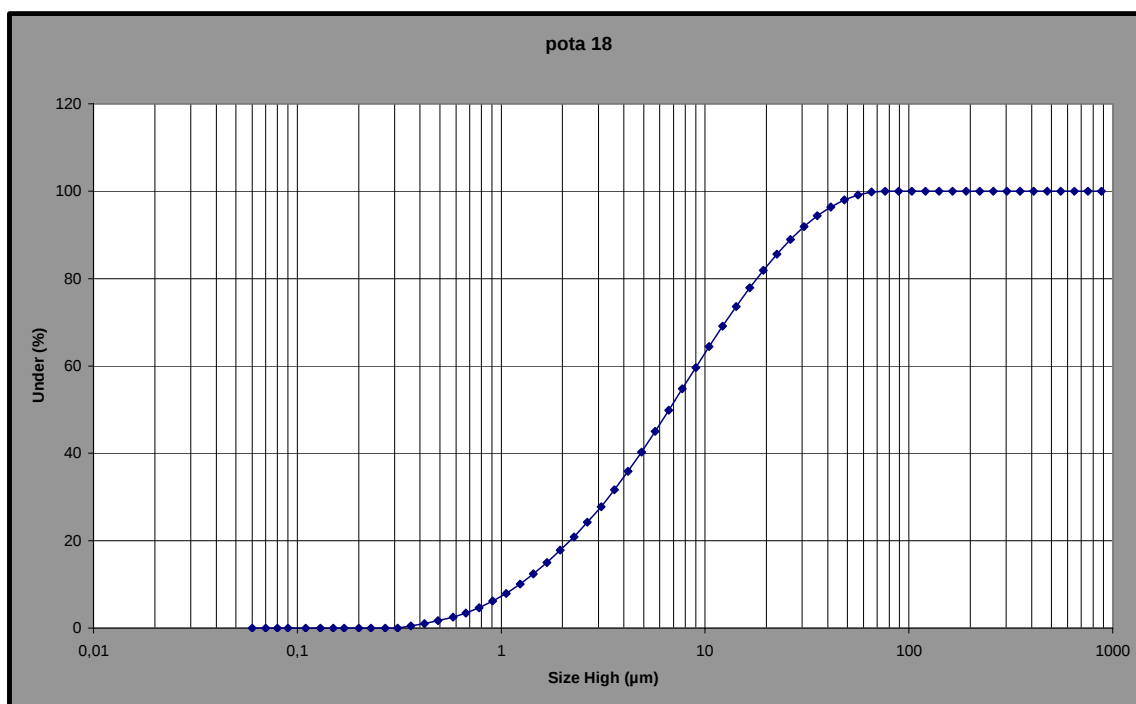
Σχήμα 38: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 15



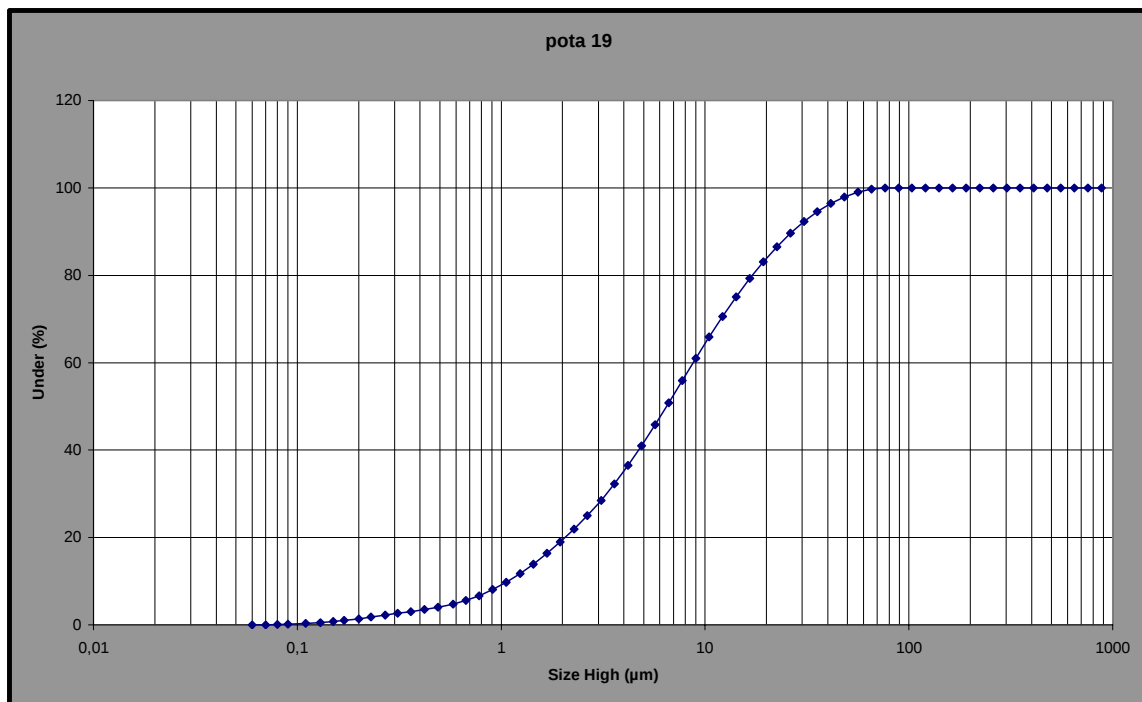
Σχήμα 39: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 16



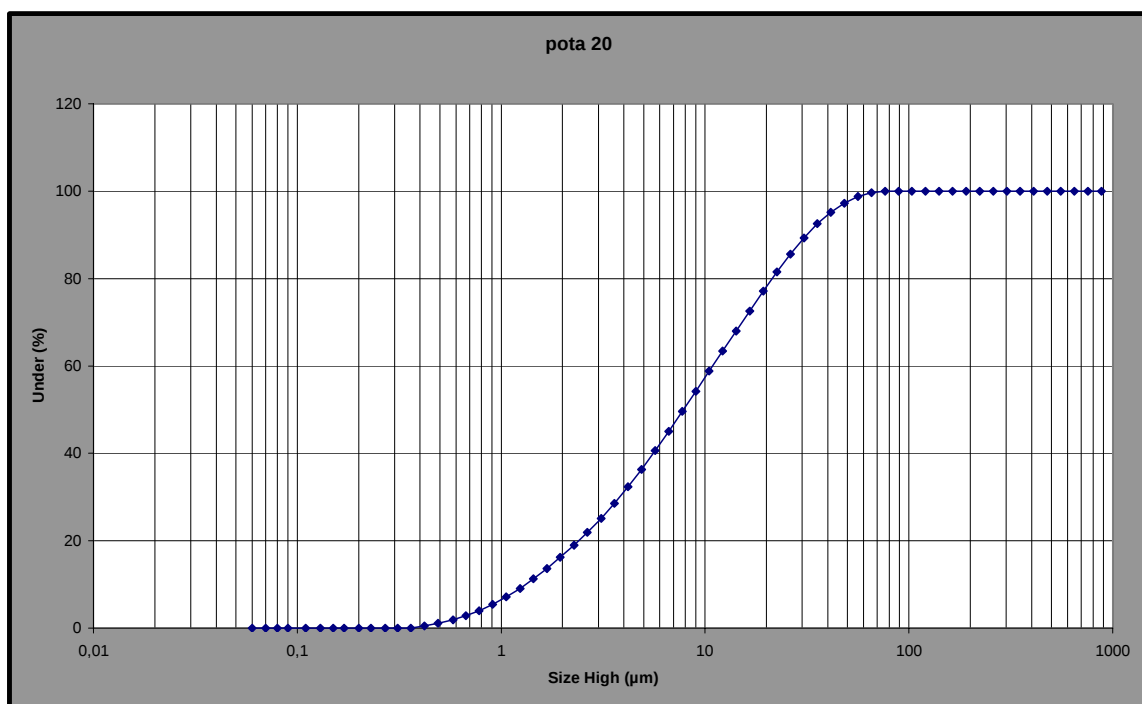
Σχήμα 40: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 17



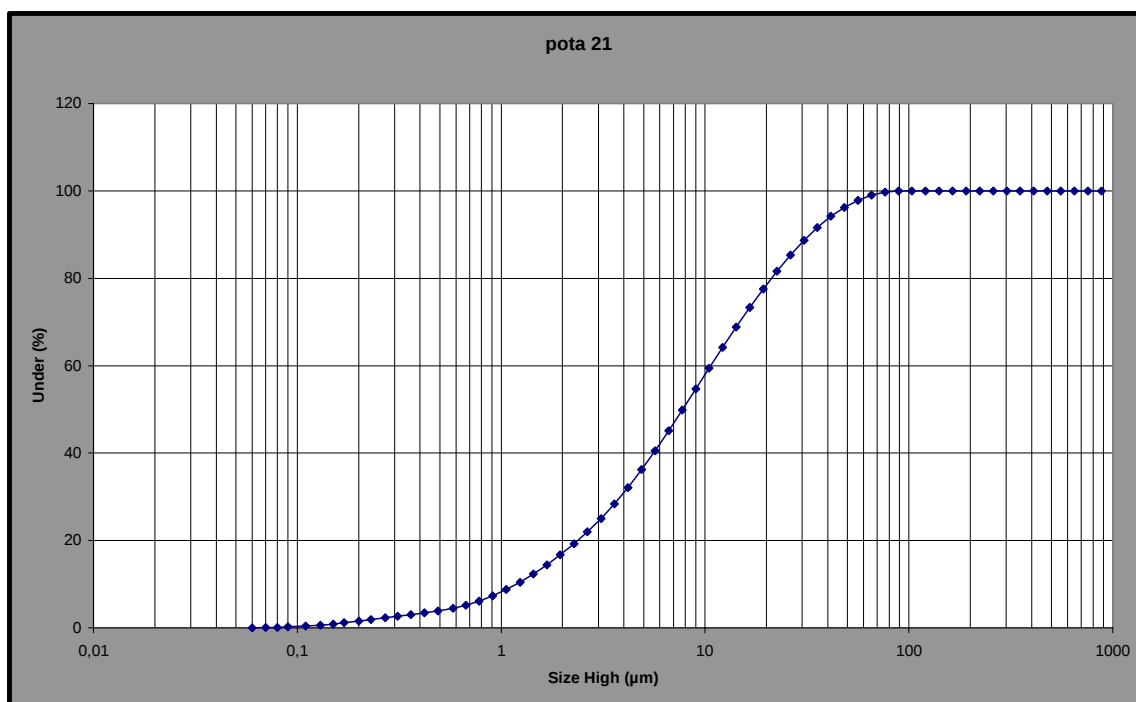
Σχήμα 41: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 18



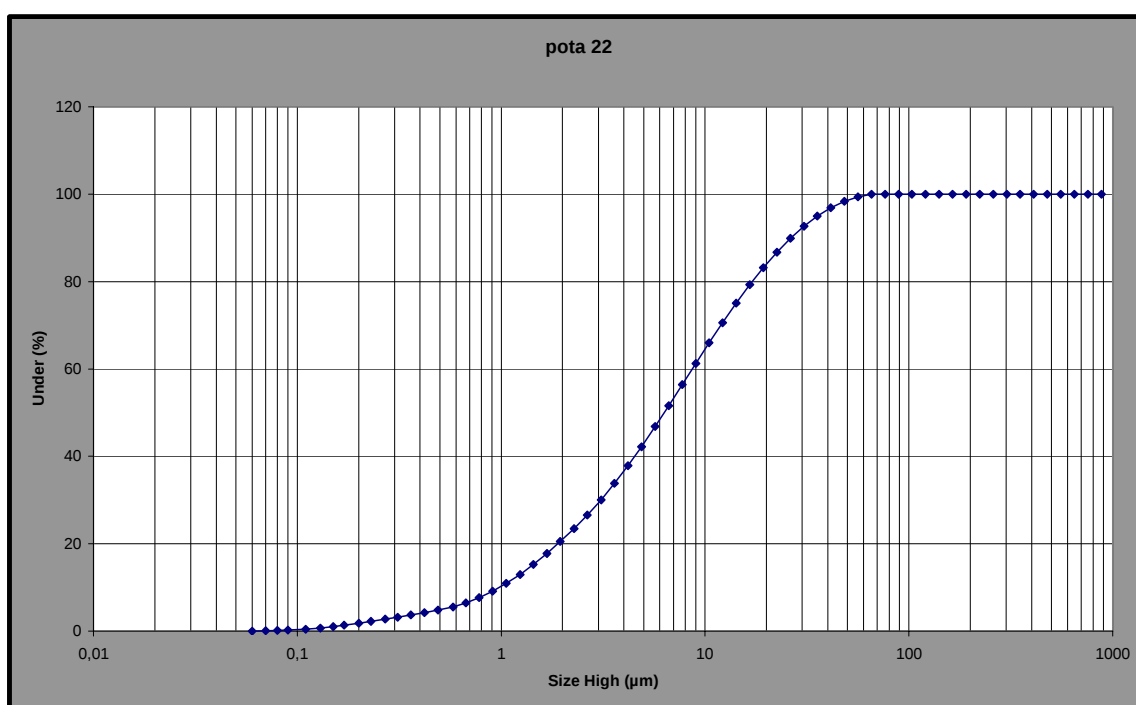
Σχήμα 42: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 19



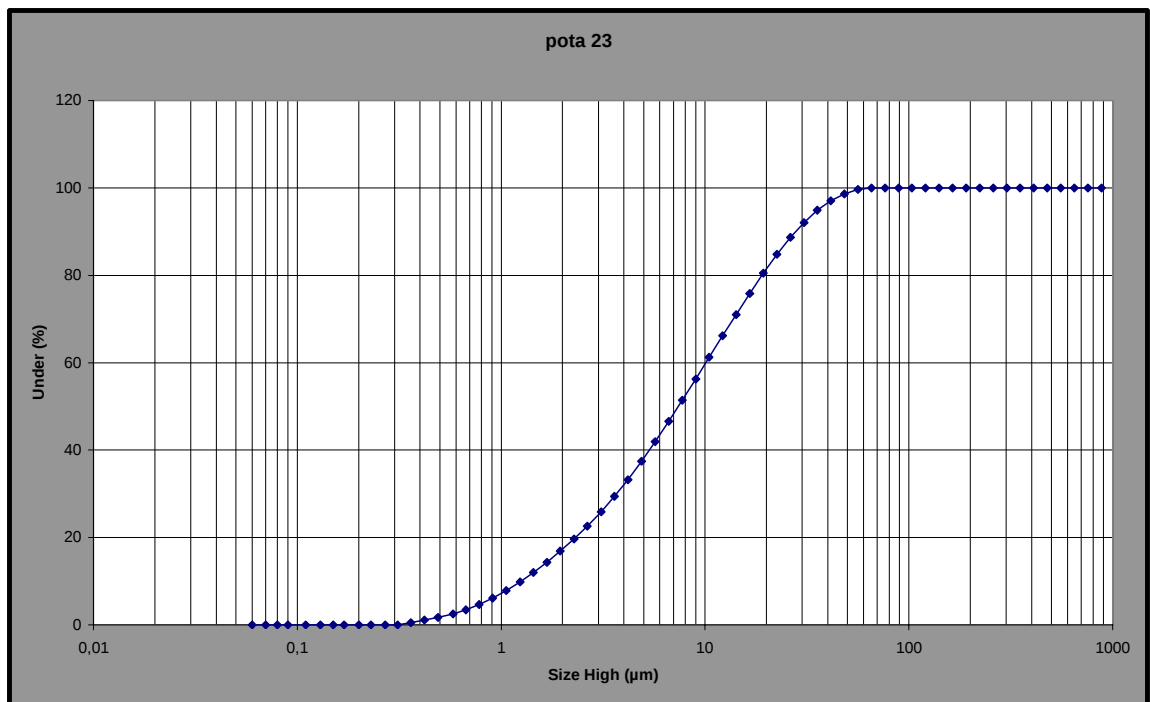
Σχήμα 43: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 20



Σχήμα 44: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 21

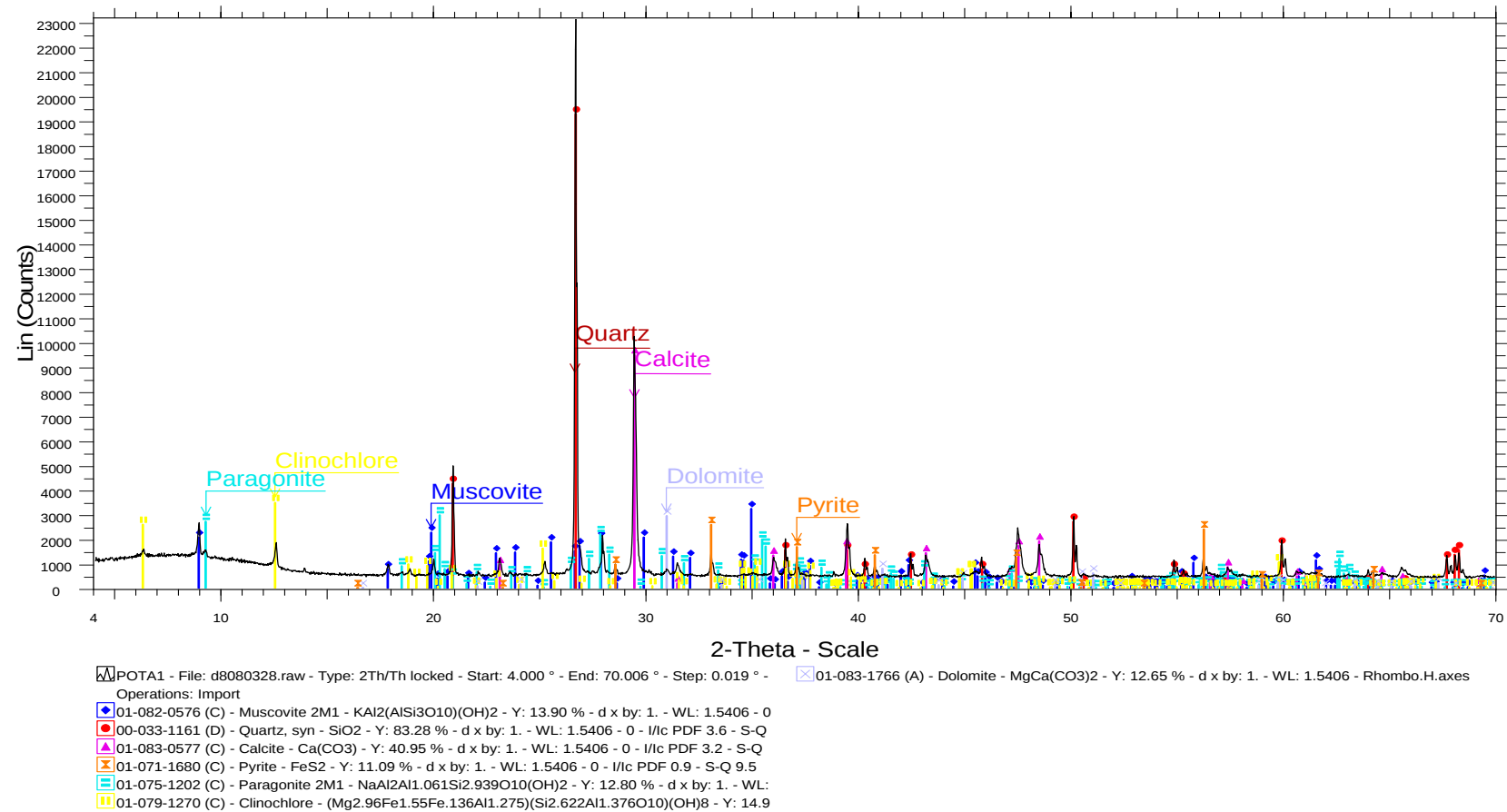


Σχήμα 45: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 22



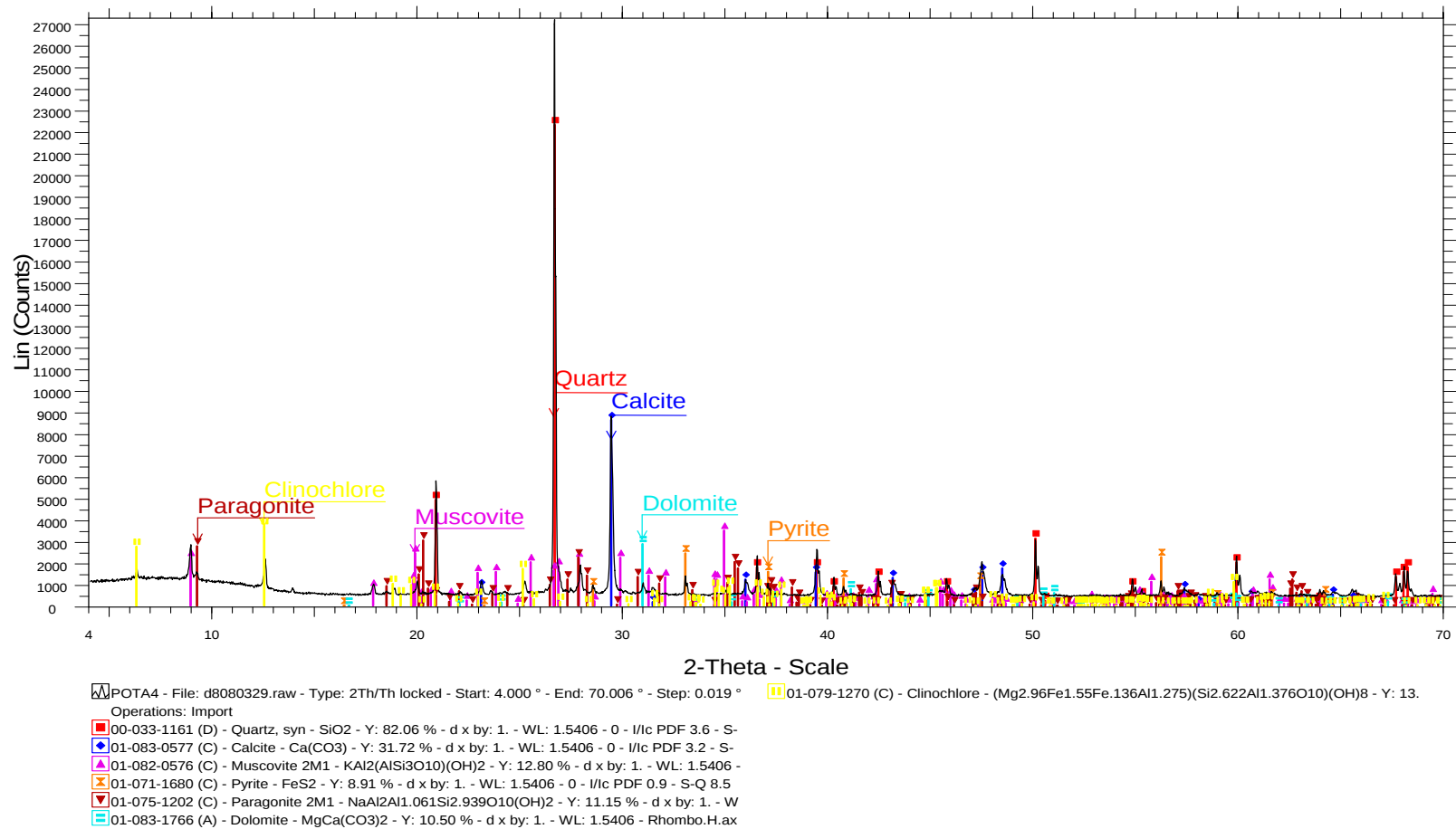
Σχήμα 46: Κοκκομετρική καμπύλη δείγματος pota 23

POTA1



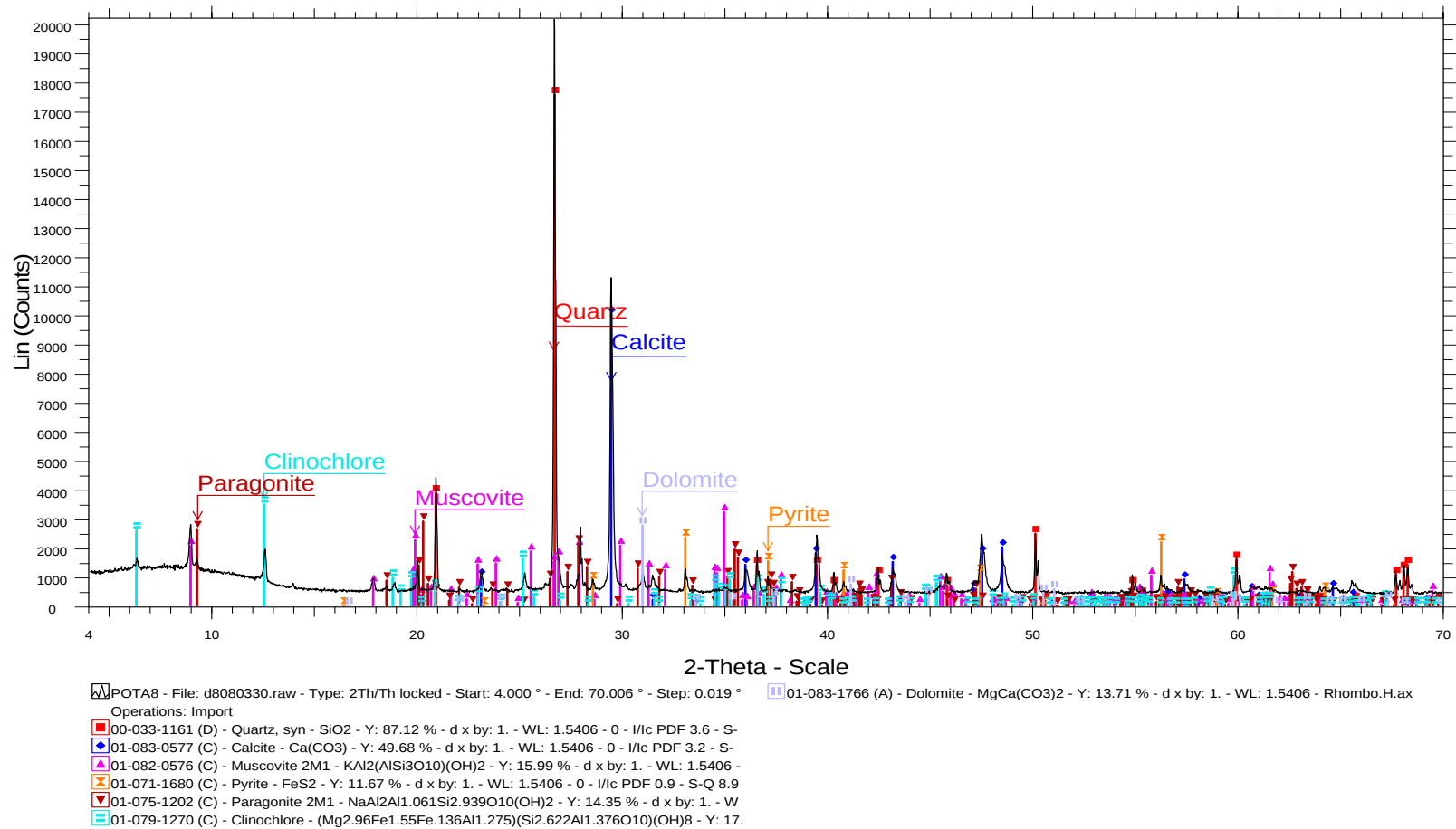
Σχήμα 47: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 1

POTA4



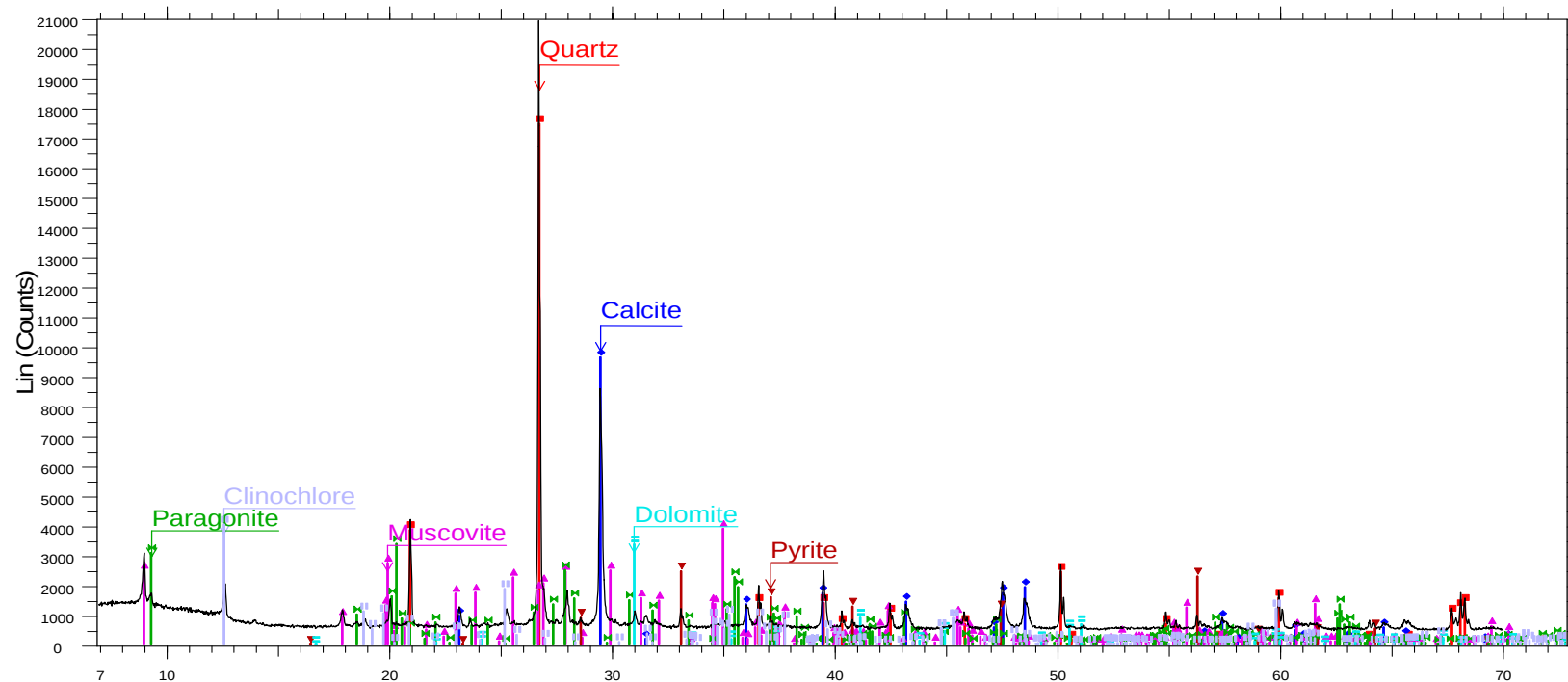
Σχήμα 48: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 4

POTA8



Σχήμα 49: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 8

POTA12

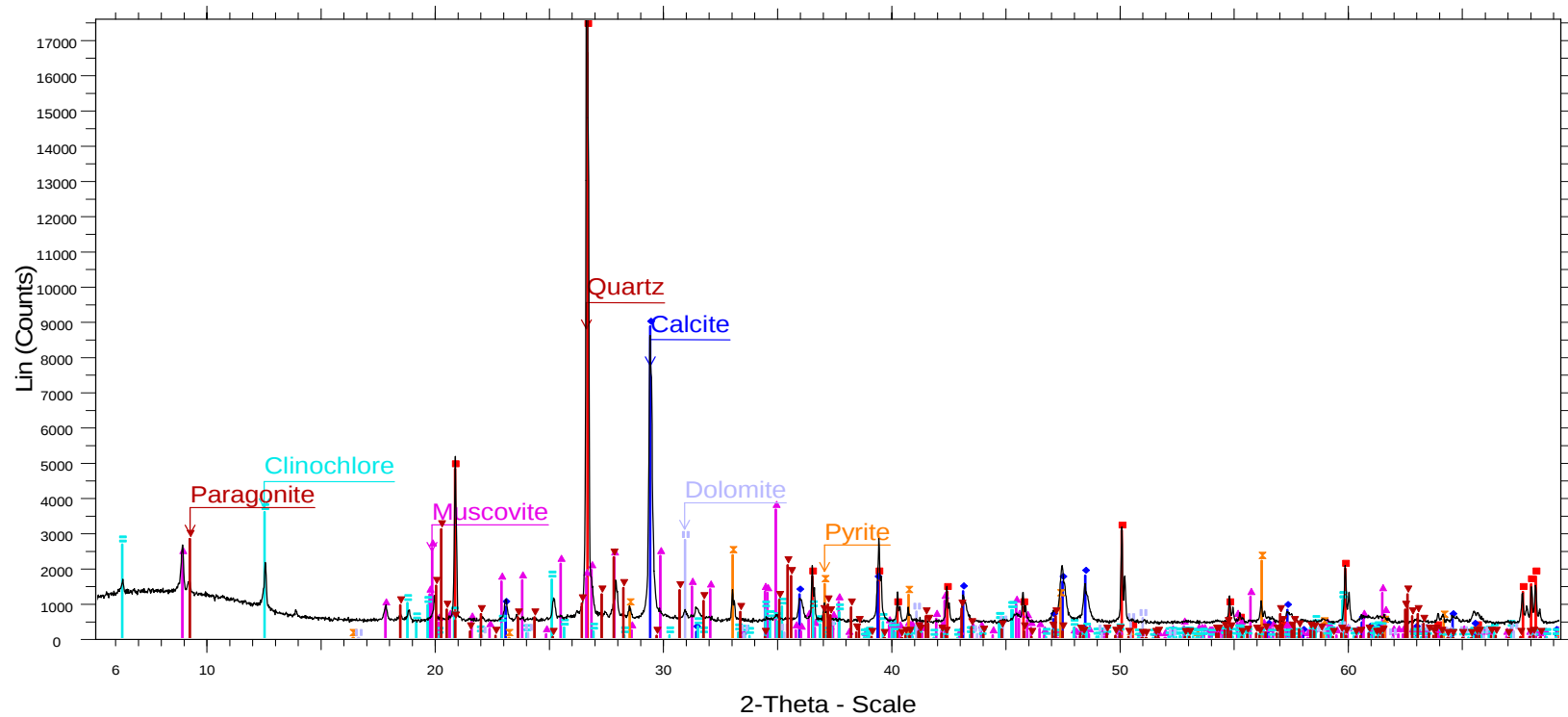


2-Theta - Scale

POT12 - File: d8080331.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019
 Operations: Import
 01-079-1270 (C) - Clinocllore - $(\text{Mg}_{2.96}\text{Fe}_{1.55}\text{Fe}_{1.36}\text{Al}_{1.275})(\text{Si}_{2.622}\text{Al}_{1.376}\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ - Y: 19.
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 83.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3.6 - S-
 01-083-0577 (C) - Calcite - $\text{Ca}(\text{CO}_3)$ - Y: 46.08 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3.2 - S-
 01-082-0576 (C) - Muscovite 2M1 - $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ - Y: 18.61 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 -
 01-071-1680 (C) - Pyrite - FeS_2 - Y: 11.76 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 0.9 - S-Q 8.3
 01-075-1202 (C) - Paragonite 2M1 - $\text{NaAl}_2\text{Al}_{1.061}\text{Si}_{2.939}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 16.17 % - d x by: 1. - W
 01-083-1766 (A) - Dolomite - $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ - Y: 16.11 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.ax

Σχήμα 50: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 12

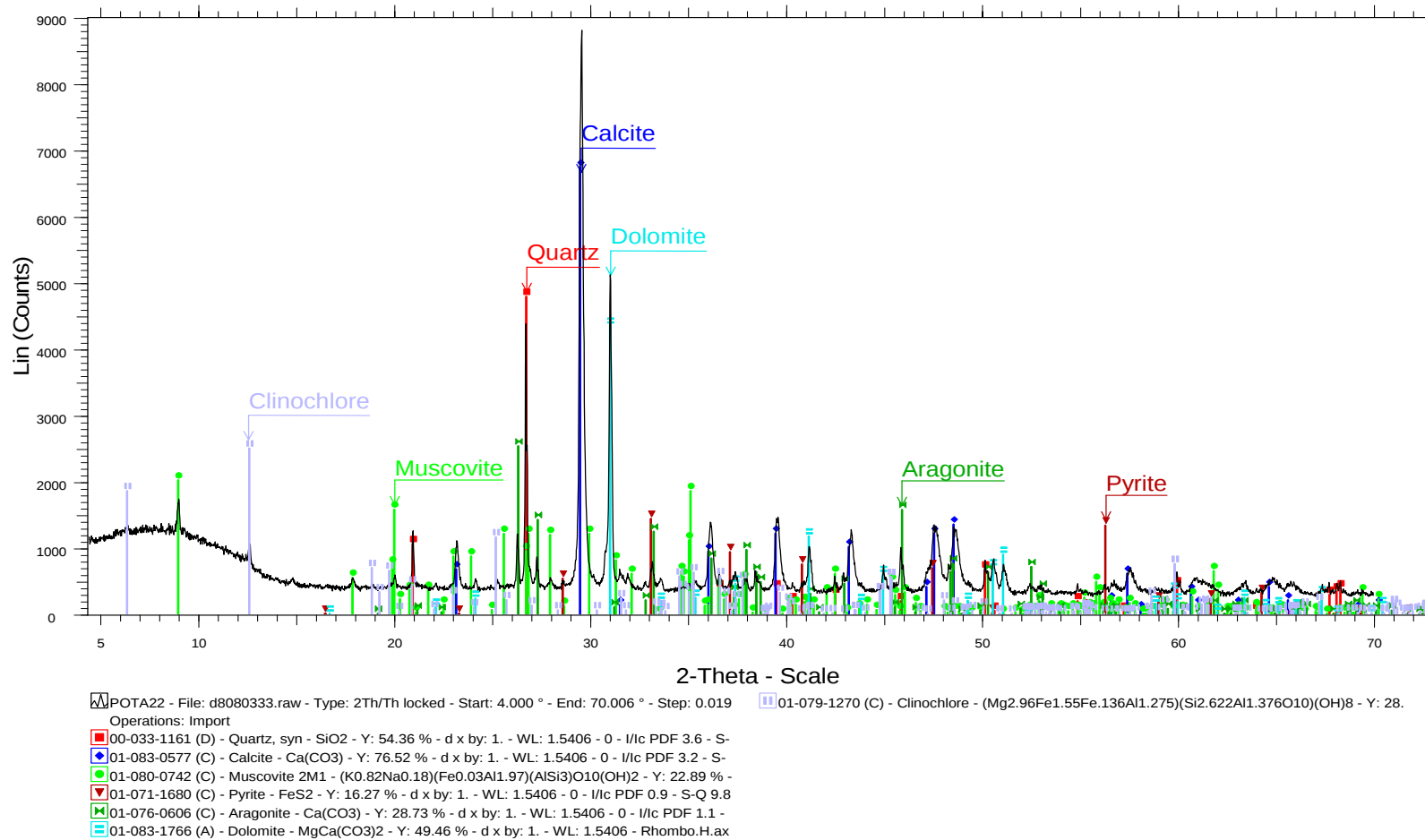
POTA18



POTA18 - File: d8080332.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 70.006 ° - Step: 0.019 °
 01-083-1766 (A) - Dolomite - MgCa(CO₃)₂ - Y: 10.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes
 Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 78.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3.6 - S-Q
 01-083-0577 (C) - Calcite - Ca(CO₃) - Y: 31.89 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 3.2 - S-Q
 01-082-0576 (C) - Muscovite 2M1 - KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂ - Y: 13.12 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0
 01-075-1202 (C) - Paragonite 2M1 - NaAl₂Al_{1.061}Si_{2.939}O₁₀(OH)₂ - Y: 11.13 % - d x by: 1. - WL:
 01-071-1680 (C) - Pyrite - FeS₂ - Y: 8.49 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - 0 - I/Ic PDF 0.9 - S-Q 8.2 %
 01-079-1270 (C) - Clinocllore - (Mg_{2.96}Fe_{1.55}Fe_{1.36}Al_{1.275})(Si_{2.622}Al_{1.376}O₁₀)(OH)₈ - Y: 12.8

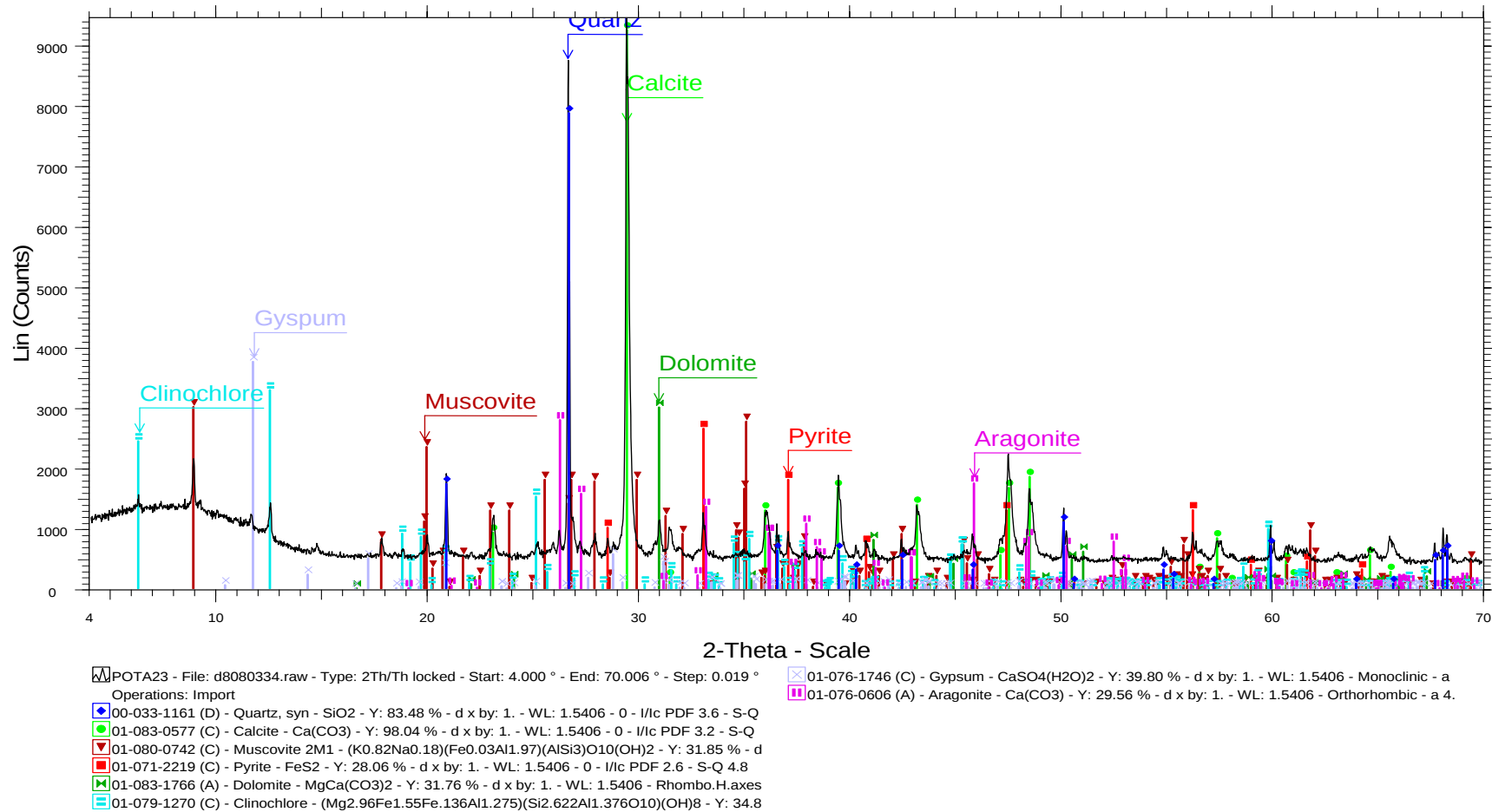
Σχήμα 51: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 18

POTA22



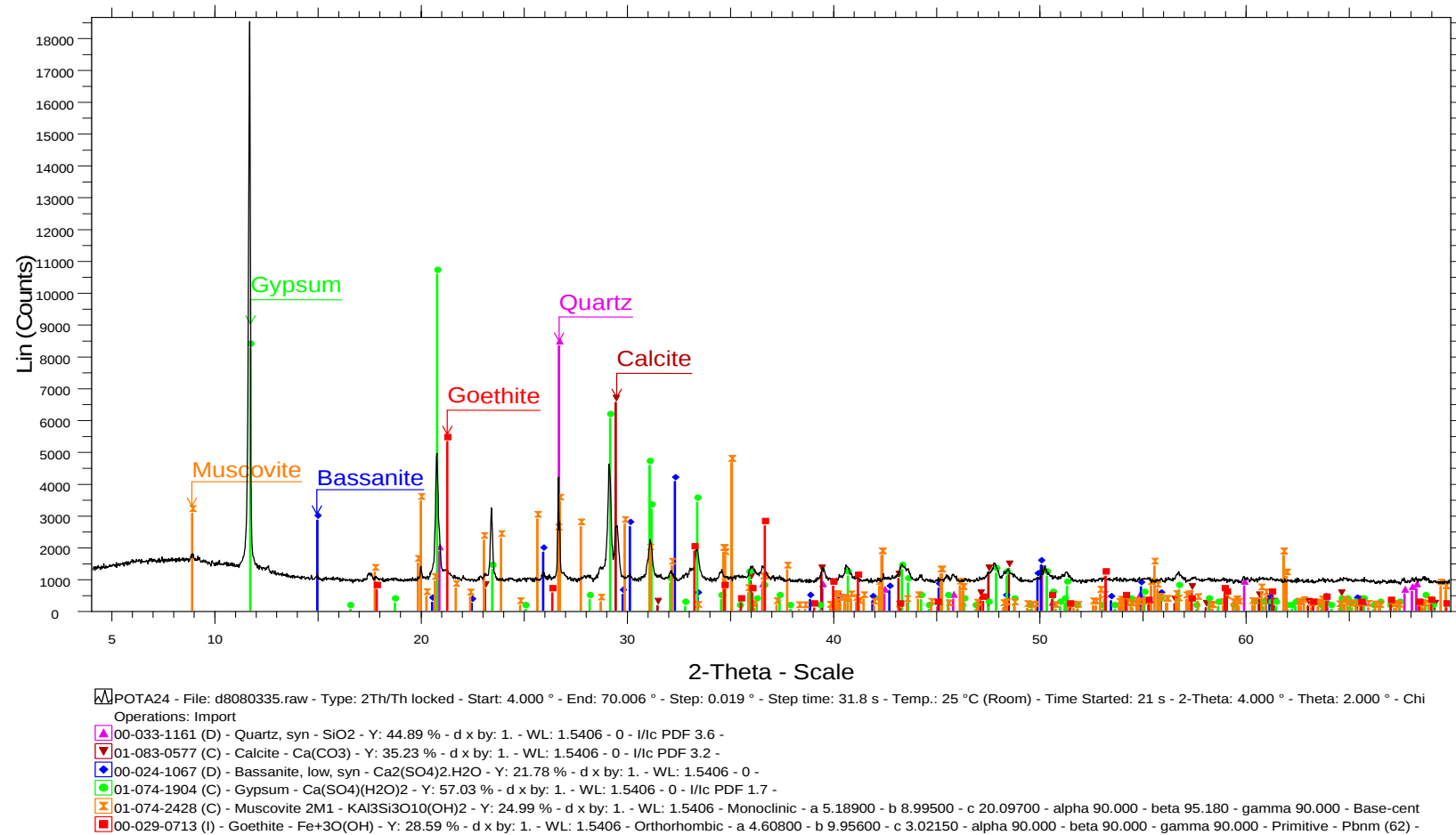
Σχήμα 52: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 22

POTA23



Σχήμα 53: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 23

POTA24



Σχήμα 54: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος pota 24