



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ, ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη κατανομής ιχνοστοιχείων σε λειμωνιτικές εμφανίσεις των νομών
Χανίων και Ρεθύμνης**



Του φοιτητή κ. Γεωργίου Γεώργιου

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθ. Ε. Μανούτσογλου (Επιβλέπων)

Καθ. Ν. Καλλίθρακας - Κόντος

Αν. Καθ. Γ. Αλεβίζος

Χανιά Δεκέμβριος 2018

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κύριο Μανούτσογλου Εμμανουήλ για την εμπιστοσύνη και την ανάθεση αυτής της εργασίας σε μένα, για τη συνεχή καθοδήγηση του, τις πολύτιμες γνώσεις του, τις συμβουλές του, τις παρατηρήσεις του και την ηθική υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της διεκπεραίωσης της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή Καθηγητή, κύριο Αλεβίζο Γεώργιο και το Δρ. κύριο Στρατάκη Αντώνιο για την προσφορά τους στην επεξεργασία των XRD δεδομένων, την ολοκλήρωση των ακτινογραφημάτων και για τη μικροσκοπική ανάλυση των δειγμάτων. Τον Καθηγητή κύριο Καλλίθρακα Νικόλαο για τη συμβολή του στο θεωρητικό και πρακτικό κομμάτι των χημικών αναλύσεων με τη μέθοδο EDXRF. Τον Καθηγητή κύριο Πασαδάκη Νικόλαο για την έγκαιρη πραγματοποίηση των δενδρογραμμάτων και τέλος την κυρία Όλγα Παντελάκη και κύριο Ευάγγελο Πετράκη για τη βοήθεια τους κατά την επεξεργασία των δειγμάτων στο εργαστήριο Εμπλουτισμού της Σχολής..

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ οφείλω να το εκφράσω στην οικογένεια μου, στον πατέρα μου, στη μητέρα μου και στα δύο αδέρφια μου, για τη πίστη που έδειξαν σε μένα και την υπομονή που έκαναν, την ηθική και οικονομική υποστήριξη τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και σε αυτούς αφιερώνω τη διπλωματική εργασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Δυτική Κρήτη, κατά το μεγαλύτερο τμήμα της, δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα πολυφασικού τεκτονισμού. Κατά καιρούς, διάφοροι μελετητές και ερευνητές, έχουν περιγράψει με διαφορετικές ονοματολογίες, το σύνολο αυτών των μεταμορφωμένων πετρωμάτων ή τμήματα όλων αυτών. Είναι δεδομένο πως η διαφορετική και πολύπλευρη ονοματολογία αυτών των τεκτονικών και στρωματογραφικών ενοτήτων να προκαλεί κάποια σύγχυση, ιδιαίτερα όταν εντός της τεκτονικής ενότητας που είναι ευρέως γνωστή με συνθετικά των όρων «Φυλλίτες-Χαλαζίτες» εμπεριέχονται πέραν των φυλλιτών, χαλαζιτών σχιστόλιθοι, μάρμαρα, ακόμα και μεταβασάλτες. Στη Δυτική Κρήτη, εντός του λεγόμενου «Φυλλιτικού Καλύμματος» πέραν των λιθολογικών ιδιομορφιών επιπροσθέτως εντοπίζονται υπολείμματα μεταλλευτικής δραστηριότητας σε σιδηρομεταλλεύματα και μικτά θειούχα μεταλλεύματα, που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν, σε διάφορα στάδια του πρόσφατου κυρίως ιστορικού παρελθόντος.

Συνεχίζοντας μια προσπάθεια που ξεκίνησε σχετικά πρόσφατα στην Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι μέσω δειγματοληψίας σε λειμωνίτες, σε λειμωνιτικές κρούστες και γενικότερα σε θέσεις εμφανίσεων σιδηρομεταλλευμάτων αλλά και χαλκούχων ορυκτών που εντοπίζονται σε διαφορετικές περιοχές της Δυτικής Κρήτης εντός του Φυλλιτικού Καλύμματος, να αναγνωριστεί και να διερευνηθεί η κατανομή των κύριων ορυκτών, των ορυκτολογικών τους φάσεων και των ιχνοστοιχείων που βρίσκονται εντός αυτών, να αξιολογηθούν και να συγκριθούν τα αποτελέσματα από τις παρατηρήσεις και τις εργαστηριακές μελέτες που πραγματοποιήθηκαν με υφιστάμενα παρόμοια αποτελέσματα από διαφορετικές χωρικές και στρωματογραφικές θέσεις.

Από τα στοιχεία αυτά, επιχειρείται η κατανόηση της γενετικής προέλευσης και της εξέλιξης των σιδηρομεταλλευμάτων και των εμφανίσεων μικτών θειούχων μεταλλευμάτων με έμφαση στην κατανομή των ελάχιστων ποσοστών χαλκού, όπου αυτά αναπτύχθηκαν εντός του Φυλλιτικού Καλύμματος της Δυτικής Κρήτης. Πέραν αυτής συμπληρώνεται ένα αρχείο πληροφοριών το οποίο θα μπορούσε να συγκριθεί με άλλα, υφιστάμενα γενετικά μοντέλα δημιουργίας σιδηρομεταλλευμάτων στον Ελληνικό χώρο, από παλαιότερες έρευνες.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν, η μεγάλη πλειονότητα των δειγμάτων είναι πλούσια σε οξειδία σιδήρου, τα οποία εμφανίζονται κυρίως ως γκαιτίτης αλλά σε μερικές περιπτώσεις εμφανίζεται και ως αιματίτης. Εντός των σιδηρούχων αυτών δειγμάτων συναντάμε ευρεία κατανομή ιχνοστοιχείων όπως χαλκό, αρσενικό, θείο, χρώμιο, ψευδάργυρο, βάριο, κοβάλτιο, νικέλιο, μόλυβδο, στρόντιο, ρουβίδιο κ.α. Κύριο συνοδευτικό ορυκτό αποτελεί ο χαλαζίας καθώς επίσης φυλλοπυριτικά και ανθρακικά ορυκτά.

Κλείνοντας, αβίαστα μπορεί να ειπωθεί, ότι τμήμα των αποτελεσμάτων μπορούν να φανούν χρήσιμα και στην αρχαιολογική έρευνα του νησιού, αφού οι θέσεις της μικτής θειούχας και κυρίως σιδηρούχας μεταλλοφορίας από όπου πιθανώς να προμηθεύτηκαν τα απαραίτητα μέταλλα στις αντίστοιχες προϊστορικές χρονικές περιόδους παραμένει ένα ανοικτό ερευνητικό κεφάλαιο για τις γεωεπιστήμες αλλά και για την αρχαιολογία.

Abstract

To a large extent, western Crete consists of metamorphic rocks resulting from multiphase tectonic activity. A number of different nomenclatures have been employed by researchers to partially or fully describe the array of metamorphic rocks found in the region. It is evident that this inconsistent set of names and terms used to describe stratigraphic units results in confusion, especially within the phyllite-quartzite family of rocks. The latter encompasses a vast collection of rocks, such as phyllites and quartzites but also slates, marble, and metabasaltic rocks. Within the so-called “Phyllitic stratum”, on top of lithologic particularities, one can also find evidence of human metallurgic activity involving iron and mixed sulfuric ores that is to a large extent relatively recent.

The aim of this thesis is to contribute to and expand the cataloging of the region’s main ores and to describe their mineralogic phases and mineral composition as part of a larger effort initiated under the auspices of the school of mineral resources engineering. This work presents the results of the analysis derived from the sampling of limonite found within the vicinity of western Crete’s phyllitic stratum. Moreover, it offers an evaluation and comparative assessment of previous observations and laboratory results from different locations and geologic strata.

Based on the acquired data, we attempt to further comprehend the origin and evolution of local iron ores and the appearance of mixed sulfuric ores with an emphasis on the distribution of the minute percentages of copper within western Crete’s phyllitic stratum. Further on, we generated an information archive comparable with those constructed from previous studies focusing on models of iron ore formation in Greece.

Laboratory results suggest that the great majority of samples are rich in iron oxides, mostly goethite and to a lesser extent hematite. Within these iron oxides, we encountered a plethora of mineral elements such as copper, arsenic, sulfur, chromium, zinc, barium, cobalt, nickel, lead, strontium, rubidium etc. Quartz was often found to accompany those ores along with smaller amounts of phyllosilicates and carbonate rocks.

To conclude, we can confidently say that the results of this study could also benefit the archeological effort on the island, especially since the sites of mixed sulfur and iron extraction through various historical periods remain an open question for geosciences and archeology.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2: Γεωλογική Επισκόπηση.....	2
2.1 Γεωλογικό περίγραμμα της νήσου Κρήτης	4
Κεφάλαιο 3: Γενικές πληροφορίες Σιδηρομεταλλευμάτων-Παγκόσμια αγορά.	9
3.1. Σίδηρος-παραγωγή και αγορά.	9
3.2. Κράματα Σιδήρου-Χάλυβες.....	13
3.3. Τα σιδηρομεταλλεύματα που εντοπίζονται στον Ελληνικό χώρο	13
Κεφάλαιο 4: Κοιτασματογένεση.....	20
4.1. Παλαιότερες ονοματολογίες μαγματικά συνδεόμενων μεταλλοφοριών.	20
4.2. Νεότερες ονοματολογίες μαγματικά συνδεόμενων μεταλλοφοριών.....	24
Κεφάλαιο 5: Μικτά Θειούχα (Σουλφίδια)-Οξείδωση και διάλυση.	26
Κεφάλαιο 6: Κοιτασματολογική αναγνώριση Νομού Ρεθύμνης	31
6.1. Μεταλλεύματα και θέσεις εντοπισμού τους.....	32
6.1.1. Μεταλλεύματα Σιδήρου:	32
6.1.2. Μικτά Θειούχα:	34
Κεφάλαιο 7: Μεθοδολογία και θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδων	35
7.1.1. Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων.....	35
7.1.2. Μέθοδος περιθλασιμετρίας των ακτίνων-X (XRD)	35
7.1.3. Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο	37
7.2. Χημική ανάλυση - Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων X.	37
Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα εργαστηριακών μελετών.....	39

8.1. Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Ανάλυσης XRD	41
8.2. Αποτελέσματα Χημικής Ανάλυσης XRF	44
8.3. Αξιολόγηση και συγκρίσεις	53
8.4. Συσχετισμοί και Κατηγοριοποίηση δειγμάτων	56
8.4.1. Συσχετισμοί:.....	56
Κεφάλαιο 9: Υπάρχουσες απόψεις για τη δημιουργία εμφανίσεων μετάλλων στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Κρήτης	63
Κεφάλαιο 10: Ανίχνευση και εντοπισμός σιδήρουχων εμφανίσεων	65
Κεφάλαιο 11: Χαλκός και σίδηρος διαχρονικά στην Ανατολική Μεσόγειο και το Αιγαίο. Μια προσέγγιση με την βοήθεια της αρχαιολογικής έρευνας	75
Κεφάλαιο 12: Συμπεράσματα	105
Κεφάλαιο 13: Βιβλιογραφία	108
Κεφάλαιο 14: Παραρτήματα	112
Παράρτημα 1: Φωτογραφίες δειγμάτων	112
Παράρτημα 2: Φωτογραφίες από εργασίες πεδίου	117
Παράρτημα 3: Ακτινοδιαγράμματα	123
Παράρτημα 4: Φωτογραφίες Στιλπνών τομών	136

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. (Κατά Μουντράκη et al. 1983, από Mercier, Brunn, Aubouin et al., 1971)	2
Εικόνα 2. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al., 1978). Πιο συγκεκριμένα: α) Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου. β) Περίοδος Μέσου - Ανω.Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολλάσσας στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Α-ξιού". γ) Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατωτέρου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιροδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτη-	

ση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική και d) Περίοδος Μέσου - Ανω Ιουρασικού. Αύλακες και υβώματα μετά την περιοδοπική ορογένεση. ΑΙ = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιοδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, Η = Ενδοχώρα, Ιο = Ιόνιος, Ρ = Πελαγονική, Ρα = Πάικου, Ρε = Παιονίας, Ρh = λεκάνη φυλλιτών, Ρi = Πίνδου, Sb = Υποπελαγονική, T.O. = Σειρά Plattenkalk.	3
Εικόνα 3: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 (Ι.Γ.Μ.Ε. 1993)	4
Εικόνα 4: Οι εμφανίσεις της Ομάδας Πλακωδών Ασβεστολίθων και του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Πελοπόννησο και την Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).	5
Εικόνα 5: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από: Seidel et al., 1982).	6
Εικόνα 6: Σχηματική ακολουθία της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων, του Φυλλιτικού Καλύμματος και του Καλύμματος της Τρίπολης μαζί με τις κυριότερες λιθολογίες. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν τους κύριους τεκτονικούς ορίζοντες αποκόλλησης που διαχωρίζουν τις ενότητες και υποενότητες (κατά Dornsiepen & Manutsoglu, 1994).	8
Εικόνα 7: Κυριότερες χώρες παραγωγής Σιδηρομεταλλευμάτων (από Lu 2015).	10
Εικόνα 8. Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη του Raulin 1869.	14
Εικόνα 9. Μεταλλογενετικός χάρτης της Ελλάδας κλίμακας 1:1.000.000 (Ζάχος και Μαράτος 1965)	18
Εικόνα 10: Μεταλλογενετικός χάρτης Δυτικής Κρήτης. Θέσεις εμφανίσεων μεταλλευμάτων.....	19
Εικόνα 11: Σχηματική παράσταση των διαφόρου βάθους μαγματικών εστιών και των ζωνών απόθεσης	21
Εικόνα 12. Σχηματική παράσταση των ζωνών κυκλοφορίας του νερού σε πετρώματα ενιαίου πορώδους	26
Εικόνα 13. Τα πεδία σταθερότητας μερικών από τα κύρια ορυκτά του χαλκού στις συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια της Γης (χαμηλή πίεση CO ₂), ως συντήρηση των τιμών pH και κατά Garrels και Christ, (1965)	27
Εικόνα 14: Αρχή λειτουργίας και η τυπική διάταξη φασματοσκοπίας ΧRF, (Περδικάκης και Πεντάρη, 2003) Τρίχος Δ. 2011.....	38
Εικόνα 15: Τυπική μορφή δενδρογράμματος	59

Εικόνα 16: Παράδειγμα από δεδομένα που πρόκειται να κατηγοριοποιηθούν.	60
Εικόνα 17: Αποτέλεσμα της κατηγοριοποίησης των δεδομένων.....	60
Εικόνα 18: Κανονικοποιημένη κατηγοριοποίηση δειγμάτων.	62
Εικόνα 19: Κατηγοριοποίηση δειγμάτων με βάση τα ιχνοστοιχεία τους.	62
Εικόνα 20: Σχηματική τομή που δείχνει την κινηματική κατά το τελευταίο στάδιο της ορογενετικής διεργασίας στην περιοχή της Κρήτης (Κατά Kilia et al, 2002)	63
Εικόνα 21: Γενική ακολουθία δραστηριοτήτων στην έρευνα και την εξερεύνηση ενός κοιτάσματος μεταλλεύματος (Satyendra Kumar Sarna, 2015).	67
Εικόνα 22: Χάλκινα αγγεία και εργαλεία της Ύστερης εποχής του χαλκού, National Museum of the Union, Alba Iulia, Romania (https://en.wikipedia.org/wiki/Bronze_Age_Europe).....	76
Εικόνα 23: Γεωλογικός χάρτης Κύπρου (Cyprus Geological Survey Department).	83
Εικόνα 24:Άποψη τμήματος της οροσειράς του Τροόδους, Εικόνα 25:Κοιτάσματα κίτρινης και κόκκινης ώχρας στο	84
Εικόνα 26: Ρέμα στην τοποθεσία Αλμυρά (Αγία Βαρβάρα-επαρχία Λευκωσίας) που πλημμυρίζει κατά τη διάρκεια των χειμερινών βροχών. (Cyprus Copper Itinerary, 2015).....	84
Εικόνα 27:Στοά Μεταλλείου, Μαθιάτης (επαρχία Λευκωσίας) Εικόνα 28:Ανακατασκευασμένη Κάμιнос στην θέση Αλμυράς.....	85
Εικόνα 29:Χάλκινο αγαλματίδιο που αναπαριστά Αρχαία Θεότητα του Χαλκού να στέκει πάνω σε ένα χάλκινο τάλαντο, Έγκωμη-Κύπρος, Αρχαιολογικό Μουσείο Λευκωσίας, (https://en.wikipedia.org/wiki/Oxhide_ingot).....	88
Εικόνα 30: Τετράπλευρος χάλκινος υποστάτης από το Κούριο (Βρετανικό Μουσείο, Λονδίνο).	88
Εικόνα 31:Αριστερά Χάλκινο τάλαντο από την Έγκωμη-Κύπρος (Κυπριακό Μουσείο, Λευκωσία).	89
Εικόνα 32: Χημικές αναλύσεις σε τάλαντα από Έγκωμη που βρίσκονται στο Βρετανικό Μουσείο.	90
Εικόνα 33: Απεικονίσεις ξένων που μεταφέρουν χάλκινα τάλαντα. (α) Μινωική ή Μυκηναϊκή, (β) Συριανή. (de Garis Davies 1943). Αναπαράσταση από τάφο του 15 ^{ου} αιώνα π.χ. (Keftiu-Αίγυπτος). (Javier Gimenez, UPC Barcelona).	91

Εικόνα 34: Κατανομή Ταλάντων και θραυσμάτων τους που έχουν εντοπιστεί (Alaina M. Kaiser 2013).	92
Εικόνα 35: Χάλκινα αντικείμενα που έχουν βρεθεί στην Κρήτη. (Alaina M. Kaiser, copper oxhide ingot marks 2013, page22).....	94
Εικόνα 36: Χάρτης Κρήτης-Αναφερόμενες θέσεις ύπαρξης μεταλλοτεχνίας κατά την Πρωτομινωική περίοδο. (Τσέλιος 2007).	99
Εικόνα 37:Χημικές αναλύσεις σε διάφορα αντικείμενα χαλκού της Μινωικής Κρήτης (Giunilia-Mair), αρχείο με ονομασία «ΧΑΛΚΟΣ» (Hakulin 2013).	102

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εξέλιξη παραγωγής χάλυβα τις τελευταίες δεκαετίες (από Lu, 2015).....	9
Πίνακας 2: Οι κυριότερες χώρες εξαγωγής και εισαγωγής σιδηρομεταλλευμάτων (από Lu, 2015).	10
Πίνακας 3: Η μεταβολή της αξίας των σιδηρομεταλλευμάτων σε αμερικανικά δολάρια (από Lu, 2015)	11
Πίνακας 4: Ποσοτική κατανομή των ορυκτών εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με τη μέθοδο XRD.	43
Πίνακας 5: Ποσοτική κατανομή των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στα δείγματα που αναλύσαμε με τη μέθοδο EDXRF. Όλες οι τιμές κάτω των 10 ppm αφαιρέθηκαν.	52
Πίνακας 6: Χημικές αναλύσεις Κακόπετρου (Κατζαγιαννάκης Ν. 2017). Παρατηρούμε τις εμφανίσεις μαγγανιούχων συστατικών. Τα επίπεδα σιδήρου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με τα δικά μας δείγματα.	54
Πίνακας 7: Χημικές αναλύσεις Ρέντας (Κατζαγιαννάκης Ν. 2017). Παρατηρούμε τις παρόμοιες συγκεντρώσεις σε οξείδια σιδήρου, πυριτίου και αργιλίου και τις αυξημένες τιμές σε P2O5.....	54
Πίνακας 8: Τα πιο κοινά ορυκτά του χαλκού (Prehistoric Copper Mining in Europe, 5500-500BC, William O'Brien, Oxford, 2015).	77

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Τα χρώματα, η λάμψη και μερικές φορές η εντυπωσιακή εμφάνιση ορισμένων μεταλλικών ορυκτών που βρίσκονται κοντά ή πάνω στην επιφάνεια της γης, όπως ένυδρες ανθρακικές αποθέσεις χαλκού και οξειδία σιδήρου όπως ο γκαιτίτης και ο λειμωνίτης, τράβηξαν την προσοχή των ανθρώπων και σιγά σιγά άρχισαν να μαθαίνουν πως να τα εξορύσσουν, να τα επεξεργάζονται και κατόπιν να τα εκμεταλλεύονται για τις διάφορες χρήσεις που απαιτούνταν. Το πρώτο μεταλλικό ορυκτό που επεξεργάστηκαν ήταν ο χαλκός, αρχικά στην Χαλκολιθική εποχή και λίγο αργότερα με τη δημιουργία του κράματος του ορείχαλκου στην Εποχή του Χαλκού. Ο χαλκός όμως και τα κράματά του δεν ήταν αρκετά σκληρά και ανθεκτικά ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πιο βαριάς κλίμακας εργασίες και τεχνικές.

Στην πορεία οι άνθρωποι έμαθαν να επεξεργάζονται και το σίδηρο, ο οποίος μάλιστα βρισκόταν σε αφθονία σε σχέση με το χαλκό αλλά ασφαλώς και με σπουδαιότερες ιδιότητες και η γνώση αυτή μεταφέρθηκε σε άλλους πολιτισμούς, εισάγοντας τους παράλληλα στην Εποχή του Σιδήρου.

Το αποκορύφωμα αυτής της εξέλιξης ήταν η ανακάλυψη της τεχνικής παραγωγής του χάλυβα ο οποίος από εκείνη την εποχή και έπειτα κατέχει εξέχοντα ρόλο στον ανθρώπινο πολιτισμό σε ίδιο σημαντικό βαθμό μέχρι και σήμερα. Από εκείνη την εποχή η αξία των μεταλλικών ορυκτών παραμένει υψηλή σαν καθοδηγητικά στοιχεία και μελετούνται με ιδιαίτερη και αυξημένη προσοχή τόσο στην εκμετάλλευσή τους όσο και στον εντοπισμό και παραγωγή των μεταλλευμάτων αυτών.

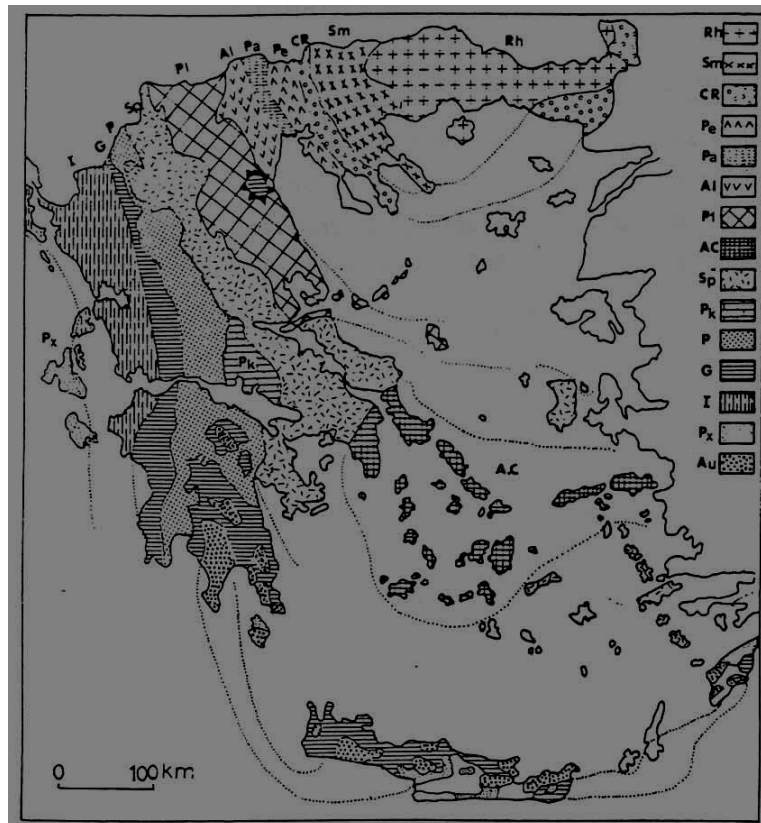
Ο σκοπός της εργασίας αυτής λοιπόν είναι μέσω της εκτεταμένης δειγματοληψίας σε λειμωνίτες, λειμωνιτικές κρούστες και γενικά σε σιδηρομεταλλεύματα από περιοχές κυρίως στον Νομό Ρεθύμνης, αλλά και Χανίων, εντός του Φυλλιτικού καλύμματος της Δυτικής Κρήτης, τις κατανομές μεταλλικών στοιχείων στα κύρια ορυκτά, τις ορυκτολογικές φάσεις και τα ιχνοστοιχεία που βρίσκονται εντός αυτών και ακολούθως να προβούμε σε μία αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών για πιθανές πηγές πλούσιες σε σιδηρομεταλλεύματα.

Μέσω χημικής, ορυκτολογικής και μικροσκοπικής ανάλυσης γίνεται ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των ιχνοστοιχείων, των ορυκτολογικών φάσεων και των ιστολογικών τους χαρακτηριστικών που χαρακτηρίζουν τα σιδηρομεταλλεύματα. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά επιχειρείται η κατανόηση της γενετικής εξέλιξης των σιδηρομεταλλευμάτων της Κρήτης και η σύγκριση με τα υπάρχοντα μεταλλογενετικά μοντέλα από παλαιότερες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα αυτό.

Τέλος, από τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, θα μπορούσαν να παρθούν στοιχεία τα οποία ίσως να φανούν χρήσιμα στην αρχαιολογική έρευνα του νησιού, στην αναζήτηση της αρχαιολογικής κοινότητας των πρώτων πηγών χαλκού κατά την Εποχή του Χαλκού, στην Κρήτη και γενικότερα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Κεφάλαιο 2: Γεωλογική Επισκόπηση

Οι ερευνητές στη σημερινή εποχή, στηριζόμενοι στις νέες απόψεις της Θεωρίας των Λιθοσφαιρικών Πλακών, αποδέχονται σχεδόν ομόφωνα την άποψη πως η πλειονότητα των Αλπικών σχηματισμών της Κρήτης ανήκουν σε ένα ευρύτερο χώρο, λεγόμενος ως Εξωτερικές Ελληνίδες. Ωστόσο, στη δομή της συμμετέχουν και οι γεωτεκτονικές ζώνες των λεγόμενων Εσωτερικών Ελληνίδων. Με βάση κυρίως τον ορογενετικό τεκτονισμό που οι σχηματισμοί των ζωνών αυτών έχουν υποστεί, ο Brunn (1956) διέκρινε τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας σε Εξωτερικές και Εσωτερικές Ελληνίδες.

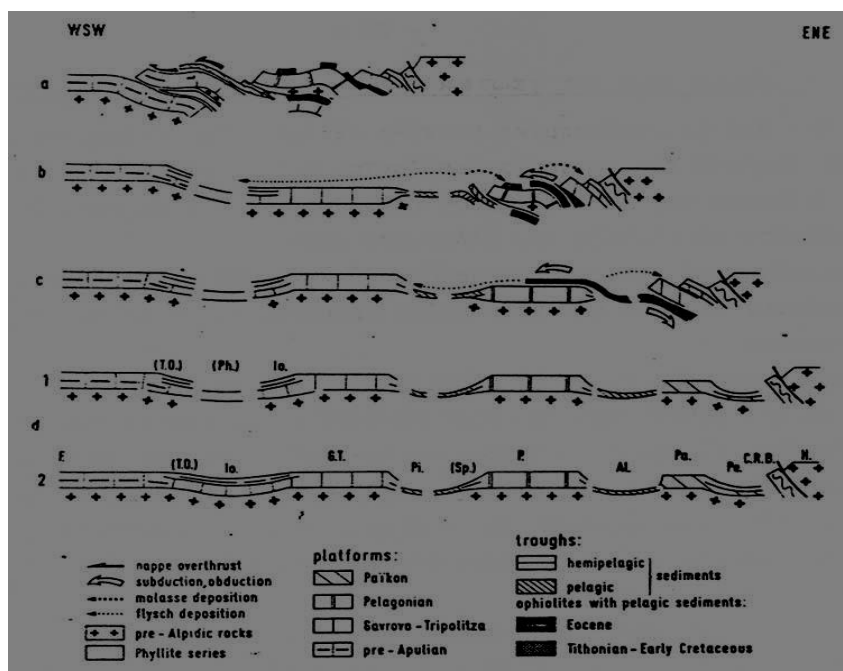


Εικόνα 1. Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. (Κατά Μουντράκη et al. 1983, από Mercier, Brunn, Aubouin et al., 1971)

Πιο αναλυτικά, οι σχηματισμοί των Εξωτερικών ζωνών, έχουν υποστεί κατά το Τριτογενές μόνο ένα ορογενετικό τεκτονισμό κατέχοντας το νοτιοδυτικό κυρίως τμήμα του Ελλαδικού χώρου, ενώ αντίστοιχα, οι σχηματισμοί των Εσωτερικών ζωνών εκτός από τον τεκτονισμό του Τριτογενούς που έχουν υποστεί, παρουσιάζουν επιπλέον και έναν πρώιμο, ορογενετικό τεκτονισμό ο οποίος έλαβε χώρα μεταξύ του Ανώτερου Ιουρασικού και του Κατώτερου Κρητιδικού καταλαμβάνοντας το ανατολικό εσωτερικό τμήμα του Ελλαδικού χώρου.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες των Ελληνίδων σήμερα αποτελούν τους παλαιογεωγραφικούς χώρους όπου κάποτε εκτεινόταν ο αρχαίος ωκεανός της Τηθύος, μιας ωκεάνιας περιοχής στον ευρύτερο χώρο της υπερηπείρου της Παγγαίας, ενός ηπειρωτικού τεμάχους που δημιουργήθηκε κατά τη Βαρίσκια Ορογένεση. Μέσα στον ωκεάνιο χώρο της Τηθύος, η ανάπτυξη μιας μεσοωκεάνιας ράχης που λειτούργησε στο Λιάσιο-Δογγέριο του Ιουρασικού οδήγησε στη διάσπαση της Παγγαίας σε δύο μέρη, δύο διαφορετικές ηπείρους, τη Γκοτθάνα και τη Λαυρασία της οποίας κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό της βυθιζόταν ο ωκεάνιος φλοιός

της Τηθύος. Αυτό το γεγονός, της καταβύθισης της Τηθύος κάτω από τη Λαυρασία, είναι μία διαδικασία που ξεκίνησε γύρω στο Μέσο Ιουρασικό και ολοκληρώθηκε στο Ανώτερο Ιουρασικό-Κατώτερο Κρητιδικό. Οριοθετεί την απαρχή του τελευταίου Ορογενετικού κύκλου του Αλπικού και ταυτόχρονα για τον Ελληνικό χώρο, τη διαφοροποίηση και την τεκτονική εξέλιξη των γεωτεκτονικών Ζωνών των Ελληνίδων οροσειρών. Η θέση και τα όρια του μητρικού αυτού ωκεανού απασχολεί την παγκόσμια κοινότητα του γεωεπιστημονικού κλάδου από τα πρωταρχικά χρόνια μέχρι και σήμερα και αποτελεί ένα τομέα που μελετάται με ιδιαίτερο ενδιαφέρον και ερωτήματα. Ειδικότερα, για τον ευρύτερο χώρο της Ελλάδας, το πρόβλημα που εντοπίστηκε από την αρχή της διάδοσης και της εφαρμογής της νέας θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών, είναι με ποια από τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας ταυτίζεται ο ωκεανός της Τηθύος ή πιο συγκεκριμένα, ποια ζώνη ακριβώς έχει τους σχηματισμούς εκείνους που αντιπροσωπεύουν τον κατεστραμμένο ωκεάνιο φλοιό της Τηθύος. Η πρώτη θεωρία που αναπτύχθηκε από τους γεωεπιστήμονες, τη δεκαετία του 1970, στο ξεκίνημα της νέας θεωρίας, ήταν ότι ο ωκεάνιος χώρος της Τηθύος ταυτίζονταν με τη ζώνη Ωλονού-Πίνδου που είχε θεωρηθεί από την παλαιότερη ισχύουσα «Θεωρία των συζυγών Γεωσυγκλίσεων» ως ο τυπικός ωκεάνιος χώρος, το "Ελληνικό γεωσύγκλινο". Ο Jacobshagen et al. (1978), σε αντίθεση με αυτή τη γενική αντίληψη, πρότεινε το πρώτο γεωδυναμικό μοντέλο των Ελληνίδων το οποίο προέβλεπε στην ύπαρξη των ωκεάνιων λεκανών Παιονίας, Αλμωπίας, Υποπελαγονικής-Πίνδου και της Φυλλιτικής σειράς μεταξύ της ζώνης του Ιωνίου και «Πλακωδών Ασβεστολίθων» (Plattenkalk) (Εικόνα 2). Αυτές οι ωκεάνιες λεκάνες λειτούργησαν σταδιακά κλίνοντας διαδοχικά από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά και από το Μάλμιο μέχρι το Μειόκαινο προκαλώντας έτσι τη μετακίνηση της τεκτονογένεσης προς τα Δυτικά επηρεάζοντας διαδοχικά και τις Εσωτερικές και Εξωτερικές γεωτεκτονικές Ζώνες του Ελληνικού χώρου.



Εικόνα 2. Σχηματικές τομές που αναπαριστούν την ορογενετική εξέλιξη των Ελληνίδων (Κατά Jacobshagen et al., 1978). Πιο συγκεκριμένα: α) Περίοδος Μέσου Μειόκαινου. Επώθηση των κεντρικών Ελληνικών καλυμμάτων (ζώνες Πίνδου, Παρνασσού, Πελαγονικής) πάνω στη ζώνη Γαβρόβου. β) Περίοδος Μέσου - Ανω.Ηωκαίνου. Κλείσιμο του ωκεάνιου χώρου της ζώνης Αξιού. Επώθηση των οφειολίθων από τη ζώνη Αξιού πάνω στην Πελαγονική. Αρχή της ιζηματογένεσης του εξωτερικού φλύσχη. Απόθεση της μολλάσσας στην Μεσοελληνική αύλακα και την "αύλακα Αξιού". γ) Περίοδος Ανωτέρου Ιουρασικού - Κατώτερου Κρητιδικού. Βύθιση του ωκεανού της ζώνης Αξιού κάτω από την Περιοδοπική ζώνη και την Ελληνική Ενδοχώρα. Αρχική τεκτονική τοποθέτηση των οφειολίθων πάνω στην Πελαγονική και δ) Περίοδος Μέσου - Ανω Ιουρασικού. Αύλακες και υθώματα μετά την περιοδοπική ορογένεση. ΑΙ = Αλμωπίας, C.R.B. = Περιοδοπική, G.T. = Γαβρόβου-Τρίπολης, Η = Ενδοχώρα, Ιο = Ιόνιος, Ρ = Πελαγονική, Ρα = Πάικου, Ρε = Παιονίας, Ρh = λεκάνη φυλλιτών, Ρi = Πίνδου, Ρb = Υποπελαγονική, Τ.Ο. = Σειρά Plattenkalk.

Στον παλαιογεωγραφικό χώρο των εξωτερικών ζωνών των Εξωτερικών Ελληνίδων και ειδικότερα στις ζώνες Παξών και Ιονίου, πάνω από την εβαποριτική ακολουθία, ακολούθησε μεγάλου πάχους ανθρακική ιζηματογένεση με παρεμβολές κερατολίθων και μικρού πάχους κλαστικών σχηματισμών μέχρι την έναρξη της απόθεσης του φλύσχη κατά το Τριτογενές.

Τα πετρώματα των δύο αυτών ισοπικών ζωνών εμφανίζονται σε μια ορεογραφική-χωρική διάταξη από τα βόρεια σύνορα της χώρας μέχρι την Κεντρική Πελοπόννησο. Νοτιότερα αυτών εμφανίζονται τα μεταμορφωμένα πετρώματα που χαρακτηρίζουν τις Εξωτερικές Ελληνίδες.

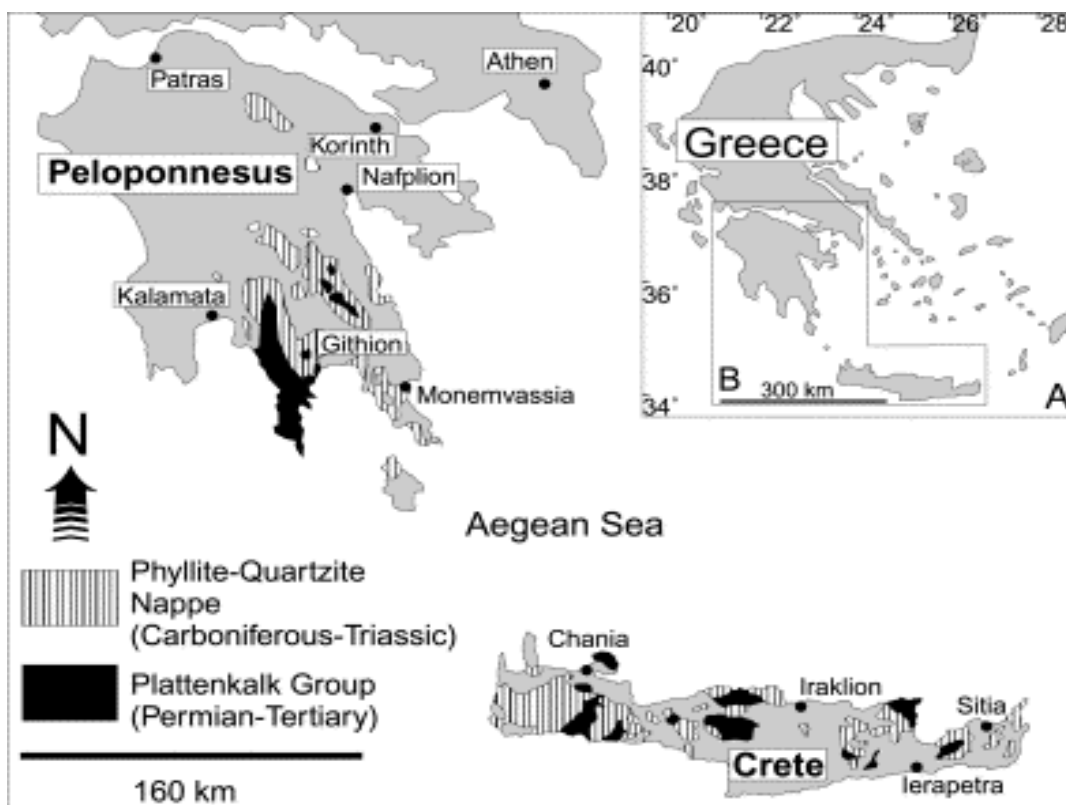
2.1 Γεωλογικό περίγραμμα της νήσου Κρήτης

Κατά τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, οι γνώσεις μας για τη γεωλογική δομή της Κρήτης έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών, στα πλαίσια μεγάλου αριθμού προγραμμάτων ευρωπαϊκών και εθνικών ερευνητικών ινστιτούτων αλλά και μεμονωμένων ερευνητών, οδήγησε στην έκδοση του πρώτου συνοπτικού γεωλογικού χάρτη της Κρήτης, το 1977, σε κλίμακα 1:200.000 (Creutzburg, 1997), που παρουσιάζεται παρακάτω. Όπως φαίνεται στο χάρτη αυτόν, αλλά και στους επόμενους, που εκδόθηκαν από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, το μεγαλύτερο ποσοστό προνεογενούς ηλικίας πετρωμάτων που δομούν και εμφανίζονται στην Κρήτη, ανήκουν σε μια ακολουθία μεταμορφωμένων πετρωμάτων που για δεκαετίες ήταν γνωστή στη βιβλιογραφία σαν «Πλακώδεις Ασβεστόλιθοι», η παλαιογεωγραφική τοποθέτηση των οποίων παραμένει ένα ανοικτό γεωλογικό κεφάλαιο. Παρόμοια είναι τα προβλήματα που σχετίζονται με τα καλύμματα της ενότητας του Τρυπαλίου και του Φυλλιτικού Καλύμματος (Μανούτσου, 2008). Η εικόνα 3, παρουσιάζει τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000., όπου με κίτρινες και πράσινες αποχρώσεις απεικονίζονται οι λεκάνες του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς.

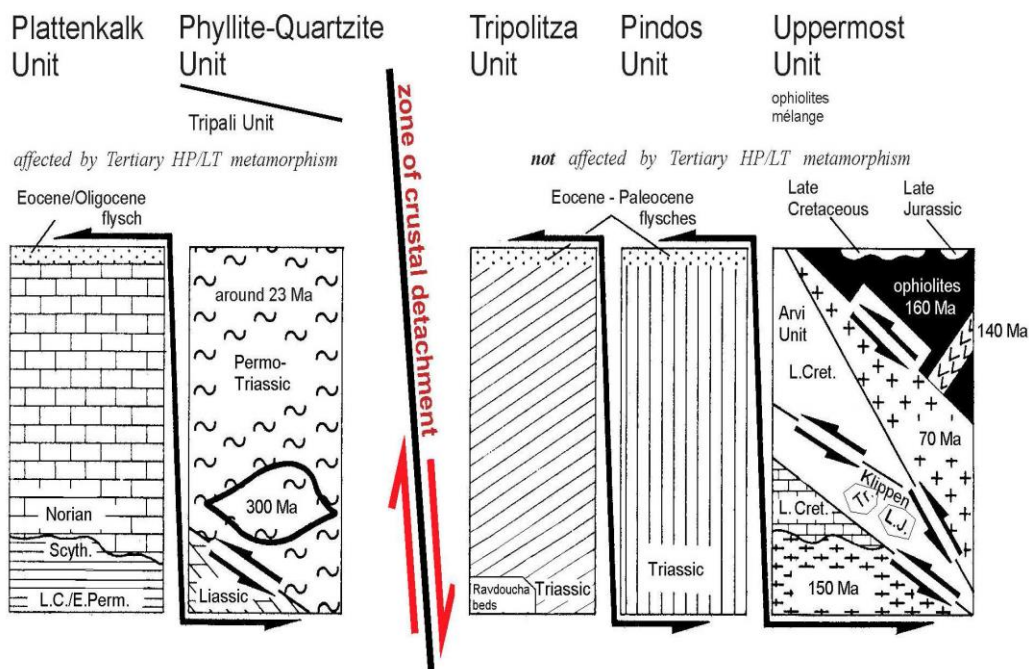
Πιο συγκεκριμένα, η Κρήτη συγκροτείται από την κατώτερη τεκτονική ενότητα η οποία αποτελείται από ένα αυτόχθονο έως παραυτόχθονο σύστημα πετρωμάτων που περιλαμβάνει τη μεταμορφωμένη Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων (Plattenkalk) με ηλικία από το Άνω Πέρμιο έως το Ολιγόκαινο. Με τεκτονική επαφή, ακολουθεί ένα αλλόχθονο σύστημα επωθημένο πάνω στο (παρα)αυτόχθονο, υπό τη μορφή αλληπαλλήλων τεκτονικών καλυμμάτων αλπικών ενοτήτων, και με χαρακτηριστική λεπιοειδή διάταξη.



Εικόνα 3: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Ελλάδος σε κλίμακα 1:500.000 (Ι.Γ.Μ.Ε. 1993)



Εικόνα 4: Οι εμφανίσεις της Ομάδας Πλακωδών Ασβεστολίθων και του Φυλλιτικού Καλύμματος στην Πελοπόννησο και την Κρήτη (Dornsiepen et al., 2001).



Εικόνα 5: Τεκτονική διάταξη των τεκτονοστρωματογραφικών ενοτήτων στην Κρήτη (τροποποιημένη από: Seidel et al., 1982).

Τα αλληπάλληλα τεκτονικά καλύμματα επωθημένα το ένα πάνω στο άλλο τοποθετούνται με την ακόλουθη σειρά από το υποκείμενο προς το υπερκείμενο:

-Ενότητα Τρυπαλίου αποτελούμενη από ημιμεταμορφωμένα έως μεταμορφωμένα κυρίως ανθρακικά πετρώματα ηλικίας Τριαδικό έως Λιάσιο.

-Ακολουθώς, η Ενότητα Φυλλιτών – Χαλαζιτών «Φυλλιτικό Κάλυμμα» κατά τους Dornsiepen and Manutsoglu, το 1994, με ηλικία Άνω Πέρμιο έως και το Κάρνιο όπου στα κατώτερα τμήματα παρουσιάζονται εντός δολομιτών και ραουθάκων εμφανίσεις γύψου και ανυδρίτου και στα ανώτερα εναλλαγές φυλλιτών με στρώσεις χαλαζιτών και στρώσεις μετα-ηφαιστίτων.

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

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

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

-Οφειολιθικό κάλυμμα με σερπεντινιωμένους περιδοτίτες, γάββρους, διορίτες, δολερίτες και διαβάσες, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.

-Κάλυμμα Αστερούσιων με μετα-ιλυολιθικούς, διμαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς, επιδοιτιτικούς γνεύσιους και σχιστολίθους, αμφιβολίτες και μάρμαρα, ηλικίας Κατώτατου Ιουρασικού – Ανώτατου Κρητιδικού.

-Κάλυμμα Βάτου με εναλλαγές τεφρών ιλυολίθων και πάγκους από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους και ψαμμίτες, ηλικίας Ανωτέρου Ιουρασικού.

-Κάλυμμα Άρβης με βασάλτες σε «μαξιλαροειδείς λάβες», ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού.

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

Η ενότητα των Πλακωδών Ασβεστολίθων είναι παραδεκτό από όλους τους ερευνητές ότι είναι πτυχωμένη. Ισοκλινείς ημιανεστραμμένες πτυχές, των οποίων το μέγεθος κυμαίνεται μεταξύ εκατοστών και χιλιομέτρων, παρατηρούνται σ' ολόκληρη την Κρήτη. Οι άξονες των πτυχών έχουν διεύθυνση $A - \Delta$, τα δε αξονικά επίπεδα κλίνουν προς τα βόρεια. Σε ορισμένες περιοχές παρατηρούνται πτυχές με άξονα $B - N$. Κοντά σε επιφάνειες επώθησης παρατηρείται μια ακόμα φάση παραμόρφωσης που εκφράζεται με τη δημιουργία φακοειδών. Ο τεκτονικός ιστός της ενότητας συνδέεται με την προέλαση των καλυμμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Hall et al. (1982,1984) αμφισβητούν την ύπαρξη μεγάλης κλίμακας πτυχών. Η ενότητα των Πλακωδών ασβεστολίθων υπόκειται της σειράς των φυλλιτών κανονικά και άμεσα.

Οι σχηματισμοί της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς στην Κρήτη είναι επωθημένοι πάνω στην Ενότητα Τρυπάλι ή πάνω στους ανώτερους ορίζοντες της Ενότητας των Πλακωδών Ασβεστολίθων ή στο μεταφλύσχη της ενότητας αυτής. Αντίθετα στην περιοχή των Ταλαίων Ορέων η Φυλλιτική – Χαλαζιτική

σειρά είναι επωθημένη πάνω στους περμικούς σχηματισμούς της ανεστραμμένης σειράς της Ενότητας των Πλακωδών Ασβεστολίθων.

Η προς τα πάνω επαφή της σειράς των Φυλλιτών – Χαλαζιτών είναι επίσης τεκτονική, χωρίς όμως να είναι δυνατή η ακριβής παρακολούθηση της τεκτονικής αυτής στο υπαίθρο και η εκτίμηση του μεγέθους της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πάνω στη Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά βρίσκεται τεκτονικά η ανθρακική σειρά της Ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης με το σχιστολιθικό κατά κανόνα υπόβαθρό της. Κατά συνέπεια γίνεται δύσκολη η διάκριση της τεκτονικής επαφής αφού αυτή γίνεται μεταξύ σχιστολιθικών εν γένει πετρωμάτων, του υποβάθρου της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης και της Φυλλιτικής – Χαλαζιακής σειράς.

Το κατώτερο τμήμα της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς αποτελείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους, μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους, σχιστοφαιμίτες και ραουβάκες με κοιτάσματα γύψου – ανυδρίτη, όπως είναι τα κοιτάσματα : Αλτσι, Κάβο Σίδηρο, Στομίου και πολλά άλλα. Αντίθετα, το ανώτερο τμήμα της σειράς αποτελείται κυρίως από εναλλασσόμενους φυλλίτες και χαλαζίτες, με παρεμβολές λεπτοστρωματωδών μαρμάρων και μετακροκαλοπαγών καθώς και σωμάτων μεταβασαλτών (Creutzburg & Seidel, 1975 κ.ά.). Το πάχος της Φυλλιτικής – Χαλαζιακής σειράς υπολογίζεται για την Δυτική Κρήτη στα 2150 έως 2800 μ. (Krahl et al. 1983) για την Κεντρική Κρήτη στα 700 μ. (Epting et al. 1973) και για την Ανατολική Κρήτη στα 600 μ. (Wachendorf et al. 1974).

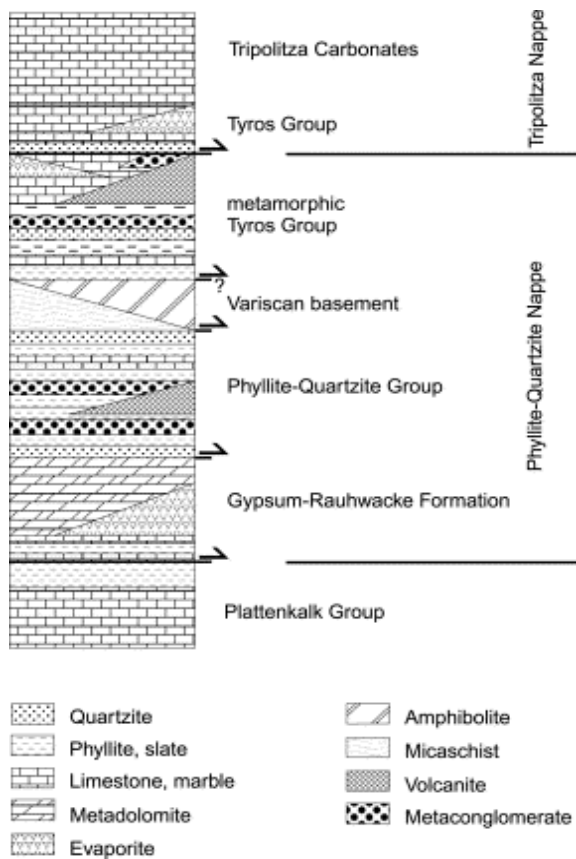
Σχετικά με την παλαιογεωγραφική θέση και την τεκτονική τοποθέτηση των σχηματισμών της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς υπάρχουν ερευνητές που θεωρούν ότι οι σχηματισμοί της σειράς αυτής αποτελούσαν το υπόβαθρο της ανθρακικής σειράς της ζώνης του Γαβρόβου – Τρίπολης και ότι αυτοί με τεκτονισμό, έχουν αποκολληθεί από αυτήν. (Korpp & Ott 1977 και 1982, Karakitsios 1979 κ.ά.). Επίσης, υπάρχουν ερευνητές που υποστηρίζουν ότι σχηματισμοί της εν λόγω σειράς έχουν αποθεθεί σε διαφορετικό παλαιογεωγραφικό χώρο από το χώρο της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης και ότι αυτοί, ως σύνολο, αποτελούν μια ιδιαίτερη τεκτονική ενότητα. (Jacobshagen et al. 1978 και 1979, Φυτρολάκης 1980 κ.ά.).

Επίσης, η ύπαρξη μεταμόρφωσης HP – LT (υψηλών πιέσεων – χαμηλών θερμοκρασιών) στους σχηματισμούς της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς, σε συνδυασμό και με το ότι η υπερκείμενη ανθρακική σειρά της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης δε φαίνεται να έχει υποστεί μια τέτοια μεταμόρφωση, οδήγησε ορισμένους ερευνητές (Altherr & Seidel, 1979 κ.ά.) να υποστηρίζουν ότι οι σχηματισμοί της σειράς αυτής αποτελούν ένα ξεχωριστό τεκτονικό κάλυμμα, ανεξάρτητο από τις άλλες ενότητες, και ότι το κάλυμμα αυτό αποτελεί ένα τμήμα μιας ωκεάνιας περιοχής που καταβυθίστηκε μεταξύ των παλαιογεωγραφικών χώρων της Ιόνιας Ζώνης και της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης.

Κατά τους E. SEIDEL et al. (1979), η Φυλλιτική – Χαλαζιτική σειρά στην Κρήτη αποτελείται από δύο επί μέρους σειρές. Από τις σειρές αυτές, η πρώτη απαντάται σε ολόκληρη την Κρήτη και στους σχηματισμούς της έχουν βρεθεί απολιθώματα περμικής (280 – 230 εκατ. χρόνια) και τριαδικής (230 – 195 εκατ. χρόνια). Επίσης, οι σχηματισμοί της σειράς αυτής χαρακτηρίζονται από μεταμόρφωση υψηλών πιέσεων και χαμηλών θερμοκρασιών. Αντίθετα, η δεύτερη σειρά απαντάται μόνο στην Ανατολική Κρήτη και χαρακτηρίζεται από αμφιβολίτες με πράσινη κεροσίλθη και μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους. Η ηλικία της παραμόρφωσης υπολογίστηκε από ραδιοχρονολογήσεις σε Ολιγοκαινική – Κατωμειοκαινική (~ 23 εκατ. χρόνια).

Από τις παραπάνω απόψεις, σχετικά με την παλαιογεωγραφική θέση της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς, φαίνεται ότι επικρατέστερη είναι αυτή με την οποία υποστηρίζεται ότι οι σχηματισμοί της σειράς αυτής αποτελούν το υπόβαθρο της ανθρακικής σειράς της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης. Η άποψη αυτή ενισχύθηκε πρόσφατα και από τον Karakitsios (1987), ο οποίος εργάστηκε στην Κεντρική Κρήτη. Κατά τον ερευνητή αυτόν οι σχηματισμοί της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς αποτελούν την προς τα κάτω κανονική στρωματογραφική μετάβαση της ανθρακικής σειράς της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης, με την μεσολάβηση ενός μεταβατικού ορίζοντα μαργαϊκών ασβεστολίθων με παρεμβολές κλαστικών στρωμάτων στη βάση του, που έχει ονομαστεί Σχηματισμός Ραβδούχων. Επίσης από τον ίδιο ερευνητή αναφέρεται ότι στην Κρήτη οι σχηματισμοί της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς έχουν μεταμορφωθεί σε συνθήκες μέσων έως υψηλών πιέσεων και θερμοκρασίας 300 – 400 οC και ότι τα ευρεθέντα, κατά καιρούς, απολιθώματα δίνουν στους σχηματισμούς της σειράς αυτής ανωπερμική – τριαδική (Κάρνιο ~ 210 εκατ. χρόνια) ηλικία. Στην επόμενη

εικόνα φαίνεται σχηματικά η ακολουθία των Πλακωδών Ασβεστολίθων , της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής σειράς και του καλύμματος της Τρίπολης μαζί με τις υποενότητες που τα συνθέτουν.

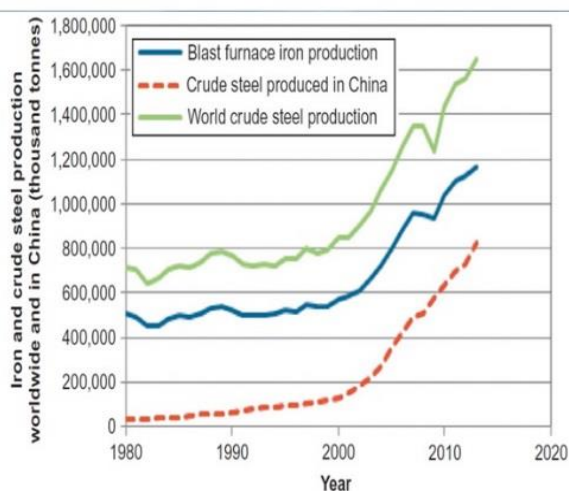


Εικόνα 6: Σχηματική ακολουθία της Ομάδας των Πλακωδών Ασβεστολίθων, του Φυλλιτικού Καλύμματος και του Καλύμματος της Τρίπολης μαζί με τις κυριότερες λιθολογίες. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν τους κύριους τεκτονικούς ορίζοντες αποκόλλησης που διαχωρίζουν τις ενότητες και υποενότητες (κατά Dornsiepen & Manutsoglu, 1994).

Κεφάλαιο 3: Γενικές πληροφορίες Σιδηρομεταλλευμάτων-Παγκόσμια αγορά.

3.1. Σίδηρος-παραγωγή και αγορά.

Ο σίδηρος σήμερα αποτελεί και όχι άδικα την κορωνίδα των μετάλλων του σύγχρονου αστικού πολιτισμού. Από την εποχή της ανακάλυψης και της χρήσης του μέχρι σήμερα, η παραγωγή αυτού του σπουδαίου μετάλλου παρουσιάζει ανοδική πορεία παράλληλα με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Παρά τον ιδιαίτερο ανταγωνισμό και την αντικατάστασή του σε πολλές εφαρμογές από νέες πρώτες ύλες, εξακολουθεί ωστόσο να παραμένει αναντικατάστατος στις περισσότερες εφαρμογές του (Χαραλαμπίδης 2005). Η κύρια πρώτη ύλη από την οποία εξάγεται ο μεταλλικός σίδηρος ώστε να μπορέσει να παραχθεί ο χάλυβας αποτελούν ασφαλώς τα σιδηρομεταλλεύματα. Για να ανταποκριθεί η βιομηχανία στην ταχεία αύξηση της παραγωγής ακατέργαστου χάλυβα, την τελευταία δεκαετία έχουν γίνει σημαντικές επεκτάσεις στην παγκόσμια παραγωγή σιδηρομεταλλεύματος. Έτσι, είναι λοιπόν προφανές και φαίνεται και στον πίνακα 1, που παραθέτουμε πιο κάτω, πως η παγκόσμια παραγωγή των σιδηρομεταλλευμάτων έχει αυξηθεί από 1.043 Bt που ήταν 2001 σε 2.93Bt το 2012. Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας είναι η μεγαλύτερη παραγωγός χώρα σιδηρομεταλλεύματος στον κόσμο, παράγοντας περίπου 1.3 Bt το έτος 2012, δηλαδή περίπου το 45% της παγκόσμιας παραγωγής και ακολούθως η Αυστραλία και η Βραζιλία συμπληρώνουν την πρώτη τριάδα των πιο παραγωγικών κρατών, οι οποίες το 2012 είχαν σε συνδυασμό παραγωγή 919 Mt.



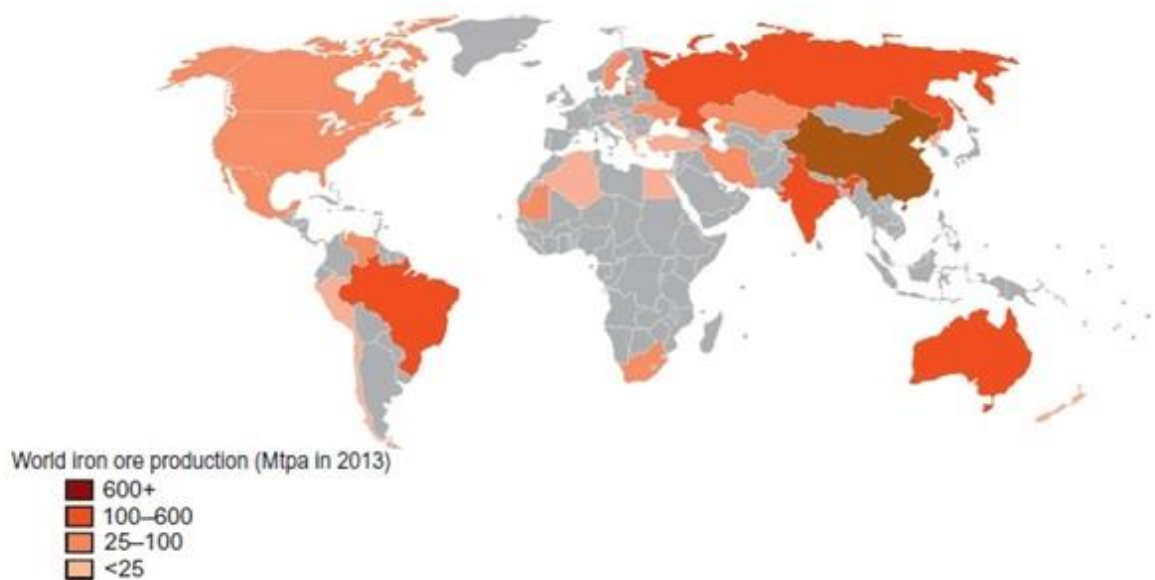
Πίνακας 1. Εξέλιξη παραγωγής χάλυβα τις τελευταίες δεκαετίες (από Lu, 2015)

Η παραγωγή του σιδηρομεταλλεύματος στις κύριες παραγωγούς χώρες υποστηρίζεται από σημαντικά εφεδρικά αποθέματα, τα οποία είναι και οικονομικά και τεχνικά εφικτό να τα εκμεταλλευτούν. Όπως συνοψίζεται στον πίνακα 2, η Αυστραλία έχει τα μεγαλύτερα αποθέματα τόσο σε μη επεξεργασμένο μέταλλευμα όσο και σε περιεκτικότητα σε σίδηρο, ακολουθούμενη από κοντά από τη Βραζιλία με ελαφρώς υψηλότερη ποιότητα σιδήρου. Η Ρωσία είναι επίσης σε πολύ υψηλή θέση σε σχέση με τα αποθέματα σιδηρομεταλλεύματος ποιότητας που εντοπίζονται στις αχανείς εκτάσεις της, όμως, ξεκάθαρα η Κίνα έχει τα πιο πλούσια αποθέματα σιδήρου στον κόσμο (Lu, 2015).

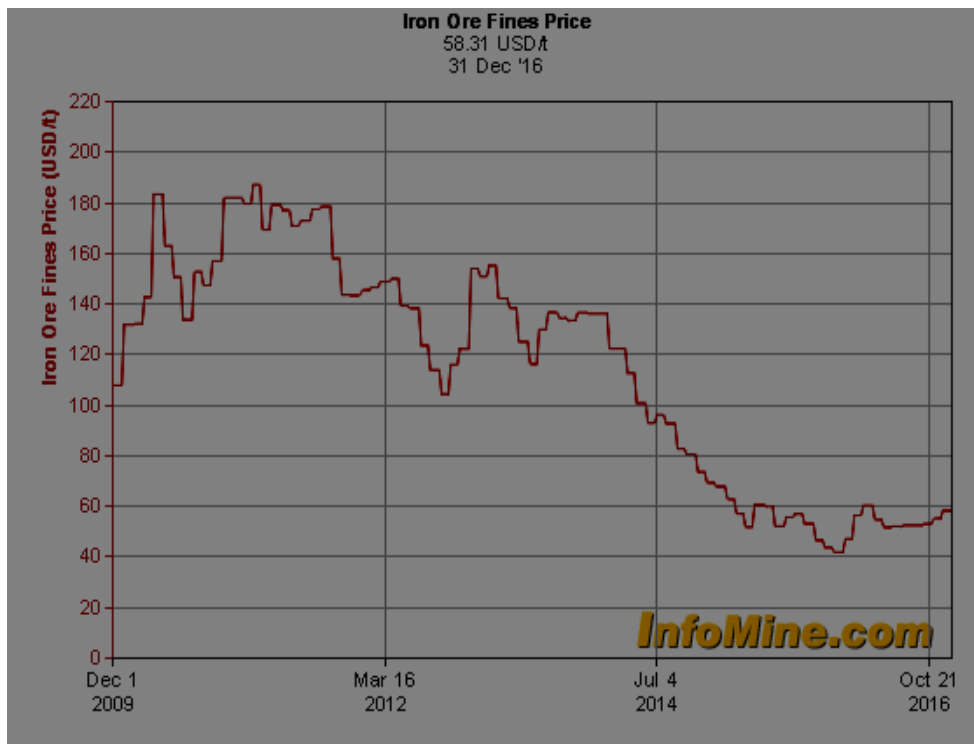
	2012 (Mt)	2013 (Mt)
<i>Iron ore imports</i>		
China	745	820
Japan	131	136
The European Union	121	128
South Korea	66	63
<i>Iron ore exports</i>		
Australia	492	579
Brazil	327	330
India (net exports)	16	9
Canada	35	36
South Africa	54	48
World trade	1154	1225

Sources: Australian Government Bureau of Resources and Energy Economics (BREE), Bloomberg, United National Conference on Trade and Development (UNCTAD).

Πίνακας 2: Οι κυριότερες χώρες εξαγωγής και εισαγωγής σιδηρομεταλλευμάτων (από Lu, 2015)



Εικόνα 7: Κυριότερες χώρες παραγωγής Σιδηρομεταλλευμάτων (από Lu 2015).



Πίνακας 3: Η μεταβολή της αξίας των σιδηρομεταλλευμάτων σε αμερικανικά δολάρια (από Lu, 2015)

Κάποια επίσημη ταξινόμηση για τα σιδηρομεταλλεύματα δεν υπάρχει, αυτό όμως που προτείνεται είναι πως αν περιέχεται 15% Fe και πάνω τότε μπορούμε να το πούμε σιδηρομετάλλευμα. Αν μπορούμε να προσδιορίσουμε το κύριο ορυκτό που φέρει τον σίδηρο τότε μπορούμε να συγκεκριμενοποιήσουμε την ονομασία του σιδηρομεταλλεύματος σε λειμωνιτικό, αιματιτικό, πυριτικό. Εάν το ορυκτό είναι σιδηρίτης προτείνεται η λέξη σιδηριτικό καθώς είναι συνώνυμο με τη λέξη σιδηρούχος. Στην ονοματολογία του ορυκτού, εάν παρουσιάζεται σημαντικό χαρακτηριστικό υφής, προστίθεται και αυτό (ωλιτικά, χαμοσιτικά σιδηρομεταλλεύματα, σιδηρομεταλλεύματα με στρώσεις αιματίτη). Αν το δείγμα δεν έχει υψηλή συγκέντρωση σε σίδηρο (δηλαδή λιγότερο από 15%), τότε βάζουμε στο πέτρωμα το πρόθεμα ψαμμιτικό, ανθρακικό καθώς και το κυρίαρχο σιδηρούχο ορυκτό (πυριτικός χαλαζιακός αρενίτης, αιματιτικός απολιθωματοφόρος πάκστοουν, γλαυκονιτικός αρενίτης). Αν έχει κόκκινο ή σκουριασμένο χρώμα τότε απλά το αποκαλούμε σιδηρούχος σχιστόλιθος ή σιδηρούχος ψαμμίτης.

Όταν εξετάζουμε ένα σιδηρομετάλλευμα πρέπει να αναρωτηθούμε το λόγο και τις αιτίες που υπάρχει εκεί ο σίδηρος. Ο σίδηρος δεν είναι ένα ευκολοδιάλυτο ορυκτό σύμφωνα με τα τωρινά καιρικά φαινόμενα σε αντίθεση με τα παλαιότερα. Καταρχάς, το πέτρωμα που εξετάζουμε θα πρέπει να διερωτηθούμε, είναι παλιό ή νέο; Αν είναι παλιό τότε ο σίδηρος είναι ένα αλλοχημικό συστατικό του πετρώματος όπως ακριβώς και οι βιοκλάστες είναι τα αλλοχημικά συστατικά ενός ασβεστόλιθου. Αν είναι νέο το πέτρωμα τότε το οξυγόνο στην περιοχή απόθεσης έχει μηδενιστεί. Αν δηλαδή έχει σχηματιστεί σε τέτοιο περιβάλλον τότε και σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ πιθανό να αποτελεί και πάλι ένα αλλοχημικό συστατικό ή απλά να είναι ένα πρόωρο διαγενετικό προϊόν. Εάν υπήρχε οξυγόνο στο χώρο απόθεσης τότε πιθανότατα ο σίδηρος αυτός να προήλθε από μια ολοκληρωμένη αποθεματική διαδικασία. Όταν αυτά ξεκαθαρίζουν τότε βρίσκουμε πως κατέληξε στη συγκεκριμένη θέση του πετρώματος και από που προήλθε. Μερικές φορές πρέπει να γνωρίζουμε τι συμβαίνει στον σίδηρο ή στα σιδηρούχα συστατικά από τη στιγμή που σχηματίζονται και άσχετα με το πως σχηματίστηκαν. Αυτό που εμείς τώρα αντιλαμβανόμαστε ως λειμωνίτη, κάποτε στο παρελθόν δεν ήταν.

Τα τρία πιο κοινά μεταλλεύματα σιδήρου που συναντώνται είναι ο Μαγνητίτης, ο Αιματίτης και ο Γκαιτίτης, που από κοινού αυτά τα τρία αντιπροσωπεύουν ένα εκτιμώμενο ποσοστό άνω του 99% από τα ορυκτά σιδήρου που περιλαμβάνονται στο παγκόσμιο εμπόριο μεταλλεύματος σιδήρου δια θαλάσσης το 2012.

- Ο Μαγνητίτης (Fe_3O_4) είναι ένα κοινό ορυκτό του σιδήρου σε κοιτάσματα μετά-ιζηματογενής και μαγματικής προέλευσης. Είναι χαρακτηριστικό πως έχει μια αντίστροφη δομή του σπινελίου και εν μέρει μεταβάλλεται σε περιβάλλοντα πλησίον του αιματίτη ή κενομαγνητίτη (Waychunas, 1991).

-Ο Αιματίτης κοινώς πιστεύεται ότι σχηματίζεται από την οξείδωση του μαγνητίτη σε σημεία που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της Γης αν και ο Ohmoto (2003) απέδειξε ότι η μετατροπή του μαγνητίτη σε αιματίτη ή το αντίστροφο μπορεί επίσης να επιτευχθεί μέσω της μεταβολής του pH χωρίς αντίδραση οξειδοαναγωγής.

-Ο Γκαιτίτης έλαβε το όνομά του προς τιμή του Γερμανού φιλόσοφου, συγγραφέα και ποιητή Γιόχαν Βόλφραμ φον Γκαίτε. Πρόκειται για ένα υδροξείδιο του σιδήρου ($\alpha\text{-FeOOH}$) και πιστεύεται ότι είναι το πιο κοινό σιδηρομεταλλεύμα σε ιζηματογενή και σε μετα-ιζηματογενή κοιτάσματα που εξαλλοιώθηκαν κοντά στην επιφάνεια της Γης. Οι τρεις πιο κοινές μορφές του γκαιτίτη είναι η χρώματος καφέ, η κίτρινη ώχρα, και το σκούρο καφέ υαλοειδές. Πολλοί τύποι μεταλλεύματος είναι μείγματα σκληρού καφέ γκαιτίτη και κίτρινης ώχρας γκαιτίτη με αιματίτη. Η κίτρινη ώχρα στον γκαιτίτη είναι αυτή που συχνά αναφέρεται ως "Λειμωνίτης." Επίσης, αυτή η λεγόμενη κίτρινη ώχρα του γκαιτίτη, συχνά περιέχει άμορφα συστατικά και υψηλή περιεκτικότητα σε Al_2O_3 και SiO_2 (2-9%), αν και υπάρχει κάποια συζήτηση σχετικά με το αν τα δύο αυτά τελευταία οξείδια είναι παρόντα ως εγκλείσματα τάξης μικρών επιμολυσματικών ορυκτών (submicron inclusions of contaminant minerals) ή απλά υποκατεστημένα σαν στοιχεία Al και Si στο κρυσταλλικό πλέγμα.

Ως συνοδό ορυκτό, ο χαλαζίας είναι μακράν το πιο κοινό στείρο ορυκτό που συναντάμε να βρίσκεται μαζί με τα σιδηρομεταλλεύματα (iron ore gangue mineral) συνολικά, ενώ αργιλικά ορυκτά όπως ο καολινίτης και ο γκιψίτης κυριαρχούν σε εξαλλοιωμένα σιδηρομεταλλεύματα κοντά στην επιφάνεια, ενώ minnesotaite και στυλπνομέλανες (stilpnomelane) είναι τα πιο κοινά πυριτικά ορυκτά σε μη εξαλλοιωμένες αποθέσεις σιδηρομεταλλευμάτων. Υπάρχουν αρκετά άλλα συνοδά στείρα ορυκτά που συνδέονται με τα κοιτάσματα σιδήρου και συμπεριλαμβάνουν πολλά διαφορετικά πυριτικά άλατα όπου συμπεριλαμβάνονται οι αμφίβολοι και η ομάδα των χλωριτών, ανθρακικά άλατα όπως είναι ο σιδηρίτης και ο αγκερίτης, σουλφίδια- θειούχα όπως ο σιδηροπυρίτης, και ασφαλώς οξείδια όπως ο πυρολουσίτης.

Ο Morris (1980) αναγνώρισε ότι ενώ η ορυκτολογία πολλών σιδηρομεταλλευμάτων είναι σχετικά απλή, η υφή του μεταλλεύματος είναι αρκετά πιο πολύπλοκη και σχετίζεται άμεσα με την γένεση του μεταλλεύματος. Οι διαφορές στη χημεία σιδηρομεταλλεύματος, την υφή, την ορυκτολογία και στις φυσικές ιδιότητες έχουν άμεση σχέση με τους τύπους των αποθέσεων του σιδήρου (Lu, 2015 και βιβλιογραφικές αναφορές εντός αυτού).

Επανερχόμενοι στον Λειμωνίτη, να αναφέρουμε πως πρόκειται για ένα αναξιόπιστο όνομα ορυκτών, σύμφωνα με την Επιτροπή νέων ορυκτών και ονοματολογίας ορυκτών της Διεθνούς Ορυκτολογικής Ένωσης (Commission on New Minerals and Mineral Names of the International Mineralogical Association, Nickel & Nichols, 1991) και η χρήση του θα πρέπει να αποθαρρύνεται (Lu, 2015 και βιβλιογραφικές αναφορές εντός αυτού). Σε αντίθεση με την ανωτέρω πρόταση της επιτροπής, δεν μπορεί να παραγνωριστεί ότι όντως, ο λειμωνίτης, δεν είναι ένα αυτοτελές ορυκτό αλλά περισσότερο μία μίξη λεπτόκοκκων οξειδίων του σιδήρου και γενικά αποτελούμενος στο μεγαλύτερο μέρος του από γκαιτίτη αλλά και πιθανότατα από αιματίτη, λεπιδοκροτίτη και άλλα ορυκτά. Οι διαφορές γκαιτίτη και λειμωνίτη μπορεί να είναι δυσδιάκριτες. Ο λειμωνίτης απαντάται κυρίως μέσα ή δίπλα σε οξειδωμένα ορυκτά σιδήρου, αλλά και σε άλλου είδους αποθέσεις σιδηρομεταλλευμάτων καθώς και σε ιζηματογενείς αποθέσεις. Γενικά, πρόκειται για ένα χρήσιμο όρο πεδίου, ο οποίος συναντάται συχνά στην βιβλιογραφία όμως σε καμία περίπτωση δεν αποτελεί επιστημονικό όρο. (Σταμπολιάδης et al, 2004).

3.2. Κράματα Σιδήρου-Χάλυβες.

Η μεταλλουργία σιδήρου ασχολείται με τη τεχνολογία παραγωγής προϊόντων από το εξορυγμένο μέταλλευμα και κατατάσσονται στις πιο κάτω κατηγορίες. Η κάθε κατηγορία από αυτές αντιστοιχεί σε διαφορετικής ποιότητας υλικό και για την παραγωγή τους απαιτείται διαφορετική τεχνολογική μέθοδος. Οι τρεις πρώτες κατηγορίες διαφέρουν με βάση το διάγραμμα φάσεων του Fe με το C ενώ τα κράματα σιδήρου αποτελούν μίξεις του σιδήρου με κάποια άλλα στοιχεία, ανάλογα των προδιαγραφών που απαιτούνται.

-Σίδηροι

-Χυτοσίδηροι

-Χάλυβες

-Κράματα σιδήρου

Όσον αφορά τον χάλυβα αυτός διακρίνεται σύμφωνα με τον προορισμό, του σε χάλυβες διαμόρφωσης και χυτοχάλυβες. Ανάλογα με τη χρήση διακρίνονται σε χάλυβες κατασκευών, ανοξείδωτους χάλυβες, εργαλειοχάλυβες και χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών συστημάτων (Βοσνιάκος 2007). Τα κράματα του χάλυβα μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες: χάλυβες μαγγανίου, χάλυβες νικελίου, χάλυβες χρωμίου, χάλυβες μολυβδενίου, χάλυβες νικελίου-χρωμίου, χάλυβες νικελίου-χρωμίου-μολυβδενίου, χάλυβες νικελίου-χρωμίου-βαναδίου, χάλυβες μολυβδενίου-χρωμίου, ανοξείδωτοι χάλυβες, χάλυβες πυριτίου και ταχυχάλυβες (Jeffus-2002).

3.3. Τα σιδηρομεταλλεύματα που εντοπίζονται στον Ελληνικό χώρο

Τα ελληνικά σιδηρομεταλλεύματα διακρίνονται στο επεξηγηματικό τεύχος του μεταλλογενετικού χάρτη του ΙΓΕΥ (1965) σε χρωμιούχα ή σκληρά και σε μη χρωμιούχα ή συνήθη, ή, μαλακά σιδηρομεταλλεύματα. Τα σκληρά σιδηρομεταλλεύματα λατεριτικής προέλευσης είναι χρωμιούχα, περιέχουν πάντοτε νικέλιο, ο τρόπος μεταλλογένεσης τους είναι εντελώς διαφορετικός από τα μαλακά και χαρακτηρίζονται σιδηρονικελιούχα. Οι εμφανίσεις των μαλακών σιδηρομεταλλευμάτων αν και είναι πολυάριθμες, είναι περιορισμένης οικονομικής σημασίας, κυρίως λόγω του μικρού τους μεγέθους. Τα μαλακά σιδηρομεταλλεύματα της Ελλάδας συνδέονται γενετικά σχεδόν πάντα με κάποιου είδους μαγματικής δράσης. Σχηματίστηκαν θέβαια σε διαφορετικά στάδια της στερεοποίησης του μάγματος. Είναι κυρίως πυρομετασωματικής ή υδροθερμικής προέλευσης, πάντα σε συνδυασμό με φαινόμενα αντικατάστασης. Υπάρχουν και ιζηματογενή κοιτάσματα μαλακού σιδηρομεταλλεύματος που προέρχονται από οξείδωση σιδηροπυρίτη, από τα οποία αποτελείται το σιδηρούν κάλυμμα. Κοιτάσματα ποικίλης αρχικής προέλευσης κατά τη διάρκεια μεταμορφώσεων υπέστησαν αναμετακίνηση των αρχικών ορυκτών τους ή δημιουργία νέων με τέτοιο τρόπο ώστε η μεταλλογένεση τους να οφείλεται σε διαφορετικές αιτίες ανά διαφορετικές περιόδους. Τα κοιτάσματα και οι εμφανίσεις αυτής της ομάδας είναι πολυάριθμες και κατανέμονται σε όλη την έκταση της χώρας σε γεωλογικό-πετρολογικό περιβάλλον, κατά προτίμηση του κρυσταλλοσχιστώδους.

Στον μεταλλογενετικό χάρτη της Ελλάδας υπάρχουν 217 μεταλλοφόρες θέσεις, κάθε μια από τις οποίες συνήθως αντιπροσωπεύει περισσότερα από ένα κοιτάσματα. Τα σημαντικότερα από άποψη όγκου, είναι εκείνα που συναντάμε στη Θάσο, Σέριφο, Χαλκιδική, Γραμματικό Αττικής, Αγκίστρι, Νότια Πελοπόννησο, Δυτική Κρήτη κλπ.

Βάσει των μέχρι τώρα στοιχείων και ερευνών, τα σίγουρα αποθέματα μαλακού σιδηρομεταλλεύματος της χώρας, ποικίλης όμως περιεκτικότητας σε Fe, ανέρχονται σε 20.000.000 τόνους περίπου, ενώ είναι πιθανό να υπάρχουν περίπου άλλοι 20.000.000 τόνοι. Πιο κάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή των 217 εντοπισμένων θέσεων μεταλλοφορίας (ΕΘΙΓΜΕ 1973).

Η εκμετάλλευση των μαλακών σιδηρομεταλλευμάτων στην Ελλάδα οδηγήθηκε σε οριστική παύση στις αρχές της δεκαετίας του 1960, έχοντας όμως συμβάλει ουσιαστικά στην ανάπτυξη του Ελληνικού κράτους αφού «οι κύριες βιομηχανίες της Ελλάδας είναι η γεωργία, η ναυτιλία και η μεταλλεία» σύμφωνα με την αναφορά του ενός βρετανού προξένου στις αρχές του προηγούμενου αιώνα, το 1905.

Η Βιομηχανική Επανάσταση οδήγησε στην αύξηση της ζήτησης για μεταλλεύματα στη νεότερη εποχή. Το οικονομικό ενδιαφέρον των Ευρωπαίων για τον ορυκτό πλούτο της Μεσογείου εκδηλώθηκε με επιστημονικές αποστολές γεωγράφων και γεωλόγων στις ευρύτερες περιοχές της Μεσογείου. Από τα τέλη του 18ου αιώνα, μία γαλλική επιστημονική αποστολή εξερευνούσε τον ορυκτό πλούτο της Σικελίας, ενώ μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα η Γαλλία είχε οργανώσει μεταξύ άλλων, κατά τη Ναπολεόντεια εποχή, στρατιωτικές και επιστημονικές αποστολές στην Αίγυπτο (1798-1801), από όπου έχει προκύψει και ο πρώτος γεωλογικός χάρτης του κόσμου, γνωστός ως πάπυρος του Τορίνο (Μανούτσογλου 2010) και την Ελλάδα (1829-1831) (Expédition Scientifique de Morée) ένα έργο των οποίων αποτελεί βασική αναφορά της ιστορικής γεωεπιστημονικής έρευνας στην Ελλάδα. Την ίδια περίπου χρονική περίοδο ο γεωεπιστήμονας Raulin περιοδεύει στην Κρήτη και το 1869 εκδίδει ένα τρίτομο έργο καλούμενο *Description physique de l'île de Crête, 3 Bände und Atlas*, με τον πρώτο γεωλογικό χάρτη της νήσου, απόσπασμα του οποίου παρατίθεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8. Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη του Raulin 1869.

Στην συνέχεια και μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα, γερμανικές, αυστριακές και ιταλικές επιστημονικές αποστολές καταγράφουν τον ορυκτό πλούτο των ευρωπαϊκών τμημάτων και νήσων της παραπαίουσας τότε Οθωμανικής Αυτοκρατορίας, προϊόν των οποίων είναι και η δημιουργία των πρώτων γεωλογικών χαρτών από νησιά του Αιγαίου όπως η Χίος και η Κως (Μανούτσογλου 2010).

Στην Ελλάδα, μετά τη θέσπιση της μεταλλευτικής νομοθεσίας το 1861 και την τροποποίησή της το 1867, σε έναν “μεταλλευτικό πυρετό” που κατέλαβε τη χώρα, κατατίθεται ένας εντυπωσιακός αριθμός αιτήσεων για παραχώρηση εκμετάλλευσης όπου όμως την περίοδο 1867-1875 το Υπουργείο Εσωτερικών δεν συνοδεύεται από ανάλογη θέρμη ως αναφορά στην παραχώρηση αδειών εκμετάλλευσης: από τις 1.686 αιτήσεις παραχωρήσεων, δόθηκαν τελικά μόνο 359 στα πλαίσια των οποίων στην περίοδο αυτή (1867-1875) συγκροτούνται οι πρώτες 29 μεταλλευτικές επιχειρήσεις της Ελλάδας. Απ’ αυτές τις εταιρείες, μόλις 4-5 προχώρησαν σε εκμετάλλευση, ενώ 11 διαλύθηκαν. Στο έτος 1877 ξεχωρίζουν η Γαλλική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου, η Ελληνική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου, τα ορυχεία Θείου Μελά στη Μήλο και η Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία. Η Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία ελέγχεται από την Εθνική Τράπεζα και διαθέτοντας μεταλλεία σιδήρου στη Σέριφο, γαληνίτη στην Αντίπαρο, λιγνιτορυχεία στην Κύμη, μεταλλεία στον Ωρωπό και την Τήνο και παραχωρήσεις χαλκού στην επαρχία Τροιζηνίας, θα επιχειρήσει, επενδύοντας σημαντικά κεφάλαια, την μοναδική για την εποχή απόπειρα βιομηχανικής παραγωγής σιδήρου στην Κύμη, χρησιμοποιώντας για την αναγωγή του σιδηρομεταλλεύματος της Σερύφου τον λιγνίτη που εξορυσσόταν από την Εύβοια.

Η αμέσως επόμενη φάση της μεταλλευτικής δραστηριότητας στη χώρα και ιδίως στα νησιά εγκαινιάζεται στις αρχές της δεκαετίας του 1880. Μεταξύ των ετών 1880-82, οι υφιστάμενες μεταλλευτικές εταιρείες συγχωνεύτηκαν ή πώλησαν τα μεταλλευτικά τους δικαιώματα σε νέες εταιρείες ξένων κεφαλαίων. Κομβικό ρόλο σ’ αυτή την αλλαγή φαίνεται ότι είχε παίξει η Γαλλική Εταιρεία Μεταλλείων Λαυρίου, η οποία συνδέεται με τις γαλλικές εταιρείες “Σέριφος-Σπηλιαζέζα” (ιδρ. 1880) και “Σίφνος-Εύβοια” (ιδρ. 1882). Χαρακτηριστική περίπτωση της εξορυκτικής δραστηριότητας αυτής της περιόδου συνιστούν επίσης τα μεταλλεία σιδήρου στη Σέριφο.

Μετά την αποτυχία του εγχειρήματος για την ίδρυση σιδηρουργίας, τα σιδηρομεταλλεύματα των νησιών του Αιγαίου εξαгонταν ακατέργαστα στις ευρωπαϊκές αγορές. Η γαλλική εταιρεία Σέριφος-Σπηλιαζέζα, η οποία είχε διαδεχτεί την Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία στην εκμετάλλευση του πλούσιου σε σιδηρομετάλλευμα υπεδάφους της Σερύφου, υπήρξε δημιουργήμα της συνεργασίας ομογενών τραπεζιτών από την Κωνσταντινούπολη και γάλλων κεφαλαιούχων με τη συμμετοχή της Οθωμανικής Τράπεζας.

Η τρίτη διακριτή περίοδος της εξορυκτικής δραστηριότητας στα νησιά χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1890 ως τα μέσα της δεκαετίας του 1900. Ο ανοδικός κύκλος της διεθνούς οικονομίας και οι νέες τεχνολογίες επιτρέπουν στις εξορυκτικές επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στο χώρο των ελληνικών νησιών να πετύχουν υψηλά κέρδη εξαгонτας μεγάλες ποσότητες ακατέργαστου εξορυσσόμενου προϊόντος. Έτσι, από το 1890 ως το 1905-1907, η μεταλλευτική δραστηριότητα στην Ελλάδα, ιδίως στα νησιά, γνωρίζει άνθηση και ο συνολικός όγκος των εξαγωγών υπερτριπλασιάζεται, παρόλο που οι τιμές των μεταλλευμάτων στη διεθνή αγορά σημειώνουν πτώση από τα τέλη του 19ου αιώνα και μετά.

Μετά από παύση 15 περίπου ετών, νέο κύμα μεταλλευτικών παραχωρήσεων δίδεται από την ελληνική κυβέρνηση στα 1896-1906. Οι παραχωρήσεις αφορούν μεταλλεύματα σιδήρου (Σκύρο, Κύθνο, Τζια, Σίφνο) και μεταλλεύματα μαγγανίου και μολύβδου (Μύκονο, Άνδρο, Κίμωλο). Από τα πολυάριθμα μεταλλεία που λειτουργούν στις αρχές του 20ου αιώνα στα νησιά, πολύ καλές αποδόσεις έχουν τα μεταλλεία σιδήρου της Σερύφου και της Κύθνου και μαγγανίου της Μήλου. Μικρές εκμεταλλεύσεις σιδηρομεταλλευμάτων χαλκού και μολύβδου υπάρχουν σε άλλα 12 νησιά: Σκύρος, Σκόπελος, Άνδρος, Σύρος, Αντίπαρος, Ίος, Σίκινος, Νάξος, Σαντορίνη, Κέα, Μύκονος και Δήλος.

Μέχρι το 1910 υπάρχουν στη χώρα περίπου 30 εξορυκτικές – μεταλλουργικές επιχειρήσεις, οι οποίες απασχολούν συνολικά 9.000 εργάτες και εργάτριες. Οι μισές απ’ αυτές τις εταιρείες έχουν διακόψει ή περιορίσει τις εργασίες τους σε σχέση με το 1906, εποχή κατά την οποία απασχολούνταν περίπου 11.000 εργάτες και εργάτριες. Στα νησιά, 10 ιδιωτικές επιχειρήσεις εξορύσσουν σιδηρομετάλλευμα στη Σέριφο, Κύθνο, Σύρο, Σκύρο, μολύβδο σε Σίφνο-Μύκονο και ψευδάργυρο στην Αντίπαρο, μάρμαρα στην Σκύρο και

την Τήνο απασχολώντας συνολικά 1.900 εργάτες, ενώ στα δημόσια μεταλλεία σμύριδας στη Νάξο εργάζονται περίπου 500 εργάτες. Η εξορυκτική δραστηριότητα, ιδίως για τις ξένες εταιρείες, υποχωρεί, καθώς η άνοδος της τιμής της χάρτινης δραχμής στο άρτιο, είχε ως συνέπεια τη μείωση της ανταγωνιστικότητας των ελληνικών μεταλλευμάτων στις διεθνείς αγορές. Η κρίση θέτει το ζήτημα του τεχνολογικού εκσυγχρονισμού και της ορθολογικής οργάνωσης της παραγωγής τόσο στις ιδιωτικές επιχειρήσεις, όσο και στα δημόσια μεταλλεία.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα στην Ελλάδα, και ιδίως στα νησιά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα συνδέεται με την εξαγωγή ακατέργαστων μεταλλευμάτων στα οποία είναι σημαντικότερη η εξόρυξη των σιδηρομεταλλευμάτων.

Στις παραμονές του Α΄ Παγκοσμίου Πολέμου, το 1912-1914, ο τομέας της εξόρυξης στην Ελλάδα γνωρίζει στο σύνολο του μια πρόσκαιρη ανάκαμψη των εξαγωγών λόγω των απαιτήσεων της εποχής καθώς η διεθνής κοινότητα έβλεπε πως ο πόλεμος ζύγωνε, αλλά από το 1915 ως το 1925 η μεταλλευτική παραγωγή και η παραγωγή προϊόντων καμινείας μειώνεται δραστικά ως λογική συνέπεια. Τη δεκαετία του 1920, η μεταλλευτική δραστηριότητα στην Ελλάδα βρίσκεται σε κατάσταση στασιμότητας καθώς δεν ιδρύονται νέες επιχειρήσεις ενώ παράλληλα, το μεγάλο Κραχ του 1929 και η παγκόσμια οικονομική ύφεση ανέστειλαν τη δραστηριότητα πολλών μεταλλευτικών εταιρειών, ορισμένες από τις οποίες έκλεισαν, όπως η Ελληνική Μεταλλουργική Μεταλλευτική Εταιρεία.

Η εξορυκτική δραστηριότητα ανακάμπτει ξανά από το 1934, για μικρό όμως διάστημα, καθώς σύντομα έρχεται το ξέσπασμα του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Πάντως η ζήτηση για σιδηρομεταλλεύματα αυξάνεται ενώ νέα μεταλλεύματα αρχίζουν να εξορύσσονται: η βαρυτίνη στη Μήλο και οι βωξίτες στην ηπειρωτική χώρα. Η απασχόληση στον μεταλλευτικό – μεταλλουργικό τομέα αυξάνεται και αυτή μετά την σημαντική κάμψη που είχε γνωρίσει στη δεκαετία του 1920 και στις αρχές του '30, εξαιτίας της κρίσης. Οι εξαγωγές σιδηρομεταλλευμάτων εντείνονται τη δεκαετία του 1930. Η Σέριφος εξάγει 500.000 τόννους και τα μεταλλεία της Κύθνου 55.000 τόννους το διάστημα 1934-38, κυρίως στην Γερμανία, η οποία ευνοείται από την συμφωνία "Κλήριγκ", αλλά και στην Ολλανδία, Μεγάλη Βρετανία, Γαλλία και Πολωνία. Αν και το σιδηρομετάλλευμα αποτελεί το βασικό εξαγωγικό προϊόν της εξορυκτικής βιομηχανίας των νησιών από τα τέλη του 19ου αιώνα, απαραίτητη κρίνεται ωστόσο η σχετικοποίηση των μεγεθών. Στην παγκόσμια παραγωγή σιδηρομεταλλευμάτων για το έτος 1938 η Ελλάδα συμμετέχει με το μικρό ποσοστό της τάξεως του μόλις 0,2 %, είχε δηλαδή μειωθεί η συμμετοχή της από τις αρχές του αιώνα, όπου συμμετείχε με ποσοστό 0,6%. Επίσης, στο χρονικό διάστημα 1900-1938 παρατηρούμε πολύ μεγάλες ανακατατάξεις μεταξύ των κρατών που παράγουν σιδηρομεταλλεύματα. Άξιο παρατήρησης είναι το γεγονός ότι στην λεκάνη της Μεσογείου, η Γαλλία, η Ισπανία και η Ιταλία (η οποία παράγει στα 1900- 1908 λιγότερο σιδηρομετάλλευμα από την Ελλάδα), εκτός από χώρες-αποικίες παραγωγής σιδηρομεταλλεύματος που καταδυναστεύουν, διαθέτουν και βιομηχανία σιδήρου ήδη από τον 19ο αιώνα.

Στην Ελλάδα, με το τέλος της γερμανικής κατοχής και το πέρας του καταστροφικού εμφυλίου πολέμου που ακολούθησε και είχε ρημάξει τη χώρα, βρίσκει πολλές περιοχές, ειδικά στον βορρά, σε κατάσταση ερήμωσης και ως αποτέλεσμα αυτού στον μεταλλευτικό τομέα, τα περισσότερα μεταλλεία όπως και οι βιομηχανικές μονάδες να βρίσκονται με κατεστραμμένες εγκαταστάσεις και συρρικνωμένη κατά πολύ μεγάλο βαθμό την παραγωγική τους ικανότητα.

Μέσα στις συνθήκες κοινωνικής και πολιτικής πώλωσης της εποχής, κρίθηκε αναγκαίο ότι για τη ανασυγκρότηση και σταθεροποίηση της ελληνικής οικονομίας έπρεπε να στοχεύσουν στην εκβιομηχάνιση και στην δημιουργία ενεργειακής υποδομής στην χώρα. Η εκβιομηχάνιση ως μοντέλο ανάπτυξης για την μεταπολεμική Ελλάδα προτείνεται από όλες τις πλευρές, τόσο από την αριστερά όσο και από την δεξιά, αν και βέβαια οι διαφωνίες εντοπίζονταν στο ζήτημα της χρηματοδότησης της βιομηχανίας, με την κινητοποίηση εσωτερικών ή εξωτερικών πόρων. Στις μελέτες της περιόδου 1947-1953 για τον κλάδο της εξόρυξης, που πραγματοποιούνται στα πλαίσια της αμερικανικής οικονομικής βοήθειας, τονίζονται,

α) η ανάγκη του εμπλουτισμού και της επεξεργασίας των εξορυσσόμενων μεταλλευμάτων, προκειμένου να μειωθεί το κόστος παραγωγής και να βρεθεί διέξοδος στις παγκόσμιες αγορές για τα φτωχά μεταλλεύματα, και,

β) η ανάγκη δημιουργίας βασικών βιομηχανικών μεταλλουργίας, που θα αξιοποιούν τον ορυκτό πλούτο. Στις μελέτες τονίζεται ότι για την ορθολογική εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου, απαραίτητα στοιχεία είναι η ανάπτυξη κατάλληλης τεχνικής υποδομής, οι εκτεταμένες μεταλλευτικές έρευνες και η δημιουργία ανώτατης και μέσης τεχνικής εκπαίδευσης.

Τα ζητήματα αυτά των υποδομών και της τεχνικής εκπαίδευσης επιχειρούνται να αντιμετωπιστούν με την ίδρυση του Τμήματος Μηχανικών Μεταλλειολόγων στο ΕΜΠ (1946), του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους – το μετέπειτα ΙΓΜΕ (1952) και μέσω των τεχνικών σχολών για μηχανοδηγούς μεταλλείων (τη δεκαετία 1950).

Στα πιο πάνω πλαίσια εντάσσεται και η αδημοσίευτη έκθεση του ΙΓΕΥ 256 του 1952 από τον Καθηγητή Ι. Παπασταματίου σχετικά, με τον Ορυκτό Πλούτο της Κρήτης, η οποία εμπεριέχει και κοιτασματολογικό σκαρίφημα με δεκάδες θέσεις εμφανίσεων μεταλλικών, μη μεταλλικών και ενεργειακών πρώτων υλών.

Στο ίδιο πλαίσιο κινήθηκε και η ολοκλήρωση επίσης από το ΙΓΕΥ της συγκέντρωσης και παράθεσης 1472 εμφανίσεων μεταλλευμάτων, σε όλη την χώρα, στον Μεταλλογεννητικό χάρτη της Ελλάδος του 1965 που με το επεξηγηματικό τεύχος που εκδόθηκε από το ΕΘΙΓΜΕ το 1973 και παρατίθεται στην εικόνα 9.

ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΤΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
CARTE METALLOGÉNIQUE DE LA GRÈCE

Κλίμαξη — Echelle: 1:1.000.000

ὑπό: Κ. ΖΑΧΟΥ, Διδάκτορος Μηχανισμῶν Μεταλλευτικῶν — Γ. ΜΑΡΑΤΟΥ, Διδάκτορος Γεωλόγου
 Par: K. ZACHOS, Dr. Ingénieur des Mines — G. MARATOS, Dr. Géologue

AGHNAI - ATHÈNES 1966



YHOMNIMA - LÉGENDE

SYMBOLS FOR TOPOGRAPHY AND GENERAL FEATURES	SYMBOLS FOR STRATIGRAPHIC UNITS	SYMBOLS FOR STRUCTURAL FEATURES	SYMBOLS FOR MINERAL RESOURCES
Topographic map (contour lines, elevation points)	Quaternary (Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q22, Q23, Q24, Q25, Q26, Q27, Q28, Q29, Q30, Q31, Q32, Q33, Q34, Q35, Q36, Q37, Q38, Q39, Q40, Q41, Q42, Q43, Q44, Q45, Q46, Q47, Q48, Q49, Q50, Q51, Q52, Q53, Q54, Q55, Q56, Q57, Q58, Q59, Q60, Q61, Q62, Q63, Q64, Q65, Q66, Q67, Q68, Q69, Q70, Q71, Q72, Q73, Q74, Q75, Q76, Q77, Q78, Q79, Q80, Q81, Q82, Q83, Q84, Q85, Q86, Q87, Q88, Q89, Q90, Q91, Q92, Q93, Q94, Q95, Q96, Q97, Q98, Q99, Q100)	Normal faults (solid line with triangles), Thrust faults (solid line with circles), Strike-slip faults (solid line with dashes), Fault zones (dashed line with crosses), Unconformities (dashed line with dots), Discontinuities (dashed line with stars)	Iron (Fe), Copper (Cu), Lead (Pb), Zinc (Zn), Silver (Ag), Gold (Au), Manganese (Mn), Nickel (Ni), Cobalt (Co), Vanadium (V), Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Selenium (Se), Tellurium (Te), Bismuth (Bi), Antimony (Sb), Arsenic (As), Strontium (Sr), Barium (Ba), Radium (Ra), Thorium (Th), Uranium (U), Plutonium (Pu), Americium (Am), Curium (Cm), Berkelium (Bk), Californium (Cf), Einsteinium (Es), Fermium (Fm), Mendelevium (Md), Nobelium (No), Lawrencium (Lr), Rutherfordium (Rf), Dubnium (Db), Seaborgium (Sg), Bohrium (Bh), Hassium (Hs), Meitnerium (Mt), Darmstadtium (Ds), Tennessine (Ts), Oganesson (Og)

19

Κεφάλαιο 4: Κοιτασματογένεση

4.1. Παλαιότερες ονοματολογίες μαγματικά συνδεόμενων μεταλλοφοριών.

Διάφοροι ερευνητές έκαναν και χρησιμοποίησαν κάποια κριτήρια για την εδραίωση των γενετικών συστημάτων κατάταξης των κοιτασμάτων της μαγματικής ακολουθίας. Αυτά τα κριτήρια είναι τα εξής:

α. Το βάθος της μαγματικής εστίας (θάλαμος μάγματος) από την επιφάνεια της γης κατά το χρόνο της μετακίνησης των μεταλλοφόρων διαλυμάτων.

β. Την απόσταση που έχει η θέση σχηματισμού των κοιτασμάτων με τη εστία μάγματος.

γ. Το απόλυτο βάθος που τα παραγενετικά ορυκτά αποχωρίζονται και αποθέτονται, ανεξαρτήτως από τη θέση που βρίσκεται η μαγματική εστία και από την οποία προέρχονται τα αντίστοιχα ρευστά. Πρακτικά, ο χαρακτήρας των φυσικών συγκεντρώσεων σε χρήσιμα ορυκτά μπορεί να προσδιοριστεί μόνο από τον τόπο σχηματισμού τους σε σχέση με την ελεύθερη επιφάνεια, δηλαδή από την πίεση που επικρατεί εκεί.

δ. Την ακριβή θέση που βρίσκονται οι μεταλλοφόροι σχηματισμοί ως προς τα διάφορα τμήματα-τομείς του βαθόλιθου.

ε. Τα πλαίσια των θερμοκρασιών στις οποίες γίνεται ο αποχωρισμός των ορυκτολογικών παραγενέσεων. Με βάση αυτό το κριτήριο διακρίνουμε τις εξής τέσσερις περιπτώσεις παραγενέσεων ή κοιτασμάτων:

- Υποθερμικά κοιτάσματα. Παραγενέσεις ή κοιτάσματα υψηλών θερμοκρασιών: μεταξύ 400ο – 600οC.

- Μεσοθερμικά κοιτάσματα. Παραγενέσεις ή κοιτάσματα μέτριων θερμοκρασιών: μεταξύ 200 ο - 400 ο C.

- Επιθερμικά κοιτάσματα. Παραγενέσεις ή κοιτάσματα χαμηλών θερμοκρασιών: μεταξύ 50 ο-200 ο C.

-Τηλεθερμικές (ή ανωθερμικές ή αποθερμικές) παραγενέσεις (ή κοιτάσματα). Αυτές οι παραγενέσεις ή κοιτάσματα είναι πολύ χαμηλών θερμοκρασιών: κάτω των 100°C.

στ. Η σταθερή συνύπαρξη ορισμένων μεταλλικών παραγενετικών ορυκτών και μετάλλων. Έχει διαπιστωθεί ότι αρκετές από τις πολυάριθμες ορυκτολογικές παραγενέσεις των υδροθερμικών κυρίως κοιτασμάτων – ανεξάρτητα από το αν αυτές είναι φλεβικού, διάσπαρτου ή συμπαγούς τύπου - δείχνουν (στις περιπτώσεις που δημιουργούνται κάτω από ορισμένες φυσικοχημικές συνθήκες) μια αξιοσημείωτη σταθερότητα. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την έκδηλη τάση συνύπαρξης - στις αντίστοιχες παραγενέσεις - ορισμένων μετάλλων, έδωσε τη δυνατότητα για την καθιέρωση μιας επιμέρους σειράς κοιτασματολογικών ενότητων ή, κοιτασματολογικών σχηματισμών *Formatione.*, από τις οποίες ως πιο συνηθισμένες παρουσιάζονται οι επόμενες:

- Σχηματισμοί Au και Au-Ag

- Σχηματισμοί Cu και πυριτών.

- Σχηματισμοί Pb-Ag-Zn.

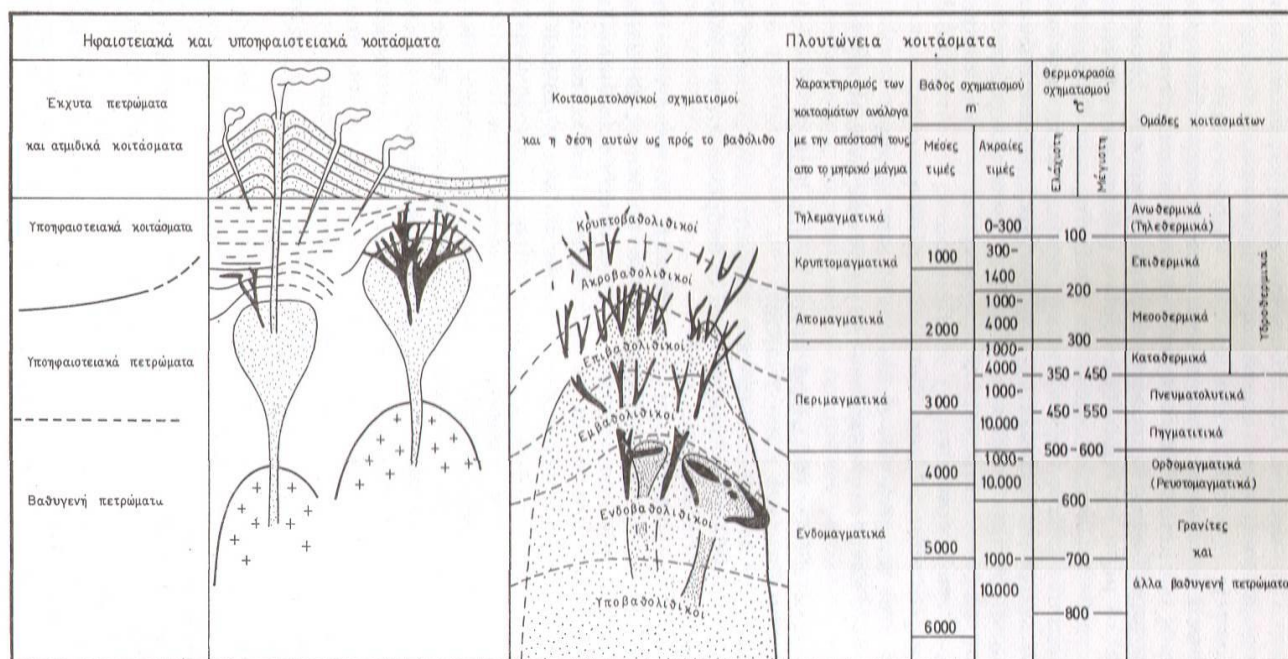
- Σχηματισμοί Ag-Co-Ni-Bi- U.

- Σχηματισμοί Sn-Ag-Bi- W.

- Σχηματισμοί Sb-Hg-As-Se.

- Σχηματισμοί οξειδίων των Fe-Mn-Mg.

- Σχηματισμοί ελεύθεροι μεταλλικών ορυκτών.



Εικόνα 11: Σχηματική παράσταση των διαφόρου βάθους μαγματικών εστιών και των ζωνών απόθεσης

των αντίστοιχων κοιτασμάτων σε συνδυασμό με τις θερμοκρασίες σχηματισμού τους.

(Κατά Schneiderhorn από Μελιδώνη 1992).

Είναι προφανές πως τα κριτήρια (γεωχημικά και παραγενετικά) για την υπαγωγή ενός υδροθερμικού κοιτάσματος σε έναν από αυτούς τους σχηματισμούς είναι πλήρως ανεξάρτητα από εκείνα όλων των προηγούμενων περιπτώσεων.

Εάν περιοριστούμε στην ονοματολογία των επιμέρους κοιτασμάτων του υδροθερμικού σταδίου, που θεσπίστηκε με βάση τα πλαίσια των θερμοκρασιών μέσα στα οποία γίνεται ο αποχωρισμός των συστατικών τους, αυτή χρησιμοποιείται και για τις αντίστοιχες ισόθερμες ζώνες γύρω από τις μαγματικές εστίες: Υποθερμική μεσοθερμική και επιθερμική. Η θέση των ζωνών αυτών ως προς τα διαφόρου βάθους μαγματικά σώματα, καθώς και το πλάτος τους, είναι συνάρτηση της απόστασής τους από τις μαγματικές εστίες, τα δε πλάτη τους συνάρτηση του βάθους των αντίστοιχων εστιών από την επιφάνεια της γης. Έτσι, αν ο ορίζοντας της διείσδυσης ενός μαγματίτη βρίσκεται σε βάθος περίπου 20 km, οι μεσοθερμικοί π.χ. σχηματισμοί του αναπτύσσονται σε μια ζώνη μεταξύ 6,5- 9,5 km, την οποία, σε περίπτωση που η οροφή του βρισκόταν υψηλότερα, π.χ. σε βάθος 12 km, θα κατείχαν σε αρκετά μεγάλο ποσοστό οι αντίστοιχοι υποθερμικοί σχηματισμοί του.

Ένα άλλο, ιδιαίτερης σημασίας, συμπέρασμα είναι ότι οι παραγενέσεις και γενικότερα τα κοιτάσματα που δημιουργούνται μέσα σε κάθε μια από τις ζώνες αυτές, δεν εξαρτώνται από τις επικρατούσες εκεί πιέσεις.

Από τα προηγούμενα δεδομένα, συμπεραίνεται ότι για τη δημιουργία υποθερμικών κοιτασμάτων σημαντικών διαστάσεων, απαιτείται όπως η οροφή των αντίστοιχων μαγματικών εστιών βρίσκεται σε

βάθος μεγαλύτερο των 7-8 km, ενώ, αντίθετα, αξιόλογα πάχη τηλεθερμικών κοιτασμάτων πετυχαίνονται και από διεισδύσεις αρκετά μικρότερου βάθους. Ολόκληρη πάντως η σειρά των καλά αναπτυγμένων υδροθερμικών ζωνών απαντάται μόνο σε περιοχές πλουτωνισμού μεγάλου βάθους. Στις περιοχές αβαθούς πλουτωνισμού ή υπο-ηφαιστειότητας, επειδή η ταχύτητα ελάττωσης της θερμοκρασίας είναι μεγάλη, δεν παρέχεται η χρονική ευχέρεια για τον σχηματισμό των παραγενέσεων υψηλών θερμοκρασιών (κυρίως υποθερμικών), με αποτέλεσμα οι μεν τελευταίες πρακτικά ν' απουσιάζουν, οι δε υπόλοιπες να έχουν περιορισμένο πλάτος. Για τους λόγους αυτούς, οι αξιόλογες κοιτασματογενετικές διεργασίες του υδροθερμικού σταδίου των δύο προηγούμενων περιπτώσεων μαγματισμού περιορίζονται ουσιαστικά στις μεσοθερμικές και κυρίως στις επιθερμικές ζώνες.

A. Υπόθερμικές παραγενέσεις:

Δημιουργούνται από μαγματικά υδατικά διαλύματα, η θερμοκρασία των οποίων κυμαίνεται μεταξύ της κρίσιμης θερμοκρασίας του νερού (συμβατικά, ~ 400°C - 600°C).

Τα υπόθερμικά κοιτάσματα, εξαιτίας του ότι σχηματίζονται σε υψηλές θερμοκρασίες και μάλιστα από διαλύματα που ποτέ σχεδόν δεν τους παρέχεται η δυνατότητα επικοινωνίας με την επιφάνεια της γης, έχουν γενικά την τάση να παίρνουν ακανόνιστα σχήματα και μόνο κατ' εξαίρεση δείχνουν τραπεζοειδείς ή φλεβικές μορφές. Οι φλέβες βάθους καταλαμβάνουν συνήθως τις ανώτερες αξονικές ζώνες πτυχών (σάγματα) ή τις ζώνες κατάτμησης, έχουν δε την τάση να ακολουθούν μετατοπισμένες πτυχές και να αντικαθιστούν εκλεκτικά διάφορα πετρώματα. Το γενικό χαρακτηριστικό των μεγάλων σωμάτων αντικατάστασης της υποθερμικής ζώνης είναι η σταθερότητα του περιεχομένου τους, πράγμα που αποδίδεται στο ότι τόσο οι συνθήκες πιέσεων και θερμοκρασιών που επικρατούν στους τόπους σχηματισμού τους, όσο και η τεκτονική τους, δεν παρουσιάζουν απότομες και σημαντικές μεταβολές.

Μεταξύ των μη μεταλλικών (σύνδρομων) ορυκτών, σαν περισσότερο κοινά στην υποθερμική ζώνη παρουσιάζονται τα ορυκτά χαλαζίας και πυροφυλλίτης.

Σχετικά με τα μεταλλικά ορυκτά που μπορεί να μετέχουν στους παραγενετικούς συνδυασμούς της υποθερμικής ζώνης, ανεξάρτητα αν είναι τυπικά ή όχι γι' αυτήν όσον αφορά τα ορυκτά του Au: Συνήθως αποτελούν συστατικά των «παλιών χρυσοφόρων χαλαζιακών φλεβών», που αποκαλύπτονται τόσο στις προκάμβριες ασπίδες όσο και στις έντονα διαθρωμένες παλαιοζωικές, μεσοζωικές και παλαιοτριτογενείς περιοχές ορογενέσεων, δηλαδή σε ζώνες με συνορογενετικές και μεταορογενετικές γρανοδιοριτικές - γρανιτικές διεισδύσεις μεγάλων διαστάσεων. Η συνηθέστερη μορφή είναι ο αυτοφυής Au, που, σχεδόν κατά κανόνα, σχηματίζει κράματα με άλλα μέταλλα και κυρίως με Ag. Μετέχει, επίσης, στη σύσταση (με πολύ μικρά πάντοτε ποσοστά) διαφόρων τελλουριδίων, καθώς και (με μεγαλύτερα όμως ποσοστά) σουλφιδίων διαφόρων μετάλλων.

B. Μεσοθερμικές παραγενέσεις:

Δημιουργούνται από υδατικά διαλύματα μέσω θερμοκρασιών (300°- 200°C), που είναι αμφίβολο αν έχουν τη δυνατότητα επικοινωνίας με την επιφάνεια της γης. Η οριοθέτηση της ζώνης αυτής από τις παρακείμενες της, υποθερμική και επιθερμική, στηρίζεται σε αυθαίρετα μάλλον κριτήρια. Το μεγαλύτερο βάθος σχηματισμού των μεσοθερμικών κοιτασμάτων είναι περίπου 10 km, όπου οι αντίστοιχες πιέσεις είναι γενικά χαμηλότερες σε σύγκριση μ' εκείνες που επικρατούν στην υποθερμική ζώνη.

Κάτω από τις συνθήκες αυτές, αποχωρίζονται οι μεγαλύτερες ποσότητες των μετάλλων Cu, Pb, Zn και Ag. Το ποσοστό του Au βρίσκεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα. Αρκετά διαδεδομένα είναι και τα διάσπαρτου τύπου κοιτάσματα, με κυριότερο αντιπρόσωπο τα πορφυριτικά κοιτάσματα χαλκού.

Γ. Επιθερμικές παραγενέσεις:

Αποχωρίζονται από μαγματικά υδατικά διαλύματα θερμοκρασίας 200° -100°C. Οι περισσότερες απ' αυτές σχηματίζονται σε μικρότερα βάθη απ' ότι τα προηγούμενα, συνεπώς δε, κάτω από σχετικά μικρότερες πιέσεις. Το βαθύτερο επίπεδο δημιουργίας επιθερμικών κοιτασμάτων βρίσκεται περίπου στα 7 km, όπου αντιστοιχεί σε πίεση περίπου 1860 At.

Γενικά, μπορεί να σχετίζονται τόσο με πλουτώνιες όσο και με υποηφαιστειακές μαγματικές εστίες. Η σύνδεσή τους με τις πρώτες αποδεικνύεται μόνο αν συντρέξουν ειδικές συνθήκες διάθρωσης. Ένα πολύ μεγάλο μέρος απ' αυτά απαντάται είτε μέσα σε υποηφαιστειακές διεισδύσεις νέας σχετικά ηλικίας (συνήθως Τριτογενούς), είτε πολύ κοντά σ' αυτές.

Οι πιο συνηθισμένες από τις κοιτασματολογικές μορφές τους είναι πληρώματα ανοιχτών-απλών ή ακανόνιστα διακλαδισμένων-διαρρήξεων (φλέβες, δίκτυα φλεβών ή και φλεβιδίων) και καμινάδων με ηφαιστειακά λατυποπαγή, όπου τα φαινόμενα αντικατάστασης είναι μάλλον συχνά. Οι διάφορες ιστολογικές ασυνέχειες επικοινωνούν με την επιφάνεια, πράγμα που διευκολύνει τη ροή των μεταλλοφόρων θερμοδιαλυμάτων. Ένα ποσοστό των θερμοπηγών αντιστοιχούν, ίσως, σε επιφανειακές εκδηλώσεις επιθερμικών συστημάτων που βρίσκονται βαθύτερα.

Σαν χαρακτηριστικοί ιστοί για τη ζώνη αυτή μπορεί να θεωρηθούν οι φλοιοπαγείς, οι κτενοειδείς και οι κολλοειδείς, που ερμηνεύονται σαν αποτέλεσμα των μέτριων θερμοκρασιών των διαλυμάτων και της ελεύθερης επικοινωνίας τους με την ατμόσφαιρα. Οι φλέβες είναι συνήθως συμμετρικά πληρωμένες, γεγονός που αντικατοπτρίζει την προοδευτική ελάττωση της θερμοκρασίας. Το γεγονός ότι τα περισσότερα από τα κοιτάσματα της επιθερμικής ζώνης σχηματίζονται κοντά στην επιφάνεια της γης, έχει ως συνέπεια την ταχεία διάθρωση των παλιότερων απ' αυτά, ενώ διατηρούνται σχεδόν άθικτα μόνο τα νεότερα.

Τα γειτονικά πετρώματα των επιθερμικών μεταλλοφόρων σωμάτων είναι συνήθως έντονα και σε μεγάλη έκταση εξαλλοιωμένα, κυρίως αν έχουν υψηλό πορώδες. Σαν κυριότερα προϊόντα της υδροθερμικής εξαλλοίωσης παρουσιάζονται τα ορυκτά χλωρίτης (το οποίο είναι και το πιο συχνό), αλουνίτης, ζεόλιθοι,

διάφορα αργιλικά, αδουλαίος, διάφορες μορφές του χαλαζία (SiO_2) και ο σιδηροπυρίτης. Ο σερίκίτης, αν και περισσότερο συχνός στα μεσοθερμικά κοιτάσματα, παρουσιάζεται συνήθως (σε μικρότερο πάντοτε ποσοστό απ' ότι ο χλωρίτης) και στα επιθερμικά. Τα αργιλικά είναι άφθονα και εμφανή και σχηματίζουν ζώνες ποικίλων χρωμάτων, που αναπτύσσονται κυρίως στα τοιχώματα των φλεβών.

Συνήθη πρωτογενή σύνδρομα ορυκτά των επιθερμικών μεταλλοφόρων φλεβών είναι: χαλαζίας (τοπικά αμέθυστος), χαλκηδόνης, ασβεστίτης, δολομίτης, ροδοχρωσίτης, βαρύτης και φθορίτης.

Ως κυριότερα μεταξύ των μεταλλικών ορυκτών που μετέχουν στη σύσταση των επιθερμικών παραγενέσεων - ανεξάρτητα αν είναι τυπικά ή όχι γι' αυτές προβάλλουν τα ακόλουθα:

Ορυκτά των Au και Ag. Ο Au, στα υποηφαιστειακά ιδιαίτερα κοιτάσματα συνυπάρχει σχεδόν πάντοτε με τον Ag, είτε με τη μορφή κραμάτων (σε διάφορες αναλογίες) είτε ως συστατικό Ag-ούχων τελλουριδίων. Ένα από τα πιο συχνά εμφανιζόμενα κράματα των Au-Ag είναι το ήλεκτρο (Au :Ag =70-55: 30-45). Από τα Au-Ag/ούχα τελλουρίδια αναφέρονται τα:

σουλβανίτης	AgAuTe_4	πετζίτης	Ag_3AuTe_2
κρεννερίτης	$(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_2$	εσσίτης	Ag_2Te
καλαθερίτης	AuTe_2		

Ο άργυρος παρουσιάζεται και ως συστατικό των επόμενων σουλφιδίων, σουλφοαντιμονιδίων και σουλφοαρσενιδίων:

αργεντίτης Ag_2S πυραργυρίτης Ag_3SbS_3

ακανθίτης Ag_2S μιαργυρίτης $AgSbS_2$

στεφανίτης $5Ag_2S$ Sb_2S_3

πολυβασίτης $(Ag, Cu)_{16}Sb_2S_{11}$ αντορίτης $Pb_2Ag_2Sb_6Si_2$

φραϊβεργίτης Ag -ούχος τετραεδρίτης

Τα προηγούμενα ορυκτά μετέχουν ως συστατικά και άλλων ζωνών του υδροθερμικού σταδίου, η κύρια όμως ζώνη σχηματισμού τους είναι η επιθερμική, για την οποία μάλιστα από πολλούς ερευνητές θεωρούνται (κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις) και σαν χαρακτηριστικά (Μελιδώνης 1992).

4.2. Νεότερες ονοματολογίες μαγματικά συνδεόμενων μεταλλοφοριών.

Τα τελευταία χρόνια και μετά από την εδραίωση της θεωρίας των Τεκτονικών Πλακών, οι απόψεις, αλλά και ταυτόχρονα οι σύνοδες ονοματολογίες για τις μεταλλοφορίες προσαρμόζονται σε αυτή την νέα αντίληψη. Σαν παράδειγμα, δίδεται η αναθεώρηση και προσαρμογή των μεσοθερμικών μεταλλοφοριών. Οι αποκαλούμενες «μεσοθερμικές εμφανίσεις χρυσού» συνδέονται με μεταμορφωμένα τεκτονικά ηπειρωτικά τεμάχια όλων των ηλικιών. Τα μεταλλεύματα αυτά δημιουργήθηκαν με διεργασίες παραμόρφωσης συμπίεστικού τύπου στα συγκλίνοντα όρια περιθωριακών λεκανών σε ορογενή προσαύξησης και ορογενή που δημιουργήθηκαν από τη σύγκρουση των ηπειρωτικών τεμαχίων. Και στους δύο αυτούς τύπους ορογενούς, τα ενυδατωμένα θαλάσσια ιζήματα και ηφαιστειακά πετρώματα έχουν προστεθεί σε ηπειρωτικά περιθώρια μετά από δέκα έως εκατό εκατομμύρια έτη σύγκρουσης. Τα θερμικά γεγονότα που συνδέονται με την υποβύθιση επηρέασαν την κατανομή των γεωθερμικών πεδίων στα πρίσματα προσαύξησης και οδήγησαν τα υδροθερμικά ρευστά σε μετανάστευση μεγάλης κλίμακας. Οι περισσότερες μεταλλοφορίες είναι μετα-ορογενετικές, όσον αφορά τον τεκτονισμό των πετρωμάτων που αποτελούν ξενιστές, αλλά είναι και ταυτόχρονα συν-ορογενετικές όσον αφορά τις τρέχουσες θερμικές διεργασίες που σχετίζονται με διεργασίες υποβύθισης. Βάσει του βάθους σχηματισμού τους, οι ορογενετικές μεταλλοφορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν σε επιζωνικές (< 6 χλμ), μεσοζωνικές (6-12 χλμ) και υποζωνικές (> 12 χλμ) (Groves et. al. 1998).

Και στις νέες όμως προσεγγίσεις υπάρχουν παρόμοια θέματα. Οι Scott et al. (1997) σε μια συγκριτική έρευνά τους που αφορούσε το σχηματισμό συμπαγών σουλφιδίων σε σύγχρονα ωκεάνια συστήματα πολλών περιοχών, ταξινόμησαν με βάση το γεωτεκτονικό περιβάλλον, τα σημερινά συμπαγή θειούχα και τα πιθανά παλαιότερα ανάλογά τους ως εξής:

- Μέσο-ωκεάνια ράχη, φτωχή σε ιζήματα.

Σύγχρονα παραδείγματα: *S. Explorer; Endeavour segment, N. Juan de Fuca; 130 N, 210 N, etc. EPR ; TAG, Snakepit & Broken Spur, MAR; Sonne, CIR*

Παλαιότερης γεωλογικής περιόδου ανάλογα: Ενδεχομένως κανένας. Παρόμοιος με τύπου Κύπρου αλλά αυτά είναι πιθανότατα μέσα σε οφιολίθους που δημιουργούνται πίσω από τόξα.

- Ιζηματοφόρος μέσο-ωκεάνια ράχη.

Σύγχρονα παραδείγματα: *Middle Valley, N. Juan de Fuca; Escanaba Trough, S. Gorda Ridge.*

Παλαιότερης γεωλογικής περιόδου ανάλογα: Τύπου Besshi., π.χ. Besshi, Sazare, Hitachi (Ιαπωνία), Windy Craggy (Καναδάς), Otjijase & Matchles (Ναμίμπια).

- Υποθαλάσσια όρη

Σύγχρονα παραδείγματα: *Axial, Juan de Fuca, Palinuro, Tyrrhenian Sea, East of 130 N EPR.*

- Οπισθοτόξιος- ωκεάνιος φλοιός.

Σύγχρονα παραδείγματα: *Lau Basin, Mariana Through, Manus Basin, North Fiji Basin.*

Παλαιότερης γεωλογικής περιόδου ανάλογα: Τύπου Κύπρου *Noranda, Quebec, Phillippines*. Τύπου *Besshi* σε καλυμμένες από ιζήματα οπισθοτόξιες περιοχές.

- Οπισθοτόξιος- ηπειρωτικός φλοιός.

Σύγχρονα παραδείγματα: *Jade, Okinawa Trought, Tyrrhenian Sea.*

Παλαιότερης γεωλογικής περιόδου ανάλογα: *Kuroko* Ιαπωνία, *Bathurst New Brunswick, Rio Tinto* Ισπανίας, *Neves Corvo* στην Πορτογαλία, *Δυτική Τασμανία*.

- Τεμαχισμένο ηπειρωτικό περιθώριο ή αλλιώς Ενδοηπειρωτικός τεκτονισμός.

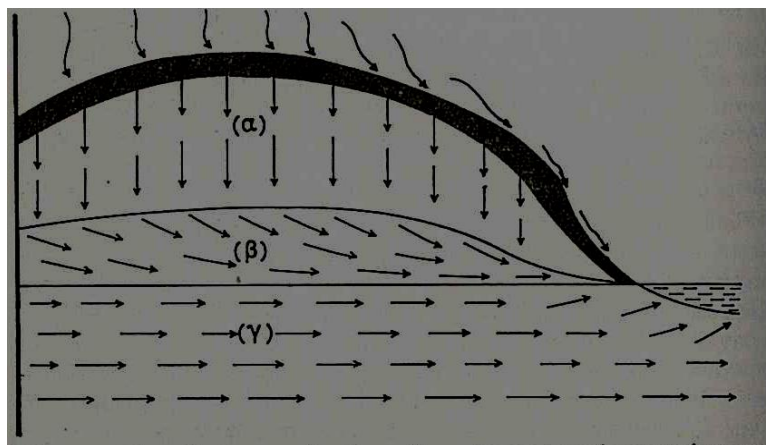
Σύγχρονα παραδείγματα: *Guaymas Basin, Gulf of California, Atlandis II Deep, Red Sea, W. Woodlark Basin.*

Παλαιότερης γεωλογικής περιόδου ανάλογα: Τύπος *Sedex*, π.χ. *Meggen & Rammelsberg* (Γερμανία), *Selwyn Basin* (Καναδάς), *Mt Isa, McArthur River & Broken Hill* (Αυστραλία) (από Χατζηκύρκου 2003).

Κεφάλαιο 5: Μικτά Θειούχα (Σουλφίδια)-Οξείδωση και διάλυση.

Μικτά Θειούχα ή Σουλφίδια χαρακτηρίζονται οι χημικές ενώσεις οι οποίες αποτελούνται από Θείο και άλλα στοιχεία ή ρίζες. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε σχετικά με την οξείδωση και τη διάλυση αυτών των ενώσεων και κατόπιν τα παραγόμενα μεταλλικά προϊόντα που προκύπτουν από αυτές τις διεργασίες.

Προυπόθεση για την παρακολούθηση των υπεργενετικών διεργασιών και την ερμηνεία των διαφόρων φαινομένων που παρατηρούνται κατ' αυτές αποτελεί, εκτός των άλλων, η γνώση του σχήματος της κυκλοφορίας του μετεωρικού νερού στην περιοχή του κοιτάσματος και κυρίως στους ανώτατους ορίζοντες της λιθόσφαιρας. Κατά γενικότερη παραδοχή, από επάνω προς τα κάτω, διαμορφώνονται τρεις ζώνες, οι α, β και γ, που αποδίδονται σχηματικά με την εικόνα 12. Από τις ζώνες αυτές, η ανώτερη (α), που ορίζεται από την επιφάνεια της γης και την ελεύθερη επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ονομάζεται ζώνη καθίζησης, η ενδιάμεση (β), που περιορίζεται μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα και του οριζοντίου επιπέδου που διέρχεται από το υψηλότερο σημείο εξόδου του νερού, ονομάζεται ζώνη ροής ενώ η κατώτερη (γ) ονομάζεται ζώνη του λιμνάζοντα νερού ή ζώνη αποθήκευσης. Οι χαρακτηρισμοί αυτοί αποδίδουν και τον τρόπο κυκλοφορίας του νερού στις αντίστοιχες ζώνες. Έτσι, μέσα στη ζώνη α το νερό κινείται διαρκώς και κατακόρυφα, στη ζώνη β διαρκώς και περίπου οριζόντια μέχρι οριζόντια, ενώ στη ζώνη γ παραμένει πρακτικά αμετακίνητο (λιμνάζει). Είναι, βέβαια, αυτονόητο ότι το σχήμα αυτό είναι αρκετά απλοποιημένο, δεδομένου ότι αφορά σε πετρώματα του ίδιου πορώδους και με σταθερά όρια μεταξύ των ζωνών. Πρόκειται δηλαδή για μια θεωρητική ή, έστω, σπάνια περίπτωση, για τους λόγους ότι στη φύση ούτε το πορώδες είναι ενιαίο ούτε ασφαλώς τα όρια είναι σταθερά, επειδή αυτά επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες (εποχιακούς, κλιματικούς και τεκτονικούς).



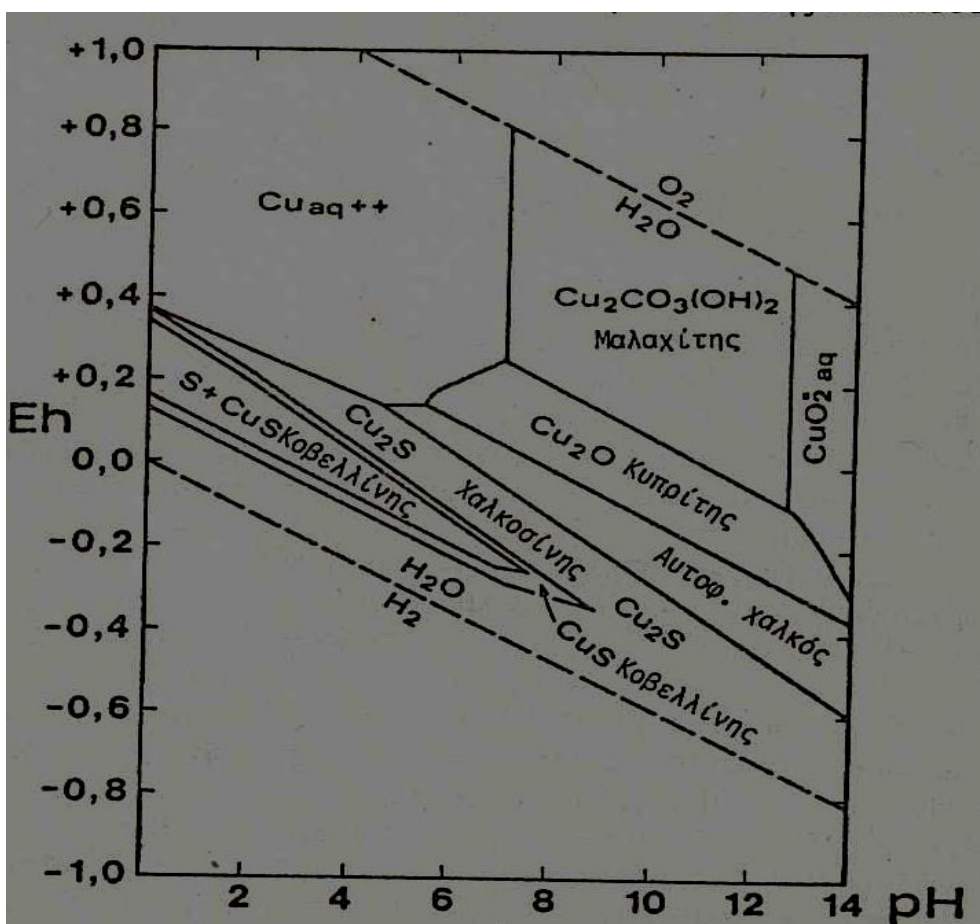
Εικόνα 12. Σχηματική παράσταση των ζωνών κυκλοφορίας του νερού σε πετρώματα ενιαίου πορώδους

(από Μελιδώνη 1992).

Αν το φορτισμένο με O_2 και CO_2 μετεωρικό νερό κατά την προς τα κάτω πορεία του, συναντήσει σουλφίδια οποιωνδήποτε μετάλλων που, όπως είναι γνωστό, σχηματίζονται σε εντελώς διαφορετικές συνθήκες (αναγωγικό περιβάλλον, παρουσία H_2S), δε βρίσκεται σε ισορροπία μ' αυτά, με συνέπεια να τα αποσταθεροποιεί και να τα αποσαθρώνει. Η βασική, βέβαια, διαδικασία της αποσάθρωσης είναι η

οξειδωση, κατά την οποία, εκτός των άλλων, παράγονται ιόντα υδρογόνου και θειικά ανιόντα, πράγμα που σημαίνει ότι δημιουργείται ένα νέο περιβάλλον με ιδιαίτερους φυσικοχημικούς χαρακτήρες. Η στοιβάδα της ζώνης των υπεργενετικών διεργασιών μέσα στην οποία πραγματοποιούνται τα οξειδωτικά φαινόμενα ονομάζεται υποζώνη οξειδωσης.

Οι φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο της ανώτατης στοιβάδας της ζώνης των υπεργενετικών διεργασιών παριστάνονται με ειδικά διαγράμματα, όπως στην εικόνα 13. Παρά το ότι οι περισσότεροι συγγραφείς αποδίδουν τις οξειδωτικές διεργασίες με τις ίδιες περίπου χημικές εξισώσεις, εντούτοις θεωρείται ότι οι πραγματικοί μηχανισμοί οξειδωσης και διάλυσης των πρωτογενών σουλφιδίων των διαφόρων μετάλλων δεν μας είναι εντελώς γνωστοί. Χωρίς πάντως αμφιβολία, τα σουλφίδια, κάτω από την επίδραση των επιφανειακών νερών, διαλύονται και στη συνέχεια τα προϊόντα της αποικοδόμησής τους αντιδρούν με το διαλυμένο οξυγόνο.



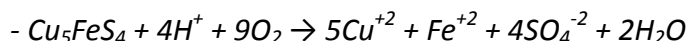
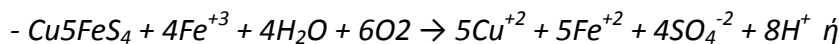
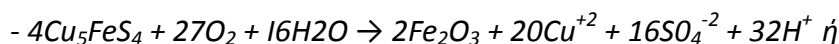
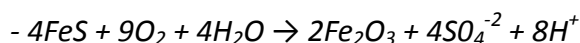
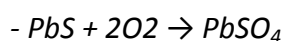
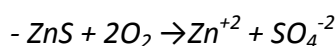
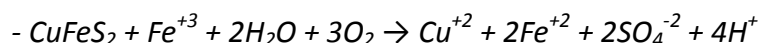
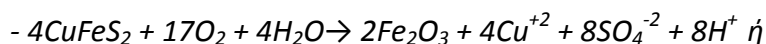
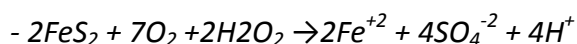
Εικόνα 13. Τα πεδία σταθερότητας μερικών από τα κύρια ορυκτά του χαλκού στις συνθήκες που επικρατούν στην

επιφάνεια της Γης (χαμηλή πίεση CO_2), ως συντήρηση των τιμών pH και κατά Garrels και Christ, (1965)

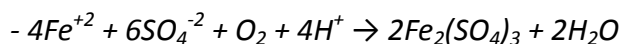
Εκτιμάται ότι οι οξειδωτικές αντιδράσεις θα ήταν πολύ πιο βραδείες αν δε μεσολαβούσε ιοντική διάσταση. Ενδιαφέρουσα είναι η άποψη του Sato M. (1960), σύμφωνα με την οποία το οξειδωτικό μέσο είναι το H_2O_2 ,

που σχηματίζεται σαν ενδιάμεσο προϊόν κατά τη διάρκεια της αναγωγής του οξυγόνου. Αν το οξειδωτικό δυναμικό του περιβάλλοντος ξεπεράσει εκείνο του ζεύγους $H_2O_2-O_2$ όλα τα παρευρισκόμενα μεταλλοϊόντα αντιδρούν με το υπεροξείδιο του υδρογόνου, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μεταλλοξείδιο και νερό. Από μετρήσεις υπαίθρου, προέκυψε ότι οι τιμές των pH και Eh βρίσκονται επάνω από το πρότυπο δυναμικό του ζεύγους $H_2O_2-O_2$ μόνο σ' ένα στενό τομέα της ζώνης οξείδωσης.

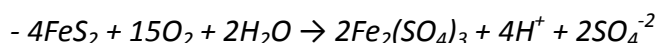
Οι πρώτες και σχετικά απλές οξειδωτικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στο χώρο της ανώτατης στοιβάδας και αφορούν σε μερικά από τα πιο κοινά σουλφίδια, μπορεί ν' αποδοθούν με τις επόμενες εξισώσεις: (Οι στερεές ενώσεις του πρώτου μέρους των εξισώσεων και τα σχετικώς αδιάλυτα προϊόντα των αντιδράσεων γράφονται με το στοιχειομετρικό τύπο τους, ενώ οι διαλυτές με την ιοντική μορφή τους).



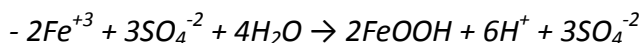
Ο παραγόμενος, μεταξύ των άλλων θειικών αλάτων, διαλυτός θειικός υποσίδηρος οξειδώνεται κατά ένα ποσοστό - μάλιστα δε σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα και μετατρέπεται στον ολιγότερο διαλυτό θειικό σίδηρο, κατά την αντίδραση:



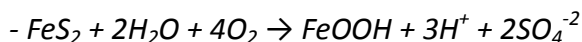
Αν το νερό είναι πλούσιο σε οξυγόνο, ο σιδηροπυρίτης οξειδώνεται κατ' ευθείαν σε τρισθενή θειικό σίδηρο (χωρίς να περάσει από το στάδιο του θειικού υποσίδηρου), κατά την αντίδραση:



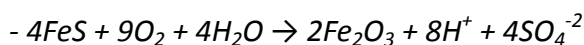
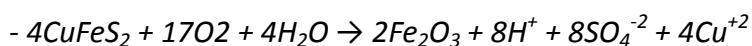
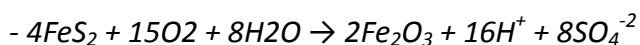
Από την υδρόλυση του ασταθούς, κάτω από τις συνθήκες της ζώνης οξείδωσή θειικού σιδήρου παράγεται το υδροξείδιο του Fe^{+3} , λειμωνίτης και ελεύθερο H_2SO_4 :



Κατά την άποψη, εντούτοις, διαφόρων συγγραφέων, ο FeS₂ μπορεί να μετατατρέπεται κατευθείαν σε FeOOH, κατά την αντίδραση:



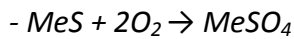
Κάτω μάλιστα από τις ίδιες συνθήκες, εκτός του FeOOH, παράγεται από τα διάφορα σουλφίδια του σιδήρου και το οξείδιο αυτού αιματίτης:



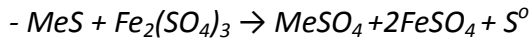
Τα προηγούμενα υδροξείδια και οξείδια του σιδήρου, ως εξαιρετικώς δυσδιάλυτα, δεν απομακρύνονται από τον τόπο του σχηματισμού τους, αλλά, συσσωρευόμενα διαρκώς, επεκτείνονται πλευρικά και σχηματίζουν το γνωστό σιδηρούν κάλυμμα (BIF) με τις χαρακτηριστικές καστανές, ερυθροκάστανες ή και ερυθρές αποχρώσεις του. Είναι ενδιαφέρον να λεχθεί ότι στα κοιτάσματα συμπαγούς σιδηροπυρίτη, ο σίδηρος “ξεπλένεται” σχεδόν εντελώς, χωρίς ν’ αφήνει αξιόλογα ποσά λειμωνίτη ή αιματίτη. Αυτό οφείλεται στο ότι το παραγόμενο σε αφθονία θειικό οξύ αφενός μεν διατηρεί το pH των εκεί διαλυμάτων σε πολύ χαμηλές τιμές αφετέρου δε δημιουργεί αναγωγικό περιβάλλον, στο οποίο ο σίδηρος βρίσκεται με τη διασπαστική (διαλυτή) μορφή του. Στο σιδηρούν κάλυμμα περιέχονται και διάφορες άλλες - επίσης δυσδιάλυτες - ενώσεις, από τις οποίες σαν πιο κοινές αναφέρονται εκείνες του Cu, μαλαχίτης, αζουρίτης και χρυσόκολλα και του Pb, αγγλεσίτης και κερουσίτης.

Οι περισσότερες ενώσεις του αρσενικού, αντίθετα προς τις αντίστοιχες του αντιμονίου, είναι σχετικά διαλυτές και συνεπώς απομακρύνονται εύκολα από τη ζώνη της αποσάθρωσης. Η παρουσία ιχνών αρσενικών ενώσεων σε οξειδωμένο μέταλλευμα χαλκού, όπως είναι π.χ. ο κονιχαλκίτης ($\text{CaCuAsO}_4(\text{OH})$), αποδεικνύει την πρωτογενή ύπαρξη θειοαρσενικών ορυκτών, τα οποία όμως σε συνθήκες υγρού κλίματος διαλύονται μαζί με τα λοιπά θειικά. Διάφοροι ερευνητές, από 30 και πλέον ετών, είχαν επισημάνει ότι στη διαμόρφωση του περιεχομένου των υδατικών διαλυμάτων που κυκλοφορούν στα μεταλλεία και, κατ’ επέκταση, στις ζώνες των υπεργενετικών διεργασιών των κοιτασμάτων μεταλλικών ορυκτών, παίρνουν μέρος - κάποτε μάλιστα σε αρκετά μεγάλη κλίμακα - και διάφορα βακτηρίδια. Τα τελευταία είναι αερόβια και χυμολιθοαυτότροφα (chemolithoautotroph), χρησιμοποιούν δηλαδή για τις βιοτικές ανάγκες τους αποκλειστικά ανόργανα άλατα και το CO₂ του ατμοσφαιρικού αέρα. Ανήκουν στο γένος *Thiobacillus*, οι κυριώτεροι αντιπρόσωποι του οποίου είναι τα είδη *Th. Ferroxidans* και *Th. Thiooxidans* που μετατρέπουν μέσα από διάφορους μηχανισμούς πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων - τα δυσδιάλυτα σουλφίδια πολλών μετάλλων και το στοιχειακό θείο σε υδροδιαλυτά θειικά άλατα και θειικό οξύ. Οι σπουδαιότερες από τις αντιδράσεις αυτές, που γίνονται από τον Bosc-Ker, K. (1986) κατά απλουστευμένο και περιληπτικό τρόπο, είναι οι επόμενες:

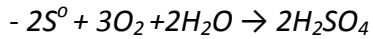
Αρχικά πραγματοποιείται οξείδωση των σουλφιδίων των μετάλλων (Me):



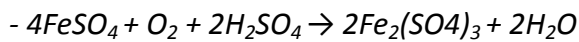
η οποία όμως ενισχύεται (υποστηρίζεται) με την παρουσία ιόντων Fe^{+3} που δρουν οξειδωτικά, οπότε, εκτός από θειικές ενώσεις, παράγεται και στοιχειακό θείο:



Το θείο, με την παρέμβαση κυρίως του \rightarrow οξειδώνεται προς θειικό οξύ:



ενώ ο Fe^{+2} με την παρέμβαση του *Th. Ferrooxidans*, οξειδώνεται και πάλι σε Fe^{+3} :



που στη συνέχεια επανέρχεται στον αναγωγικό κύκλο (κύκλος της αναγωγής).

Οι νέες αυτές γνώσεις οδήγησαν στην εξέλιξη μιας αρκετά ενδιαφέρουσας από οικονομική άποψη τεχνολογικής μεθόδου, εκείνης του μικροβιακού ξεπλύματος (*mikrobielle Laugung, leaching*).

(Από Μελιδώνη 1992).

Κεφάλαιο 6: Κοιτασματολογική αναγνώριση Νομού Ρεθύμνης

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία που αντλήθηκαν από το μεταλλογενετικό χάρτη του ΙΓΕΥ κλίμακας 1:1.000.000 (Ζάχος και Μαράτος 1965) και το συνοδευτικό έντυπο του συγκεκριμένου χάρτη. Ο παραπάνω χάρτης και το συνοδευτικό του έντυπο έχουν αντλήσει πλειάδα δεδομένων, όσον αφορά τη νήσο Κρήτη, από την αδημοσίευτη έκδοση του ΙΓΕΥ με τίτλο «Ο ορυκτός πλούτος της Κρήτης» του 1952 υπό του Παπασταματίου Ι.Ν.. Η έκδοση αυτή αποτελεί μια πολύ καλή περιγραφή των κοιτασμάτων και εμφανίσεων των μεταλλευμάτων, των ορυκτών καυσίμων και των βιομηχανικών ορυκτών που απαντώνται στην Κρήτη. Οι επόμενοι παράγραφοι επικεντρώνονται στην παρουσίαση συνδυαστικά αυτών των στοιχείων, όπως τα κατέγραψε ο Καθηγητής Παπασταματίου.

Ο νομός Ρεθύμνης είναι μικρότερος σε έκταση από όλους τους νομούς της Κρήτης και το κρυσταλλοσχιστώδες δεν έχει μεγάλη εξάπλωση, όσο παρατηρείται στο νομό Χανίων. Συνεπώς οι εμφανίσεις των χρήσιμων εν γένει ορυκτών, των γενετικώς συνδεδεμένων με το κρυσταλλοσχιστώδες και των εκρηξιγενή σε αυτό, είναι λίγες.

Όπως στο νομό Χανίων έτσι και στο νομό Ρεθύμνης, αναπτύσσονται ορίζοντες της υποζώνης Τριπόλεως και της ζώνης Ολωνού-Πίνδου. Εκτός όμως αυτών φαίνεται πολύ πιθανή η ύπαρξη αντιπροσώπων και τρίτης ζώνης, αυτή της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας. Υπολείματα της ζώνης αυτής φαίνεται πολύ πιθανόν να υπάρχουν μεταξύ της περιοχής Κέδρου και Ψηλορείτη. Στους περιδοτίτες εκτός του φλύσχη Τριπόλεως στο χωριό Σπήλι και σε άλλες θέσεις υπάρχουν εμφανίσεις αμιάντου, δυστυχώς άνευ οικονομικού ενδιαφέροντος. Αντιθέτως στους κερατόλιθους και ερυθρούς πυριτικούς ασβεστόλιθους της ζώνης Ολωνού-Πίνδου στον Κέδρο (Άνω Μέρος), υπάρχει ιζηματογενές μαγγάνιο, όπου μάλιστα γίνεται εκμετάλλευση.

Τα μεταλλικά ιζήματα (ασβεστόλιθος-μάρμαρα) καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις, κυρίως στα βόρεια του νομού. Στην περιοχή αναπτύσσονται νεογενείς λιμνογενείς αποθέσεις, μεταξύ των οποίων υπάρχουν και στρώματα λιγνίτη. Η λιγνιτοφόρος λεκάνη Πλακιάς έχει οικονομικό ενδιαφέρον.

Κατά την ανάπτυξη του θέματος θα ακολουθήσουμε την παρακάτω διάταξη.

A. Μετάλλευμα: Σιδήρου - Αρολίθι, Καλλικράτη, Σίσσες, Φόδελε, Δάμαστα.

Μικτά θειούχα - Άνω Βαλσαμόνερο

Μαγγανίου – Άνω Μέρος

B. Ορυκτά καύσιμα: Λεκάνη Αγκουσελιανών

Λεκάνη Πλακιάς

Γ. Λατομικά ορυκτά: Γύψος

Αμιάντος

Παρατηρήσεις:

Το κοίτασμα της ομάδας Καλλικράτη γεωγραφικά υπάγεται στο νομό Χανίων. Όμως το περιλαμβάνουμε στο Ρέθυμνο γιατί αφενός μεν αποτελεί συνέχεια του κοιτάσματος στο Αρολίθι, αφετέρου διότι συγκοινωνιακά συνδέεται καλύτερα με το Ρέθυμνο.

Για τους λόγους αυτούς το κοίτασμα Σίσσες θα έπρεπε να περιληφθεί στο τρίτο μέρος της μελέτης, εφόσον αποτελούν μέρος της ομάδας Φόδελε, γεωγραφικά υπαγόμενη στο νομό Ηρακλείου. Επειδή δόθηκε η ευκαιρία μετάβασης μας εκεί προσωρινώς, τα αναφέρουμε αυτά.

6.1. Μεταλλεύματα και θέσεις εντοπισμού τους.

6.1.1. Μεταλλεύματα Σιδήρου:

Στο νομό Ρεθύμνης εκτός του γνωστού τύπου σιδηρομεταλλεύματος Λειμωνίτη, υπάρχουν κοιτάσματα σε δύο περιοχές. Η πρώτη στο νοτιοδυτικό τμήμα περιλαμβάνει τις ομάδες “Αρολίθι” και “Καλλικράτη”. Η δεύτερη στο βορειοανατολικό τμήμα του νομού περιλαμβάνει τις ομάδες “Σίσσες” και “Φόδελε”, ασχέτως αν η δεύτερη, όπως προαναφέραμε, υπάγεται στο νομό Ηρακλείου.

Στον κοιτασματολογικό χάρτη σημειώνονται και μεμονωμένες εμφανίσεις σιδηρομεταλλεύματος στο κρυσταλλοσχιστώδες, όπως και οι προηγούμενοι, διαφορετικού όμως τύπου. Αυτές είναι οι εμφανίσεις στο Άνω Βαλσαμόνερο.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με την κοιτασματολογική μελέτη των σιδηρομεταλλευμάτων κάθε ομάδας.

Αρολίθι: Το χωριό Αρολίθι του νομού Ρεθύμνης βρίσκεται νοτιοδυτικά της πόλης. Η οδός από Ρέθυμνο προς Μυριοκέφαλα μέσω Αργυρουπόλεως, διακλαδίζεται στο χωριό Μυριοκέφαλα και τερματίζει στο Αρολίθι.

Η περιοχή Αρολίθι-Μυριοκέφαλα απαρτίζεται από κατώτερα μέλη της κρυσταλλοσχιστώδους σειράς, αποτελούμενη από δολωμίτες, άστρωτους, τεφρόμαυρους, εύκολα θρυματιζόμενοι σε σκόνη και από την κατώτερη σειρά των Φυλλιτών και Χαλαζιτών.

Το σιδηρομετάλλευμα εμφανίζεται σε πολλές θέσεις στη λοφοσειρά μεταξύ Αρολίθι και Μυριοκέφαλα, βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά του χωριού Αρολίθι. Το σιδηρομετάλλευμα, το οποίο έχει τη συνήθη, μέχρι τότε γνωστή υφή και σύσταση (μάλλον λειμωνίτης και ήταν σπογγώδης). Απαντάται σε μορφή μικρών φακοειδών σωμάτων εντός ζώνης επαφής φυλλιτών και χαλαζιτών ή υπό μορφή φλεβών.

Παρόμοια σώματα νοτιοδυτικά του χωριού στη θέση Τρύπα, απαντώνται χωρίς οικονομικό ενδιαφέρον. Στη θέση Δημητές, υπάρχει φλέβα λειμωνίτη εντός φυλλιτών. Οι φυλλίτες έχουν διεύθυνση $B\ 30^\circ A$ και κλίση $30^\circ BA$, η φλέβα έχει διεύθυνση $μεν\ B\ 40^\circ Δ$, κλίση $δε\ 60^\circ ΝΔ$. Κάτω από το φυλλίτη με τη φλέβα λειμωνίτη βρίσκεται ο δολωμίτης. Η φλέβα έχει πλάτος 3 μέτρα και ύψος 4 μέτρα.

Μικρά σώματα μεταλλεύματος υπάρχουν και στις θέσεις Λαγάρα, Βαθύ Λακκούδι και Αληθινή. Και αυτά στερούνται οικονομικού ενδιαφέροντος, παρ'όλα αυτά, δεν θα ήταν άσκοπη η εκτέλεση μικρής ερευνητικής εργασίας στις Δημητές.

Το κάπως ενδιαφέρον κοίτασμα βρίσκεται στην θέση “Ρέντα”. Η θέση αυτή βρίσκεται 500 μέτρα προς το Αρολίθι από τη διασταύρωση των οδών Μυριοκεφάλων και Αρολιθίου. Στο κοίτασμα αυτό παρατηρείται άμεση συσχέτιση λειμωνίτη και πυριτών.

Στην κυριολεξία δεν πρόκειται για συμπαγές μετάλλευμα πυρίτη αλλά για άφθονους κρυστάλλους πυριτών εντός χαλαζακής μάζας. Το κοίτασμα γενικά δε φαίνεται να έχει οικονομικό ενδιαφέρον. Τα ορατά αποθέματα ανέρχονται περίπου στους 600 τόννους λειμωνίτη. Αναλύσεις μεταλλεύματος δεν υπάρχουν. Δεν είναι απίθανο να υπάρχει θείο σε περιεκτικότητα μη ανεκτή.

Το κοίτασμα Ρέντας παρουσιάζει ενδιαφέρον από μεταλλογενετικής άποψης, εφόσον σε αυτό παρουσιάζεται άμεσος σύνδεσμος με φλέβα πυριτών.

Γενικά η ομάδα κοιτασμάτων στην περιοχή Αρολίθι, φρονούμε ότι δεν παρουσιάζει αξιόλογο οικονομικό ενδιαφέρον, εφόσον πρόκειται για μικρά φακοειδή σώματα εντός του κρυσταλλοσχιστώδους. Το σύνολο των αποθεμάτων πιθανώς να ανέρχεται περίπου στους 5000 τόννους.

Καλλικράτης: Το χωριό Καλλικράτης υπάγεται στην Επαρχία Σφακίων του νομού Χανίων. Οι εμφανίσεις σιδηρομεταλλεύματος όμως συμπεριλαμβάνονται στο Ρέθυμνο γιατί συγκοινωνεί καλύτερα με τη πόλη του Ρεθύμνου. Η οδική οδός από Ρέθυμνο φτάνει μέχρι Μυριοκέφαλα. Από εκεί η μετάβαση στο χωριό Καλλικράτης γίνεται μέσω δύσκολης και δύσβατης οδού.

Η ομάδα εμφανίσεων σιδηρομεταλλεύματος “Καλλικράτης” περιλαμβάνει τις εμφανίσεις του Ξυνού Νερού, Μανικά και Σπήλιου Λάκκου.

Κατά τη μετάβαση από Μυριοκέφαλα προς Μάνικα, περνάμε από το οροπέδιο Σπήλιου Λάκκου. Το οροπέδιο αυτό απαρτίζεται από δολομίτες και φυλλίτες. Εντός των φυλλιτών παρατηρούνται εμποτίσματα λειμωνίτη, που δεν έχουν οικονομική σημασία. Αυτά παρατηρήσαμε στα τρία μέρη αλλά είναι πιθανόν να υπάρχουν εμφανίσεις και αλλού. Το υψόμετρο κυμαίνεται στα 900 με 1000 μέτρα. Οι εμφανίσεις δεν έχουν οικονομικό ενδιαφέρον.

Το κοίτασμα Μανικά παρουσιάζει κάποιο οικονομικό ενδιαφέρον. Ο Μάνικας είναι ένας μικρός συνοικισμός γύρω στα 4 χιλιόμετρα ΝΝΑ του Καλλικράτη. Οι εμφανίσεις σιδηρομεταλλευμάτων βρίσκονται στη θέση “Πηγάδια”. Το κοίτασμα βρίσκεται στην επαφή φυλλιτών και δολομιτών. Ερευνητικό φρέαρ βάθους 15 μέτρων έχει διανοιχθεί εντός του σιδηρομεταλλεύματος. Φλεβοειδής συγκεντρώσεις μεταλλεύματος παρατηρούνται και στα υπερκείμενα των φυλλιτών δολομιτών. Ποσοτικά το κοίτασμα είναι αξιόλογο και η ποιότητα του μεταλλεύματος επίσης φαίνεται να είναι αρκετά καλή. Πρόκειται για λειμωνίτη και ώχρας λειμωνιτικής. Χημικές αναλύσεις δεν υπάρχουν.

Το κοίτασμα βρίσκεται σε ύψος 900 μέτρων και σε περιοχή μορφολογικά ανώμαλη. Μόνο αν μέσω σοβαρών ερευνητικών έργων διαπιστωθεί μεγάλη ποσότητα θα είναι δυνατό να γίνουν σκέψεις εκμετάλλευσης. Αυτό γιατί θα απαιτηθούν δαπανηρά έργα μεταφοράς του μεταλλεύματος στην πλησιέστερη ακτή του νησιού για φόρτωση.

Τρεις εμφανίσεις σιδηρομεταλλεύματος βρίσκονται περίπου 2,5 χιλιόμετρα ΝΔ του χωριού Καλλικράτη και πλησίον του στο χάρτη (1:50000) σημειωμένο παρεκκλήσι Άγιος Γεώργιος. Η πιο αξιόλογη θέση είναι η θέση Ξυνό Νερό σε υψόμετρο περίπου 740 μέτρα. Στο κοίτασμα αυτό έχει γίνει μικρή ερευνητική εργασία και ανακαλύφθηκε πως πρόκειται περί φακού μεταλλεύματος εντός των στρωμάτων της κατώτερης σειράς φυλλιτών και χαλαζιτών. Το μέταλλευμα είναι λειμωνίτης καλής ποιότητας, όπως φαίνεται και μακροσκοπικά. Τα ορατά αποθέματα υπολογίζονται περίπου στους 400 τόννους.

Από όλες τις εμφανίσεις του Καλλικράτη, η πλέον ενδιαφέρουσα είναι εκείνη του Μάνικα. Όμως, μόνο αν αποδειχθεί ότι περιέχει σημαντικά αποθέματα, τόσα ώστε να αντέχει τα έξοδα μεταφοράς, αξίζει να γίνει εκμετάλλευση. Θα πρέπει επίσης να ερευνηθούν και οι εμφανίσεις του Ξυνού Νερού και να γίνει εξακρίβωση των αποθεμάτων τους.

Η γνώμη που έχουμε καταλήξει είναι πως τα συνολικά αποθέματα δεν είναι τόσα ώστε να γίνουν εκμεταλλεύσιμα τα κοιτάσματα της ομάδας του Καλλικράτη.

Άνω Βαλσαμόνερο: Βρίσκεται νοτιοδυτικά της πόλης τους Ρεθύμνου, κοντά στην οδική αρτηρία Χανίων-Ρεθύμνου. Οι μεταλλοφόρες εμφανίσεις βρίσκονται στη θέση “Ερρυκιά”, μόλις 200 μέτρα ΒΑ του χωριού. Στην περιοχή απαντούν φυλλίτες με λεπτές ενστρώσεις χαλαζιτών.

Αξιόλογη είναι η εμφάνιση αιματιτικής ώχρας σε στρώμα πάχους 4 με 5 μέτρων, η οποία φαίνεται να έχει σημαντικές επιφανειακές διαστάσεις. Στη βάση του κοιτάσματος παρατηρείται ελαφρώς εντός φυλλιτών.

Φυτική γη καλύπτει το κοίτασμα και εμποδίζει την εκτίμηση των αποθεμάτων. Από πρόχειρα ερευνητικά έργα θα μπορούσε ο μεταλλειοκτήτης να γνωρίσει τα υπάρχοντα αποθέματα και να σκεφτεί την αξιοποίησή τους.

6.1.2. Μικτά Θειούχα:

Εμφάνιση αυτού του μεταλλεύματος είναι γνωστή μόνο στη θέση **Άνω Βαλσαμόνερο**, στη θέση όπου εμφανίζεται και η αιματιτική ώχρα όπως είπαμε και πιο πάνω.

Το μέταλλευμα συνιστάται από γαληνίτη, σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη με σύνδρομο χαλαζία. Η περιοχή αποτελείται από φυλλίτες και χαλαζίτες έχοντας διεύθυνση 110° και κλίση 20° προς την κατεύθυνση του Βορρά. Η μεταλλοφόρος φλέβα βρίσκεται μέσα στρώμα χαλαζίτη. Το πάχος της φτάνει τα 0,30 μέτρα.

Το μέταλλευμα είναι φτωχό. Από ανάλυση του μεταλλειοκτήτη βρέθηκε πως περιέχει ψευδάργυρο ενός ποσοστού της τάξεως του 27%. Ασφαλώς πρόκειται για δειγματοληψία κατ'επιλογής.

Ο μεταλλειοκτήτης έχει κάνει μικρή ερευνητική στοά, στην οροφή της οποίας έχει τη μεταλλοφόρο φλέβα. Επιφανειακά, δεν ήταν δυνατόν να παρακολουθήσει τη φλέβα λόγω της έντονης θαμνώδους περιοχής.

Η εμφάνιση εικάζουμε πως στερείται οικονομικού ενδιαφέροντος.

Για τη δική μας μελέτη, βασιστήκαμε στα κοιτάσματα που υποδεικνύονται από τον καθηγητή Παπασταματίου και τα οποία ανευρίσκονται εντός των ορίων του Νομού Ρεθύμνης καθώς η παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει το συγκεκριμένο Νομό. Οι τοποθεσίες αυτές είναι,

-Καλλικράτης (ΚΑΛ, Δ.ΜΥΡ)

-Αρολίθι (ΑΡ, ΡΕΝΤ)

-Άνω Βαλσαμόνερο (ΕΡ)

Παράλληλα, πήραμε δείγματα από Κακόπετρο του Νομού Χανίων (ΚΑΡ) για να συγκριθεί με παλαιότερα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 7: Μεθοδολογία και θεωρητικό υπόβαθρο μεθόδων

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση και ανάλυση των δειγμάτων, τα κριτήρια επιλογής αυτών των δειγμάτων, και τις βασικές αρχές λειτουργίας των μεθόδων.

Για την παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις στην ύπαιθρο για τη συλλογή των δειγμάτων από δειγματοληψίες ύστερα από επισκέψεις σε τοποθεσίες που υποδεικνύονται από την εργασία του Παπασταματίου.

Συγκεκριμένα, λήφθηκαν τέσσερα δείγματα από την περιοχή Καλλικράτης, τέσσερα δείγματα από την περιοχή Αρολίθι (ΑΡ), δύο δείγματα από την διασταύρωση προς Μυριοκεφάλα (Δ.ΜΥΡ), πέντε δείγματα από τη θέση Ρέντα (ΡΕΝΤ) προς το Αρολίθι και άλλα τέσσερα δείγματα στη θέση Ερρυκιά (ΕΡ) στο Άνω Βαλσαμόνερο. Επίσης από προηγούμενες μελέτες πάρθηκαν και έξι δείγματα από την περιοχή Κακόπετρος (ΚΑΡ) του νομού Χανίων.

Στο σύνολο, λήφθηκαν, επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν ορυκτολογικά και χημικά 25 δείγματα από 6 διαφορετικές θέσεις.

7.1.1. Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιείται στο εργαστήριο της Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων-Χ (XRD), τύπου D8 της εταιρείας Brucker και χρησιμοποιείται λυχνία χαλκού.

Η μελέτη των ορυκτολογικών φάσεων των δειγμάτων του σιδηρομεταλλεύματος πραγματοποιείται μέσω στιλπνών τομών με τη χρήση του μεταλλογραφικού μικροσκοπίου (μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός).

Η μικροφωτογράφιση των τομών γίνεται με ψηφιακή κάμερα τύπου NIKON (από Τρίχος 2011).

7.1.2. Μέθοδος περιθλασιμετρίας των ακτίνων-Χ (XRD)

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων -Χ (XRD) έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και της δομής των δειγμάτων, τα οποία μπορούν να περιέχουν περισσότερες από μία κρυσταλλικές φάσεις, με χρήση αντιπροσωπευτικού κονιοποιημένου αρχικού δείγματος.

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-Χ πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδρασή τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων και έχει ως αποτέλεσμα την σκέδαση των ακτίνων-Χ.

Η ικανότητα ενός ατόμου να σκεδάζει ακτίνες-Χ είναι ανάλογη του αριθμού των ηλεκτρονίων του.

Κατά τη σύγκρουση των ακτίνων-Χ με τα ηλεκτρόνια των ατόμων, τα ηλεκτρόνια ωθούνται σε εξαναγκασμένες ταλαντώσεις και ταυτόχρονη εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ίδιας συχνότητας, όπως της πρωτογενούς ακτινοβολίας, και μικρότερης συχνότητας σε σχέση με την πρωτογενή ακτινοβολία, ως συνεπακόλουθο της μετάπτωσής τους από διάφορες ενεργειακές στάθμες σε άλλες.

Η περίθλαση των ακτίνων-Χ πάνω στους κρυστάλλους ερμηνεύεται ως σκέδαση των ακτίνων-Χ οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγμιακά επίπεδα του κρυστάλλου. Θεωρείται 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 d .

Η σκέδαση στην προκειμένη περίπτωση διαφέρει από την ανάκλαση του ορατού φωτός, στο γεγονός ότι εξαιτίας της μεγάλης ικανότητας διείσδυσης, η προσπίπτουσα στον κρύσταλλο δέσμη των ακτίνων- X διαπερνά ένα πολύ μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων πριν απορροφηθεί (Κωστάκης, 2005).

Με τη μέθοδο του περιθλασίμετρου ακτίνων- X μπορούν να μετρηθούν απευθείας τόσο οι γωνίες όσο και οι εντάσεις των ανακλάσεων που πραγματοποιούν οι ακτίνες- X που προσπίπτουν σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.

Τα μέρη του περιθλασίμετρου ακτίνων- X αποτελούν οι εξής μονάδες:

α) η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης

β) η λυχνία ακτίνων- X

γ) το γωνιόμετρο

δ) ο απαριθμητής των ακτίνων X

ε) την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων

στ) η μονάδα του μικροϋπολογιστή. Με τη μονάδα του μικροϋπολογιστή γίνεται η διαχείριση όλου του συστήματος και αξιολογούνται τα δεδομένα που προκύπτουν από την εξέταση του δείγματος.

Το παρασκεύασμα που θέλουμε να μελετήσουμε τοποθετείται στο δειγματοφορέα του γωνιομέτρου. Ο δειγματοφορέας βρίσκεται σε τέτοια θέση, ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής και το επίπεδο του δείγματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο αυτού του κύκλου.

Την ίδια στιγμή, ως προς τον ίδιο άξονα περιστρέφεται ο απαριθμητής υπό σταθερή γωνιακή ταχύτητα ($2\theta/\text{min}$) και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα ίση με τη μισή τιμή της γωνιακής ταχύτητας του απαριθμητή, έτσι ώστε με ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και περιστροφή του δείγματος, ο απαριθμητής να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος με το σημείο εξόδου των ακτίνων X της λυχνίας. Έτσι μπορεί και γίνεται η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων X της λυχνίας, ώστε για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων να επαληθεύεται η εξίσωση του Bragg: $n \times \lambda = 2 \times d \times \sin \theta$ (n : τάξη ανάκλασης λ : το μήκος κύματος d : η πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου θ : γωνία πρόσπτωσης) (Κωστάκης, 1988). Η μονάδα περιθλασης ακτίνων- X έχει τη δυνατότητα να δώσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με :

α) Τη σύνθεση και το δομικό χαρακτηρισμό ενώσεων, με έμφαση στα υλικά νέων τεχνολογιών

β) Την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση της περιεκτικότητας του εξεταζόμενου

δείγματος.

γ) Την ανάλυση της σύστασης ορυκτών και χημικά επεξεργασμένων ορυκτών προϊόντων.

δ) Την ανάλυση της σύστασης και δομής κεραμικών και άλλων σύνθετων υλικών, κρυσταλλικών και άμορφων, με μεγάλο τεχνολογικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον (Τρίχος 2011).

Το περιθλασίμετρο XRD καταγράφει υπό μορφή ακτινογραφήματος την ένταση των σκεδαζόμενων ακτίνων για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών. Το ακτινογράφημα κάθε κρυσταλλικής ουσίας είναι χαρακτηριστικό και μοναδικό, κατά συνέπεια αποτελεί ένα είδος ταυτότητας βάσει της οποίας μπορούμε να προσδιορίσουμε την ουσία αυτή. Η εικόνα που προκύπτει είναι ανάλογη εκείνης που απεικονίζεται σε ένα φιλμ (Κωστάκης, 2005).

7.1.3. Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο

Στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο ένας ανακλαστήρας έχει τοποθετηθεί ανάμεσα στον αντικειμενικό και τον προσοφθάλμιο φακό και κατευθύνει το προσπίπτον φως κάθετα στη στιλβωμένη επιφάνεια του παρασκευάσματος που θέλουμε να μελετήσουμε. Χρησιμοποιούνται ειδικοί αντικειμενικοί φακοί για την παρατήρηση μη καλυμμένων παρασκευασμάτων. Η περιστρεφόμενη τράπεζα μετακινείται ελεύθερα προς τα πάνω ή προς τα κάτω, ώστε να μπορεί να γίνει η εστίαση σε διαφορετικά πάχη παρασκευασμάτων. Τα συνήθη μεταλλογραφικά μικροσκόπια διαθέτουν δύο τύπους ανακλαστήρων: τη γυάλινη πλάκα και το πρίσμα ολικής ανάκλασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιλεκτικά (Αλεβίζος, 2005). Για τη μελέτη του μεταλλεύματος στα μικροσκόπια θα πρέπει να παρασκευαστεί μια στιλβωμένη τομή, η οποία στην επιφάνειά της δεν πρέπει να έχει χαραγές και ανωμαλίες. Το υλικό που προορίζεται για στίλβωση πρέπει αρχικά να εμποτιστεί σε τεχνητή ρητίνη. Μετά τοποθετείται σε ειδικές φόρμες, διαμέτρου περίπου 4 εκατοστών, στις οποίες προστίθεται ποσότητα του υγρού υλικού έγκλισης. Στη συνέχεια, γίνεται λείανση της επιφάνειας του δείγματος. Η διαδικασία της λείανσης ολοκληρώνεται σε τρία στάδια με διαφορετικές κοκκομετρίες των λειαντικών μέσων το καθένα. Ως λειαντικό μέσο χρησιμοποιείται καρβίδιο του πυριτίου ή βολφραμίου. Το παρασκεύασμα λειαίνεται πάνω σε έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό δίσκο πάνω σε πλάκα, παρουσία νερού.

Τέλος γίνεται η διαδικασία της στίλβωσης. Χρησιμοποιείται η μέθοδος Vanderwilt-Rehwal, καθώς είναι η μοναδική μέθοδος στίλβωσης με την οποία παρασκευάζονται στιλπνές τομές ελεύθερες από ανάγλυφο και χαραγές. Στη μέθοδο αυτή, γίνεται χρήση της συσκευής Rehwal και επιλέγονται διάφορα μέσα στίλβωσης (π.χ. αδαμανταλοιφές, καρβίδιο του βορίου κ.α.). Ως λιπαντικό μέσο χρησιμοποιείται ένα μίγμα από παραφινέλαιο, πετρέλαιο και εκχυλίσματα πίσσας. Η ποιότητα της στίλβωσης εξαρτάται τόσο από τη διάρκεια αυτής, όσο και από τη χρήση αλοιφής MgO κατά το τελικό στάδιο της στίλβωσης (Αλεβίζος, 2005).

7.2. Χημική ανάλυση - Μέθοδος φασματομετρίας ακτίνων Χ.

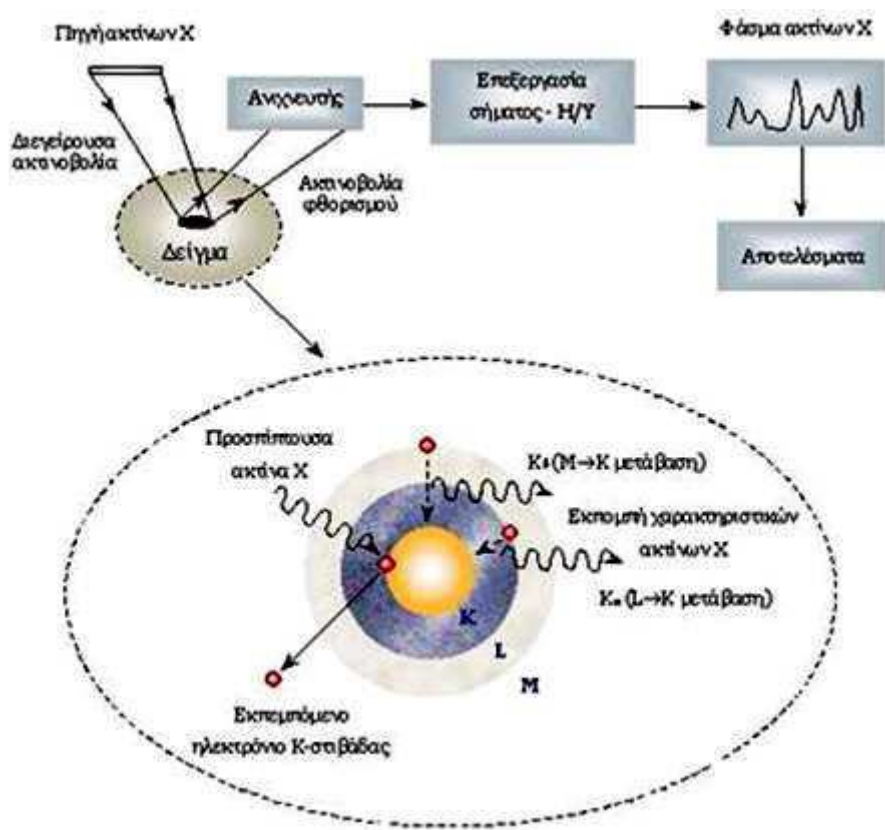
Η ανάλυση γίνεται με το σύστημα Φθορισμομετρίας των ακτίνων-Χ ενεργειακής διασποράς (Energy Dispersive X-Ray Fluorescence, EDXRF), επιτραπέζιο σύστημα (75 kg) SPECTRO XEPOS III της εταιρείας AMETEK το οποίο χρησιμοποιεί το Πρόγραμμα ποσοτικοποίησης X-Lab Pro 4.0 και την μέθοδο TurboQuant (Fundamental Parameter Models). Η διέγερση του δείγματος γίνεται με τη χρήση λυχνίας ανόδου Παλλαδίου (Pd) (ψύξη με αέρα) με μέγιστη ισχύ 50 W και μέγιστο δυναμικό 50 kV, πολωμένης δέσμης. Ο ανιχνευτής είναι silicon drift detector (SDD) με ψύξη Peltier (-25 °C, χωρίς ανάγκη χρήσης υγρού Αζώτου) και λεπτό παράθυρο Βηρυλλίου 8-μm Moxtek Dura-Be, έχοντας σταθερότητα έως 120.000 counts/s, λόγο κορυφής προς υπόβαθρο (peak to background ratio) ίσο με 5000:1 (στο Mn Kα) και διακριτική ικανότητα (resolution) ίση με 160 eV στα 5.9 keV (Mn Kα).

Τα δείγματα τοποθετούνται σε μορφή πεπιεσμένης σκόνης (συνήθως 2-4 g , συγκεκριμένα στην εργασία μας περίπου 3 g) μέσα σε ειδικούς πλαστικούς κυλινδρικούς δειγματοφορείς της εταιρείας Chemplex, διαμέτρου 24 ή 32 mm, με πυθμένα από λεπτό film Prolene πάχους 4 μm (0.16 mil) και στην ποσοτικοποίηση χρησιμοποιείται το πρόγραμμα για δείγματα-σκόνης (TurboQuant-Powders).

Η τοποθέτηση γίνεται στον αυτόματο δειγματολήπτη της συσκευής (12 θέσεων). Ακολουθεί προθέρμανση της λυχνίας πριν την έναρξη των μετρήσεων για 40 min.

Υπάρχει αυτόματη προστασία από ακτινοβολία (λειτουργία μόνο με κλειστό χώρο ακτινοβολίας). Η ανάλυση γίνεται σε ατμόσφαιρα αερίου Ηλίου (πίεση 1.5 ± 0.1 bar, 65 L/h) για να υπάρχει μείωση της απορρόφησης των ακτίνων X από τον αέρα και δυνατότητα ανάλυσης των χαμηλότερου ατομικού αριθμού στοιχείων (το σύστημα δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης για στοιχεία με ατομικό αριθμό από 11 (Na) και πάνω. Η διάρκεια ακτινοβολίας ήταν 5 min για κάθε τρόπο (mode) ακτινοβολίας, άρα συνολικά 15 min ανά δείγμα (3 τρόποι ακτινοβολίας με χρήση δευτερογενών στόχων Compton/Secondary, Compton scatter, Barkla scatter and Bragg Crystal). Ανά τακτά διαστήματα γινόταν επαναβαθμονόμηση του συστήματος, σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Τέλος στον υπολογιστή υπάρχει η δυνατότητα από τη μέθοδο η παρουσίαση των αναλύσεων σε στοιχειακή μορφή και σε ανάλυση οξειδίων.



Εικόνα 14: Αρχή λειτουργίας και η τυπική διάταξη φασματοσκοπίας XRF, (Περδικάκης και Πεντάρη, 2003)
Τρίχος Δ. 2011.

Κεφάλαιο 8: Αποτελέσματα εργαστηριακών μελετών.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία συλλέχθηκαν συνολικά 25 δείγματα από πέντε διαφορετικές τοποθεσίες στο νομό Ρεθύμνης κυρίως αλλά και Χανίων. Οι θέσεις αυτές, όπως προαναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι, ανατολικά του χωριού Καλλικράτη, η θέση «Τρύπα» στο χωριό Αρολίθι, η διασταύρωση προς Μυριοκεφάλα, η θέση Ρέντα βορειοανατολικά του Αρολιθίου, στο Άνω Βαλσαμόνερο στη θέση Ερρυκιά και τέλος στην περιοχή Κακόπετρος του νομού Χανίων.

Φωτογραφικό υλικό με τα δείγματα και τις τοποθεσίες που επισκεφτήκαμε παρατίθενται στο Παράρτημα 1 και 2.

Αυτό που παρατηρούμε από τις εργασίες πεδίου και τις διάφορες μεθοδολογίες που εφαρμόσαμε στα δείγματα που αναλύσαμε, προκύπτει ότι τα δείγματα μας γενικά είναι πλούσια σε συγκεντρώσεις σιδήρου, ο οποίος εμφανίζεται κυρίως υπό μορφή γκαιτίτη ενώ σε μερικές περιπτώσεις συναντάμε και αιματίτη που προκύπτει από την αφυδάτωση γκαιτίτη.

Επίσης, μαγγανιούχα συστατικά, ως κρυπτομέλανα, συναντάμε εντός των σιδηρομεταλλευμάτων της περιοχής του Κακόπετρου.

Αυτά τα παρατηρούμε:

α) Εντός των χαλαζιτών και των φυλλιτών που εντοπίζονται στο Φυλλιτικό κάλυμμα σε μορφές φλεβών ή σε λεπτά στρώματα της τάξης μερικών εκατοστών.

β) Στην επαφή μεταξύ των τμημάτων του Φυλλιτικού καλύμματος και της μεταμορφωμένης ανθρακικής ενότητας του Τρυπαλίου.

γ) Σε επαφές μαρμάρων εντός του Φυλλιτικού καλύμματος που με αυτό τον τρόπο σχηματίζονται φακοί και στρώματα.

δ) Διάκριτοι χαλαζιακοί και ανθρακικής σύστασης πάγκοι εντός του Φυλλιτικού καλύμματος έχουν εμποτιστεί από σιδηρούχα διαλύματα.

ε) Όσον αφορά το χαλκό, διάσπαρτες μεταλλοφορίες με μικρές συγκεντρώσεις βρίσκονται κατά τόπους εντός των δειγμάτων μας, ως επιφλοιώσεις εντός επιφανειών σχισμών των φυλλιτών και χαλαζιτών σε περιοχές εντός του Φυλλιτικού καλύμματος και σε θέσεις πολύ κοντινές όπου παρατηρούνται εμφανίσεις μεταβασάλτων.

στ) Θειούχα ορυκτά δεν εντοπίζονται στις ορυκτολογικές αναλύσεις.

Πιο συγκεκριμένα, τα σιδηρομεταλλεύματα που εντοπίζονται στις θέσεις δειγματοληψίας μας, όσων αφορά τις μορφές που τα συναντάμε, αυτά ποικίλουν.

Στη περιοχή του Καλλικράτη και στα δείγματα ΚΑΛ και Δ.ΜΥΡ, στην επαφή του φυλλιτικού καλύμματος με τους ανθρακικούς σχηματισμούς, συναντάμε μορφές σιδηρομεταλλευμάτων σπογγώδους υφής, με πλούσιο πορώδες, κάτι που μαρτυρεί πιθανώς την ύπαρξη υπόγειων ροών νερού στο εσωτερικό των γεωλογικών σχηματισμών.

Απ' την άλλη, στο Αρολίθι και στη θέση Τρύπα συγκεκριμένα, συναντάμε ανθρακικά πετρώματα να υπέρκεινται σχιστολίθων όμως στην επαφή τους διακρίνεται ζώνη οξείδωσης όπου και συναντώνται τα σιδηρούχα συστατικά.

Πλησίον της Τρύπας, στο Αρολίθι στη θέση Ρέντα συναντάμε φλέβες εμποτισμένες με σιδηρούχα και θειούχα συστατικά αλλά και μεταλλεύματα σπογγώδους υφής όπως στου Καλλικράτη. Πιθανόν να υπάρχει και εκεί υπόγεια ροή υδάτων, διακρίνονται πορώδη χαλαζίτες στην αριστερή μεριά του σχηματισμού, λειμωνίτες στη δεξιά ενώ στο κέντρο εμφανίζεται μάζα πυριτών με χαλαζία.

Στην Ερρυκιά, στο Άνω Βαλσαμόνερο συναντήσαμε μεγάλες εμφανίσεις φυλλοπυριτικών ορυκτών της ομάδας του Χλωρίτη και Μοσχοβίτη. Αυτά μαρτυρούν παρουσία σχιστολίθων οι οποίοι γενικά δε συνδέονται άμεσα με σιδηρομεταλλεύματα και αυτό φαίνεται από τις ορυκτολογικές αναλύσεις καθώς τα δείγματα της θέσης αυτής παρουσιάζονται τα πιο φτωχά σε οξείδια σιδήρου.

Στον Κακόπετρο, τα σιδηρομεταλλεύματα εμφανίζονται κυρίως σε μορφές φακών και στρωμάτων.

8.1. Αποτελέσματα Ορυκτολογικής Ανάλυσης XRD

Πιο κάτω παραθέτονται οι ποιοτικές και οι ποσοτικές αναλύσεις των κονιορτοποιημένων δειγμάτων που πραγματοποιήσαμε στο εργαστήριο της Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας με τη μέθοδο της περίθλαση ακτίνων X (XRD). Με τη βοήθεια του προγράμματος EVA πραγματοποιήθηκε η ημιποσοτική ανάλυση των ορυκτών.

Στο Παράρτημα 3 και 4 παρατίθενται τα ακτινογραφήματα που λάβαμε από το εργαστήριο της Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας καθώς επίσης και στυλπνές τομές δειγμάτων από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα περιγράφονται ως εξής:

Συμπερασματικά, στα περισσότερα δείγματα που συλλέξαμε κυριαρχούν τα υδροξείδια του σιδήρου, κυρίως σε μορφή Γκαιτίτη, πολλές φορές σε αρκετά υψηλά ποσοστά, άνω του 75%. Σε ορισμένες περιπτώσεις δειγμάτων μάλιστα βλέπουμε ποσοστά γκαιτίτη μέχρι και 100% όπως για παράδειγμα σε δύο δείγματα της περιοχής Ρέντα, δίπλα στο χωριό Αρολίθι.

Ο Αιματίτης εμφανίζεται στα δείγματα της περιοχής Άνω Βαλσαμόνερο στη θέση Ερρυκιά (Er1, Er2, Er3 και Er4) καθώς και σε ένα δείγμα στη διαστάυρωση Μυριοκεφάλων (Δ.Μυρ1). Ο αιματίτης τείνει να αντικαθιστά το γκαιτίτη καθώς αυτός αφυδατώνεται, στα δείγματα Er1 και Er2 φαίνεται πως αυτή η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί καθώς γκαιτίτης δεν εμφανίζεται καθόλου.

Μαγγανιούχο μεταλλοφορία συναντάμε στα δείγματα της περιοχής του Κακόπετρου (ΚΑΡ) υπό μορφή Κρυπτομέλανα, σε σχετικά μέσα έως καλά ποσοστά από 22% έως 44%.

Φυλλοπυριτικά ορυκτά συναντάμε στα δείγματα του Αρολιθίου (ΑΡ) σε ποσοστά της τάξεως του 9-12% σε μορφή Μοσχοβίτη καθώς και στην περιοχή του Άνω Βαλσαμόνερου-Ερρυκιά (ΕΡ) όπου εμφανίζονται χαμηλά ποσοστά Μοσχοβίτη (4%) και πολύ υψηλά ποσοστά Κλινόχλωρου (47-49%).

Εμφανίσεις ανθρακικών ορυκτών συναντάμε σε μορφή Δολομίτη με υψηλά ποσοστά (53-60%) στα δείγματα της Ερρυκιάς και σε χαμηλά ποσοστά στα δείγματα της Ρέντας (2-16%) ενώ χαμηλά ποσοστά Μαγνησιούχο Ασβεστίτη (Calcite Magnesian) συναντάμε επίσης στα δείγματα της Ερρυκιάς (3-9%).

Όπως παρατηρείται και από τις μικροσκοπικές εξετάσεις, τα δείγματα κυρίως βρίσκονται σε μορφή Σιδηρούχας Μεταλλοφορίας Επιγενετικής Προέλευσης και το συνδετικό τους υλικό είναι ο Χαλαζίας. Οι Φυλλίτες και οι Χαλαζίτες που είναι τα μητρικά πετρώματα, φαίνεται πως αντικαθίστανται από τις σιδηρούχες και τις μαγγανιούχες μεταλλοφορίες που συναντάμε στα δείγματά μας. Ο Γκαιτίτης σχηματίζει συγκεντρικές επιφλοιώσεις κατά μήκος ρωγμών, διάκενων και γύρω από τους κόκκους χαλαζία.

Τα δείγματα που συλλέξαμε μπορούν όλα να χαρακτηριστούν σαν σιδηρομεταλλεύματα, καθώς παρουσιάζονται πολύ πλούσια σε σιδηρούχα ορυκτά. Σύμφωνα με την επίσημη ονοματολογία και όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ένα πέτρωμα αρκείται σε ελάχιστο ποσοστό 15% σε σίδηρο ώστε να μπορεί να χαρακτηριστεί ως σιδηρομετάλλευμα. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το δείγμα ΚΑΛ 3 με ποσοστό σιδήρου μόλις 13,7% και με χαλαζία στο 84%. Αυτό καλείτε ψαμμιτικό.

Στον Κακόπετρο, τα ποσοστά γκαιτίτη κυμαίνονται από 49% έως 65% ενώ όσων αφορά τα μαγγανιούχα στοιχεία και τον κρυπτομέλανα, αυτός κυμαίνεται από 10% έως 22%.

Στο Αρολίθι οι εμφανίσεις γκαιτίτη είναι μεγαλύτερες, από 75% έως 95% ενώ μοσχοβίτης εμφανίζεται από 9 έως 12%.

Στη θέση Ρέντα δίπλα στο Αρολίθι οι εμφανίσεις γκαιτίτη είναι ακόμα μεγαλύτερες μέχρι και 100% ενώ δεν πέφτουν κάτω από 82%. Δολομίτης σε μικρά ποσοστά, 2% έως 16 %.

Στον Καλλικράτη, στα δείγματα ΚΑΛ και Δ.ΜΥΡ ο γκαιτίτης κυμαίνεται από 54% έως και 100% σε ένα δείγμα ενώ εξαίρεση αποτελεί το δείγμα Δ.ΜΥΡ1 όπου βλέπουμε εμφάνιση αιματίτη σε ποσοστό 12%.

Από την άλλη, στο Άνω Βαλσαμόνερο στη θέση Ερρυκιά, τα σιδηρούχα ορυκτά παρουσιάζονται σε μικρότερες αναλογίες, σε μορφή γκαιτίτη 30% -37% και αιματίτη 3% - 27%. Πολύ μεγάλα ποσοστά δολομίτη 53% -60% και κλινόχλωρου 47% -49% συναντάμε εκεί.

Δείγμα Περιεκτικό- τητα %	Goethite ($Fe^{3+}O(OH)$)	Hematite (Fe_2O_3)	Quartz (SiO_2)	Cryptomelane $K(Mn^{4+}Mn^{2+})$ $8O_{16}$	Muscovite ($KAl_2(AlSi_3$ $O_{10})(OH)_2$)	Dolomite ($CaMg(CO$ $_3)_2$)	Clinochlore ($Mg_5Al)(AlSi_3)O$ $10(OH)_8$	Calcite Magnesian (Ca,Mg) CO_3
KAP 1/A	49		22	29				
KAP 1/B	52		12	36				
KAP 1/Γ	65		10	25				
KAP 2/A	66		12	22				
KAP 2/B	43		13	44				
KAP 2/Γ	56		21	23				
AP 1/A	81		9		10			
AP 1/B	95		5					
AP 2/A	75		13		12			
AP 2/B	80		11		9			
ΚΑΛ 1	54		46					
ΚΑΛ 2	87		13					
ΚΑΛ 3	100							
ΚΑΛ 4	97		3					
EP 1		27	17			53		3
EP 2		23	8			60		9
EP 3	37	3	9		4		47	
EP 4	30	6	11		4		49	
Δ.MYP 1	86	12	2					
Δ.MYP 2	49		51					
PENT 1	91		4			5		
PENT 2	100							
PENT 3	82		2			16		
PENT 4	100							
PENT 5	96		2			2		

Πίνακας 4: Ποσοτική κατανομή των ορυκτών εντός των δειγμάτων που αναλύθηκαν με τη μέθοδο XRD.

8.2. Αποτελέσματα Χημικής Ανάλυσης XRF

Τα ίδια δείγματα αναλύθηκαν με το σύστημα Φθορισμομετρίας Ακτινών Χ ενεργειακής διασποράς (EDXRF). Παρουσιάζεται πίνακας όπου παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Τα αρχικά πρωτόκολλα που πήραμε από τον αναλυτή κατά τη πραγματοποίηση των πειραμάτων, παρατίθενται στο παράρτημα. Από τις αρχικές μας μετρήσεις, αφαιρέθηκαν όλες οι τιμές οι οποίες είναι ίσες ή μικρότερες των 10 ppm.

Όπως θα δούμε και στον πίνακα των χημικών αναλύσεων, τα δείγματά μας εμφανίζονται σε μία ποικιλόμορφη κατανομή οξειδίων και ιχνοστοιχείων για κάθε δείγμα ξεχωριστά.

Αναλυτικότερα, αρκετά είναι τα δείγματα τα οποία είναι πλούσια σε υδροξείδια του σιδήρου- Fe_2O_3 με ποσοστό ανώτερο του 70%. Από απόψεως ποιότητας, ο Λειμωνίτης υπερτερεί των άλλων.

-Πλούσια σε οξείδια σιδήρου παρατηρούμε να είναι από την περιοχή του Αρολιθίου στη, θέση Τρύπα, τα δείγματα μας (AP) με ποσοστά από 67% έως 73% ενώ στη θέση Ρέντα (PENT) παρουσιάζονται τιμές από 66% έως 83%. Στον Καλλικράτη τα ποσοστά οξειδίων του σιδήρου παρουσιάζονται σε μεγάλα ποσοστά εντός κάποιων δειγμάτων, με ποσοστά έως 99% στο δείγμα ΚΑΛ2 ενώ σε ένα δείγμα συναντάμε τιμές μόλις 13% σε ένα δείγμα. Δίπλα στη διαστάυρωση Μυριοκεφάλων τα δείγματα (Δ.ΜΥΡ) έχουν τιμές 75% και 41% . Στο Άνω Βαλσαμόνερο στη Ερρυκιά (ΕΡ), ο σίδηρος κυμαίνεται σε ποσοστά 45% με 70% ενώ τέλος, στον Κακόπετρο τα ποσοστά οξειδίων του σιδήρου κυμαίνονται, όπως και στην Ερρυκιά, σε ποσοστα 45% με 70%.

- Η μαγγανιούχα μεταλλοφορία, γενικά παρουσιάζεται φτωχή με εξαίρεση να παρουσιάζουν ενδιαφέρον τα δείγματα της περιοχής του Κακόπετρου, συγκεκριμένα με ποσοστά 3 έως 22% ενώ επίσης μικρή εμφάνιση μαγγανιούχων στοιχείων συναντάμε σε ένα δείγμα στο Αρολίθι με ποσοστό μόλις 2,6%. Όλα τα υπόλοιπα δείγματα παρουσιάζουν ποσοστά κάτω του 1% ή και καθόλου.

Σαν ιχνοστοιχεία:

- Παρουσία Χαλκού εντοπίζεται διάσπαρτη σχεδόν σε όλα τα δείγματα των περιοχών του Αρολιθίου (AP και PENT) και του Καλλικράτη (ΚΑΛ και Δ.ΜΥΡ), με τιμές έως 100 ppm ενώ δε συναντάμε χαλκό σε δείγμα του Κακόπετρου και της Ερρυκιάς στο Άνω Βαλσαμόνερο.

- Νικέλιο, εμφανίζεται σε μερικά δείγματα με συγκεντρώσεις έως 54 ppm.

- Χρώμιο, όπως και το νικέλιο εμφανίζεται σε παρόμοιες συγκεντρώσεις, όμως διάσπαρτο σε όλες τις περιοχές που πήραμε δείγματα.
- Κοβάλτιο συναντάμε μόνο σε δείγματα από τον Κακόπετρο με συγκεντρώσεις 10, 12 και 18 ppm.
- Ψευδάργυρος εντοπίζεται επίσης στα δείγματα του Κακόπετρου σε συγκεντρώσεις 200-250 ppm ενώ υψηλότερες συγκεντρώσεις ψευδάργυρου συναντάμε στην Ερρυκιά με τα δείγματα EP3 και EP4 να έχουν ποσοστά 947 και 849 ppm αντίστοιχα.
- Βάριο επίσης σε Ερρυκιά και Κακόπετρο εντοπίζονται με συγκεντρώσεις έως 120 ppm.
- Μόλυβδο δεν έχουμε σχεδόν σε κανένα δείγμα εκτός από το δείγμα EP3 με 261 ppm, ΚΑΛ1 34 ppm και ΚΑΛ3 28 ppm.
- Το Αρσενικό, διάσπαρτο εμφανίζεται σχεδόν σε όλα τα δείγματα, με υψηλότερες συγκεντρώσεις να συναντάμε στα δείγματα ΚΑΛ4 με 583ppm, Ρεντ2 με 619ppm και PENT4 με 416 ppm.

Στο παράρτημα 5 παρατίθενται τα αυθεντικά αποτελέσματα που λάβαμε από τις χημικές αναλύσεις.

Ακολουθεί ο πίνακας 5 όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης EDXRF.

Geochemical Analyses %			Sample Name AR1/A Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name AR1/B Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name AR2/A Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name AR2/B Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name D.MYR 1 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name D.MYR 2 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name ER1 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name ER2 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name ER3 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name ER4 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name KAL1 Date of Receipt 08/03/2018	Sample Name KAL2 Date of Receipt 08/03/2018
z	Symbol	Element	Concentration											
			Major %wt											
14	SiO2	Silicon	12.75	10.33	20.13	15.74	5.95	50.29	16.81	11.53	28.01	27.42	37.48	0
13	Al2O3	Aluminum	7.64	7.08	9.62	8.13	3.56	4.76	1.9	1.6	15.71	15.04	3.60	0
26	Fe2O3	Iron	70.85	69.12	67.37	73.39	75.04	41.28	69.89	55.60	45.26	48.19	47.31	99.72
20	CaO	Calcium	0.35	0.60	0	0	0	0	6.06	17.76	0.17	0.18	0	0
11	Na2O	Sodium	0.55	0.77	0.52	0.33	1.21	0.79	0.66	0.60	0.69	0.75	1.24	0
12	MgO	Magnesium	0.71	0.59	0.85	0.68	0.13	0	1.19	5.74	1.67	1.33	0.10	0
19	K2O	Potassium	0.94	0.86	1.82	1.35	0.25	0.43	0	0	1.67	1.60	0.22	0
22	TiO2	Titanium	0.36	0.32	0.89	0.61	0.19	0.33	0.38	0.33	1.30	1.21	0.20	0.10>

15	P2O5	Phosphorus	0.45	0.67	0	0	1.03	1.18	0	0	0.14	0.14	1.85	0
25	MnO	Manganese	0	2.60	0.10	0.10	0	0	0.15	0.38	0.79	0.84	0	0.10>

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Geochemical Analyses ppm			Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name D.MYR	Sample Name D.MYR	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample NameK
			AR1/A	AR1/B	AR2/A	AR2/B	1 Date	2 Date	ER1	ER2	ER3	ER4	KAL1	AL2
			Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	of Receipt	of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt
			08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018	08/03/2018

z	Symbol	Element	Concentration											
---	--------	---------	---------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

			Trace in ppm											
16	S	Sulfur	1247	1109	553	549	1242	482	390	855	497	501	506	0
17	Cl	Chlorine	103	96	70	79	130	118	267	184	175	164	98	0
23	V	Vanadium	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
24	Cr	Chromium	32	33	33	33	36	20	20	10	36	32	22	31

27	Co	Cobalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Ni	Nickel	0	0	22	22	0	0	0	0	13	11	0	0
29	Cu	Copper	15	12	32	22	39	35	0	0	0	0	46	53
30	Zn	Zinc	58	75	0	0	0	13	87	144	947	889	0	0
31	Ga	Gallium	0	0	0	0	0	0	0	0	15	13	0	0
33	As	Arsenic	0	14	0	0	154	336	0	14	42	60	240	19
37	Rb	Rubidium	49	54	84	62	0	24	0	0	155	143	0	0
38	Sr	Strontium	0	93	0	0	0	82	230	239	99	92	30	0
39	Y	Yttrium	0	11	27	25	0	24	34	48	111	111	16	0
40	Zr	Zirconium	0	0	13	0	0	27	0	0	43	38	17	0
41	Nb	Niobium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Mo	Molybdenum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Ag	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Sn	Tin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	I	Iodine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	Cs	Cesium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	Ba	Barium	0	0	0	0	0	0	12	97	97	120	0	0

57	La	Lanthanum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	Ce	Cerium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Pb	Lead	0	0	0	0	0	0	0	0	261	0	34	0
90	Th	Thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	U	Uranium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Geochemical Analyses %			Sample Name KAL3 Date of Receipt 08/03/20 18	Sample Name KAL4 Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name KAR1/A Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name KAR1/B Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name KAR1/C Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name KAR2/A Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name KAR2/B Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name KAR2/C Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name RENT1 Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name RENT2 Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name RENT3 Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name RENT4 Date of Receipt 08/03/2 018	Sample Name RENT5 Date of Receipt 08/03/2 018			
			Concentration															
			Major %wt															
			z	Symbol	Element													
			14	SiO2	Silicon	84.38	2.88	31.27	17.40	18.23	20.05	19.82	30.49	10.69	2.28	7.08	2.44	13.90

13	Al2O3	Aluminum	3.33	2.61	3.47	3.21	3.83	4.21	3.85	5.36	7.32	0.58	1.61	0.80	5.02
26	Fe2O3	Iron	13.73	78.35	45.27	53.28	69.15	70.56	50.01	55.27	66.75	81.63	83.56	80.62	70.54
20	CaO	Calcium	0	0	0	0	0	0	0.11	0	1.36	0.35	0.20	0.42	0.57
11	Na2O	Sodium	0.16	2.43	0.72	0.95	0.85	1.18	0.86	0.83	0.38	0.24	0.12	0.19	0.24
12	MgO	Magnesium	0	0.32	0.15	0	0.15	0.29	0.12	0.12	1.64	0.60	0.35	0.64	1.34
19	K2O	Potassium	0.29	0.11	0.95	1.02	0.53	0.55	1.27	0.77	0	0	0	0	0.29
22	TiO2	Titanium	0.20	0.14	0.47	0.50	0.44	0.57	0.47	0.76	0.18	0.12	0.51	0.17	0.39
15	P2O5	Phosphorus	0.57	2.85	0.77	0.72	0.86	1.51	0.36	0.75	0	0	0	0	0
25	MnO	Manganese	0	0	13.98	16.27	3.56	0.37	21.95	5.82	0.10	0	0	0	0

Geochemical Analyses ppm	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name	Sample Name
	KAL3	KAL4	KAR1/A	KAR1/B	KAR1/C	KAR2/A	KAR2/B	KAR2/C	RENT1	RENT2	RENT3	RENT4	RENT5		
	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt	Date of Receipt
	08/03/20	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2	08/03/2
	18	018	018	018	018	018	018	018	018	018	018	018	018	018	018

z	Symbol	Element	Concentration												
			Trace in ppm												
16	S	Sulfur	211	846	91	91	180	83	139	120	512	903	614	520	431
17	Cl	Chlorine	68	81	63	75	95	52	107	73	113	97	58	77	64
23	V	Vanadium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Cr	Chromium	0	43	0	12	25	36	14	32	23	22	22	21	23
27	Co	Cobalt	0	0	10	12	0	0	18	0	0	0	0	0	0
28	Ni	Nickel	0	0	44	54	44	47	40	43	0	0	0	0	0
29	Cu	Copper	23	34	0	0	0	0	0	0	20	17	0	22	26
30	Zn	Zinc	0	0	226	238	223	207	237	209	0	0	0	0	0
31	Ga	Gallium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	As	Arsenic	237	583	10	22	0	29	0	14	15	619	130	416	240
37	Rb	Rubidium	28	0	53	45	54	56	57	50	0	0	0	0	0
38	Sr	Strontium	101	0	438	527	72	0	679	219	0	0	0	0	0
39	Y	Yttrium	20	0	16	12	0	13	10	23	0	0	0	0	10
40	Zr	Zirconium	60	0	12	12	0	13	0	15	0	0	0	0	0
41	Nb	Niobium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

42	Mo	Molybdenum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Ag	Silver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	Sn	Tin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	I	Iodine	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	Cs	Cesium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	Ba	Barium	0	0	81	55	18	0	54	51	0	0	0	0	0
57	La	Lanthanum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	Ce	Cerium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Pb	Lead	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	Th	Thorium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	U	Uranium	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0

Πίνακας 5: Ποσοτική κατανομή των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων στα δείγματα που αναλύσαμε με τη μέθοδο EDXRF. Όλες οι τιμές κάτω των 10 ppm αφαιρέθηκαν.

8.3. Αξιολόγηση και συγκρίσεις.

Σε αυτό τον τομέα θα σχολιάσουμε τα ορυκτολογικά και χημικά αποτελέσματα των αναλύσεων μας και θα προβούμε σε κάποιου είδους «αξιολόγησης» αυτών βάση των δεδομένων τους και κάποιων προδιαγραφών της αγοράς, όσον αφορά το σίδηρο και το χάλυβα, καθώς και σε συγκρίσεις κάποιων δειγμάτων με προηγούμενη διπλωματική αναφορά που πραγματοποιήθηκε σε δύο κοινές τοποθεσίες (δείγματα Κακόπετρου και Ρέντας από Κατζαγιαννάκη Ν. 2017).

Ποιοτικός Χαρακτηρισμός Σιδηρομεταλλευμάτων:

Η ποιότητα του τελικού προϊόντος εξαρτάται άμεσα από τη χημική σύνθεση του σιδηρομεταλλεύματος και από τη συγκέντρωση των ακαθαρσιών που περιέχονται εντός αυτού οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά τις ιδιότητες του μετάλλου και κατά συνέπεια την αξία του στην αγορά. Τέτοια στοιχεία ως «ακαθαρσίες» χαρακτηρίζονται γενικά οι προσμίξεις εντός του μεταλλεύματος όπως SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , S και P , μαζί και ίχνη από Mn , Cu , Na , K και Zn .

Το Θείο (S) και ο Φώσφορος (P) είναι και τα δύο πολύ επιβλαβή δεδομένου ότι η παρουσία τους έχει ως συνέπεια την ευθραυστότητα των προϊόντων του χάλυβα. Οι νέες προδιαγραφές της βιομηχανίας χάλυβα απαιτούν φώσφορο με ποσοστό λιγότερο της τάξεως του 0,07-0,08% ενώ υπάρχει ποινή μείωσης της αξίας του μεταλλεύματος-προϊόντος για κάθε 0,001% ποσοστού ύπαρξης του (Cheng *et al*, 1999; Thorne *et al*, 2008). Ο φώσφορος σχετίζεται άμεσα με τον γκαϊτίτη (Dukino, England and Kneeshaw, 2000; Thorne *et al*, 2008) καθώς παρατηρείται στις δειγματοληψίες των ερευνητικών γεωτρήσεων πως ο φώσφορος τείνει να εμφανίζεται με αυξημένα ποσοστά όπου συναντάμε μεταλλεύματα γκαϊτίτη.

Αλκάλια όπως Zn , Na_2O , K_2O είναι επιβλαβής στη λειτουργία του κλιβάνου κατά την επεξεργασία και οδηγούν σε υψηλότερες απαιτήσεις καυσίμων, απώλεια παραγωγικότητας και μεταβολές στην ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Επίσης, προσοχή θα πρέπει να δίνεται στις συγκεντρώσεις Al_2O_3 και SiO_2 τα οποία προκαλούν δραστικά αρνητικές επιπτώσεις στη ρευστότητα της σκωρίας κατά τη διαδικασία της παραγωγής των μεταλλικών προϊόντων. Γενικά, τα σιδηρούχα μεταλλεύματα θα πρέπει ασφαλώς κατά προτίμηση να έχουν ένα ποσοστό σιδήρου άνω του 65% και $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ ποσοστό κάτω του 5% ούτως ώστε να είναι μειωμένος ο όγκος της σκωρίας όσο το δυνατό περισσότερο, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό παραγωγής. (Iron ore conference/Perth, WA, 11-13 July 2011)

-Κακόπετρος (KAP):

Στα δείγματα του Κακόπετρου συναντάμε από μέσα έως καλά ποσοστά συμπαγούς γκαιτίτη, σχετικά πλούσιο σε σίδηρο και σημαντικά ποσοστά μαγγανίου ως κρυπτομέλανα. Τα οξείδια σιδήρου από τις χημικές αναλύσεις φαίνονται σε ποσοστά άνω του 50% ενώ βλέπουμε και τα σεβαστά ποσοστά μαγγανιούχων. Φώσφορος παρατηρείται να βρίσκεται σε υψηλά ποσοστά (0,31-1,51%). Ο χαλαζίας κινείται σε ποσοστά 10-22% ενώ οξείδια του αργιλίου σε ποσοστά κάτω του 5%. Η σύγκριση με την προηγούμενη αναφορά συμφωνεί μαζί με τα δικά μας αποτελέσματα και δείχνει την ύπαρξη των σχετικά καλών ποσοστών οξειδίων του σιδήρου (50-77%) μαζί με τη μαγγανιούχα μεταλλοφορία (10-15%). Φώσφορος επίσης σε παρόμοια ποσοστά εμφανίζεται.

Δείγμα/Ψεκ.β.	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	MnO (%)	Al ₂ O ₃ (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	CoO (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	BaO (%)	ZnO (%)	SO ₃ (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	LOI (%)	SUM (%)
K1	72.30	6.04	2.87	1.44	0.22	1.43	0.06	0.00	0.13	0.11	0.04	0.15	0.78	0.30	0.11	13.69	99.66
K2a	55.38	23.61	0.28	4.82	0.76	1.84	0.04	0.28	0.07	0.00	0.03	0.15	1.02	0.45	0.08	11.18	100.00
K2b	61.37	20.13	0.22	3.49	0.30	1.08	0.05	0.22	0.05	0.01	0.03	0.14	0.77	0.31	0.09	11.82	100.08
K3a	50.06	3.95	27.91	0.60	1.15	0.40	0.06	0.00	0.10	0.11	0.05	0.00	0.74	0.32	0.07	14.09	99.61
K3b	77.54	3.25	0.61	0.65	0.05	1.52	0.07	0.00	0.12	0.01	0.05	0.17	0.78	0.30	0.11	14.81	100.02
K4a	63.56	10.23	5.79	1.73	0.46	0.56	0.03	0.10	1.60	0.09	0.04	0.09	0.89	0.31	0.09	14.10	99.68
K4b	69.33	10.57	3.88	2.16	0.40	0.29	0.06	0.13	0.03	0.02	0.04	0.10	0.78	0.32	0.10	12.18	100.40
K4L1	76.88	4.08	0.71	1.14	0.10	1.54	0.06	0.00	0.13	0.06	0.07	0.17	0.77	0.30	0.11	13.80	99.93
K4L2	68.59	9.57	2.72	2.72	0.37	0.84	0.07	0.14	0.12	0.05	0.04	0.13	0.93	0.29	0.10	13.23	99.90
K5a	60.25	19.94	0.35	3.41	0.33	1.39	0.05	0.17	0.16	0.01	0.04	0.15	0.93	0.29	0.09	12.02	99.57
K5b	66.14	9.67	7.08	1.43	0.39	0.48	0.06	0.00	0.03	0.15	0.05	0.10	0.77	0.31	0.10	13.56	100.32
K5c	28.61	8.37	44.54	1.66	1.84	0.73	0.03	0.08	0.20	0.26	0.03	-0.08	0.74	0.34	0.08	12.80	100.22
K5L1	70.71	8.82	0.45	3.00	0.45	1.13	0.06	0.17	0.12	0.04	0.04	0.15	0.78	0.31	0.10	13.93	100.26
K5L2	61.86	18.11	0.33	3.43	0.35	1.30	0.05	0.18	0.15	0.00	0.04	0.14	0.77	0.31	0.09	13.26	100.38
K6	60.77	5.87	13.82	1.47	0.58	1.41	0.08	0.00	0.33	0.11	0.07	0.10	0.77	0.31	0.09	14.37	100.14
K6L1	57.11	17.17	7.74	2.88	0.69	0.48	0.05	0.17	0.07	0.05	0.03	0.08	0.76	0.32	0.08	12.08	99.77
K6L2	67.76	12.47	0.35	2.88	0.38	1.34	0.06	0.14	0.17	0.00	0.05	0.15	0.78	0.31	0.10	12.67	99.60
KE	60.81	20.79	0.22	3.45	0.32	1.09	0.05	0.18	0.04	0.01	0.03	0.14	0.93	0.29	0.09	11.71	100.15

Πίνακας 6: Χημικές αναλύσεις Κακόπετρου (Κατζαγιαννάκης Ν. 2017). Παρατηρούμε τις εμφανίσεις μαγγανιούχων συστατικών. Τα επίπεδα σιδήρου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με τα δικά μας δείγματα.

-Ρέντα (PENT):

Στη περιοχή της Ρέντας τα δείγματά μας εμφανίστηκαν πολύ πλούσια σε σίδηρο σε μορφή σχεδόν καθαρού γκαιτίτη και με αρκετά χαμηλές εμφανίσεις φωσφόρου (0,027-0,061%). Μερικώς υψηλές συγκεντρώσεις θείου συναντάμε εδώ. Χαμηλά και τα ποσοστά οξειδίων πυριτίου (χαλαζίας) και αργιλίου. Χαλκός και Αρσενικό επίσης εμφανίζονται. Στη σύγκριση των χημικών αναλύσεων με την παλαιότερη αναφορά τα ποσοστά οξειδίων του σιδήρου κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα ενώ υψηλότερη εμφανίζεται η συγκέντρωση φωσφόρου. Ασήμαντα ποσοστά σε μαγγανιούχο μεταλλοφορία όπως και στις δικές μας αναλύσεις.

Δείγμα/%κ.β.	Fe ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MnO (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)	BaO (%)	CoO (%)	LOI (%)	SUM (%)
PA1	77.02	5.20	1.35	0.30	0.18	0.01	0.08	1.01	0.17	0.09	0.06	14.53	100.01
PA2	78.32	4.78	1.44	0.32	0.09	0.01	0.08	0.92	0.16	0.04	0.06	13.80	100.02
PA3	75.23	5.24	1.80	0.30	0.14	0.05	0.08	1.27	0.17	0.08	0.05	15.58	99.99
PA4	72.00	4.87	1.46	0.35	0.14	0.02	0.08	0.77	0.15	0.07	0.05	20.05	100.01
PA5	78.32	4.44	1.00	0.60	0.15	0.00	0.08	1.07	0.16	0.04	0.06	14.06	99.99
PA6	76.61	4.81	1.39	0.51	0.14	0.01	0.08	1.37	0.18	0.08	0.06	14.72	99.96
PA7	74.84	6.55	2.50	0.21	0.15	0.09	0.08	0.64	0.15	0.10	0.05	14.60	99.97
PA8	74.22	7.23	2.71	0.21	0.15	0.11	0.08	0.98	0.16	0.13	0.05	13.94	99.97

Πίνακας 7: Χημικές αναλύσεις Ρέντας (Κατζαγιαννάκης Ν. 2017). Παρατηρούμε τις παρόμοιες συγκεντρώσεις σε οξείδια σιδήρου, πυριτίου και αργιλίου και τις αυξημένες τιμές σε P2O5.

-Αρολίθι (AP): Στο Αρολίθι συναντάμε μετάλλευμα σχετικά πλούσιο σε οξείδια σιδήρου, σε μορφή γκαιτίτη με τιμές άνω του 65%, καθώς επίσης και φυλλοπυριτικά ορυκτά όπως μοσχοβίτης. Αυξημένες είναι οι συγκεντρώσεις θείου και φώσφορου. Οξείδια πυριτίου και αργιλίου κυμαίνονται σε ποσοστά 5-15%.

-Καλλικράτης (ΚΑΛ): Ποσοστό οξειδίων του σιδήρου πολύ υψηλό σε δύο δείγματα και χαμηλό έως μέσο στα άλλα δύο, ορυκτολογικά ο γκαιτίτης κυριαρχεί. Πολύ υψηλές φαίνονται οι συγκεντρώσεις φώσφορου και θείου που συναντάμε εκεί σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις. Υψηλά ποσοστά οξειδίων πυριτίου και αργιλίου. Σημαντικές συγκεντρώσεις χαλκού και αρσενικού.

-Ερρυκιά (EP): Στην Ερρυκιά εμφανίζεται αιματίτης, ως αντικαταστάτης του γκαιτίτη ο οποίος παρουσιάζεται σε χαμηλά ποσοστά ενώ χημικά τα ποσοστά σιδήρου κρίνονται σε μέτρια επίπεδα. Πολύ υψηλά αντιθέτως τα ποσοστά από ανθρακικά και φιλοπυριτικά ορυκτά συναντάμε εκεί. Υψηλές συγκεντρώσεις ψευδάργυρου. Υψηλά ποσοστά και εδώ σε οξείδια πυριτίου και αργιλίου συναντάμε εδώ.

-Διασταύρωση Μυριοκεφάλων (Δ.ΜΥΡ): Υψηλές οι τιμές του σιδήρου σαν γκαιτίτης κυρίως, αλλά και με αιματίτη όσο αφορά το δείγμα Δ.Μυρ1 ενώ χαμηλά κρίνονται τα ποσοστά των οξειδίων αργιλίου και πυριτίου. Αντιθέτως χαμηλότερη σιδηρούχα μεταλλοφορία έχουμε στο Δ.Μυρ2 και ποσοστό άνω του 50% χαλαζίας. Και στα δύο δείγματα ο φώσφορος και το θείο εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Και εδώ χαλκός και αρσενικό εμφανίζονται αμφότερα.

Σαν ελκυστικότερα ως προς τις ορυκτολογικές και χημικές αναλύσεις χαρακτηρίζουμε τα δείγματα της τοποθεσίας Ρέντα κοντά στο χωρίο Αρολίθι όπου είναι πολύ πλούσια σε οξείδια σιδήρου υπό

μορφή γκαιτίτη, σε κάποια σημεία σχεδόν καθαρός γκαιτίτης όπως είδαμε στην ορυκτολογική ανάλυση ενώ παράλληλα τα ποσοστά του φώσφορου και οξειδίων πυριτίου και αργιλίου παρουσιάζονται να είναι αρκετά ικανοποιητικά. Ειδικά τα δείγματα Ρεντ2 και Ρεντ4 κρίνονται εξαιρετικά με $Al_2O_3 + SiO_2$ περίπου 3% και με ποσοστό φωσφόρου κατώτερου του 0,07% . Θυμίζουμε πως ο γκαιτίτης και ο φώσφορος σχετίζονται άμεσα και όπως προαναφέραμε οι βιομηχανίες χάλυβα απαιτούν πολύ χαμηλά ποσοστά συγκέντρωσής του.

Επίσης, στον Κακόπετρο το ενδιαφέρον είναι υψηλό λόγω ασφαλώς των εμφανίσεων γκαιτίτη πλούσιου σε σίδηρο αλλά κυρίως λόγω της μαγγανιούχας μεταλλοφορίας την οποία συναντάμε μόνο εκεί σε αξιόλογα ποσοστά. Αρνητικός παράγοντας αποτελούν οι υψηλές συγκεντρώσεις φωσφόρου.

Γενικά πάντως, τα περισσότερα δείγματά μας ξεπερνούν τα όρια που προαναφέραμε όσον αφορά τις αρνητικές προσμίξεις παρά το πολύ καλό ποσοστό μεταλλοφορίας και μόνο εάν διαπιστωθεί πως κρύβονται μεγάλα αποθέματα θα κρίναμε πως πρέπει να γίνει περαιτέρω έρευνα. Αυτές οι προσμίξεις απομακρύνονται με διάφορες μεθόδους διαχωρισμών κ.α. όμως όσο μικρότερες είναι οι συγκεντρώσεις τους τόσο καλύτερη θα είναι η παραγωγή με μειωμένες τις απώλειες μεταλλεύματος και τις εναποθέσεις απόβλητων ενώ ασφαλώς αυξημένες θα είναι οι προδιαγραφές και φυσικά η αξία του τελικού προϊόντος.

8.4. Συσχετισμοί και Κατηγοριοποίηση δειγμάτων

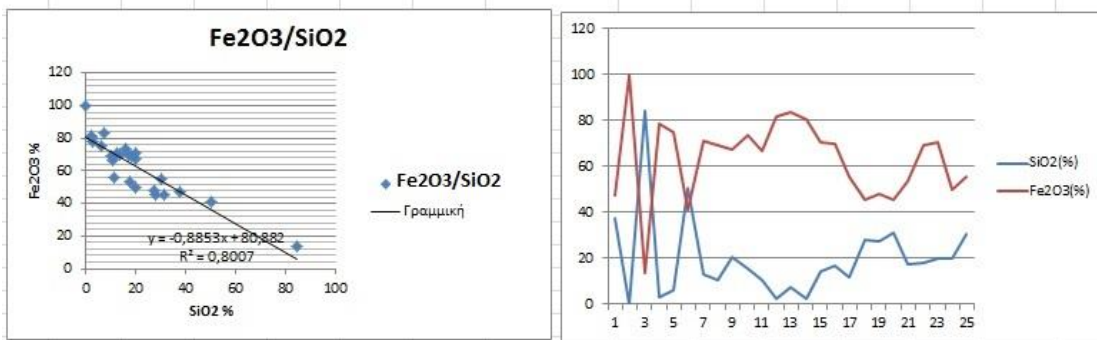
Για περισσότερες πληροφορίες, προχωρήσαμε στην αναζήτηση πιθανών συσχετισμών για τα στοιχεία των δειγμάτων μας και τα οξειδιά τους, τοποθετώντας τα δεδομένα μας στις εφαρμογές του προγράμματος Excel και εντοπίσαμε κάποιους συνδυασμούς στοιχείων ή οξειδίων, όπου φανερώνονται συσχετισμοί μεταξύ τους. Αυτοί οι συσχετισμοί παρουσιάζονται πιο κάτω.

Επίσης, προχωρήσαμε και στην κατηγοριοποίηση των δειγμάτων μας, με τη χρήση της μεθόδου Cluster analysis. Αντίστοιχα, πιο κάτω παρουσιάζεται σύντομη περιγραφή της μεθόδου και τα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης των δειγμάτων (δενδρογράμματα).

8.4.1. Συσχετισμοί:

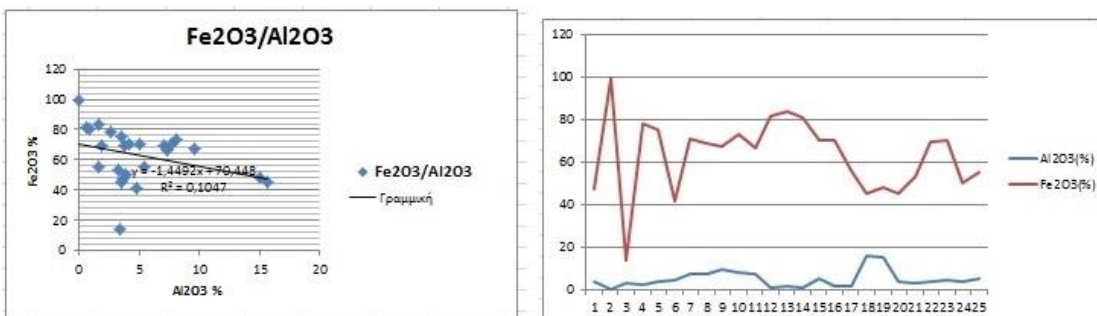
Στον πρώτο συσχετισμό βλέπουμε πως οι ποσότητες των δειγμάτων μας σε Fe_2O_3 και SiO_2 είναι αντιστρόφως ανάλογες, δηλαδή με την αύξηση του SiO_2 το Fe_2O_3 μειώνεται. Ασφαλώς αυτό είναι

προφανές αφού τα δείγματά μας αποτελούνται κυρίως από χαλαζία και σίδηρο όμως με τη δημιουργία των 2 γραφημάτων αυτό φαίνεται καλύτερα.



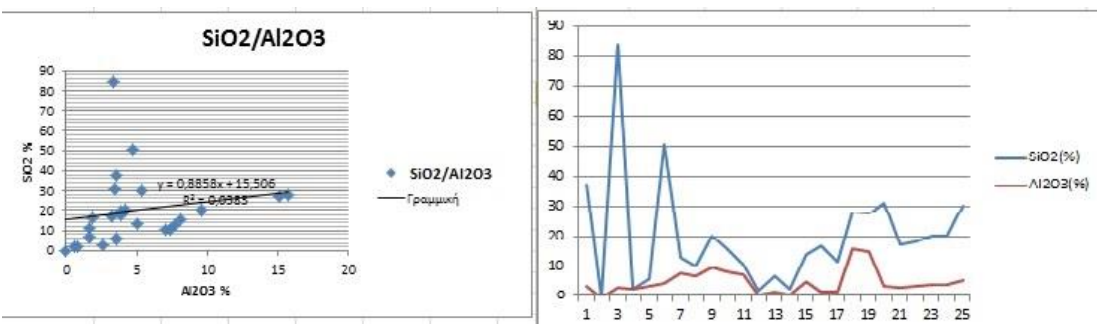
Συσχετισμός 1 : Fe2O3/SiO2

Στο δεύτερο συσχετισμό πάλι παρατηρούμε πως η αύξηση του Al_2O_3 δεν ευνοεί το Fe_2O_3 το οποίο τείνει να μειώνεται καθώς αυξάνεται το Al_2O_3 , αν και με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με τη πρώτη περίπτωση που είδαμε πιο πάνω.



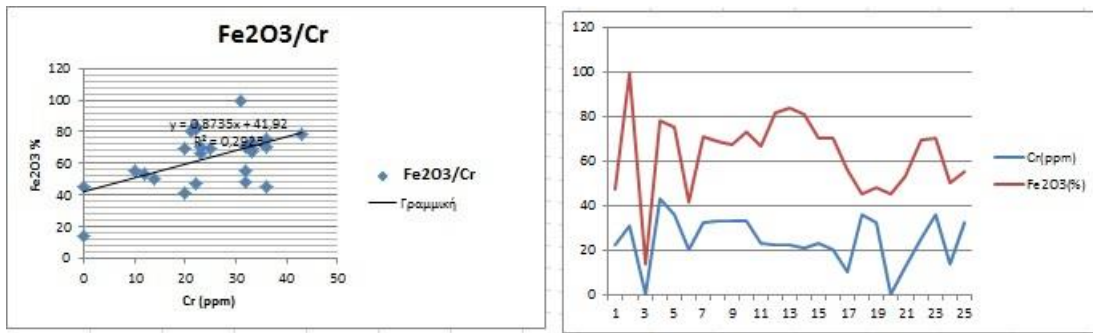
Συσχετισμός 2 : Fe2O3/Al2O3

Επομένως, εδώ βλέπουμε πως το SiO_2 και το Al_2O_3 είναι ανάλογα, η αύξηση του ενός ευνοεί το άλλο. Όπως είδαμε τα 2 αυτά οξείδια είναι αντιστρόφως ανάλογα του σιδήρου.



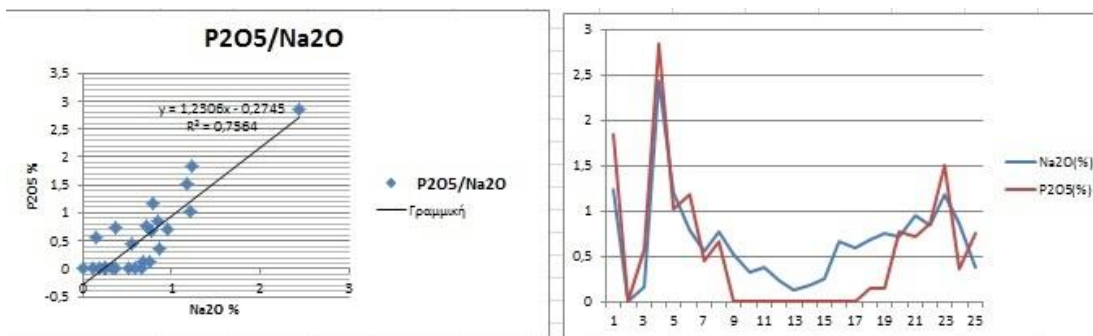
Συσχετισμός 3 : SiO2/Al2O3

Παρομοίως, η ποσότητα του Fe_2O_3 και η περιεκτικότητα σε Cr των δειγμάτων μας δείχνει να αυξάνει μαζί το ένα με το άλλο.



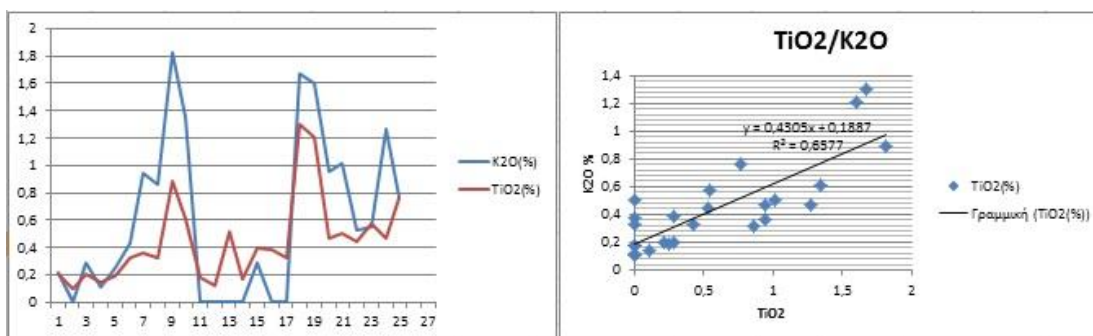
Συσχετισμός 4 : $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}$

Επίσης, παρόμοια συμπεριφορά παρουσιάζει ο συνδυασμός των P_2O_5 και Na_2O όπου και εδώ το ένα ευνοεί το άλλο και η ποσότητά τους είναι ανάλογη.



Συσχετισμός 5 : $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Na}_2\text{O}$

Τέλος, ο τελευταίος συσχετισμός μεταξύ K_2O και TiO_2 φαίνεται πως η παρουσία TiO_2 προνποθέτει αυξημένη παρουσία σε K_2O .

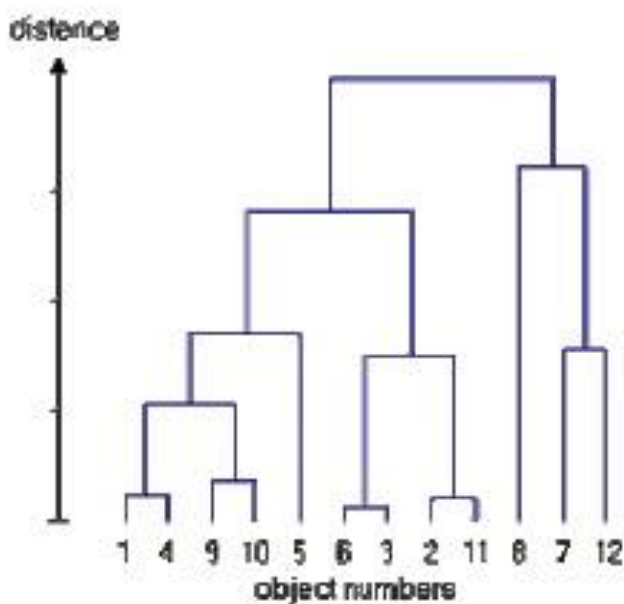


Συσχετισμός 6 : $\text{TiO}_2/\text{K}_2\text{O}$

8.4.2.1. Δενδρογράμματα

Όπως αναφέραμε, πέρα από τους συσχετισμούς προχωρήσαμε και στη κατηγοριοποίηση των δειγμάτων μας με τη Cluster Analysis. Με τη μέθοδο της Cluster Analysis, τα αντικείμενα που μελετούνται, τοποθετούνται σε κάποιες ομάδες οι οποίες καθορίζονται σύμφωνα με ένα μέτρο ομοιότητας και με ένα αλγόριθμο ομαδοποίησης. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτό, εκφράζονται με το συσσωρευτικό σχέδιο και με ένα δενδρογράμμα, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί ένα διάγραμμα ιεράρχησης δύο διαστάσεων και αντιπροσωπεύει τις πολύπλοκες και πολυπαραγοντικές σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των αντικειμένων (<http://www.statathens.aueb.gr/~jpan/diatrives/Marouga/chapter7.pdf>). Οι πληροφορίες που θα προκύψουν στο συσσωρευτικό σχέδιο, θα αποτυπωθούν και θα δημιουργήσουν το δενδρογράμμα όπου οι αποστάσεις συντελεστές επανακλιμακώνονται σε κλίμακα εύρους 0-25. Οι κάθετες γραμμές του δενδρογράμματος δηλώνουν συνδυασμούς ομάδων παρατηρήσεων ενώ το μήκος της κάθε γραμμής δηλώνει την απόσταση στην οποία οι ομάδες συνδυάζονται. Έτσι, μία διαφορετική ομάδα σχηματίζεται όταν στο δενδρογράμμα εμφανίζεται κενό και η απόσταση είναι ίση ή μικρότερη μίας τιμής, «τιμή κατωφλίου» όπως ονομάζεται. (Beck, 1937)

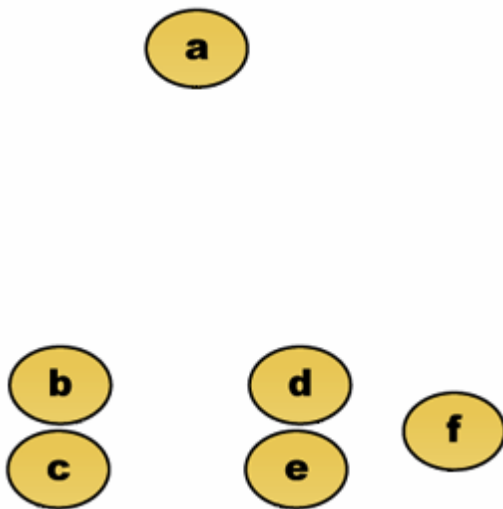
Τα δενδρογράμματα χρησιμοποιούνται για να παραστήσουν την γραφική σχέση που πιθανό να έχουν οι συστάδες. Ένα δενδρογράμμα, δείχνει τις πολυδιάστατες αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων σε μία δομή τριών διαστάσεων. Τα αντικείμενα που πέφτουν πιο κοντά μεταξύ τους το ένα στο άλλο μέσα στον πολυδιάστατο χώρο των δεδομένων, συνδέονται με μία οριζόντια γραμμή, σχηματίζοντας μία συστάδα. Αυτή η συστάδα κατόπιν, μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα καινούργιο αντικείμενο. Αυτό το νέο αντικείμενο και τα δεδομένα που έχουν μείνει ξαναμελετώνται για την εύρεση των κοντινότερων αντικειμένων και ούτω καθεξής. Η απόσταση των συστάδων προσδιορίζεται από το ύψος της οριζόντιας γραμμής στο δενδρογράμμα.



Εικόνα 15: Τυπική μορφή δενδρογράμματος

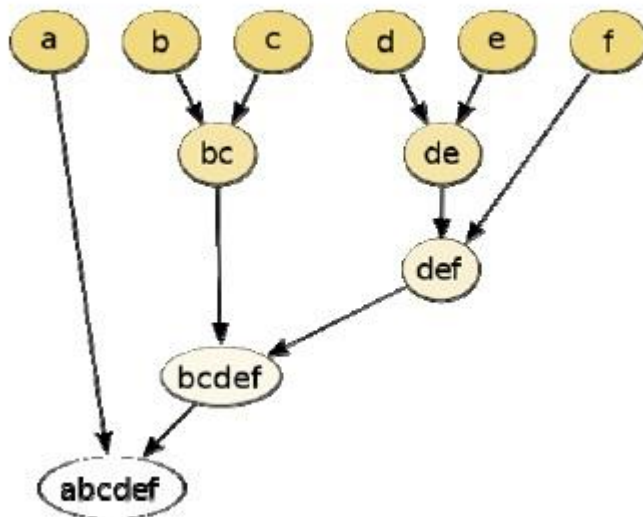
Τα δενδρογράμματα εξαρτώνται αρκετά απ' το μέτρο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των αποστάσεων των αντικειμένων μεταξύ τους (<http://en.wikipedia.org/wiki/Dendrogram>).

Ένα παράδειγμα κατηγοριοποίησης (clustering) είναι αυτό που ακολουθεί, όπου όλα τα δεδομένα υποθέτουμε πως θα κατηγοριοποιηθούν χρησιμοποιώντας την Ευκλείδια απόσταση.



Εικόνα 16: Παράδειγμα από δεδομένα που πρόκειται να κατηγοριοποιηθούν.

Το δενδρόγραμμα της ιεραρχικής κατηγοριοποίησης θα είναι όπως αυτό που παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 17: Αποτέλεσμα της κατηγοριοποίησης των δεδομένων.

Γενικά, για τις ιεραρχικές μεθόδους, ο πληθυσμός των στοιχείων αρχικά ομαδοποιείται σε μικρά υποσύνολα του ενός ή δύο δειγμάτων. Αυτά τα σμήνη στη πορεία συνενώνονται σταδιακά μεταξύ τους και

με κριτήριο την μέγιστη δυνατή ομοιότητα που μπορεί να υπάρχει μεταξύ τους. Η ομαδοποίηση γίνεται σε μια προσπάθεια να ικανοποιηθεί κάποιο κριτήριο, όπως η μεγιστοποίηση της συνολικής απόστασης ανάμεσα στα υποσύνολα των δειγμάτων.

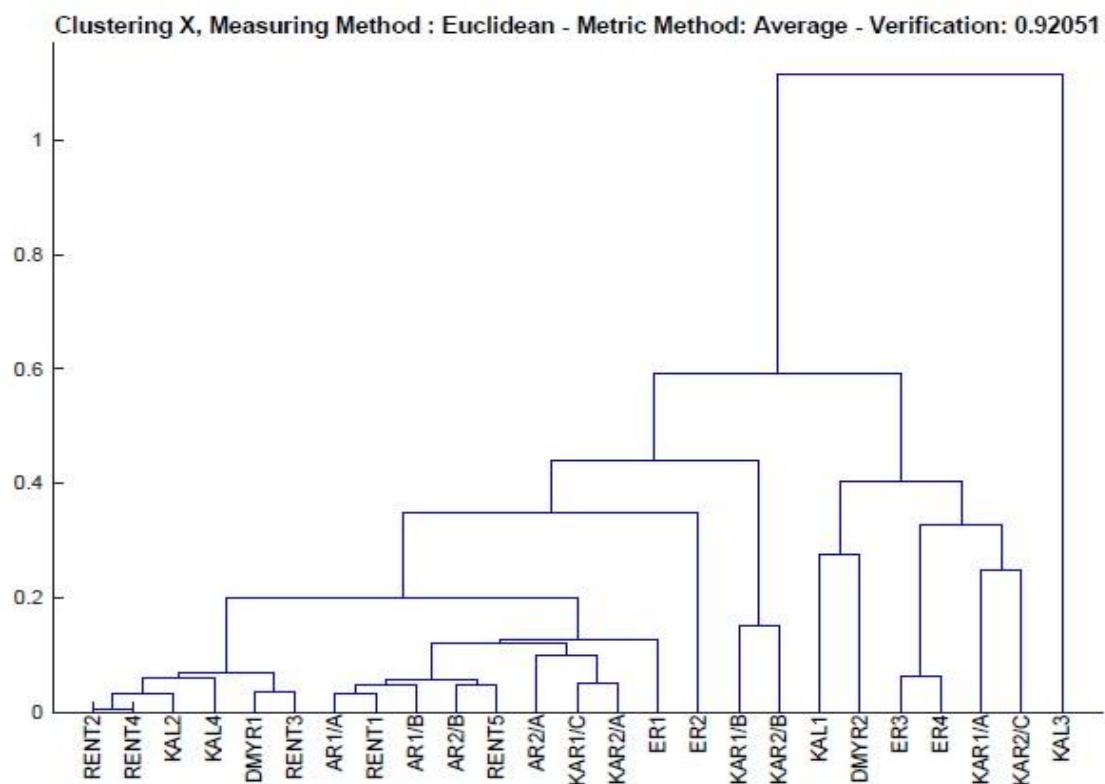
8.4.2.2. Κατηγοριοποίηση δειγμάτων.

Στα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα-δενδρογράμματα που προκύπτουν από την τεχνική της Cluster Analysis των δειγμάτων μας.

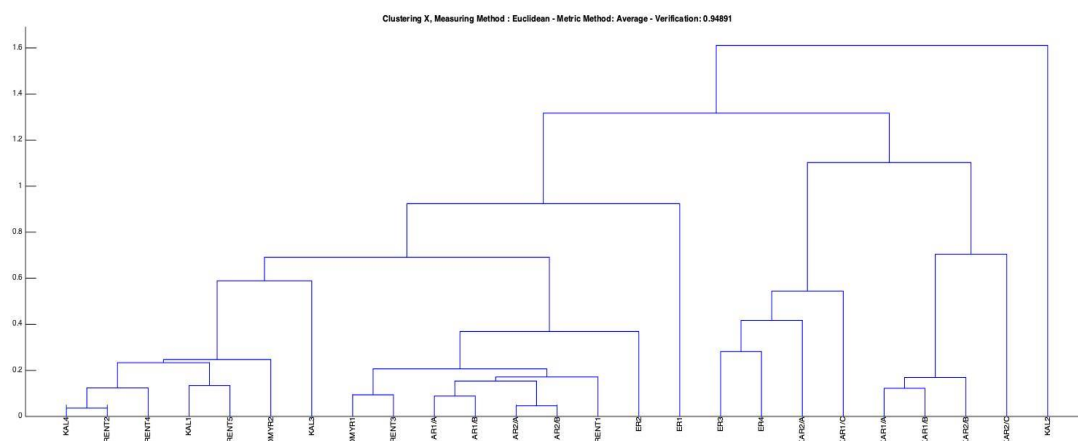
Στη πρώτη περίπτωση βλέπουμε ένα σχετικά καλό διαχωρισμό των δειγμάτων μας, σε 3 εύλογες ομάδες θα λέγαμε με βάση τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων, ενώ εξαίρεση αποτελεί το δείγμα ΚΑΛ3 το οποίο βρέθηκε πολύ φτωχό σε σίδηρο ενώ κυρίως αποτελείται από χαλαζία σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δείγματα που είναι πλούσια σε σιδηρομετάλλευμα.

Στη δεύτερη περίπτωση, βλέπουμε την ομαδοποίηση των δειγμάτων μας με βάση τα ιχνοστοιχεία που περιέχονται εντός αυτών. Εδώ βλέπουμε να σχηματίζονται 3 ομάδες διαφοροποίησης, ίσως και 4 θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε.

Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα των δενδρογραμμάτων μας,, τα δείγματα μας έχουν κοινά χαρακτηριστικά και διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά τις κατανομές τους και έτσι μπορούν να διαχωριστούν σε κατηγορίες αρκετά ευδιάκριτες.



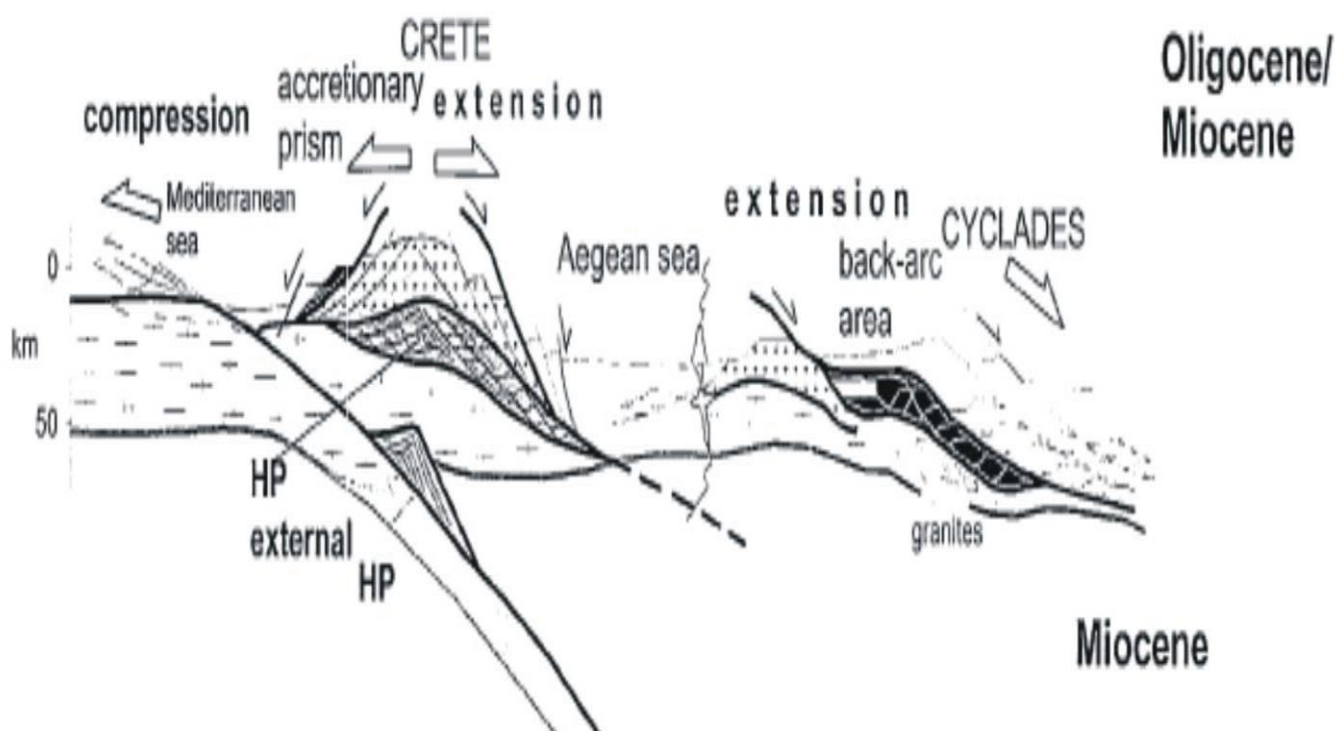
Εικόνα 18: Κανονικοποιημένη κατηγοριοποίηση δειγμάτων.



Εικόνα 19. Κατηγοριοποίηση δειγμάτων με βάση τα ιχνοστοιχεία τους.

Κεφάλαιο 9: Υπάρχουσες απόψεις για τη δημιουργία εμφανίσεων μετάλλων στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Κρήτης

Το τεκτονικό οικοδόμημα της Κρήτης το οποίο αποτελείται από επάλληλα τεκτονικά καλύμματα σχετίζεται άμεσα με μια ζώνη υποβύθισης που οδήγησε σε ένα ορογενές προσαύξησης (Kilias et al., 2002).



Εικόνα 20: Σχηματική τομή που δείχνει την κινηματική κατά το τελευταίο στάδιο της ορογενετικής διεργασίας στην περιοχή της Κρήτης (Κατά Kilia et al, 2002)

Στο τμήμα αυτό της ορογένεσης, τα ενυδατωμένα θαλάσσια ιζήματα και τα ηφαιστειακά πετρώματα έχουν προστεθεί σε ηπειρωτικά περιθώρια και σε χρονικά όρια περίπου είκοσι εκατομμυρίων ετών, αφού τα παλαιότερα ιζήματα του σχετικά αυτόχθονου συστήματος του νησιού (Ομάδα των Πλακωδών Ασβεστολίθων) έχουν ηλικία Άνω Ολιγοκαινική δηλαδή πριν 33 εκατομμύρια χρόνια ενώ τα ιζήματα του Νεογενούς που προέκυψαν μετά το πέρας της συμπιεστικής τεκτονικής έχουν Μειόκαινη ηλικία 13 εκατομμυρίων ετών (Kastens 1991). Τα θερμικά γεγονότα που συνδέονται με την υποβύθιση, έχουν επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την κατανομή των γεωθερμικών πεδίων στο πρίσμα προσαύξησης που δημιουργήθηκε και έτσι τα υδροθερμικά ρευστά οδηγήθηκαν σε μεταναστεύσεις αγνώστου κλίμακας. Εκτός όμως από αυτό το δεδομένο, δεν μπορεί κανείς να παραγνωρίσει και την ύπαρξη της Περμοτριάδικής

ηφαιστειότητας η οποία λόγω της σύνδεσής της με θειούχες συγκεντρώσεις/μεταλλεύματα μπορεί είτε να συνοδεύτηκε από δημιουργία μικτών θειούχων μεταλλευμάτων μεσωκεάνιας ράχης, είτε από την διεύση ενός πορφύρη. Αυτό είναι αντικεικίμενο λεπτομερούς ερευνητικής προσέγγισης. Υπάρχουν δυο ακραία μοντέλα που εξετάζονται σχετικά με τη γένεση των σιδηρομεταλλευμάτων της Κρήτης. Η πρώτη άποψη είναι αυτή του Καθηγητή Παπασταματίου το 1952 που υποστηρίζει πως τα μεταλλεύματα του σιδήρου είναι υδροθερμικής προέλευσης και πως αυτή συνδέεται γενετικά με τα εκρηξιγενή του κρυσταλλοσχιστώδους. Οι εμφανίσεις αμιάντου και τάλη συνδέονται επίσης με βασικά εκρηξιγενή πετρώματα από τα οποία προκύπτουν τα παραπάνω ορυκτά μέσω της διαδικασίας της χημικής αποσάθρωσης.

Όμως, η μεταλλογένεια συνδέεται και με την τεκτονική συμπεριφοράς που παρουσιάζει η κάθε περιοχή. Τα μεταλλεύματα σιδήρου και τα θειούχα ορυκτά πληρούν δείγματα εντός του κρυσταλλοσχιστώδους ή ακόμα μπορούν να σχηματίσουν κοίτασμα κοντά τους.

Από την άλλη πλευρά, ένας άλλος ερευνητής, ο Seidel το 2003, υποστήριξε ότι τα οξειδία σιδήρου βρίσκονται εντός κατακερματισμένων στρωμάτων φυλλιτών, χαλαζιτών και μαρμάρων πάχους δεκάδων μέτρων, γεμίζοντας έτσι τις διακλάσεις και τα κενά καθώς και εμποτίζουν μερικώς τα μάρμαρα. Από την έρευνά του συμπεραίνει ότι τα οξειδία αυτά προέρχονται από ρευστά συστατικά που κρυσταλλώθηκαν σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες (31°–40°C) και σε μικρά βάθη, περίπου έως και ενός χιλιομέτρου, ενώ αποτέθηκαν μετά την άνοδο στην επιφάνεια του μεταμορφωμένου συμπλέγματος.

Τέλος παρατίθεται και μια τρίτη άποψη, αυτή του Σκαρπέλη το 1982 όπου φαίνεται να παρουσιάζει περισσότερο υποστήριξη σε αυτή του Παπασταματίου, που υποστηρίζει ότι τα μεταλλεύματα της ενότητας φυλλιτών και των χαλαζιτών στην Κρήτη, αναπτύσσονται σε ανάλογους λιθολογικούς σχηματισμούς όπως γίνεται και στη στην ενότητα Άρνας Ταυγέτου και έτσι αντιπροσωπεύουν ζώνες οξείδωσης χαλκούχου σιδηροπυρίτη. Υποστηρίζεται ότι τα μεταλλεύματα οφείλουν τη γένεση τους στην υδροθερμική εξαλλοίωση που γίνεται στο υποθαλάσσιο περιβάλλον των βασαλτών και στη μεταφορά και απόθεση των μετάλλων στον πυθμένα μίας λεκάνης ιζηματογένεσης των τεφρών πηλιτών σε ανοξικές συνθήκες.

Στα ανωτέρω δεν μπορεί να παραγνωριστεί το γεγονός ότι από ιστορικά μεταλλεία χαλκού στην περιοχή έχουν εξορυχθεί 30 τόννοι χαλκούχου μεταλλεύματος καθώς επίσης και το γεγονός ότι σε δείγματα σιδηρομεταλλευμάτων από τα ορυχεία Αβέρωφ έχουν βρεθεί συγκεντρώσεις άργυρου και χρυσού (Markopoulos et al., 2010).

Κεφάλαιο 10: Ανίχνευση και εντοπισμός σιδήρουχων εμφανίσεων

Γεωλογία, αναζήτηση και εξερεύνηση αποθεμάτων σιδήρου.

Όπως προαναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια, ο σίδηρος είναι γνωστός από την αρχαιότητα και είναι πανταχού παρών στη λιθόσφαιρα ως ένα σημαντικό συστατικό ή σε ιχνοστοιχεία. Βρίσκεται σε σχετική αφθονία αφού είναι στην σειρά τέταρτο στοιχείο μετά το οξυγόνο, το πυρίτιο και το αλουμίνιο. Τα μεταλλεύματα σιδήρου έχουν ένα ευρύ φάσμα σχηματισμού σε γεωλογικές εποχές καθώς και μια ευρεία γεωγραφική κατανομή. Αυτά τα ορυκτά βρίσκονται στα παλαιότερα γνωστά όρια του φλοιού της γης, με ηλικία άνω των 2,5 δισεκατομμυρίων ετών, καθώς και σε πετρώματα που σχηματίστηκαν σε διαφορετικές ηλικίες. Στην πραγματικότητα, σιδηρομεταλλεύματα σχηματίζονται ακόμη και σήμερα στις περιοχές όπου καθιζάνουν τα οξείδια του σιδήρου.

Αρκετές χιλιάδες κοιτάσματα σιδήρου είναι γνωστά σε όλο τον κόσμο. Έχουν μέγεθος από λίγους τόνους έως αρκετές εκατοντάδες εκατομμύρια τόνους. Τα σιδηρομεταλλεύματα κατανέμονται σε διάφορες περιοχές του κόσμου και σχηματίστηκαν υπό ποικίλες γεωλογικές συνθήκες και σε διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση μεταλλεύματος συναντάται σε ζώνες ιζηματογενών σχηματισμών σιδήρου της εποχής του Προκάμβριου. Αυτοί οι σχηματισμοί αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των υπαρκτών κοιτασμάτων σιδηρομεταλλεύματος του κόσμου.

Το πιθανό σιδηρομετάλλευμα που είναι γνωστό ότι υπάρχει σε μια περιοχή ονομάζεται κοιτάσμα. Τα προσδιορισμένα κοιτάσματα περιλαμβάνουν τόσο αποθέματα όσο και άλλα υλικά που φέρουν σίδηρο, τα οποία μπορεί να αποβούν επικερδείς σε ορυχεία, σε μελλοντικές οικονομικές συνθήκες. Οι προσδιορισμένοι πόροι είναι εκείνοι των οποίων η θέση, η ποιότητα και η ποσότητα είναι γνωστές ή εκτιμώνται από συγκεκριμένες γεωλογικές αποδείξεις. Περιλαμβάνουν οικονομικά, οριακά οικονομικά και υπο-οικονομικά στοιχεία και ανάλογα με τον βαθμό γεωλογικής ασφάλειας, κάθε μία από αυτές τις οικονομικές διαιρέσεις μπορεί να υποδιαιρεθεί περαιτέρω σε μετρημένες, υποδεικνυόμενες και συναγόμενες. Τα αποθέματα ορίζονται ως εκείνοι οι πόροι που μπορούν να εξορύσσονται οικονομικά κατά τη στιγμή του προσδιορισμού τους.

Η εκμετάλλευση ενός υπάρχοντος αποθέματος σιδηρομεταλλεύματος αποτελεί το ευκολότερο μέρος των εργασιών εξόρυξης. Το πιο δύσκολο μέρος είναι η εξεύρεση νέων κοιτασμάτων μεταλλευμάτων και ο καθορισμός της έκτασής τους και της περιεκτικότητας σε σίδηρο. Η εξερεύνηση είναι η διαδικασία με την οποία οι συσσωρεύσεις ορυκτών σιδηρομεταλλεύματος μπορούν να παρθούν στο φλοιό της γης. Πριν από τις μεγάλες επενδύσεις που απαιτούνται για την υλοποίηση μιας επιχείρησης εξόρυξης, το ορυχείο-εταιρεία ή οργανισμός έρευνας πρέπει να

εξασφαλίσει ότι η απόθεση είναι οικονομικά βιώσιμη και έχει τις ποσότητες του μεταλλεύματος που θα εξασφαλίσει την παραγωγή μεταλλεύματος για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμη και μετά την έναρξη της παραγωγής, είναι απαραίτητο να εντοπιστούν και να οριοθετηθούν τυχόν επεκτάσεις του μεταλλεύματος και να αναζητηθούν νέες προοπτικές που μπορούν να αντικαταστήσουν τα αποθέματα που εξορύσσονται. Η διερεύνηση των επεκτάσεων και η αναζήτηση νέων κοιτασμάτων είναι ζωτικές δραστηριότητες για την οργάνωση ενός ορυχείου.

Η έρευνα περιλαμβάνει την αναζήτηση μιας περιοχής για ορυκτά αποθέματα με σκοπό να το αποκομίσει με κέρδος. Με άλλα λόγια, να μετατρέψουμε την συγκέντρωση ορυκτών σε συγκέντρωση μεταλλεύματος. Ένας γεωλόγος που αναζητά μια περιοχή ψάχνει για επιφανειακή έκθεση ορυκτών, παρατηρώντας παρατυπίες χρώματος, σχήματος ή σύνθεσης βράχου. Η εμπειρία του λέει πού να κοιτάξει ώστε να έχει τις μεγαλύτερες πιθανότητες επιτυχίας. Η έρευνα, παρόλο που ακούγεται παρόμοια με την αναζήτηση, είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για τη συστηματική εξέταση μιας συγκέντρωσης μεταλλεύματος. Δεν είναι εύκολο να ορίσουμε το σημείο στο οποίο η αναζήτηση εξελίσσεται σε έρευνα.

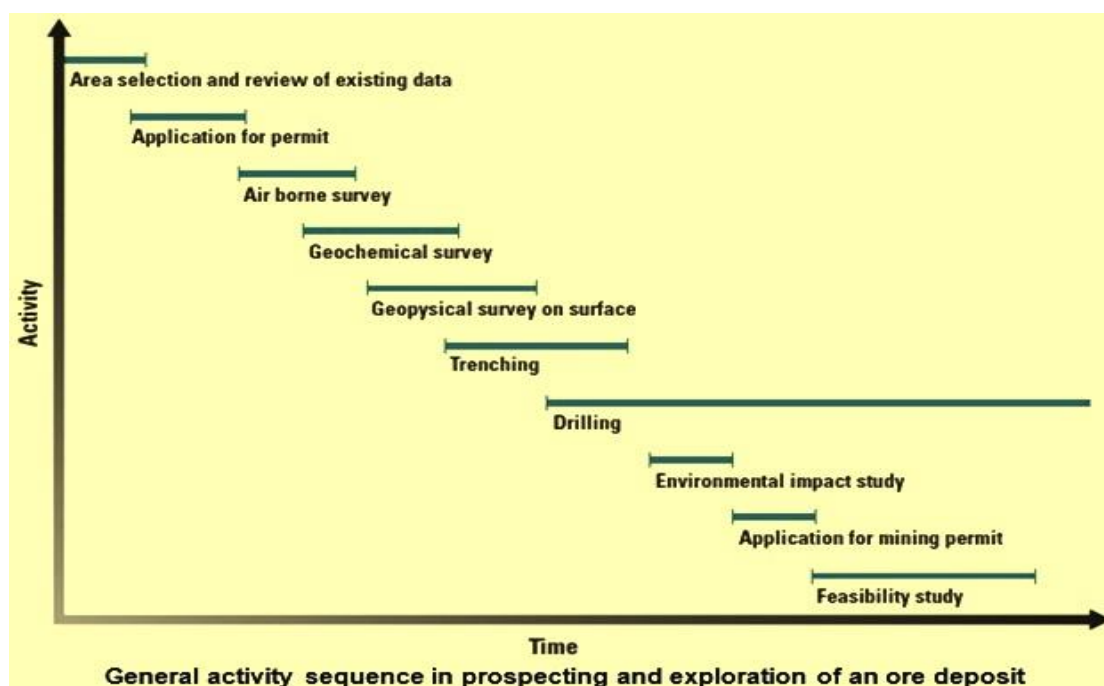
Μετά την επιλογή μιας ενδιαφέρουσας περιοχής, υποβάλλεται αίτηση για άδεια ερευνητικής δραστηριότητας. Απαιτείται έγκριση από τους αρμόδιους προτού αρχίσουν οι δραστηριότητες έρευνας.

Δραστηριότητες σχετικές με την αναζήτηση και την έρευνα.

Το πρώτο βήμα στις δραστηριότητες που σχετίζονται με την αναζήτηση και την έρευνα είναι η διερεύνηση ιστορικών και υφιστάμενων δεδομένων, ιδίως από κλειστά ορυχεία και πυρήνες δειγμάτων και άλλες σχετικές πληροφορίες που είναι διαθέσιμες από προηγούμενες έρευνες στις οποίες είναι δυνατή η πρόσβαση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος που απαιτούνται για νέες δραστηριότητες.

Μία από τις οικονομικότερες φάσεις της εξερεύνησης μιας περιοχής είναι η προετοιμασία ενός περιεκτικού, λεπτομερούς και ακριβούς γεωλογικού χάρτη ο οποίος συχνά ξεκινά με βασικά εργαλεία όπως η ταινία και η πυξίδα. Η ακρίβεια μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση αεροφωτογραφιών για τον εντοπισμό σημαντικών ρηγματογόνων ζωνών και βασικού τοπογραφικού ελέγχου. Κάθε βήμα προσθέτει επιπλέον κόστος, αλλά βελτιώνει επίσης την ακρίβεια και τις λεπτομέρειες του χάρτη που προκύπτει.

Όταν σε μια περιοχή υπάρχει εδαφικό κάλυμμα που μπορεί να είναι ένα ρηχό στρώμα αλλουβιακού υλικού, οι τάφροι συνήθως πρέπει να σκαφτούν στην «ορυκτή περιοχή» για να εκθέσουν το υπόστρωμα. Ένας ανιχνευτής προσδιορίζει την ανακάλυψη, μετρά το πλάτος και το μήκος και εκτιμά την περιοχή του μεταλλεύματος. Από δειγματοληψίες συλλέγονται δείγματα και αναλύονται στο εργαστήριο με μεθόδους σαν αυτές που χρησιμοποιήσαμε εμείς στην παρούσα διπλωματική εργασία, δηλαδή ορυκτολογική ανάλυση με XRD και χημική ανάλυση XRF. Ακόμα και όταν τα ορυκτά μπορούν να βρεθούν στην επιφάνεια, ο προσδιορισμός οποιασδήποτε επέκτασης σε βάθος που μπορεί να έχει, είναι θέμα ειδικής εικασίας και δεν μπορεί κανείς να το γνωρίζει με βεβαιότητα. Αν τα ευρήματα του ερευνητή και η θεωρία του περί πιθανής ύπαρξης εναπόθεσης ορυκτών βρίσκονται σε στέρεο έδαφος τότε το επόμενο βήμα είναι να εξερευνήσει τη γύρω περιοχή. Η εξερεύνηση είναι ένας όρος που καλύπτει τη γεωλογία, τη γεωφυσική, τη γεωχημεία και, τέλος, τις πιο δαπανηρές δραστηριότητες, όπως η γεώτρηση για τη λήψη δειγμάτων από οποιοδήποτε βάθος.



Εικόνα 21: Γενική ακολουθία δραστηριοτήτων στην έρευνα και την εξερεύνηση ενός κοιτάσματος μεταλλεύματος (Satyendra Kumar Sarna, 2015).

Οπότε, σύμφωνα με όσα έχουμε δει, η διαδικασία ανίχνευσης, εντοπισμού αλλά και εξόρυξη-εκμετάλλευσης ενός ορυκτού είναι μία σύνθετη διαδικασία η οποία συνδυάζει ένα ευρύ φάσμα επιστημών και γνώσεων ώστε να καταλήξεις σε ένα όσο το δυνατό πιο ακριβές συμπέρασμα και

αποτελέσμα. Η όλη διαδικασία πρόκειται για τρίτης γενιάς επιστήμης, δηλαδή συνδυαστικής. Στο πιο πάνω σχήμα (Εικόνα 22) φαίνεται η γενική ακολουθία δραστηριοτήτων στην έρευνα και την εξερεύνηση μιας πιθανής ύπαρξης μεταλλεύματος. Η αποτελεσματική εξερεύνηση εξαρτάται από την ολοένα και πιο εξελιγμένη παραγωγή χαρτών για σκοπούς σχεδιασμού και οδούς πρόσβασης, για γεωλογική, γεωφυσική, γεωχημική και δομική χαρτογράφηση. Σήμερα υπάρχουν λεπτομερείς εναέριοι τοπογραφικοί χάρτες που παρέχουν στον εξερευνητή βασικές πληροφορίες για να καθορίσουν που θα βρεθούν περιοχές με καλές δυνατότητες εναπόθεσης ορυκτών.

Γεωφυσική εξερεύνηση

Μετά τη δεκαετία του 1950 όπου πρωτοεμφανίστηκαν, οι γεωφυσικές έρευνες από αέρος έχουν γίνει ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πρώτο βήμα στη γεωφυσική εξερεύνηση. Οι μεγάλες αλλά και οι απροσπέλαστες περιοχές μπορούν να καλυφθούν αποτελεσματικά σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι πιο συνηθισμένοι αερο-γεωφυσικοί χάρτες είναι χάρτες μαγνητομέτρων που καταγράφουν τις μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο της γης με υψηλό βαθμό ακρίβειας. Η βέλτιστη επιλογή του υψομέτρου και της απόστασης, καθώς και η επιλογή των οργάνων, είναι σημαντικές στις γεωφυσικές έρευνες από αέρος. Σήμερα με τη βοήθεια τεχνολογιών τύπου Drones παρέχουν υψηλή δυνατότητα εξερεύνησης, με πολύ οικονομικό και ασφαλές τρόπο ακόμα και στα πιο απρόσιτα σημεία.

Από το έδαφος, χρησιμοποιούνται διαφορετικές γεωφυσικές μέθοδοι για να εξερευνηθούν οι υπόγειοι σχηματισμοί, με βάση τις φυσικές ιδιότητες των ορυκτών που περιέχουν τα πετρώματα και ο σίδηρος, όπως μαγνητισμός, βαρύτητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα, ραδιενέργεια και ταχύτητα ήχου. Δύο ή περισσότερες μέθοδοι συνδυάζονται συχνά σε μία έρευνα, προκειμένου να αποκτήσουν πιο αξιόπιστα δεδομένα. Τα αποτελέσματα των ερευνών συγκεντρώνονται και συνδυάζονται με γεωλογικές πληροφορίες από επιφανειακές μετρήσεις ή δείγματα πυρήνων από προηγούμενες γεωτρητικές έρευνες για να αποφασιστεί αν είναι χρήσιμο να προχωρήσουμε σε περαιτέρω εξερεύνηση. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση, τότε οι πληροφορίες αποτελούν τη βάση για τις δραστηριότητες της γεώτρησης. Δεδομένου ότι η γεωφυσική έρευνα διεξάγεται κανονικά πρώτα από τον αέρα, οι πληροφορίες από τις επιφανειακές έρευνες συγκρίνονται και προστίθενται στην αερομεταφερόμενη χαρτογράφηση.

Οι παρούσες γεωφυσικές τεχνικές και όργανα, οι μέθοδοι δειγματοληψίας, οι διαδικασίες γεώτρησης και ορισμένες μέθοδοι γεωλογικής έρευνας που ισχύουν για τα σιδηρομεταλλεύματα περιγράφονται παρακάτω. Η γεωφυσική, όπως εφαρμόζεται στις αναζητήσεις

σιδηρομεταλλεύματος, είναι κατά κύριο λόγο εργαλείο αναγνώρισης που παρέχει πληροφορίες που πρέπει στη συνέχεια να συμπληρωθούν με γεωλογικές χαρτογραφίες, πετρογραφικές μελέτες, γεωτρήσεις και αξιολόγηση αναλύσεων μετάλλων και δοκιμών. Οι γεωφυσικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για μεταλλεύματα σιδήρου, όπως και στη γεωφυσική χαρτογράφηση, βασίζονται στην παρουσία μετρήσιμων αντιθέσεων των φυσικών ιδιοτήτων μεταξύ των μεταλλευμάτων των ορυκτών και των γύρω βράχων. Οι φυσικές ιδιότητες που χρησιμοποιούνται κυρίως είναι μαγνητισμός (τόσο μόνιμες όσο και προκληθείσες) και πυκνότητα. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι (συμπεριλαμβανομένης της πόλωσης και του ηλεκτρομαγνητισμού) και οι σεισμικές μελέτες χρησιμοποιούνται μερικές φορές σε συνδυασμό με μαγνητικές έρευνες ή μελέτες βαρύτητας για τον καλύτερο προσδιορισμό των μετάλλων.

Μαγνητόμετρα

Τα σύγχρονα μαγνητόμετρα έχουν μεγάλη ευαισθησία και η λειτουργία τους είναι σχετικά απλή. Τα μαγνητόμετρα έχουν περάσει από αρκετά διαδοχικά στάδια ανάπτυξης. Οι κύριες μορφές με τη σειρά της σύλληψής τους είναι, η τύπου ισορροπίας, τύπος στρέψης και μαγνητόμετρο πύλης ροής, ακολουθούμενα τα επόμενα χρόνια από μαγνητόμετρα που σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν στον τομέα της ατομικής φυσικής. Τα τελευταία αυτά όργανα περιλαμβάνουν τα μαγνητόμετρα ατμού ρουβιδίου, και οπτικής απορρόφησης. Τα μαγνητόμετρα χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της αντοχής του μαγνητικού πεδίου της γης ή του κάθετου «συστατικού» της σε μια δεδομένη θέση. Το πεδίο της γης γενικά είναι πολύ αδύναμο, κυμαινόμενο περίπου από το 0,7 που βρίσκεται σε μαγνητικούς πόλους έως περίπου 0,25 σε ορισμένα σημεία του ισημερινού. Το σχήμα ή αλλιώς η έκταση του μαγνητικού πεδίου της γης δεν είναι ομοιόμορφο, αλλά παρουσιάζει μεγάλης κλίμακας περιφερειακές ανωμαλίες λόγω διακυμάνσεων του σχήματος και της σύνθεσης του φλοιού και του ανώτερου μανδύα της γης. Παραλλαγές σε μικρότερη κλίμακα προκύπτουν από μαγνητικές διαταραχές που προκαλούνται από συγκεντρώσεις μαγνητικού υλικού κοντά στην επιφάνεια και είναι αυτές οι τοπικές παραλλαγές που τραβούν το ενδιαφέρον των μελετητών όταν αναζητούνται σιδηρούχα μεταλλεύματα.

Μαγνητική τοπογραφία

Η μαγνητική έρευνα μετράει τις μεταβολές στο μαγνητικό πεδίο της γης που προκαλούνται από τις μαγνητικές ιδιότητες των υπόγειων πετρωμάτων. Το αερομεταφερόμενο μαγνητόμετρο είναι το πρωτογενές γεωλογικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση σιδηρομεταλλευμάτων και

υλικών που φέρουν σίδηρο σε μεγάλες περιοχές. Η μέθοδος διεξαγωγής μιας αερομεταφερόμενης μαγνητικής έρευνας είναι να εγκατασταθεί ένα μαγνητόμετρο ακριβείας πύλης ή πρωτονίων σε ένα αεροπλάνο ή ντρούν το οποίο διασχίζει την περιοχή στόχου σε σταθερό ύψος και κατά μήκος προκαθορισμένων γραμμών πτήσης οι οποίες καθορίζονται από υπολογιστή με τη βοήθεια γεωδαιτικών συντεταγμένων σε σταθερά σημεία ελέγχου που βρίσκονται τοποθετημένα σε όλη τη γη. Το μαγνητόμετρο μετρά την ένταση του μαγνητικού πεδίου της γης. Τα δεδομένα καταγράφονται ηλεκτρονικά μαζί με τη θέση του αεροπλάνου και το ύψος του. Τα τελευταία χρόνια, υπάρχουν βελτιώσεις στην ποιότητα των ερευνών λόγω των βελτιώσεων στον εξοπλισμό που περιλαμβάνουν μεγαλύτερη ευαισθησία και απλότητα, καταγραφή πολλαπλών καναλιών, μικρογραφία εργαλείων και ακριβέστερη δυνατότητα τοποθέτησης. Λόγω της παρουσίας και της καταγραφής των δεδομένων σε ψηφιακή μορφή, οι υπολογιστές χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των απαραίτητων απαιτήσεων μείωσης και σχεδιασμού των δεδομένων που απαιτούνται για αναλύσεις και ερμηνείες. Τα δεδομένα από αυτές τις καταγραφές σχεδιάζονται ως χάρτης περιγράμματος, με γραμμές που συνδέουν τα σημεία με ίση μαγνητική ένταση στον χάρτη. Τα πρότυπα που σχηματίζονται από αυτές τις γραμμές υποδεικνύουν περιοχές όπου εμφανίζονται μαγνητικές ανωμαλίες (μεγάλες τοπικές παραμορφώσεις του μαγνητικού πεδίου της γης). Οι περιοχές που υποδεικνύονται από ανωμαλίες στον μαγνητικό χάρτη, στη συνέχεια, διερευνώνται λεπτομερέστερα από γεωλογικές έρευνες και από μετρήσεις βαρύτητας, ηλεκτρομαγνητικές μελέτες ή άλλες γεωφυσικές τεχνικές.

Οι ηλεκτρομαγνητικές έρευνες βασίζονται σε μεταβολές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο έδαφος-βράχος. Ένας πομπός χρησιμοποιείται για τη δημιουργία πρωτεύοντος εναλλασσόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Το επαγόμενο ρεύμα παράγει ένα δευτερεύον πεδίο στη μάζα του βράχου. Το προκύπτον πεδίο εντοπίζεται και μετράται, αποκαλύπτοντας έτσι την αγωγιμότητα των υπόγειων μαζών.

Ηλεκτρικές μέθοδοι τοπογραφίας.

Οι ηλεκτρικές έρευνες μετρούν είτε τη φυσική ροή ηλεκτρισμού στο έδαφος είτε το γαλβανικό ρεύμα που οδηγείται στο έδαφος και το οποίο μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια. Οι ηλεκτρικές έρευνες χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό κοιτασμάτων ορυκτών σε μικρό βάθος και για τη χαρτογράφηση των γεωλογικών δομών για τον προσδιορισμό του βάθους του υπερκείμενου υλικού στο υπόστρωμα ή για τον εντοπισμό των υπόγειων υδάτων. Οι επαγόμενες έρευνες πόλωσης διεξάγονται κατά μήκος των γραμμών πλέγματος με αναγνώσεις που λαμβάνονται κατά τη λήψη

ηλεκτροδίων που φυτεύονται στη γη και μετακινούνται από σημείο σε σημείο. Τα ηλεκτρόδια συνδέονται με ένα δέκτη και μετρούν το φορτίο (η ικανότητα για διάφορα ορυκτά να δημιουργήσουν μια ηλεκτρική φόρτιση) και τις επιδράσεις της αντίστασης στο ρεύμα που εμφανίζονται στο έδαφος και στο υπέδαφος.

Βαρυτομετρικές μεθόδους.

Οι βαρυτομετρικές έρευνες μετράνε μικρές διακυμάνσεις στο βαρυτικό πεδίο που προκαλούνται από την έλξη των υποκείμενων πετρωμάτων. Η μεταβολή της βαρύτητας μπορεί να προκληθεί από ανωμαλίες της γήινης επιφάνειας και από αλατούχους θόλους που συχνά συνδέονται με σχηματισμούς πετρελαίου. Η βαρυτομετρική έρευνα χρησιμοποιείται επίσης για την ανίχνευση ορυκτών υψηλής πυκνότητας όπως τα σιδηρομεταλλεύματα.

Μεθόδους εντοπισμού με βάση τη ραδιενέργεια

Στις περιοχές όπου οι βραχώδεις σχηματισμοί περιέχουν ραδιενεργά ορυκτά, η ένταση της ακτινοβολίας είναι σημαντικά υψηλότερη από το κανονικό επίπεδο υποβάθρου. Η μέτρηση των επιπέδων ακτινοβολίας βοηθά στον εντοπισμό κοιτασμάτων που περιέχουν μέταλλα που σχετίζονται με ραδιενεργές ουσίες.

Σεισμικές μελέτες εντοπισμού.

Οι σεισμικές έρευνες βασίζονται στις μεταβολές της ταχύτητας του ήχου που παρατηρούνται σε διαφορετικά γεωλογικά στρώματα. Ο χρόνος μετράται για τον ήχο που ταξιδεύει από μια πηγή στην επιφάνεια, μέσω των υποκείμενων στρωμάτων, και πάλι προς έναν ή περισσότερους ανιχνευτές τοποθετημένους σε κάποια απόσταση στην επιφάνεια από τη πηγή, γεωραντάρ. Η πηγή του ήχου μπορεί να είναι το χτύπημα ενός σφυριού, η πτώση ενός βαρέως αντικειμένου, ένας μηχανισμός δόνησης ή ακόμα και με χρήση εκρηκτικών μέσων. Η σεισμική έρευνα προσδιορίζει την ποιότητα των πετρωμάτων και μπορεί να εντοπίσει την επιφάνεια επαφής των γεωλογικών στρωμάτων ή μιας συμπαγούς μάζας στο έδαφος.

Στην περίπτωση μεταλλευμάτων σιδήρου, η λεπτομερής μαγνητική μελέτη των ανωμαλιών των περιοχών, μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση μαγνητόμετρου σε αερομεταφερόμενα μέσα ή επιτόπιες έρευνες που χρησιμοποιούν φορητά μαγνητόμετρα. Μια νέα τεχνική ηλεκτρομαγνητικής αναζήτησης, γνωστή ως AFMAG (μαγνητικά ακουστικής συχνότητας), έχει χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου έχουν ανιχνευθεί μαγνητικές ανωμαλίες για να γίνει προσπάθεια διαφοροποίησης

μεταξύ θρυμματισμένων κοιτασμάτων ηφαιστειακής υάλου ή χαμηλού βαθμού φθοριούχων συστατικών και αποθέσεων με υψηλό μαγνητισμό που αντιπροσωπεύει πιθανό μεταλλοφόρο κοίτασμα.

Δειγματοληψία και διάτρηση

Κατά το πρώιμο στάδιο της ανακάλυψης ενός μεταλλεύματος, το μεγαλύτερο μέρος της εξερεύνησης δυνητικών σωμάτων μετάλλων πραγματοποιείται από δοκιμαστικούς κοιλωτήρες και άξονες. Αυτές τις μέρες η συσχέτιση και η αξιολόγηση των λεπτομερών δεδομένων από το μαγνητόμετρο ή άλλες έρευνες ακολουθείται συνήθως από ένα προσεκτικά επεξεργασμένο πρόγραμμα γεώτρησης για την παροχή δειγμάτων που, μέσω γεωλογικών και ορυκτολογικών μελετών, καθορίζουν το είδος, την ποιότητα και την έκταση του μεταλλεύματος που μπορεί να υπάρχει αλλά και τη φύση και την ποσότητα των υπερκείμενων ή βραχώδη σχηματισμών που σχετίζονται με το μετάλλευμα. Σημαντική προσοχή δίνεται στις μέρες μας για τη βελτίωση των μεθόδων γεώτρησης πυρήνα για την παροχή καλύτερων δειγμάτων. Τα πιο ολοκληρωμένα-κατάλληλα και οικονομικά συμφέροντα μέσα όπως για παράδειγμα τα τρυπάνια που θα χρησιμοποιηθούν, πρέπει να είναι όσο το δυνατό περισσότερο εφαρμόσιμα στις ανάγκες που απαιτούνται, με λιγότερο κόστος, όπου ουσιαστικά αυτός είναι ο απώτερος στόχος. Τα τρυπάνια διαμαντιών χρησιμοποιούνται κυρίως σε σκληρούς σχηματισμούς. Η χρήση της λάσπης στις γεωτρήσεις με τρυπάνια από διαμάντια έχει υιοθετηθεί όπου κυρίως τα επιθυμητά δείγματα είναι υψηλότερης ποιότητας.

Τα περιστροφικά τρυπάνια και τα τρυπάνια ανάστροφης κυκλοφορίας διαφόρων τύπων μπορούν να παρέχουν ένα γρήγορο ρυθμό διείσδυσης με ικανοποιητική ανάκτηση δειγμάτων σε ορισμένες εφαρμογές δειγματοληψίας. Η στατιστική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεώτρησης εξερεύνησης γίνεται για να παρέχονται οδηγοί για το σχεδιασμό προγραμμάτων γεώτρησης, ειδικά όσον αφορά την πιο οικονομική απόσταση των οπών και τον πιο επιθυμητό βαθμό ανάκτησης πυρήνα που θα παρέχει κατάλληλη δειγματοληψία με το χαμηλότερο κόστος.

Το επόμενο και ακριβότερο μέρος της ακολουθίας εξερεύνησης είναι η διάτρηση. Η διάτρηση διεισδύει βαθιά στο έδαφος και φέρνει δείγματα από ό, τι συναντά στο δρόμο της. Εάν υπάρχει κάποια «μεταλλοποίηση» σε συγκεκριμένα σημεία πολύ κάτω από την επιφάνεια, η διάτρηση μπορεί να δώσει μια απλή υπόθεση και μπορεί να ποσοτικοποιήσει την παρουσία της σε αυτό το συγκεκριμένο σημείο. Οι δαπάνες για γεωτρήσεις αντιπροσωπεύουν περίπου το ήμισυ του συνολικού κόστους εξερεύνησης. Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι διερευνητικής γεώτρησης, η

γεώτρηση πυρήνων και η διάτρηση με κρουστά. Η διάνοιξη του πυρήνα, δίνει ένα συμπαγές, κυλινδρικό δείγμα του εδάφους με ακριβές βάθος. Η διάτρηση με κρούση αποδίδει ένα τεμαχισμένο δείγμα, που περιλαμβάνει μοσχεύματα από ένα αρκετά καλά καθορισμένο βάθος στην οπή. Πέρα από αυτό, η ίδια η οπή διάτρησης μπορεί να παρέχει μια συμπληρωματική ποσότητα πληροφοριών, ιδίως με την καταγραφή χρησιμοποιώντας συσκευές για την ανίχνευση φυσικών ανωμαλιών, παρόμοιες με τις γεωφυσικές έρευνες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Η λήψη πυρήνων χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του μεγέθους και των ακριβών ορίων της μεταλλικής ανάπτυξης. Αυτό είναι σημαντικό για τον προσδιορισμό των τύπων μεταλλεύματος που διακινούνται και ζωτικής σημασίας για τον υπολογισμό των αποθεμάτων του μεταλλεύματος. Μια στρατηγικά τοποθετημένη υπόγεια γεώτρηση πυρήνα μπορεί επίσης να τέμνει νέα όρια μεταλλεύματος στη περιοχή ανάπτυξης. Ο πυρήνας είναι ένα άθικτο δείγμα της υπόγειας γεωλογίας, το οποίο μπορεί να εξεταστεί διεξοδικά για τον προσδιορισμό της ακριβούς φύσης του πετρώματος και κάθε ορυκτολογικής συγκέντρωσης. Δείγματα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος αποστέλλονται σε εργαστήριο για ανάλυση για να αποκαλυφθεί το περιεχόμενο του σιδήρου στο μέταλλευμα. Οι πυρήνες από γεωτρήσεις εξερεύνησης αποθηκεύονται σε ειδικά κιβώτια και φυλάσσονται σε αρχεία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα πλαίσια σημειώνονται για να προσδιορίσουν από ποια οπή και σε ποιο βάθος το δείγμα ελήφθη. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από τις γεωτρήσεις είναι σημαντικές.

Για την απόκτηση γρήγορων γεωλογικών πληροφοριών με μικρότερο κόστος, μερικές φορές χρησιμοποιούνται μέθοδοι αντίστροφης κυκλοφορίας. Αντί για δείγματα πυρήνα, ο γεωλόγος αποκτά πρόσβαση σε τρυπάνια (τσιπ) σε όλο το μήκος της τρύπας που έχει διανοιχθεί, τα οποία ελέγχονται και χαρτογραφούνται για πιθανό περιεχόμενο μετάλλων μετά από εργαστηριακές αναλύσεις. Η γεώτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας γίνεται γρήγορα δημοφιλής στις εφαρμογές γεωτρήσεων. Οι εξέδρες με την αντίστροφη κυκλοφορία είναι τοποθετημένες στο όχημα και περιορίζονται σε προσπελάσιμο έδαφος και καλύτερες οδικές συνθήκες σε σύγκριση με τον εξοπλισμό γεώτρησης πυρήνα, οι οποίοι αποσυναρμολογούνται εύκολα.

Από την ανίχνευση στην εξόρυξη

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό του κοιτάσματος και για τον ορισμό του σχήματος, του μεγέθους και του περιεχόμενου μετάλλου εντός αυτού απαιτείται διαδικασία βήμα προς βήμα στις δραστηριότητες εξερεύνησης. Σε κάθε στάδιο της διαδικασίας, εξετάζονται οι πληροφορίες που βρίσκονται στη διάθεσή μας, προκειμένου να αποφασιστεί εάν απαιτείται η συνέχιση των

προσπαθειών εξερεύνησης. Ο στόχος είναι να είναι αρκετά βέβαιο ότι οι συγκεντρώσεις των μεταλλευμάτων είναι οικονομικά βιώσιμες, παρέχοντας μια λεπτομερή γνώση της γεωλογίας του κοιτάσματος. Ο όρος κοιτάσμα, όπως αναφέραμε, ουσιαστικά είναι μια οικονομική έννοια, η οποία ορίζεται ως συγκέντρωση ή ορυκτών τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν οικονομικά και να μετατραπούν σε εμπορεύσιμο προϊόν. Πριν από τον ορισμό των «γαιώδη αυτών συστατικών» ως κοιτάσματα, απαιτούνται πλήρεις γνώσεις σχετικά με την γένεσή τους, την προτεινόμενη τεχνολογία εξόρυξης και τις μεθόδους επεξεργασίας τους. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξόρυξης και επεξεργασίας ορυκτών πρέπει να μελετηθούν προσεκτικά και πρέπει να εγκριθούν. Προϋπόθεση για την επένδυση σε μία εξορυκτική επιχείρηση είναι η εμπιστοσύνη που απαιτείται για τη διατήρηση της κερδοφορίας για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στο στάδιο αυτό διεξάγεται εκτεταμένη μελέτη σκοπιμότητας που καλύπτει τις κεφαλαιακές απαιτήσεις, τις αποδόσεις των επενδύσεων, την περίοδο αποπληρωμής και άλλα βασικά στοιχεία [1].

Θα το βάλεις στο τέλος στην βιβλιογραφία ως ηλεκτρονική αναφορά

[1] <http://ispatguru.com/geology-prospecting-and-exploration-for-iron-ore-deposits/>

Κεφάλαιο 11: Χαλκός και σίδηρος διαχρονικά στην Ανατολική Μεσόγειο και το Αιγαίο. Μια προσέγγιση με την βοήθεια της αρχαιολογικής έρευνας

Εισαγωγική:

Όπως είδαμε από τις εργαστηριακές μας μελέτες, εντός των δειγμάτων μας πέρα από τα πλούσια σιδηρούχα συστατικά εντοπίζεται και μία πληθώρα άλλων ιχνοστοιχείων, μεταξύ των οποίων ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο εντοπισμός σεβαστών περιεκτικοτήτων χαλκού. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για δείγματα των περιοχών του Καλλικράτη, (ΚΑΛ και Δ.ΜΥΡ, 23-53 ppm), και του Αρολιθίου, (ΑΡ και ΡΕΝΤ, 12-32 ppm). Ασφαλώς, αυτές οι κατανομές δεν εγείρουν ενδιαφέρον ως αναφορά μία κατεύθυνση εξορυκτικού προσανατολισμού, αλλά περισσότερο μάλλον παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως προς την Αρχαιολογική έρευνα. Επίσης εντός των δειγμάτων μας, εντοπίζεται Αρσενικό, όπως και στα περισσότερα τεχνουργήματα που έχουν ανευρεθεί και χρονολογούνται από την Εποχή του Χαλκού, ενώ παράλληλα, στις περισσότερες θέσεις της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου όπου χαρακτηρίζονται ως πιθανές πηγές χαλκού, το αρσενικό απουσιάζει.

Ο στόχος της αρχαιολογικής έρευνας, είναι να εντοπιστούν οι πηγές από τις οποίες οι κάτοικοι της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου αντλούσαν τα διάφορα μέταλλα που χρησιμοποιούσαν στην καθημερινή τους ζωή και όχι μόνο, στην προκειμένη περίπτωση κυρίως τον Χαλκό. Αυτές οι θέσεις-πηγές, ακόμα και σήμερα παραμένουν μυστήριο και δεν έχουν εντοπιστεί από την Αρχαιολογική και Γεωλογική κοινότητα. Είναι σημαντικό να εντοπιστούν, γιατί η ανεύρεση αυτών των θέσεων είναι πιθανόν να υποδείξουν πολλά καινούρια στοιχεία, είτε αρχαιολογικά είτε γεωλογικά, τα οποία θα δώσουν περισσότερες πληροφορίες αλλά και απαντήσεις σχετικά με το επίπεδο εξέλιξης και κατανόησης διαφόρων τεχνικών των οποίων ήταν σε θέση να πραγματοποιήσουν. Ακόμα θα μπορούσαν να δώσουν περαιτέρω στοιχεία σχετικά με τη γενικότερη κουλτούρα των κατοίκων της εποχής, τη θέση της μεταλλουργίας στη συνείδηση των κοινωνιών και πολλές άλλες πληροφορίες όπου με σχετικές συνδέσεις και συγκρίσεις να εξαχθούν περισσότερα συμπεράσματα και απαντήσεις σε διάφορα αρχαιολογικά επίπεδα έρευνας.

Ως αναφορά τη Κρήτη, αυτή η μελέτη γίνεται ακόμα πιο σύνθετη και μυστήρια, καθώς είναι γενικά αποδεκτό πως δεν διαθέτει αρκετές εμφανίσεις χαλκούχων συστατικών στα εδάφη της, ωστόσο εκείνη την εποχή στη Κρήτη αναπτύχθηκε και κυριάρχησε ένας λαμπρός πολιτισμός, η Μινωική Κρήτη. Φαντάζει δύσκολο, ακόμα και εκείνη την εποχή, ένας τόσο προοδευμένος πολιτισμός (χαρακτηρίζεται ως ο πρώτος εξελιγμένος πολιτισμός της Ευρώπης), να κατάφερε να αναπτυχθεί

και να εξελιχθεί χωρίς να διαθέτει τις κατάλληλες μεταλλικές πηγές που να μπορούσαν να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες που απαιτούνταν, είτε από οικονομικής απόψεως, είτε από άποψη καινοτομιών όπως για παράδειγμα αγροτικά και οικοδομικά εργαλεία, οικιακά αντικείμενα, οπλισμός, αρχιτεκτονική, αισθητική κτλ.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παραθέσουμε διάφορα στοιχεία που αντλήσαμε από πολλές και διαφορετικές μελέτες σχετικές με τον χαλκό και τη χρήση του εκείνη την εποχή και παράλληλα με τα στοιχεία της εργασίας μας να δημιουργήσουμε ένα είδος πληροφοριών που θα μπορούσαν να εξυπηρετήσουν περαιτέρω την αρχαιολογική κοινότητα στην αναζήτηση των πηγών των πρώτων μεταλλουργών.

Μεταλλουργία:

Η ιστορία της μεταλλουργίας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ανθρώπινη εξέλιξη και πρόοδο και η εισαγωγή της στην ανθρώπινη κοινωνία θεωρείται σημείο τομής ανάμεσα στην Προϊστορία και στην Ιστορία. Τα πρώτα μεταλλικά αντικείμενα που κατασκευάστηκαν έχουν προέλευση από αυτοφυείς εμφανίσεις μετάλλων, όπως χρυσό, χαλκό ή ακόμα και σίδηρο όπου οι προϊστορικοί άνθρωποι εντόπιζαν σε μετεωρίτες (Εσκιμώοι στη Γροιλανδία). Έτσι, σε ένα διάστημα χιλιάδων ετών ο άνθρωπος πέρασε από την εποχή του λίθου στην εποχή του χαλκού. Αυτή η μετάβαση δεν έγινε παντού ταυτόχρονα. Ακολουθώς οι άνθρωποι, με δεδομένο πως τα αποθέματα των αυτοφυών μετάλλων άρχισαν να εξαντλούνται, έμαθαν να εξορύσσουν και να κατεργάζονται μίγματα από διάφορα κοιτάσματα ώστε να εξάγουν τα επιθυμητά μέταλλα με πιο προηγμένες μεθόδους. Σε αυτό το σημείο εμφανίζονται και τα διάφορα κράματα του χαλκού όπως είναι το Κρατέρωμα ή πιο απλά μπρούντζος (Κράμα Χαλκού-Κασσίτερου). Με αυτό τον τρόπο ο χαλκός θα κυριαρχήσει για αιώνες στις διάφορες κοινωνίες και θα συμβάλει στα μέγιστα στη δόμηση και άνθηση των πρώτων μεγάλων βασιλείων στην ιστορία. Στη Μινωική Κρήτη, ο χαλκός θα αποτελέσει αναπόσπαστο αγαθό καθ' όλη τη διάρκεια της ύπαρξης αυτού του τόσο λαμπούρου πολιτισμού.



Εικόνα 22: Χάλκινα αγγεία και εργαλεία της Υστερης εποχής του χαλκού, *National Museum of the Union, Alba Iulia, Romania* (https://en.wikipedia.org/wiki/Bronze_Age_Europe)

Χαλκός:

Ο χαλκός, αν και περιστασιακά έχει βρεθεί και σε καθαρή μορφή, συνήθως εμφανίζεται σαν ορυκτό (θειούχο ή ανθρακικό), όπου συνδυάζεται χημικά με άλλα στοιχεία. Έτσι μπορούν να εμφανιστούν πρωτογενή ορυκτά χαλκού τα οποία να περιέχουν σημαντικές ποσότητες θείου και άλλων στοιχείων όπως ο σίδηρος, το αρσενικό και άλλα. Όταν αυτό συμβαίνει κοντά στην επιφάνεια της γης, τα ορυκτά μπορούν να οξειδωθούν και να σχηματίσουν δευτερογενή ορυκτά, τα οποία συχνά είναι πλούσια σε περιεκτικότητα χαλκού. Οι περισσότερες συγκεντρώσεις είναι ετερογενείς συγκεντρώσεις με διαφορετική χημική και ορυκτολογική σύνθεση. Αυτό προκύπτει από τις σύνθετες γεωλογικές διεργασίες που μπορεί να εμπλέκονται στον αρχικό σχηματισμό και των μετέπειτα μεταβολών που θα προκύψουν. Όταν αυτές οι συγκεντρώσεις είναι εκτεθειμένες στην επιφάνεια, μπορούν να αναπτυχθούν ξεχωριστές ζώνες οξείδωσης, κυρίως μέσω της δράσης του νερού και της διήθησης τους στα πετρώματα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό των λεγόμενων δευτερογενών ορυκτών. Μερικά από αυτά τα ορυκτά χαλκού ήταν διαθέσιμα στον προϊστορικό άνθρωπο ενώ άλλα κοιτάσματα δεν θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για διάφορους λόγους, κυρίως τεχνικούς και έλλειψης γνώσεων σε αυτά.

Table 1. The more common copper minerals found in prehistoric copper mines (with general estimates of copper content). There are in excess of 150 known copper minerals, most of which have rare occurrence and, unlike many of those listed, do not occur in sufficient concentration to qualify as ores.

Oxidized copper minerals	Cu %	Sulphidic copper minerals*	Cu %
Cuprite Cu_2O	89	Chalcopyrite CuFeS_2	35
Tenorite (melanconite) CuO	80	Bornite Cu_5FeS_4	63
Paramelaconite Cu_4O_3	80	Idaite Cu_3FeS_4	62
Malachite $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	57	Chalcocite Cu_2S	80
Azurite $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$	55	Covellite CuS	66
Chrysocolla $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	36	Tetrahedrite $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	51
Atacamite $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$	59	Tennantite $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	51
Antlerite $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4$	54	Enargite Cu_3AsS_4	48
Chalcanthite $\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$	67	Famatinite Cu_3SbS_4	43

Πίνακας 8: Τα πιο κοινά ορυκτά του χαλκού (Prehistoric Copper Mining in Europe, 5500-500BC, William O'Brien, Oxford, 2015).

Η γνώση των διαφόρων τύπων κοιτασμάτων είναι απαραίτητη για να κατανοήσουμε το γεωλογικό περιβάλλον στο οποίο εργάστηκαν οι πρώτοι μεταλλωρύχοι. Η ταξινόμηση αυτών των κοιτασμάτων είναι σύνθετη λόγω των ποικίλων μορφών τους και των διαφορετικών γεωλογικών συνθηκών που υπόκειται το κάθε ένα ξεχωριστά. Μπορούν να εφαρμοστούν πολλά κριτήρια, συμπεριλαμβανομένου του φυσικού σχήματος των ορυκτών συγκεντρώσεων, της ηλικίας σχηματισμού τους και τη γεωλογία της περιοχής.

Στον σχηματισμό των μεταλλοφόρων κοιτασμάτων εμπλέκονται πολύπλοκες γεωλογικές διεργασίες που κυμαίνονται από μαγματική συγκέντρωση, μετασώματωση επαφής, και υδροθερμικές διεργασίες σε ιζηματογενή, βακτηριακές διεργασίες κ.α. Αυτό σημαίνει ότι δύο κοιτάσματα ίδιου ορυκτού δεν είναι ακριβώς ίδια, με σημαντικές διαφορές σε ορυκτολογία, υφή, σχήμα, μέγεθος και άλλα χαρακτηριστικά. Τα περισσότερα κοιτάσματα χαλκού διαμορφώθηκαν από υδροθερμικά ρευστά που μεταφέρουν μέταλλα και άλλα στοιχεία σε διαλύματα, από πηγές μάγματος βαθιά στη γη. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτά τα ρευστά γεμίζουν τις ανοικτές κοιλότητες και διαμορφώνουν μια συγκέντρωση μεταλλεύματος ενώ αυτό θα μπορούσε επίσης να περιλαμβάνει μια διαδικασία αντικατάστασης μέσα σε ένα πέτρωμα υποδοχής. Μία κοινή διάκριση στην ταξινόμηση μεταλλικών κοιτασμάτων είναι μεταξύ των συγγενετικών και των επιγενετικών αποθέσεων. Οι πρώτες είναι κοιτάσματα ορυκτών που δημιουργήθηκαν την ίδια στιγμή με το πέτρωμα ξενιστή, ενώ η επιγενετική απόθεση διαμορφώθηκε πολύ αργότερα από τη δημιουργία του ξενιστή.

Τα γενετικά πρότυπα και οι ταξινομήσεις είναι σημαντικά από την άποψη του χαρακτηρισμού του κοιτάσματος και το μέταλλο που παρήγαγε, αλλά δεν θα ήταν μέρος της οποιαδήποτε κατανόησης προϊστορικών μεταλλωρύχων σε αυτά τα κοιτάσματα. Έτσι για πολλά κοιτάσματα δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση κατά την προϊστορική περίοδο. Μία σημαντική πηγή χαλκού στην προϊστορία, δεδομένου ότι παρείχαν μια τοπική απόθεση υψηλής συγκέντρωσης ορυκτών, ήταν οι φλέβες οι οποίες ήταν επίσης σχετικά εύκολο να βρεθούν, δεδομένου ότι η προεξοχή τους μπορεί να είναι ιδιαίτερα ορατή. Ενώ το φυσικό σχήμα ενός κοιτάσματος έχει μια σημαντική σχέση με το πώς εξορύσσεται, αυτό επηρεάζεται επίσης από τη φυσική έκθεσή του στην επιφάνεια. Αυτό, δεν είναι το πιο σημαντικό θέμα στις σύγχρονες επιχειρήσεις, αλλά η τοπογραφική έκφραση μίας συγκέντρωσης ορυκτών είχε μια σημαντική σχέση με τον τρόπο εξόρυξης που διεξήχθη στην προϊστορική εποχή.

Οι τεχνολογίες που απαιτούνται για μία βαθύτερη εξόρυξη σε πιο περίπλοκες γεωλογικές δομές, όπως οι θειούχες συγκεντρώσεις, αλλά και η σύνθετη διαδικασία της τήξης του μεταλλεύματος αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια της ύστερης εποχής του χαλκού, αλλά δεν ήταν σε χρήση σε πολλά μέρη της Ευρώπης μέχρι τη Ρωμαϊκή εποχή, αν όχι και αργότερα.

Η μελέτη των κοιτασμάτων:

Η επιστημονική μελέτη των κοιτασμάτων μεταλλεύματος έχει κεντρικό ρόλο στην κατανόηση του πώς παραγόταν ο χαλκός στην προϊστορία. Ο χαρακτηρισμός του κοιτάσματος είναι επίσης σημαντικός για την κατανόηση των μεθόδων που απαιτούνται για τη μετατροπή των ορυκτών του χαλκού σε εξαγωγίμο μέταλλο. Ένας απλός τρόπος στην κατανόηση των κοιτασμάτων είναι ο εντοπισμός χαρακτηριστικών ιχνοστοιχείων ή σταθερών ισότοπων. Αυτός ο τύπος επιστημονικής μελέτης κάνει ορισμένες υποθέσεις σχετικά με τη σύνθεση του κοιτάσματος όμως δεν μπορεί πάντα να αποδειχθεί. Προκύπτουν προβλήματα λόγω της ετερογένειας των κοιτασμάτων μεταλλεύματος, στην ορυκτολογία και τη γεωχημεία, και γενικά τις συνθήκες που δημιουργήθηκαν από τις σύνθετες γεωλογικές και περιβαλλοντικές καταστάσεις όπως η διάβρωση. Οι δειγματοληψίες είναι σημαντικές όσον αφορά στην κατανόηση αντιπροσωπευτικών μεταλλευμάτων εκείνης της εποχής. Πολύ συχνά η δειγματοληψία έχει εφαρμοστεί τυχαία, χωρίς σαφή κατανόηση του τι αποτελούσε μετάλλευμα για μια δεδομένη περίοδο εξόρυξης. Από τα εναπομένοντα στοιχεία, για παράδειγμα το υλικό στις απορρίψεις κατά την επεξεργασία όπως οι σκωρίες δεν είναι γενικά αντιπροσωπευτικά του τύπου του μεταλλεύματος όπου προήλθαν και του βαθμού εκμετάλλευσης στο παρελθόν. Επίσης η δράση των υπόγειων υδάτων μπορεί μεταβάλλει σημαντικά τη γεωχημεία και ορυκτολογία του υπολειπόμενου υλικού, περιπλέκοντας περαιτέρω τη διαδικασία της δειγματοληψίας ώστε να καθορίσει κανείς το αρχικό μετάλλευμα. Η προσεκτική δειγματοληψία απαιτεί στενή συνεργασία μεταξύ αρχαιολόγων και επιστημόνων. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με παραγενετικές μελέτες που θα μπορούσαν να ορίσουν την ορυκτολογία του αρχικού μεταλλεύματος στο σύνολο.

Η Ελλάδα και τα νησιά του Αιγαίου στην εποχή του χαλκού:

Τα χάλκινα αντικείμενα κυκλοφόρησαν για πρώτη φορά στην ελληνική ηπειρωτική χώρα κατά την πέμπτη χιλιετία π.χ. και λίγο αργότερα στα νησιά του Νοτίου Αιγαίου (Ζάχος 2007). Τα μεταλλικά αντικείμενα που εντοπίστηκαν στα τέλη της Νεολιθικής εποχής, ήταν απλά, όπως βελόνες, χάντρες και βραχιόλια. Η χρήση μετάλλων βαθμιαία επεκτάθηκε κατά τη διάρκεια της Χαλκολιθικής εποχής. Χρονικά φαίνεται να συνέβη παράλληλα με την ανάπτυξη της πρώιμης μεταλλουργίας στα Βαλκάνια, εντούτοις υπήρχε πολύ λιγότερος χαλκός στην κυκλοφορία. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την απουσία πρώιμων ορυχείων χαλκού είτε στην Ελλάδα είτε στα νησιά του Αιγαίου. Η επεξεργασία του μετάλλου στο Αιγαίο επεκτάθηκε σημαντικά κατά την τρίτη χιλιετία π.χ., με την ανάδυση μιας ακμάζουσας κουλτούρας που είχε εκτεταμένες ναυτιλιακές επαφές (Renfrew 1972).

Η εδραίωση του θαλάσσιου εμπορίου στη περιοχή χρονολογείται από τη Νεολιθική εποχή, όταν το νησί της Μήλου ήταν μια σημαντική πηγή σε όλη την Ανατολική Μεσόγειο. Η ανάλυση ισοτόπων μολύβδου επιβεβαιώνει ότι ο χαλκός, ο μόλυβδος, και το ασήμι που χρησιμοποιείται από την Κυκλαδίτικη κουλτούρα της πρώιμης εποχής του χαλκού, προήλθε από πηγές μεταλλεύματος από εκείνα τα νησιά (Stos-Gale 1989). Αυτά τα μέταλλα διανέμονται ευρέως σε όλο το Αιγαίο και στην ηπειρωτική Ελλάδα. Ενώ δεν έχουν εντοπιστεί οι πηγές χαλκού, από μελέτες της περιόδου αυτής, καταγράφονται ως σημαντικότερα κέντρα το Λαύριο και η Σίφνος (Wagner et al. 1980). Για τη περιοχή μεταλλείων του Λαυρίου στην Αττική, ιστορικές αναφορές την καθιστούν ως σημαντική πηγή ασημιού και μολύβδου κατά τη διάρκεια της πρώτης χιλιετίας π.χ. Υπάρχουν πολλά κοιτάσματα χαλκού στην εν λόγω περιοχή αλλά και στην υπόλοιπη ηπειρωτική Ελλάδα, ωστόσο, δεν εντοπίστηκαν οριστικά στοιχεία για προϊστορική εξόρυξη. Αυτό είναι λογικό λόγω της «καταστροφής» που πιθανώς να προκλήθηκε από την εξόρυξη μολύβδου και αργύρου κατά την αρχαϊκή, κλασική, ρωμαϊκή, ακόμα και σύγχρονη εποχή, όσον αφορά το Λαύριο. Πάντως έχει εντοπιστεί ένας φούρνος χαλκού-τήξης της πρώιμης εποχής του χαλκού κοντά στο Λαύριο (Theocharis 1952, 1954).

Πιο σημαντικά είναι τα αποτελέσματα των ισοτοπικών αναλύσεων μολύβδου, οι οποίες αποκαλύπτουν ότι το 70 % της μεταλλουργίας στα τέλη της εποχής του χαλκού στο Αιγαίο προέρχεται από μεταλλεύματα χαλκού από το Λαύριο (Stos-Gale 2000). Ενώ τα στοιχεία στο πεδίο που να το επιβεβαιώνουν εξακολουθούν να αγνοούνται, αυτά τα μεταλλεύματα φαίνεται να ήταν μια σημαντική πηγή χαλκού κατά τη διάρκεια της ύστερης εποχής του χαλκού και με κάποια χρήση στην πρώιμη εποχή του χαλκού (Gale και Stos-Gale 2002). Ελλείπει ημερομηνίας λειτουργίας, ο σημαντικότερος δείκτης των προϊστορικών στοιχείων στην εξόρυξη χαλκού είναι η ανακάλυψη στοιχείων τήξης σε περιοχές όπου πιστεύεται πως έλαβαν χώρα τέτοιες διαδικασίες. Συγκεντρώσεις σκωρίας από την επεξεργασία χαλκού κατά τη διάρκεια της πρώιμης εποχής του χαλκού εντοπίζονται σε 19 τοποθεσίες που επεκτείνονται από τη νότια ελληνική ηπειρωτική χώρα στις ανατολικές Κυκλάδες και νότια μέχρι τη Κρήτη. Η μεγαλύτερη συγκέντρωση εντοπίζεται στα νησιά της Κύθνου και της Σέριφου, με πρώιμες συγκεντρώσεις σκωρίας επίσης να καταγράφονται στην Αίγινα και στη Σίφνο (Catapotis 2007).

Η πιο σημαντική παραγωγή χαλκού μπορεί να προερχόταν από την Κύθνο. Τα αποτελέσματα ισοτόπων μολύβδου δείχνουν ότι αυτό το νησί παρείχε χαλκό σε όλο το Αιγαίο κατά τη διάρκεια της πρώιμης εποχής του χαλκού (Stos-Gale 1989, Bassiakos και Philaniotou 2007). Η εξόρυξη στη σύγχρονη εποχή οδήγησε στην ανακάλυψη αρχαίων εργασιών σε διάφορες τοποθεσίες, πολλές από τις οποίες έχουν καταστραφεί. Τα μεταλλεύματα χαλκού βρίσκονται κυρίως στα βορειοδυτικά,

βορειοανατολικά και ανατολικά μέρη του νησιού, συχνά σε εκτεθειμένα παράκτια ακρωτήρια (Bassiakos και Philaniotou 2007). Η πιο γνωστή από αυτές τις περιοχές τήξης είναι στη βορειοανατολική πλευρά του νησιού, όπου υπάρχει μια συγκέντρωση σκωρίας της τάξεως περίπου των 3.000 τόνων. Ραδιοχρονολογικές μεθόδους σε ευρήματα αγγειοπλαστικής δείχνουν δράση στη περιοχή αυτή από τη πρώιμη εποχή του χαλκού (Stos-Gale 1989).

Μια άλλη πιθανή πηγή βρίσκεται 2 χλμ νότια, στη περιοχή του Αγίου Ιωάννη, όπου εντοπίζεται ένα επιφανειακό ορυχείο και υποδεικνύει δραστηριότητα κατά την πρώιμη εποχή του χαλκού (Hadjianastasiou και Nicole 1988). Η εξόρυξη και η τήξη χαλκού έχει προσδιοριστεί και σε άλλες περιοχές της Κύθνου. Αυτά περιλαμβάνουν σωρούς από σκωρία στην βορειοδυτική πλευρά του νησιού, που είναι κοντά σε επιφανειακά μεταλλεία (Catapotis 2007, Bassiakos και Tselios 2012:155).

Τήξη χαλκού καταγράφεται επίσης στις τοποθεσίες του Κεφάλου και φούρνοι στη βόρεια ακτογραμμή της Σέριφου (Georgakopoulou et al. 2011). Αυτό το νησί έχει σημαντικές συγκεντρώσεις από δευτερογενή ορυκτά σιδήρου που εξορύσσονται στη σύγχρονη εποχή, με ενδείξεις επίσης των συνοδευτικών ορυκτών χαλκού. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι στο νότιο τμήμα του νησιού, ενώ οι περισσότεροι από τους πρώιμους σωρούς σκωρίας εντοπίζονται κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει την καταστροφή των πρώιμων περιοχών τήξης στις νότιες περιοχές. Η έρευνα πεδίου εντόπισε ορυκτά χαλκού κοντά στον σωρό Κεφάλου και σκωρίες, εντούτοις, κανένα πρόωρο ορυχείο δεν έχει προσδιοριστεί.

Γενικά, η συνολική εικόνα είναι πως υπήρχε μια μικρής κλίμακας εξόρυξη χαλκού σε ένα αριθμό νησιών του Αιγαίου κατά την τρίτη χιλιετία π.χ. Αυτό που φαίνεται είναι πως υπήρχε εκμετάλλευση μικρών επιφανειακών κοιτασμάτων, οξειδωμένων ορυκτών χαλκού όπως Αζουρίτη και Χρυσόκολλα αλλά δεν εντοπίζονται στοιχεία που να υποδεικνύουν τη χύτευση θειούχων μεταλλευμάτων καθώς απαιτούν σύνθετες διαδικασίες. Οι μέθοδοι εξόρυξης είναι αβέβαιες, καθώς οι εργασίες αυτές δεν έχουν διερευνηθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Θεωρείται απίθανο πάντως να χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της πυρομεταλλουργίας, δεδομένης της έλλειψη ξύλου σε αυτά τα νησιά. Αυτό μπορεί να υποδηλώνει εξάρτηση από την πέτρα και τα σφυριά για την κατεργασία, εντούτοις δεν μπορεί να είναι βέβαιο ένα τέτοιο συμπέρασμα.

Η περίοδος της μικρής κλίμακας παραγωγής χαλκού στα νησιά του Αιγαίου έληξε περίπου κατά τη δεύτερη χιλιετία π.χ. Αυτό οφειλόταν πιθανώς στην εξάντληση του διαθέσιμου χαλκού των κοιτασμάτων (Μπασσιάκος και Τσέλιος 2012). Η δραστηριότητα μεταλλουργίας συνεχίστηκε στο Αιγαίο κατά τη δεύτερη χιλιετία π.χ., όταν η εστίαση από την άποψη της προμήθειας χαλκού θα μετατοπιστεί σε ένα άλλο νησί, στην Ανατολική Μεσόγειο, στην Κύπρο.

Κύπρος το νησί του Χαλκού:

Κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού, στη λεκάνη της Μεσογείου εμφανίζεται και διαδίδεται ένα ευρύ εμπορικό δίκτυο μεταξύ των κυρίαρχων κρατών της εποχής, όπου εμπορεύονταν διάφορα αγαθά και ασφαλώς χαλκό, με την Κύπρο να έχει πρωταγωνιστικό ρόλο. Πριν προχωρήσω σε αυτή την ενότητα να αναφέρουμε αρχικά πως η αγγλική ονομασία του χαλκού, «Copper», προέρχεται από το λατινικό «Cuprum», λέξη που χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι για να κατονομάσουν το νησί της Κύπρου.

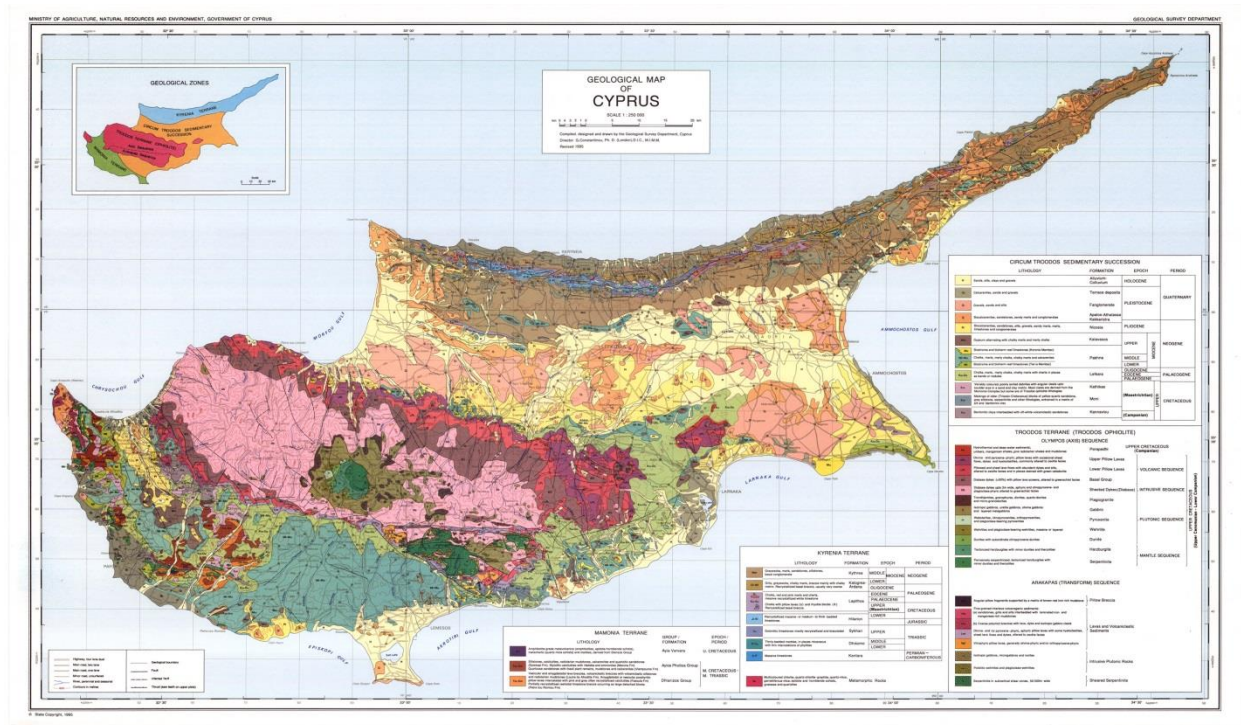
Η Κύπρος, αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα κέντρα παραγωγής, εξαγωγής και διανομής χαλκού της εποχής λόγω των πολύ πλούσιων κοιτασμάτων που φιλοξενούνταν στις γεωλογικές της δομές. Η Κύπρος είναι μία χαρακτηριστική περίπτωση Σουλφιδικής-Θειούχας δομής από ένα αλλόχθονο σύστημα που δημιουργήθηκε από τη σύγκρουση της Ευρασιατικής με την Αφρικανική πλάκα και την γρήγορη ανύψωση του οφιολιθικού συμπλέγματος, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί κομμάτι του ωκεάνιου φλοιού, δημιουργώντας έτσι την οροσειρά του Τροόδους.

Κατόπιν αυτές οι σουλφιδικές δομές που σχηματίστηκαν στο ένυδρο οφιολιθικό περιβάλλον και ανυψώθηκαν, καλύφθηκαν από νεότερο στρώμα ηφαιστειακών πετρωμάτων. Όμως, ο γρήγορος ρυθμός ανύψωσης της οροσειράς είχε ως συνέπεια στην μεγάλη διάβρωση των πετρωμάτων και την απομάκρυνση των ιζημάτων αποκαλύπτοντας τους πλούσιους θειούχους γεωλογικούς σχηματισμούς που χαρακτηρίζουν την οροσειρά του Τροόδους και είναι εμφανέστατοι σε όλη την ανάπτυξή του.

Επίσης, οι ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες του νησιού με τη πολύ έντονη βροχόπτωση σε διάστημα λίγων μηνών, προκάλεσε περαιτέρω διάβρωση των πετρωμάτων, καθίζηση εδαφών και βαθιές διεισδύσεις εντός των κατακερματισμένων πετρωμάτων. Με αυτό τον τρόπο αναπτύχθηκε ένα έντονο πορώδες στους γεωλογικούς σχηματισμούς, προκαλώντας τη δημιουργία υδάτινων καναλιών στο εσωτερικό και συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη δημιουργία ενός πλούσιου δασικού περιβάλλοντος.

Η χημική σύνθεση του Τροόδους γενικά είναι απλή με κυρίαρχο ορυκτό τον Σιδηροπυρίτη αλλά επίσης και με αρκετές παρουσίες χαλκοπυρίτη, σφαλερίτη και άλλων σουλφιδικών ορυκτών σε μικρότερες εμφανίσεις. Ορυκτολογικά, μοιάζει με θαλάσσιο περιβάλλον και έχει υποστεί δευτερογενή διάβρωση. Εδώ να αναφέρουμε πως ενώ παρόμοια πετρώματα κάνουν την εμφάνισή τους και στη περιοχή της Μεσοποταμίας, δηλαδή μοιάζουν με θαλάσσιο περιβάλλον και γι αυτό καλούνται «Τύπου Κύπρου», παρόλα αυτά δεν χαρακτηρίστηκαν από τόσο πλούσιες εμφανίσεις χαλκού λόγω της μη ύπαρξης δευτερογενούς διάβρωσης που πραγματοποιήθηκε στη Κύπρο. Αυτή

μπορεί να προέρχεται ακόμα και από τον ατμοσφαιρικό αέρα όπου στη Κύπρο λόγω του κλίματος και τις έντονες βροχοπτώσεις παρουσιάζεται αρκετά υγρός ενώ σίγουρα στη περιοχή της Μεσοποταμίας είναι σαφώς πιο ξηρός ακόμα και εκείνη την εποχή που κατά κάποιο τρόπο οι κλιματολογικές συνθήκες δεν ήταν ακριβώς ίδιες με σήμερα.



Εικόνα 23 Γεωλογικός χάρτης Κύπρου (Cyprus Geological Survey

Department).

Με αυτό τον τρόπο λοιπόν, στη Κύπρο δημιουργήθηκε ένα φιλόξενο σε χαλκό περιβάλλον όπου σε συνδυασμό με τη πλούσια ξυλεία του νησιού που συνέβαλε καθοριστικά ως καύσιμο στη πυρομεταλλουργία και στην τήξη, οικοδομήθηκε ένας βασικός παραγωγός και εξαγωγέας χαλκού στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

Εκείνη την εποχή η Κύπρος ήταν γνωστή με την ονομασία Alashiya και θεωρείται προ-μυκηναϊκής κατάκτησης του νησιού. Η Κύπρος ήταν μία από τις σημαντικότερες πηγές χαλκού για την ανατολική Μεσόγειο. Παρόλα αυτά, σε σύγκριση με άλλες περιοχές που διέθεταν κοιτάσματα χαλκού, όπως οι Κυκλάδες, η Παλαιστίνη και η Ανατολία, η μεταλλευτική βιομηχανία αναπτύσσεται αργά στην Κύπρο. Αυτό οφείλεται στον τύπο των ορυκτών της Κύπρου, που μάλλον στο παρελθόν πιθανώς να υπήρχαν μικρές ποσότητες μαλαχίτη και άλλων ανθρακικών ορυκτών του χαλκού, τα κοιτάσματα χαλκού της Κύπρου είναι θειούχα. Η εξαγωγή μετάλλων από θειούχα

μεταλλεύματα είναι πολύπλοκη και ως εκ τούτου έπεται της παραγωγής μετάλλου από ανθρακικά μεταλλεύματα, που είναι απλούστερη.



Εικόνα 24: Άποψη τμήματος της οροσειράς του Τροόδους, που αποτελεί ένα μέρος του ωκεάνιου φλοιού.



Εικόνα 25: Κοιτάσματα κίτρινης και κόκκινης ώχρας στο Μεταλλείο Μιτσερό (επαρχία Λευκωσίας).



Εικόνα 26: Ρέμα στην τοποθεσία Αλμυρά (Αγία Βαρβάρα-επαρχία Λευκωσίας) που πλημμυρίζει κατά τη διάρκεια των χειμερινών βροχών. (Cyprus Copper Itinerary, 2015).

Τα αρχαιότερα μεταλλικά αντικείμενα του νησιού χρονολογούνται στη Χαλκολιθική εποχή, δηλαδή γύρω στα μέσα της 4ης χιλιετίας π.Χ. Είναι λιγοστά και κατασκευασμένα από αυτοφυή χαλκό με απλή μηχανική επεξεργασία. Προς το τέλος της Χαλκολιθικής εμφανίζονται τα πρώτα απλά χυτά αντικείμενα, τα οποία εξακολουθούν να είναι κατασκευασμένα από αυτοφυή χαλκό.

Κατά την ύστερη εποχή του χαλκού η μεταλλουργία αναπτύχθηκε σημαντικά. Μεταξύ άλλων φαίνεται πως ανακαλύφθηκαν οι φυσητήρες και τα ακροφύσια ενώ βελτιώθηκε το σχήμα των καμίνων, με αποτέλεσμα την επίτευξη ψηλότερων θερμοκρασιών και πιο αναγωγικών συνθηκών.

Οι πρώτοι μεταλλωρύχοι στην Κύπρο, είχαν στοχεύσει σε κοιτάσματα του δευτερογενούς εμπλουτισμένου μεταλλεύματος κάτω από τη επιφανειακή ανάπτυξη του gossans. Υπάρχουν άφθονα ίχνη εξόρυξης χαλκού στην Κύπρο που χρονολογούνται από την Πρώιμη εποχή του χαλκού μέχρι και τη Ρωμαϊκή εποχή.

Πιθανά ορυχεία χαλκού και συγκεντρώσεις σκωρίας από εργασίες χύτευσης χαλκού καταγράφονται σε πολλές τοποθεσίες της οροσειράς του Τροόδους. Αυτά περιλαμβάνουν τις περιοχές όπως το Σταυροβούνι, Απλίκι, Σκουριώτισσα, Μιτσερό, Αγροκηπιάς, Κάμπος της Τσακκίστρας, Μαθιάτης, Σια, Καλαβασό, Παρεκκλησιά κ.α.

Το εκ νέου άνοιγμα αυτών των θέσεων στις αρχές του εικοστού αιώνα αποκάλυψε αποδεικτικά στοιχεία προηγούμενων εξορύξεων σε πολλά κοιτάσματα. Αρχαίες στοές, φρέατα, συμπεριλαμβανομένων πολλών με την ξυλεία που τα υποστήριζε βρέθηκαν μαζί με αρχαία εργαλεία εξόρυξης συμπεριλαμβανομένων σκάλες, σχοινιά, σφυριά, σφήνες, καλάθια, φτυάρια και λάμπες λαδιού. Ασφαλώς πολλά από αυτά τα ευρήματα πιθανώς να χρονολογούνται από τη Ρωμαϊκή περίοδο, κατά την οποία διεξήχθη ξανά εκτενής εξόρυξη χαλκού στο νησί. Η επιφανειακή εξόρυξη στη σύγχρονη εποχή κατέστρεψε μεγάλο μέρος αυτών των στοιχείων, αν και μερικά αρχειοθετήθηκαν (Davies 1928-30, Bruce et al. 1937). Καμία συστηματική μελέτη αυτής της πρώιμης μεταλλουργίας δεν έχει αναληφθεί ούτε έχουν χρονολογηθεί ακριβώς. Μία από τις δυσκολίες έγκειται στη διάκριση των προϊστορικών ορυχείων της εποχής του χαλκού και των ορυχείων κατά την Ελληνιστική και Ρωμαϊκή περίοδο.



Εικόνα 27: Στοά Μεταλλείου, Μαθιάτης (επαρχία Λευκωσίας) (Cyprus Copper Itinerary, 2015).



Εικόνα 28: Ανακατασκευασμένη Κάμινος στην θέση Αλμυράς (Cyprus Copper Itinerary, 2015).

Επίσης ξεκίνησε η συστηματική χρήση των συλλιπασμάτων, που οδήγησε στην παραγωγή σκωριών με χαμηλότερο σημείο τήξεως και ιξώδες, με αποτέλεσμα τον καλύτερο διαχωρισμό του μετάλλου από τη σκωρία. Παράλληλα, αναπτύσσεται η απαραίτητη τεχνογνωσία για την εξαγωγή χαλκού από θειούχα μεταλλεύματα. Αυτοί είναι οι λόγοι για τους οποίους η παραγωγή χαλκού στην Κύπρο, αν και αρχίζει ήδη από την Πρώιμη εποχή του χαλκού, εντατικοποιείται και αυξάνεται ουσιαστικά αυτή την περίοδο.

Με πολλά από τα πρώτα ορυχεία τώρα να έχουν καταστραφεί, τα σημαντικότερα στοιχεία για την πρόωρη παραγωγή χαλκού στην Κύπρο προέρχονται από την ανακάλυψη της σκωρίας σε σωρούς στην ευρύτερη περιοχή του οροπεδίου. Όπως αναφέραμε, η επιτόπια έρευνα εντόπισε σημαντικά ίχνη της δραστηριότητας τήξης σε πολλές περιοχές. Περίπου 40 συγκεντρώσεις σκωρίας χαλκού-τήξης καταγράφονται στους σχηματισμούς κατά μήκος της οροσειράς του Τροόδους (*Κωνσταντίνου 2012*). Αυτές οι συγκεντρώσεις μπορεί να περιέχουν συνολικά 4.000.000 τόνους σκωρίας που κατατέθηκαν σε πάνω από 3.000 έτη από την εποχή του χαλκού, ενώ μέχρι τη Ρωμαϊκή περίοδο υπολογίζεται πως παράχθηκαν 200.000 τόνοι χαλκού στο νησί (*Κωνσταντίνου 1982*). Αυτές οι συγκεντρώσεις σκωρίας μπορεί να βρίσκονται σε κάποια απόσταση από τα ορυχεία .

Η Κύπρος ήταν ένα από τα πρώτα μέρη της Ευρώπης όπου ο χαλκός παρήχθη από την τήξη των θειούχων μεταλλευμάτων χρησιμοποιώντας μια προηγμένη τεχνολογία επικαθίσεων. Αυτό αναπτύχθηκε από μια πρώιμη τεχνολογία ενός σταδίου τήξης του φρυγμένου μεταλλεύματος. Αυτή η πρωτόγονη τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε κατά την πρώιμη εποχή του χαλκού αλλά μικρές ποσότητες χαλκού παρήχθησαν από τη Κύπρο. Η κλίμακα της παραγωγής άλλαξε με την υιοθέτηση νέων μεθόδων τήξης κατά το δέκατο έκτο αιώνα π.χ. Η εισαγωγή της διαδικασίας χύτευσης με φυσητήρες για υψηλότερες θερμοκρασίες και με βελτιωμένη ροή επιτρέπει πιο αποτελεσματικό διαχωρισμό του μετάλλου από το υπόλοιπο. Δεν είναι γνωστό αν αυτό ήταν τοπική ανάπτυξη ή ήταν αποτέλεσμα επαφών με την Ανατολία ή άλλων περιοχών ωστόσο εκεί ο χαλκός είχε εξαχθεί από θειούχα μεταλλεύματα σε σχετικά πρώιμο στάδιο. Ένα από τα πρώτα εργαστήρια τήξης χαλκού στη Κύπρο είναι στις Φοράδες (*Κασσιανίδου 1999, 2012*). Η τοποθεσία βρίσκεται περίπου μισό χιλιόμετρο από μια μικρή συγκέντρωση μεταλλεύματος χαλκού με την ονομασία Κοκκινόροτσος, όπου υπάρχει ένα μεγάλος σχηματισμός gossan. Οι αρχαιολογικές ανασκαφές αποκάλυψαν κατ 'εκτίμηση τρεις τόνους πρωτογενούς σκωρίας χαλκού και αρκετά αντικείμενα και χρονολογούνται από το 1600 – 1400 π.χ. ενώ υπολείμματα των κυλινδρικών δομών φούρνων φτιαγμένοι από πηλό ανακαλύφθηκαν επίσης στο χώρο μαρτυρώντας τις επαφές από εκείνη την εποχή.

Συνεχίζοντας λοιπόν και με την εξέλιξη της μεταλλουργίας συνεχώς, εισάγεται ο κασσίτερος για την παραγωγή μπρούντζου. Ενώ αρχικά ο κασσίτερος εξορύχτηκε σε περιοχές της σημερινής

Τουρκίας και του Αφγανιστάν, κύριος παραγωγός της εποχής εμφανίζεται να είναι η περιοχή Nuzi της Μεσοποταμίας. Αυτό το γνωρίζουμε γιατί έχουν εντοπιστεί πολλά ευρήματα και θραύσματα γυαλιού της εποχής και φαίνεται πως κατασκευάζονταν από παραπροϊόντα της επεξεργασίας κασσιτέρου όπως χαλαζιακή άμμος και τοπάζιο (Jones 2007).

Ο κασσίτερος γενικά είναι εύκολα αναγνωρίσιμος και επεξεργάσιμος και για αυτό το λόγο ήταν αρκετά πιο φθηνός από τον χαλκό. Αυτό ασφαλώς είναι υπέρ των Κυπρίων παραγωγών χαλκού καθώς φαίνεται πως εισήγαγαν φτηνό κασσίτερο από την ανατολή και ακολούθως τον εξήγαγαν, αρχικά στην Αίγυπτο και αργότερα στη δύση, κυρίως σε μορφή μπρούντζου.

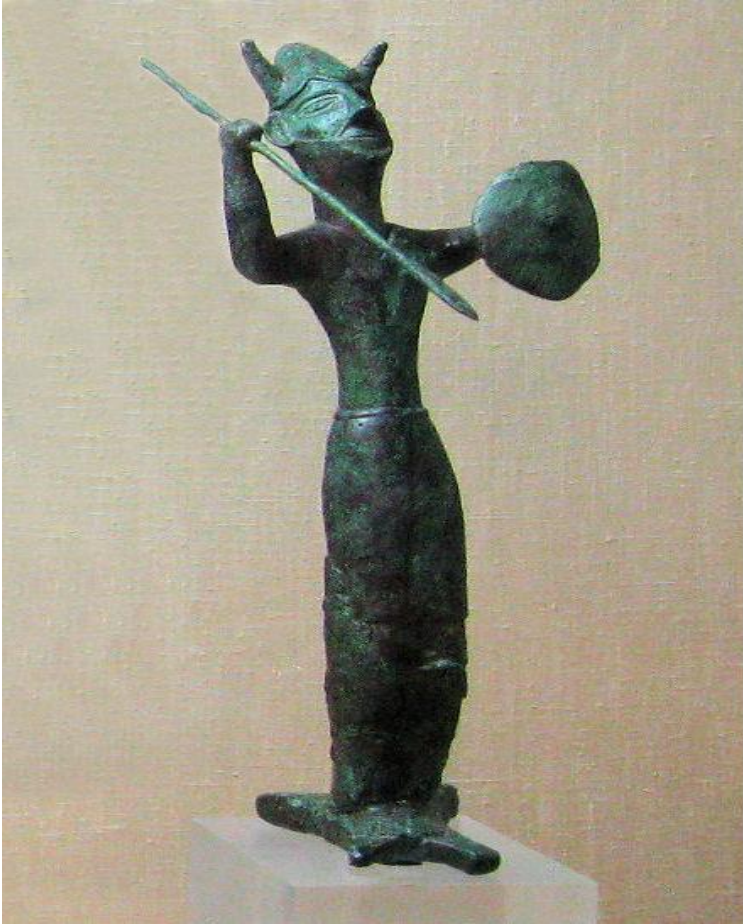
Όπως είναι αναμενόμενο η Κύπρος πλουτίζει, με ευρήματα από πολυτελείς τάφους της εποχής και ανέγερση πόλεων να το επιβεβαιώνουν. Επίσης αυτή την εποχή ιδρύονται, τόσο στα παράλια όσο και στην ενδοχώρα μεγάλα αστικά κέντρα, με μνημειακή αρχιτεκτονική και πολεοδομική οργάνωση. Πόλεις όπως η Έγκωμη, το Κίτιο και μία αρχαία πόλη κοντά στο Χαλά Σουλτάν Τεκκέ στη Λάρνακα εξελίσσονται σε σημαντικά εμπορικά λιμάνια. Την ίδια περίοδο εμφανίζεται για πρώτη φορά ένα σύστημα γραφής, που λόγω της ομοιότητάς του με τη Γραμμική Α της Κρήτης, ονομάστηκε Κυπρομινωική γραφή.

Η μνημειακή αρχιτεκτονική, οι μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι, η γραφή, οι πλούσιοι τάφοι και άλλα στοιχεία μαρτυρούν την ύπαρξη μιας πολιτιστικά και οικονομικά ανεπτυγμένης κοινωνίας. Κοινωνικές δραστηριότητες και θρησκευτικές δοξασίες τιμούν τη σπουδαιότητα αυτού του χαλκού στη κοινωνία τους. Πολλά από αυτά τα ευρήματα που εντοπίστηκαν, υποδεικνύουν ένα είδος συμβίωσης της Κυπριακής κοινωνίας με τη Μινωική Κρήτη.

Η πληθώρα εισαγόμενων αγαθών που έχουν βρεθεί στην Κύπρο αλλά και οι μεγάλες ποσότητες κυπριακών προϊόντων, όπως κεραμικά, που έχουν βρεθεί σε πολλές θέσεις της ανατολικής και κεντρικής Μεσογείου δείχνουν πως οι Κύπριοι είχαν στενές σχέσεις με όλους τους μεγάλους πολιτισμούς της εποχής, όπως τους Αιγυπτίους, τους Χετταίους, τους Μυκηναίους και άλλους. Το νησί, λόγω της γεωγραφικής του θέσης και του φυσικού του πλούτου, διαδραμάτιζε μάλιστα έναν σημαντικό ρόλο στο πολύπλοκο πολιτικό-οικονομικό δίκτυο που αναπτύχθηκε στην ανατολική Μεσόγειο.

Τέλος, η κλίμακα παραγωγής χαλκού στην Κύπρο από την Ύστερη Εποχή του Χαλκού μέχρι τις Ρωμαϊκές εποχές είχε σοβαρές περιβαλλοντικές συνέπειες για το νησί. Η παραγωγή περίπου 200.000 τόνων μεταλλικού χαλκού για πάνω από δύο χιλιετίες εκτιμάται ότι χρειάστηκαν περίπου 60 εκατομμύρια τόνους άνθρακα σαν καύσιμα για την τήξη. Σύμφωνα με μια εκτίμηση, αυτό απαιτεί την υλοτομία μέχρι 1,2 εκατομμύρια κυβικά μέτρα ξύλου, που αντιστοιχούν σε 150.000

τετραγωνικά χιλιόμετρα δάσους σε ένα νησί που έχει μόνο 9.300 τετραγωνικά χιλιόμετρα σε έκταση (Κωνσταντίνου 1982). Δεν είναι δυνατόν να εξεταστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις με περισσότερες λεπτομέρειες, καθώς δεν υπάρχουν αρκετά αρχεία περί αυτού για το νησί. (Konstantinou και βιβλιογραφικές αναφορές, 2012)



Εικόνα 29:Χάλκινο αγαλματίδιο που αναπαριστά Αρχαία Θεότητα του Χαλκού να στέκει πάνω σε ένα χάλκινο τάλαντο, Έγκωμη-Κύπρος, Αρχαιολογικό Μουσείο Λευκωσίας, ([https://en.wikipedia.org/wiki/Oxhide ingot](https://en.wikipedia.org/wiki/Oxhide_ingot))



Εικόνα 30: Τετράπλευρος χάλκινος υποστάτης από το Κούριο (Βρετανικό Μουσείο, Λονδίνο). (Cyprus Copper Itinerary, 2015).

Τάλαντα Χαλκού –Εμπόριο:

Όπως έχουμε αναφέρει, η χρήση του χαλκού ήταν γνωστή από τα πρώτα στάδια της αστικοποίησης του ανθρώπου και η μετάβαση από τη λίθινη εποχή στην εποχή του χαλκού είναι μία μεταβατική περίοδος χιλιάδων ετών που μπορεί να αναφερθεί και ως Χαλκολιθική εποχή, παρόλο που δεν θεωρείται επίσημα ως μέρος του συστήματος των τριών εποχών.

Η έναρξη της εποχής του χαλκού χρονολογείται από την 3η-4η χιλιετία π.χ., με την αυξανόμενη χρήση του χαλκού και την ανάπτυξη πιο σύνθετων αστικών πολιτισμών, αρχικά στην Αίγυπτο και στη Μεσοποταμία και κατόπιν δυτικότερα. Τότε είναι που αναπτύσσονται μεταλλουργικές τεχνικές εξόρυξης μετάλλων από φυσικά κοιτάσματα ενώ το εκτεταμένο εμπορικό δίκτυο που εμφανίζεται εκτείνεται σε όλη τη λεκάνη της Μεσογείου και κορυφώνεται κατά την Ύστερη εποχή. Εκείνη την περίοδο, τον 17ο αιώνα π.χ κάνουν την εμφάνισή τους στο χώρο της Μεσογείου τα λεγόμενα Χάλκινα Τάλαντα, Ox-hide Ingots. Τα τάλαντα είναι μεταλλικές “πλάκες”, συνήθως από χαλκό ενώ υπάρχουν και μερικές περιπτώσεις όπου έχουν βρεθεί τάλαντα φτιαγμένα από κασσίτερο. Αυτά, παράγονταν και διανέμονταν ευρέως κατά την ύστερη εποχή του χαλκού και αναμφισβήτητα πρόκειται για αντικείμενα σημαντικής αξίας για της κοινωνίες εκείνες.



Εικόνα 31:Αριστερά Χάλκινο τάλαντο από την Έγκωμη-Κύπρος (Κυπριακό Μουσείο, Λευκωσία).

Δεξιά Χάλκινο τάλαντο από Κρήτη-Ζάκρος (Αρχαιολογικό Μουσείο Κρήτης, Ηράκλειο).

https://en.wikipedia.org/wiki/Oxhide_ingot.

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί με την μελέτη αυτών των αντικειμένων εξάγοντας σημαντικά συμπεράσματα περί αυτών. Όπως είπαμε, τα περισσότερα τάλαντα αποτελούνται σχεδόν από καθαρό χαλκό και με μικρές περιεκτικότητες άλλων μετάλλων όπως κασσίτερος. Ακόμα, εντός αυτών βλέπουμε πως έχουν εντοπιστεί μικροποσότητες αρσενικού όπως μπορεί να δει κανείς στο πιο κάτω παράδειγμα (Kassianidou 2009 και βιβλιογραφικές αναφορές) .

Table 1. Chemical Analysis (AAS and OES) of oxhide ingot from Enkomi now at the British Museum. Concentration given in weight % (Table I in Muhly et al. 1980: 91).

	Cu	Al	Sb	As	Ca	Co	Fe	Pb	Mg	Mn	Ni	Si	Ag	Sn	Ti	Zn
AAS	98,5	Nd	-	0,40	Nd	0,09	0,14	0,015	Nd	Nd	0,07	Nd	0,01	-	Nd	nd
OES	98,8	0,03	0,1	0,3	0,09	0,1	0,3	0,03	0,09	0,003	0,1	0,3	0,009	0,01	0,03	-

Table 2. Chemical Analysis (NAA) of oxhide ingot from Enkomi now at the British Museum. Concentration given in weight % (Table 2 in Muhly et al. 1988: 286).

	As	Sb	Ag	Au	Co	Se	Te
Enkomi BM	0,37	0,0080	0,025	0,0013	0,1	0,0018	0,0084

Table 3. Chemical Analysis (OES) of oxhide ingot from Enkomi now in the Cypriot collection of Harvey Mudd College, Claremont California (Table II in Muhly et al. 1980: 91).

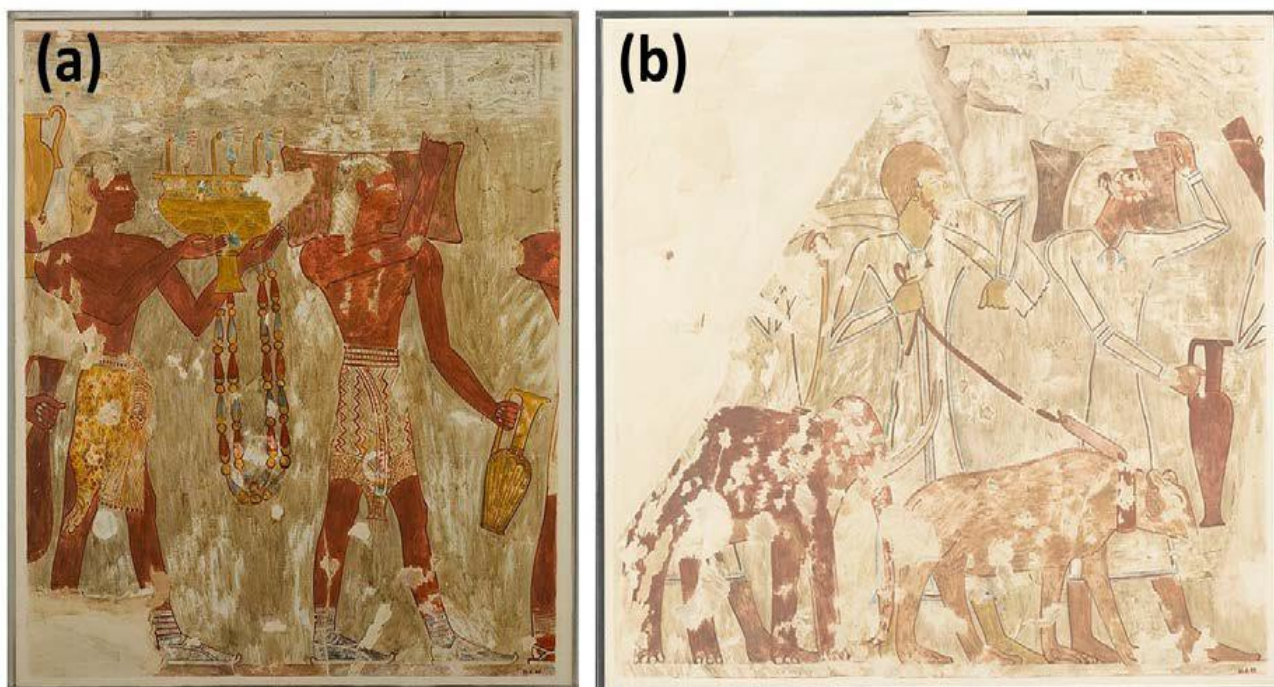
Al	Sb	As	Ca	Co	Fe	Pb	Mg	Mn	Ni	Si	Ag	Sn	Ti	Zn
0,05	0,01	0,3	-	-	0,3	0,03	0,1	<0,001	-	0,3	0,01	-	-	-

Εικόνα 32: Χημικές αναλύσεις σε τάλαντα από Έγκωμη που βρίσκονται στο Βρετανικό Μουσείο.

(Kassianidou 2009, page 45, Oxhide ingots in Cyprus, Muhly et al.).

Το σχήμα τους μοιάζει με δέρμα βοδιού με τέσσερις προεξοχές-λαβές. Το 1959 ο Buchholz, σε μια διεξοδική μελέτη για τα μέχρι τότε γνωστά τάλαντα, έδειξε ότι τα πρωταρχικά από αυτά είχαν ένα σχήμα σχεδόν ορθογώνιο, και πως το σχήμα με τις τέσσερις «λαβές» που παρατηρείται σε αρκετά, αποτελούσε εξέλιξη της αρχικής μορφής τους. Στην εικόνα 33 βλέπουμε τις διαφορές στο σχήμα, όπου το Τάλαντο από Ζάκρο Κρήτης, που χρονολογείτε πιο παλιό, από τον 17^ο αιώνα, δεν φανερώνει τόσο διακριτές λαβές σε σχέση με το Κυπριακό Τάλαντο από την Έγκωμη το οποίο θεωρείται πιο πρόσφατο, 13^ο-12^ο αιώνα. Παρομοίως τα πιο σύγχρονα τάλαντα έχουν πιο διακριτές λαβές σε σχέση με τα παλαιότερα που έχουν εντοπιστεί.

Η εξέλιξη του σχήματός τους, πιθανότατα είχε σκοπό στο να διευκολύνει τη μεταφορά των ταλάντων με τη δημιουργία των λαβών και κοίλων πλευρών ενώ παράλληλα διευκόλυνε τη μεταφορά τους και την αποθήκευσή τους στα αμπάρια των πλοίων. Η τραχιά τους υφή που τα χαρακτηρίζει στην επιφάνειά τους, είναι μάλλον αποτέλεσμα των συνθηκών χύτευσης, δηλαδή της γρήγορης στερεοποίησης του μετάλλου όταν αυτό ερχόταν σε επαφή με τον αέρα. Με άλλα λόγια, η ομοιότητα των ταλάντων με το δέρμα ενός βοδιού είναι τυχαία και όχι σκόπιμη.



Εικόνα 33: Απεικονίσεις ξένων που μεταφέρουν χάλκινα τάλαντα. (α) Μινωική ή Μυκηναϊκή, (β) Συριανή. (de Garis Davies 1943). Αναπαράσταση από τάφο του 15^{ου} αιώνα π.χ. (Keftiu-Αίγυπτος). (Javier Gimenez, UPC Barcelona).

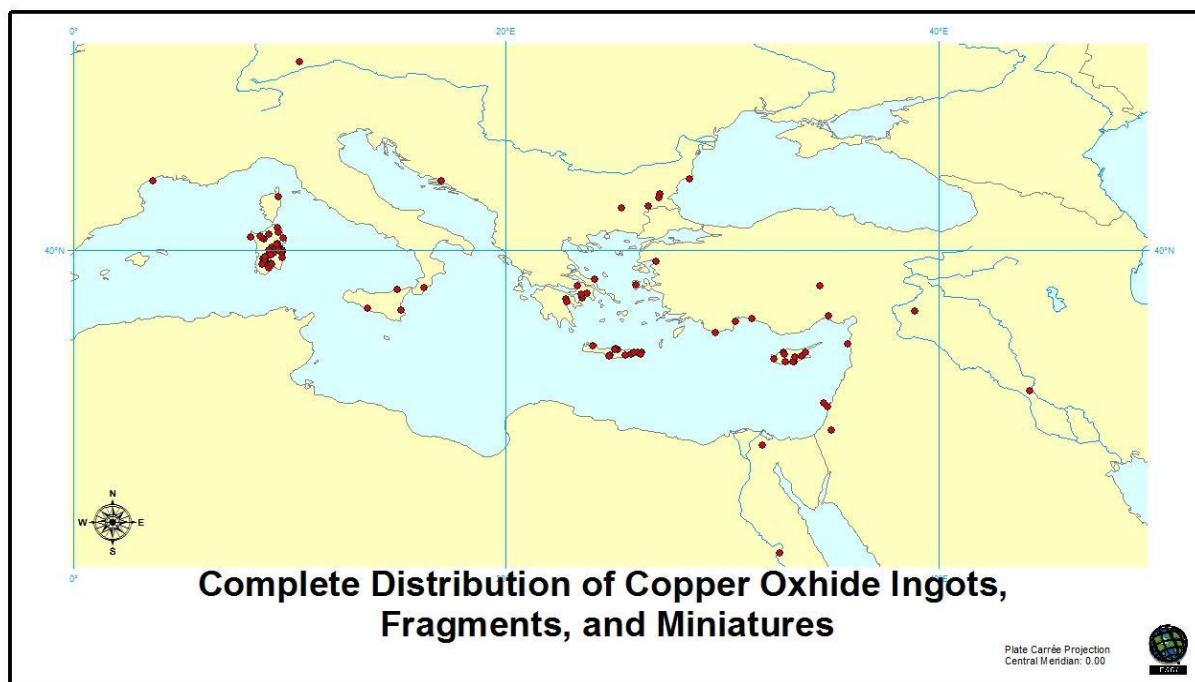
Η εμφάνιση των τάλαντων αντιστοιχεί στην αρχή του εκτεταμένου εμπορίου στη Μεσόγειο. Τα παλαιότερα τάλαντα που εντοπίζονται χρονολογούνται γύρω στο 1600 πχ και προέρχονται από τη Μινωική Κρήτη, ενώ η εμφάνιση τους διακόπτεται οριστικά κοντά στο τέλος της χιλιετίας με τα νεότερα να προέρχονται από το νησί της Σαρδηνίας (J.D. Mulhy et al).

Ένα σημαντικό δεδομένο σχετικά με τα τάλαντα χαλκού που πρέπει να αναφέρουμε, είναι πως αυτά δεν προέρχονται από κατεργασία αυτοφυή χαλκού, αλλά από χαλκό που έχει εξορυχτεί από διάφορα κοιτάσματα, ανθρακικής, πυριγενής ή σουλφιδικής φύσεως, γεγονός που μαρτυρά πως η μεταλλουργία εκείνη την εποχή και οι τεχνικές εξόρυξης και τήξης των μετάλλων ήταν γνώσεις ευρέως διαδεδομένες στον πολιτισμένο κόσμο της Μεσογείου.

Έχουν ανακαλυφθεί πληθώρα αυτών των αντικειμένων σε πλήρη μορφή αλλά και θραύσματά τους σε Κρήτη, Κύπρο, Πελοπόννησο, Σαρδηνία, Αίγυπτο, Χαττούσα (αρχαία Χιττική πρωτεύουσα – σημερινή κεντρική Τουρκία) και γενικότερα στη λεκάνη της Μεσογείου. Στην εικόνα 35 βλέπουμε σημεία που έχουν εντοπιστεί.

Επίσης, πέρα από τα ανακαλυφθέντα τάλαντα στις διάφορες τοποθεσίες, έχει εντοπιστεί και ένας μεγάλος αριθμός ταλάντων μέσα στα αμπάρια από τα δύο ναυάγια της εποχής που έχουν

ανακαλυφθεί ανοιχτά των τουρκικών ακτών. Πρόκειται για τα ναύαγια Uluburun, που χρονολογείται από τον 14^ο αιώνα και το ναύαγιο Cape Gelidonya που χρονολογείται περίπου στον 13^ο αιώνα Π.Χ.



Εικόνα 34: Κατανομή Ταλάντων και θραυσμάτων τους που έχουν εντοπιστεί (Alaina M. Kaiser 2013).

Ενώ αρχικά υποστηρίχθηκε από τον Cemal Pulak, ο οποίος είχε μελετήσει τα βάρη των τάλαντων του ναυαγίου Uluburun, πως αντιστοιχούσαν σε κάποιο είδος νομίσματος, αργότερα όμως η μελέτη από τον George Bass σχετικά με το ναύαγιο του Cape Gelidonya, έδειξε πως υπήρχαν διαφορετικά μεγέθη ταλάντων, οπότε μάλλον δεν χρησιμοποιούνταν ως κάποιας μορφής νόμισμα. Βέβαια αυτό το γεγονός δεν αναιρεί πως τα τάλαντα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για συναλλαγματικές διαδικασίες.

Ακολουθως, μία μελέτη από τη Βασιλική Κασσιανίδου πάνω σε θραύσματα που έχουν εντοπιστεί στη Σαρδηνία, πολλά από αυτά βρέθηκαν να βρίσκονται σε εστίες αρχαίων μεταλλουργικών εργαστηρίων ενώ παράλληλα γνωρίζουμε πως η Σαρδηνία δεν έχει αποθέματα, οπότε δεν γινόταν και εξόρυξη. Βάση αυτών των στοιχείων η Βασιλική Κασσιανίδου καταλήγει στο συμπέρασμα πως αυτά τα αντικείμενα μάλλον προορίζονταν περισσότερο προς χρήση και όχι για τη διατήρησή τους ως προϊόντα κύρους, πολυτελείας ή νομισματικής χρήσης. Ωστόσο αν κρίνουμε από αναπαραστάσεις, αγγεία, τεχνουργήματα και θεότητες στεκούμενες πάνω σε χάλκινα τάλαντα όπως

είδαμε πιο πάνω με το χάλκινο αγαλματίδιο θεότητας που βρέθηκε στην Έγκωμη (εικόνα 30), μαρτυρούν πως ασφαλώς αποτελούσαν σημαντικά υλικά αγαθά, αρκετά μεγάλης δυναμικής για τους κατόχους τους.

Ο Jones (2007) συνδέει τα τάλαντα με τα Μινωικά παλάτια, σύμφωνα με τα απομεινάρια που εντοπίστηκαν σε Αγία Τριάδα, Ζάκρο, Παλαιόκαστρο και άλλες τοποθεσίες της Κρήτης και χρονολογούνται περίπου από τον 17ο και 16ο αιώνα, παρόλο που και ο τρόπος κατασκευής αλλά και οι πηγές παραμένουν άγνωστες.

Ο Noel H. Gale στη δική του έρευνα με ισοτοπικές αναλύσεις μολύβδου που πραγματοποιήθηκαν σε τάλαντα από Κύπρο, Ελλάδα, Κρήτη, Σαρδηνία, Τουρκία και Βουλγαρία, συμπεραίνει πως ο χαλκός που χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή των τάλαντων προέρχεται αποκλειστικά από ορυχεία της Κύπρου και πιο συγκεκριμένα από θέσεις που βρίσκονται κοντά στο χωριό Απλίκι της επαρχίας Λευκωσίας.

Ωστόσο, η Βασιλική Κασσιανίδου διατηρεί επιφυλάξεις ως προς αυτό το συμπέρασμα καθώς ούτε στην Κύπρο έχουν εντοπιστεί ακόμα οι θέσεις εργαστηρίων και τα στοιχεία που να δικαιολογούν μία τόσο εκτεταμένη παραγωγή, καθώς επίσης θεωρείται βέβαιο πως γενικά οι μεταλλουργικές γνώσεις στη Κύπρο άργησαν να έρθουν σε σχέση με τις γύρω περιοχές. Πάνω σε αυτό, όπως προαναφέραμε, η θειούχα μορφή που εμφανίζεται στα περισσότερα κυπριακά μεταλλεύματα απαιτεί πιο εξειδικευμένες γνώσεις και πρακτικές από αυτές της πρώιμης μεταλλουργίας που εμφανίστηκαν στην Ύστερη εποχή του χαλκού, ώστε να μπορέσουν οι κύπριοι παραγωγοί να εκμεταλλευτούν τα πλούσια κοιτάσματα. Ωστόσο, κατά τον 13ο αιώνα, είναι γενικά αποδεκτό από την Ιστορική και Επιστημονική κοινότητα πως οι Κύπριοι παραγωγοί και έμποροι κυριαρχούσαν στα λιμάνια της Μεσογείου.

Η Alaina M. Kaiser στη δικιά της δημοσίευση το 2013, συμφωνεί πως τα αρχαιότερα ευρήματα από τάλαντα που εντοπίστηκαν είναι αυτά της Κρήτης, γύρω στο 1650 πχ και θέτει και αυτή το ερώτημα για το ποιες ήταν οι πηγές των ντόπιων παραγωγών αφού σήμερα οι εμφανίσεις χαλκού στο νησί φαίνονται για την ώρα περιορισμένες. Επίσης, αναφέρει πως διακρίνονται κάποια σημάδια, σημάνσεις, όπως για παράδειγμα σταυροί, κύκλοι, γενικά γεωμετρικά και άλλα σύμβολα τα οποία προφανώς έχουν χαραχτεί όταν το μέταλλο ήταν ακόμα υγρό. Αυτά τα σύμβολα πιθανό να μαρτυρούν είτε την καταγωγή είτε τον προορισμό που είχαν τα Τάλαντα που παρασκευάζονταν. Το πρώτο σενάριο είναι σαφώς πιο πιθανό αφού παρόμοια σημάδια εντοπίζονται σε αγγεία και κεραμικά οπότε καταλήγει στο συμπέρασμα πως μάλλον πρόκειται για κάποιου είδους «σφραγίδα» του εκάστοτε παραγωγού.

Site	Object	Date	Context	Associated Finds	Other Notes	Marks	References
Gournia	4 Fragments	c. 1500-1450	Units Ea & Fg, house Cg. Possible workshop.	Metal fragments; tool molds; metallurgy tools; slag; stone crucible?	Highly industrial area.	0	Betancourt et al. 1978:7-8; Hakulin 2004:39; Gale & Stos-Gale 1999: 273; Muhly 1979: 91
Hagia Triadha	19 Type 1 ingots	c. 1600-1550	Palace storeroom.	n/a	Unmatchable chemical composition.	8 Ingots bear marks.	Buchholz 1959:32-34; Evelyn 2000:343, 345; Rutter 1999:151, n.18; Stos-Gale and Gale 1990:79-80
Hagia Triadha	½ Type 2 ingot	c. 1600-1550	Palace storeroom.	n/a	Possibly later date.	0	Buchholz 1959:32-34; Evelyn 2000:343, 345; Rutter 1999:151; Stos-Gale and Gale 1990:79-80
Hagia Triadha	¼ Type 2 ingot	c. 1600-1550	Palace storeroom.	n/a	Possibly later date.	0	Buchholz 1959:32-34; Evelyn 2000:343, 345; Rutter 1999:151; Stos-Gale and Gale 1990:79-80
Khania	3 Fragments	c.1500-1200	n/a	n/a		0	Gale 1991:202; Jones 2007:Appendix II
Knossos	1 Fragment	c. 1600-1400	"Long Corridor of the magazines," storeroom.	n/a	Possible metallurgy workshop nearby.	0	Buchholz 1959:31; Gale 1991:202; Mangou & Ioanou 2000:208
Kommos	6 Type 2 & 3 fragments	1350-1250	Building N (administrative?); residential areas.	Metallurgical tools and debris.	Sourced to Cyprus.	0	Rutter 1999:140-141; Muhly 1988: 471-472, Pl.A
Mochlos	Intact ingot	c.1500-1450	Buildings A & B, workshop/"ceremonial center."	Bronze objects.		0	Soles & Davaras 1994:414-419, Soles et al 2004:46-47, Fig. 19; Soles & Davaras 1996:175-230
Mochlos	Half ingot, fragments (15 kg)	c. 1500-1450	Hoard/throughout House C.	Bronze objects, metallurgical debris, tools.	Sourced to Cyprus.	Incised	Soles & Davaras 1994:414-419, Soles et al 2004:46-47, Fig. 19; Soles & Davaras 1996:175-230; Whitley 2005:102-103
Palaikastro or Mochlos	2 Ingots	c.1500-1100	n/a	n/a	Heavy metal & craft production.	0	Buchholz 1959:31; Tylecote 1981; Hakulin 2004:45
Poros-Katsambas	Type 1 ingot	c.1325-1100	n/a	Crucible fragments.	Industrial activities indicated.	0	Hakulin 2004:42; Dimopolou 1997:433-438
Sitras	Fragment	c.1500-1100	n/a	n/a	No exact information.	0	Buchholz 1959:31; Jones 2007: Appendix II
Syme	Fragment	c.1500-1100	Sanctuary	n/a	Possibly axe fragment.		Mangou & Ioannou 2000:208-210; Muhly et al. 1988:2-20; Gale 1991:202
Tylissos	3 Ingots	c. 1600-1400	Room Pi	n/a		1 Impressed	Buchholz 1959:32; Hazzidakis 1921:57, Fig. 31; Gale 1991: 202-204, Pl. 2b-c
Zakros	6 Ingots	c. 1600-1500	Palace storeroom.	Bronze objects, molds, crucibles.	Several industrial activities present.	0	Bass 1967:61; Buchholz 1959:31; Hakulin 2004:41; Platon 1971
Zakros	Fragment	c.1500-1400	Palace	n/a		0	Bass 1967:61; Buchholz 1959:31; Hakulin 2004:41

Εικόνα 35: Χάλκινα αντικείμενα που έχουν βρεθεί στην Κρήτη. (Alaina M. Kaiser, *copper oxhide ingot marks* 2013, page22)

Θεωρείται βέβαιο, πως μία μελλοντική πραγματοποίηση ανασκαφών στα νησιά της Κρήτης και της Κύπρου μπορεί να δώσει πολλές ακόμα πληροφορίες και απαντήσεις. Δυστυχώς όμως μέχρι στιγμής, ο τομέας αυτός στα δύο νησιά είναι ελάχιστα αναπτυγμένος, σχεδόν ανύπαρκτος θα έλεγε κανείς. Υπάρχουν πολλά μέρη όπου θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν ανασκαφές αλλά δεν έχουν πραγματοποιηθεί ακόμα.

Κρήτη και Μινωικός πολιτισμός:

Στην Εποχή του Χαλκού η Κρήτη είναι γνωστή μέσω των μύθων για τον βασιλιά Μίνωα από τον οποίο προέρχεται το σύγχρονο όνομα "Μινωίτες" και για τον λαβύρινθο του Μινώταυρου, για τους κατοίκους και τον υψηλού επιπέδου πολιτισμό τους, για τον κατάλογο των πλοίων στην Ομήρου Ιλιάδα που στάλθηκαν από την Κρήτη στον Τρωικό Πόλεμο και πολλά άλλα. Με βάση τη σημερινή

γνώση, οι πρώτοι άποικοι έφτασαν στην Κρήτη κοντά στη Νεολιθική εποχή και τα πρώτα ίχνη κατοίκησης βρίσκονται στη βόρεια ακτή, από την Κνωσό, που χρονολογείται από τα τέλη της 8ης με αρχές της 7ης χιλιετίας.

Στην Πρώιμη Εποχή του Χαλκού ή στην Πρωτομινωική περίοδο, σε ακατέργαστους σορούς μεταξύ 3000-2000 π.Χ. βλέπουμε την πρώτη πραγματική χρήση των μετάλλων, αρχικά αυτοφυή χαλκό όπως και στις άλλες περιοχές της μεσογείου, έπειτα αρσενικούχο χαλκό και τελικά καθαρό χαλκό. Επιπρόσθετα, βρέθηκαν αποδείξεις τήξης στην πρώιμη Πρωτομινωική περίοδο και στα τέλη της νεολιθικής, στην Κεφάλα Πέτρα και στο Χρυσοκάμινο (ίσως αργότερα), καθώς και σε άλλες βόρειες τοποθεσίες όπως ο Πόρος-Κατσάμπας, και οι Γούρνες (*Καταπότης και 2011*). Η μετάβαση από μια αυτάρκη κοινωνία σε μια οικονομία παραγωγής εξαγωγών συνέβη κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, οι πρώτες ιεραρχίες θα μπορούσαν να έχουν αναπτυχθεί ήδη και η κοινωνία να μεγαλώνει στο βαθμό που απαιτούνται μνημειώδη κτίρια και μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικοί χώροι.

Το 2000 περίπου π.Χ. ανεγέρθηκαν τα πρώτα «παλάτια» σε Κνωσό και Φαιστό. Αυτό σηματοδότησε την αρχή της Μεσομινωικής περιόδου. Κατά τη Μέση Εποχή του Χαλκού υπήρχαν μεγάλα συγκροτήματα οικισμών, εκτεταμένο διεθνές εμπόριο και επαφές μεγάλων αποστάσεων, υψηλής ποιότητας τεχνολογία, βιοτεχνίες και κοινωνική διαφοροποίηση-ιεραρχία.

Ο μινωικός πολιτισμός κατέρρευσε στα μέσα της δεύτερης χιλιετίας, όταν καταστράφηκαν οι περισσότεροι οικισμοί εκτός από την Κνωσό, λόγω σεισμού που πιθανότατα σχετίζεται με την έκρηξη της Θήρας σε συνδυασμό με στρατιωτικές επεμβάσεις και με εσωτερική κοινωνική κατάρρευση (*Brogan και Hallager ed*). Οι Μυκηναίοι φαίνεται πως είχαν πάρει τον έλεγχο της Κνωσού, από όπου κυβέρνησαν το «Βασίλειο της Κνωσού», που αρχικά κάλυπτε την κεντρική Κρήτη αλλά αργότερα επεκτάθηκε ανατολικά και δυτικά. Η μετάβαση από Μινωική σε Μυκηναϊκή ηγεμονία επιβεβαιώνεται κυρίως αρχαιολογικά από τις νέες πρακτικές που φαίνεται πως εφαρμόζονται και προέρχονται από μία κουλτούρα με καταγωγή από την ηπειρωτική χώρα, όπως όπλα και χάλκινα αγγεία κατατεθειμένα σε επιφανείς τάφους συγκεντρωμένους στην περιοχή της Κνωσού, αλλά και με την αλλαγή στο σύστημα γραφής από Γραμμική Α σε Γραμμική Β. Σε αντίθεση με την πιο «Τελετουργική» Μινωική Κρήτη, η Μυκηναϊκή Κρήτη φαίνεται να ήταν περισσότερο μια στρατιωτική κοινωνία, όπως μαρτυρούν σπαθιά που πιθανόν να έγιναν στο υποτιθέμενο εργαστήριο όπλων της Κνωσού (*Sandars 1963, Catling and Catling 1974 και Driessen and Macdonald 1984*). Ωστόσο, οι πρώτες ύλες που χρειάζονται γι' αυτά, χαλκός και κασσίτερος, μαζί με τις πηγές τους, δεν έχουν βρεθεί μέχρι στιγμής στη Κρήτη.

Το μεταλλικό αρχείο αντικατοπτρίζει τις αλλαγές στην κοινωνικοπολιτική κατάσταση, το κύριο μέρος του μετάλλου φαίνεται τώρα να έχει χρησιμοποιηθεί για κύρος και στρατιωτικά αντικείμενα όπως όπλα και αγγεία και σχεδόν όλα τα συντηρημένα μέταλλα έχουν βρεθεί σε ταφές. Ο Μυκηναϊκός έλεγχος του νησιού δεν είχε διαρκέσει πολύ καθώς σύντομα παρόμοια μοίρα είχε και ο Μυκηναϊκός πολιτισμός. Πάντως μεγάλα μνημειώδη κτίρια νέου τύπου πρόλαβαν και ανεγέρθηκαν στην Αγία Τριάδα και τον Κοιμμό.

Μετά την τεκμαιρόμενη μεγάλη καταστροφή του ανακτόρου στην Κνωσό, μια σειρά από περιοχές ανέκτησαν ένα βαθμό ανεξαρτησίας. Η σημασία της Δυτικής Κρήτης αυξήθηκε και τα Χανιά θεωρήθηκαν ως το σημαντικότερο κέντρο του νησιού (*Hallager, B.P. 2005, Winbladh 2000*). Παρά το γεγονός ότι το εμπόριο μετάλλων στην Ανατολική Μεσόγειο φαίνεται να έχει φτάσει στο ζενίθ του κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, όπως καταδεικνύεται από το ναυάγιο Uluburun, η Κρήτη φαίνεται ότι υπέφερε από έλλειψη μετάλλων, ίσως λόγω αλλαγών των θαλάσσιων διαδρομών. Στην ύστερη μινωική εποχή εγκαταλείφθηκαν πολλοί οικισμοί και ο πληθυσμός μετακόμισε σε εδάφη και περιοχές ορεινές.

Το 1972, ο Renfrew υποστήριξε ότι η εφεύρεση της μεταλλουργίας μπορεί να ήταν το πιο σημαντικό βήμα στην εμφάνιση του πολιτισμού στο ευρύτερο Αιγαίο. Στην εποχή του Χαλκού στο Αιγαίο, τα μέταλλα και η μεταλλουργία μπορούν να θεωρηθούν ως υποσύστημα μέσα στην κοινωνία. Αυτό το υποσύστημα εξαρτάται από την ανάπτυξη του από άλλους παράγοντες, επηρεάζοντας δραματικά άλλα συστήματα όπως ο πόλεμος και το εμπόριο (*Renfrew 1972, 308*). Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ανάπτυξη της μεταλλουργίας ήταν σε μεγάλο βαθμό μια τοπική διαδικασία, ότι όλες οι βασικές τεχνικές που χρησιμοποίησε αργότερα ο Μυκηναϊός μεταλλουργός ήταν ήδη διαθέσιμες στην Πρώιμη εποχή του Χαλκού και ότι οι πολλές επιπτώσεις της μεταλλουργίας σε άλλα συστήματα ανθρώπινης δραστηριότητας στον κόσμο του Αιγαίου δεν μπορούν να εκτιμηθούν χωρίς να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα αυτών των συστημάτων στη μεταλλουργία (*Renfrew 1972, 338*). Ο S. Sherratt για τη συζήτηση των συμπερασμάτων του Renfrew δηλώνει ότι η μεγάλη συμβολή του Renfrew ήταν να μετατοπίσει την τεχνολογία ως την κύρια κινητήρια δύναμη και να τοποθετήσει την μεταλλουργική ανάπτυξη της πρώιμης εποχής του χαλκού μέσα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο οικονομικής και κοινωνικής πολυπλοκότητας (*S. Sherratt 2007, 245*). Ο Sherratt επίσης αξιολόγησε ποια στοιχεία της άποψης του Renfrew άλλαξαν τα τελευταία τριάντα χρόνια και γιατί και πώς. Παραθέτει ένα πολύ ενισχυμένο σύνολο δεδομένων, μία αναθεωρημένη απόλυτη χρονολογία και τις έντονες και πολλαπλασιαστικές αναλυτικές έρευνες καθαρά επιστημονικού χαρακτήρα. Σύμφωνα με αυτήν, ίσως μια πιο θεμελιώδης αλλαγή είναι η γενικευμένη μετατόπιση των ερμηνευτικών προσεγγίσεων που επηρεάζονται από τις

μεταδιαδικαστικές ιδέες (S. Sherratt 2007, 245-246). Στο συμπέρασμά του υποστηρίζει, ότι η μεταλλουργία του πρώιμου Αιγαίου «έχει απομακρυνθεί από μια πρωταρχική ανησυχία με τυπολογία, και την υπόθεση ότι η ανάπτυξη ήταν αναπόφευκτα τεχνολογική», οδήγησε σε μεγαλύτερη ανησυχία τις εμπειρικές επιστημονικές έρευνες και την εκτίμηση ότι η μεταλλουργία και η χρήση μετάλλων θα μπορούσαν να γίνουν κατανοητά μόνο στο πλαίσιο ευρύτερων κοινωνικοοικονομικών συστημάτων (S. Sherratt 2007, 260).

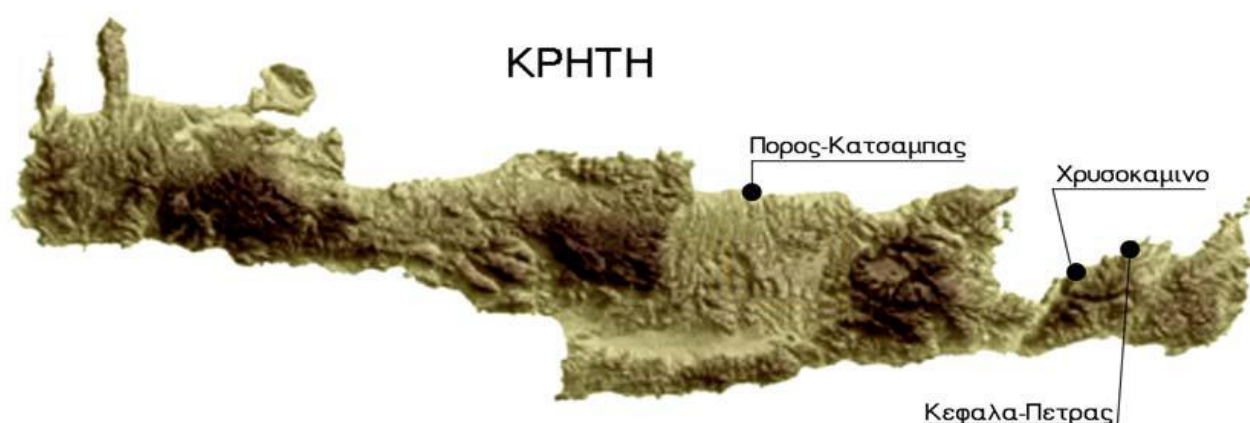
Η αρχαιομεταλλουργία ως εργαλείο στην αρχαιολογική έρευνα επικεντρώνεται σε σημαντικά ζητήματα, για παράδειγμα η προέλευση μεταλλικών αντικειμένων ή των ακατέργαστων πόρων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του μεταλλικού αντικειμένου. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, απαιτούνται μελέτες προέλευσης για την ανακατασκευή των εμπορικών οδών, την ανταλλαγή αγαθών, τα κέντρα αποστολής και τη χωρική κατανομή του μετάλλου. Σκοπός είναι η κατανόηση των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην αρχαία μεταλλουργία. Και οι μελέτες προέλευσης και τα τεχνολογικά ζητήματα χρειάζονται διεπιστημονική συνεργασία αρχαιολόγων και φυσικών επιστημόνων (Hauptmann 2011, 189). Η ολιστική μελέτη του Branigan για τη μεταλλουργία της πρώιμης και μέσης εποχής του Χαλκού μπορεί να ήταν το σημείο εκκίνησης το οποίο οδήγησε πρόσφατα σε ένα ενισχυμένο σύνολο νέων αρχαιομεταλλουργικών δεδομένων και πολυάριθμες αποδείξεις για εργοστάσια χύτευσης χαλκού στην πρώιμη εποχή του χαλκού στο νότιο Αιγαίο (π.χ. Catapotis 2007, Catapotis et al., 2011). Στην Ανατολική Κρήτη το εργαστήριο μεταλλουργίας στο Χρυσοκάμινο, το οποίο αναφέρθηκε αρχικά από τους Boyd Hawes et al (1908, 33) και Mosso (1910, 289-292), έχει επανεξεταστεί διεξοδικά από μια ομάδα με επικεφαλής τον Betancourt, ο οποίος αναγνώρισε μια μικρής κλίμακας παραγωγής χαλκού της πρωτομινωικής εποχής (Betancourt ed. 2007) αλλά επίσης και μεταλλεύματα που εισάγονται από τα νησιά των Κυκλάδων (Stos and Gale 2006). Από το ανατολικότερο μέρος της Κρήτης, στην Κεφάλαι Πέτρα, έχουν αναφερθεί ακόμα παλαιότερες ενδείξεις για χύτευση χαλκού (Παπαδάτος 2007).

Όμως η Κρήτη της ύστερης εποχής του χαλκού δεν αποτέλεσε μια περιοχή με παρόμοιο ενδιαφέρον για τους αρχαιολόγους, ωστόσο το μεταλλευτικό σύστημα και ο χειρισμός των μετάλλων στις Κρητικές κοινωνίες της Ύστερης Εποχής του Χαλκού είναι συναρπαστικά περίπλοκο και αινιγματικά ζητήματα λόγω της αφθονίας των τεχνικά εξελιγμένων μεταλλικών ευρημάτων, της μοναδικής δομής του διατηρημένου μεταλλικού αρχείου σχετικά με τα είδη μεταλλικών ευρημάτων και η ευρύτερη βιομηχανία χαλκού σε μια μη μεταλλουργική περιοχή, οι πολυάριθμες υπάρχουσες χαλκογραφίες και ο τρόπος με τον οποίο οι κοινωνικοπολιτικές αλλαγές στο νησί αντανakλώνται στα μεταλλικά προφίλ για τις διάφορες περιόδους (Hakulin 2004) .

Στην Ύστερη Εποχή του Χαλκού η Κρήτη είναι μια από τις πιο ποικίλες περιοχές από την άποψη του αριθμού ευρημάτων και τάφων, πολλοί από τους οποίους έχουν ανασκαφεί στο νησί εδώ και πάνω από εκατό χρόνια και αυτό οδήγησε σε μεγάλο αριθμό καινούριων αρχαιολογικών δεδομένων. Η πλειοψηφία των ευρημάτων φυλάσσονται στο Μουσείο Ηρακλείου, αλλά λόγω της λιγότερο αυστηρής νομοθεσίας για τη μεταφορά αρχαιολογικού υλικού στις αρχές του περασμένου αιώνα, μερικά μουσεία στο εξωτερικό, ιδιαίτερα το Μουσείο Ashmolean, έχουν μεγάλη συλλογή από Μινωικά αντικείμενα.

Παρά τα πλούσια μεταλλικά ευρήματα της Κρήτης στην ύστερη εποχή του χαλκού, μόνο μερικές συγκεκριμένες αρχαιομεταλλουργικές μελέτες έχουν δημοσιευθεί σε σχέση με αυτή την περίοδο της ιστορίας του νησιού. Σε όλο το μακρύ επιστημονικό του έργο στην αρχαία μεταλλουργία, ο Muhly έχει αναλύσει και συζητήσει τη μεταλλουργία σε ένα ευρύτερο κοινωνικοοικονομικό πλαίσιο στην περιοχή του Αιγαίου της Εποχής του Χαλκού. Οι δημοσιεύσεις του για τα μέταλλα ξεκίνησαν το 1973: οι πιο πρόσφατες που ασχολούνται με τη Κρήτη της ύστερης εποχής του χαλκού, συνοπτικά είναι οι: Muhly 2007, 2008a, 2008b, 2009 και οι Muhly και Kassianidou 2012. Άλλοι ερευνητές επικεντρώθηκαν σε ειδικές πτυχές μετάλλων, για παράδειγμα εργαλεία (Evely 1993, 2000) και Catling για τα ερείπια και την παραγωγή του χάλκινου εργαστηρίου Ύστερης Μινωικής εποχής στο ανεξερεύνητο αρχοντικό της Κνωσού (Catling and Catling 1984). Κανένας επιστήμονας δεν επικεντρώθηκε άμεσα στη σημασία των μετάλλων στις κοινωνίες της Κρήτης εκείνης της εποχής, αν και έχει αναφερθεί σε σχέση με άλλες πτυχές σε διάφορους τόπους (για τον Μόχλο, βλέπε π.χ. Soles 2003, 2005, 2007, 2008a, Brogan 2006a, 2006b, 2008 και Brogan and Carter 2001. Για τον Πόρο-Κατσάμπα βλ. Δημοπούλου 1997, 1999a, 2012, και για τον Κορμό, Blitzer 1995 και Shaw and Shaw eds 2006). Οι Betancourt και Wiener (Betancourt 2002, 2008, Wiener, 2011), είναι ίσως οι μοναδικοί μελετητές που έχουν σαφώς αντιμετωπίσει την πτυχή των μετάλλων ως κινητήρια δύναμη για όλη την οικονομία της ανακτορικής μινωικής Κρήτης. Οι διαχρονικές κοινωνικές αλλαγές στην ύστερη εποχή του χαλκού στη Κρήτη δεν έχουν διερευνηθεί ποτέ από μεταλλοκεντρική άποψη. Σε μελέτη (Hakulin 2004) σχετικά με τα χάλκινα τεχνουργήματα, διαπίστωσε σημαντικές διαφορές στο μέγεθος και τη δομή των μεταλλικών συγκροτημάτων μεταξύ των περιόδων, όσον αφορά τον αριθμό, τον τύπο και το μέγεθος των ευρημάτων. Οι διαφορές ήταν ιδιαίτερες εντυπωσιακές μεταξύ της Μινωικής Νεοανακτορικής και των μεταγενέστερων Μυκηναϊκών περιόδων, πράγμα που ενδεικτικά δείχνει όχι μόνο μεταβολές στη διαθεσιμότητα μετάλλων αλλά και κυρίως στη χρήση τους, αντανακλώντας έτσι ότι οι στάσεις απέναντι στα μέταλλα και ο ρόλος τους στην κοινωνία ίσως άλλαξαν.

Ο Τσέλιος το 2008, διερεύνησε την τεχνική κατασκευής και τη χημική σύνθεση 73 κρητικών μεταλλικών αντικειμένων, κυρίως μαχαίρια (Tselios 2008a, 2008b). Ανασκαφές που έχουν πραγματοποιηθεί στη θέση Κεφάλα-Πέτρας στη Σητεία, φανέρωσαν ένα αριθμό σκωρίας της Πρωτομινωικής Περιόδου Ι (3100-2650 πχ) δείχνοντας από τις αναλύσεις πως προέρχονται από μικρής κλίμακας εκκαμίνευσης χαλκού (Papadatos et al 2004) ενώ έχουν ανευρεθεί αξιοσημείωτα ευρήματα από μεταλλουργικές δραστηριότητες στον Πόρο-Κατσαμπά (Dimopoulou-Rethemiotaki 1993, Doonan et al 2004, Wilson et al in press), που μαρτυρούν εσκεμμένη παραγωγή αρσενικούχου χαλκού με τη χρήση χαλκού και μεταλλευμάτων αρσενικούχου σιδήρου. Σχετικά πρόσφατες αναλύσεις σκωριών από διαφορετικά βάθη απόθεσης μετά από εκκαμίνευση που έχουν εντοπιστεί στο Χρυσοκάμινο της Ανατολικής Κρήτης μαρτυρούν την παραγωγή χαλκού από εκκαμίνευση κατά την Πρωτομινωική περίοδο ΙΙΙ, περίπου 2200-2000 πχ (Betancourt et al 1999, Bassiakos et al 2004, Betancourt 2004, Catapotis et al 2004). Με βάση αυτά τα στοιχεία δεν φαίνεται να υπάρχει σημαντική πρωταρχική παραγωγή χαλκού στη Κρήτη, παρόλα αυτά υπάρχει, και μέχρι στιγμής στη σημερινή εποχή δεν έχουν γίνει προσπάθειες για τον εντοπισμό των πηγών αυτών των μετάλλων και από που τα προμηθεύονταν οι ντόπιοι παραγωγοί της Μινωικής περιόδου. Η πλειοψηφία των μεταλλουργικών ευρημάτων που έχουν εντοπιστεί στην Κρήτη, αποτελούνται από χωνευτήρια και μήτρες που αντιστοιχούν σε μεταλλουργικές δραστηριότητες (Evely 2000) και υποδηλώνουν πως η επεξεργασία του μετάλλου γινόταν τοπικά. Λόγω των ισχυρών Κυκλαδικών στοιχείων που παρατηρούνται σε κάποιες κοινότητες της Κρήτης και που ταυτόχρονα παρέχουν ενδείξεις για μεταλλοτεχνία, δεν αποκλείεται η πιθανή προέλευση των μετάλλων να είναι από τις Κυκλάδες, ωστόσο, έχει διαπιστωθεί πως η Κρήτη διαθέτει έστω και περιορισμένα αποθέματα μεταλλευμάτων χαλκού, όμως οι αναλύσεις ισοτόπων του μολύβδου δείχνουν μικρή εκμετάλλευση των τοπικών πηγών.



Εικόνα 36: Χάρτης Κρήτης-Αναφερόμενες θέσεις ύπαρξης μεταλλοτεχνίας κατά την Πρωτομινωική περίοδο. (Τσέλιος 2007).

Αναλυτικές εργασίες του 1980 για τα μέταλλα από την Εποχή του Χαλκού στη Κρήτη και κυρίως οι μελέτες προέλευσης του χαλκού μέσω της ανάλυσης ισοτόπων μολύβδου, ιδιαίτερα από την ομάδα της Οξφόρδης, Noel Gale και Zofia Stos-Gale¹³ (π.χ. Gale and Stos-Gale 1982, 1986, 1987, 1992, 1995, 2000, 2005, 2007, Gale 1989, 1991a, 1991b, 2001, 2011, Stos-Gale 1993, 2000, 2001, 2011 Stos 2009 Stos-Gale and Gale 2003, Stos-Gale et al 1997, 1998, 2000), έχουν πραγματοποιηθεί. Οι αναλύσεις τους από τεχνητά χάλκινα αντικείμενα, 154 από τη Νεοανακτορική και 161 από τη Μυκηναϊκή περίοδο δείχνουν ότι χρησιμοποιήθηκαν αρκετές πηγές μεταλλεύματος, πολλές από αυτές είναι συμβατές με γνωστές πηγές όπως το Λαύριο, η Κύπρος και η Ανατολία (Gale and Stos-Gale 2007, 108).

Το Λαύριο ως πηγή χαλκού έχει αμφισβητηθεί και συζητηθεί έντονα. Οι αναλύσεις ισοτόπων μολύβδου σε τάλαντα χαλκού δείχνουν προέλευσή είτε από μια άγνωστη πηγή Προκάμβριας ηλικίας είτε από την Ανατολία, είτε από Κυπριακά μεταλλεύματα (π.χ. Stos-Gale 2011). Αυτές οι αναλύσεις παρουσίασαν δύο εκπλήξεις (Muhly 2008a, 40): η πρώτη ήταν ότι τα 19 Νεοπαλατιακά τάλαντα από την Αγία Τριάδα ήταν φτιαγμένα από χαλκό της άγνωστης πηγής Προκάμβριας ηλικίας μετάλλευμα και όχι από κυπριακό χαλκό όπως αναμενόταν. Η δεύτερη έκπληξη ήταν ότι παρά το γεγονός ότι ένα μεγάλο σύνολο αναλυτικών στοιχείων επιβεβαίωσε ότι το δυτικό εμπόριο του κυπριακού χαλκού ξεκίνησε μόνο μετά από περίπου το 1250 π.Χ., οι ισοτοπικές αναλύσεις μολύβδου υποδηλώνουν ότι τα νεοπαλατιακά τάλαντα από τον Μόχλο κατασκευάστηκαν από κυπριακό χαλκό, όπως και τα θραύσματα που εντοπίστηκαν στα Γουρνιά. Πρόσφατη μελέτη αποκάλυψε ότι τέσσερα από τα έξι τάλαντα από Ζάκρο είχαν επίσης κυπριακή προέλευση (Stos-Gale 2011, 223), σε αντίθεση με την προηγούμενη θέση της ομάδας της Οξφόρδης που έλεγε πως δεν κατασκευάστηκαν από κυπριακό χαλκό (π.χ. Gale 1989, 265). Η Κασσιανίδου επιβεβαίωσε ότι υπήρξε μια «κάπως ενεργή» βιομηχανία χαλκού στην Κύπρο ήδη από τον 16ο αιώνα π.Χ. (Κασσιανίδου 2008) αλλά σίγουρα δεν ήταν υψηλής κλίμακας όπως στο 13ο αιώνα.

Μια άλλη ανάλυση για τη σύνθεσης του κράματος διαφόρων ευρημάτων από Μόχλο που βρέθηκαν σε μια νεοανακτορική αποθήκη, έδειξε ότι οι τεχνίτες μπορούσαν να διαφοροποιήσουν τα κράματά τους, ανάλογα με τις ιδιότητες και τις λειτουργίες που απαιτούνται για τα διάφορα συστατικά (Giunilia-Mair 2011). Ο Soles υποστηρίζει ότι το υλικό θα μπορούσε να έχει εισαχθεί, αλλά θα μπορούσε και να είχε παραχθεί και από τοπικές πηγές (Soles 2011, 138).

Οι μεταλλογραφικές μελέτες που δημοσιεύθηκαν για τα Κρητικά ευρήματα της ύστερης εποχής του χαλκού είναι ακόμη πιο σπάνιες. Ανάμεσά τους υπάρχουν δύο μελέτες για τα τεχνουργήματα της Μινωικής Συλλογής στο Μουσείο Ashmolean, σε μια συλλογή από δέκα εργαλεία κοπής (Northover και Evelyn 1995) και σε όπλα από νεκροταφείο (Baboula and Northover 1999). Πριν από αυτό,

δημοσιεύθηκαν μόνο δύο μελέτες, οι εξετάσεις ενός μαχαιριού και μία άλλη σε θραύσματα και βελόνες που εντοπίστηκαν στα Γουρνιά (*Charles 1968 - Betancourt et al., 1978*). Στο αναλυτικό έργο για τα 70 νεοπαλατιακά μεταλλικά ευρήματα από τα Γουρνιά που είναι αποθηκευμένα στο Μουσείο Πανεπιστημίου της Πενσυλβανίας των Ηνωμένων Πολιτειών, η Giumlia-Mair πραγματοποίησε χημικές αναλύσεις XRF (εικόνα 32) και εξέτασε τα ευρήματα με οπτική μικροσκοπία, προκειμένου να αποκτήσει γνώσεις για την τοπική μεταλλουργική παράδοση και να καθορίσει την τεχνολογία παραγωγής των ευρημάτων (*Giumlia-Mair et al., 2011*).

Η Hakulin (2013) ποσοτικοποίησε τα μεταλλικά ευρήματα της Κρήτης με βάση το βάρος. Πρόκειται για νέες προσεγγίσεις στις μελέτες των κοινωνιών της εποχής. Εντύπωση προκαλεί όσον αφορά την Μινωική Νεοανακτορική περίοδο (1750-1500 πχ περίπου) η μεγάλη ποσότητα μετάλλων που ανευρέθηκαν (1500kg με το 60% σε μορφή τάλαντων) με εκτιμώμενο μέσο όρο ανά αντικείμενο 0,51kg αλλά και με δεδομένη τη μεγάλη ποσότητα σε τάλαντα υποδηλώνει πως εκείνη την εποχή τουλάχιστον στην Μινωική κοινωνία τα μέταλλα ήταν άφθονα. Στις επόμενες περιόδους στα ανάλογα αρχεία δεν εντοπίζονται παρόμοιες ποσότητες ανευρεθέντων μινωικών αντικειμένων μεταλλικής φύσεως (*Hakulin 2013*).

Ο Εβρενόπουλος Ι. (2011) στη μελέτη του αναφέρει πως η κλίμακα της μεταλλουργικής παραγωγής δεν παρουσιάζεται ομοιόμορφη σε όλη τη διάρκεια της ανακτορικής και μετανακτορικής εποχής στην Κρήτη. Σε ορισμένες θέσεις φαίνεται ότι επικρατούσαν περισσότερο τάσεις μαζικής παραγωγής (Κομμός, Πόρος Κατσαμπάς, Ανεξερεύνητη Έπαυλη), ενώ σε άλλες η κλίμακα δραστηριοτήτων εμφανίζεται μειωμένη ή περιορισμένη σε λίγες κατηγορίες αντικειμένων (Μάλια, Μόχλος, Κομμός).

Ανάλογη του μεγέθους παραγωγής είναι η εντατικότητα ενασχόλησης με την παραγωγή, ή πιο απλά η συχνότητα άσκησης της μεταλλουργίας από τους τεχνίτες. Ορισμένες θέσεις (Κομμός, Ανεξερεύνητη Έπαυλη, Πόρος-Κατσαμπάς) θα μπορούσαν να συντηρούν βιοτεχνικό προσωπικό πλήρους απασχόλησης. Αντίθετα, κάποια παραδείγματα βιοτεχνιών στην Κρήτη (Κομμός - Βόρειο Σπίτι / Σπίτι με το Σωλήνα των Όφεων), εμφανίζουν μειωμένη παραγωγή των αγαθών και περισσότερο ευκαιριακή απασχόληση με την μεταλλουργία/μεταλλοτεχνία (*Εβρενόπουλος, 2011*).

Κλείνοντας, σε αυτό το κεφάλαιο της μελέτης, γίνεται μία προσπάθεια να αποτυπωθούν διαθέσιμα Αρχαιολογικά, τεχνολογικά και επιστημονικά δεδομένα της σύγχρονης έρευνας αναφορικά με το θέμα των εργαστηρίων και εγκαταστάσεων μεταλλουργίας στη Μινωική Κρήτη κατά την Ανακτορική και Μετανακτορική περίοδο. Είναι δεδομένο, πως με νέες ανασκαφές και με εξειδικευμένες αναλύσεις των ευρημάτων μεταλλουργικού ενδιαφέροντος θα προσθέσουν

περισσότερες πληροφορίες για όλα τα στάδια εξόρυξης, κατεργασίας και παραγωγής των μετάλλων από τους τεχνίτες της εποχής, για τον τρόπο οργάνωσης των βιοτεχνιών και για τις πηγές προέλευσης της παραγωγής τους (Hakulin 2013 και βιβλιογραφικές αναφορές).

Ingots, scrap, waste
Codified Master Layout

REPORT BY:

Object type

Site

Museum



REFERENCE

Ref 1

Ref 2

Ref 3

Page 2

No	Site	Context	G	L	S	Pe	Da	Ot	Cg	On	Le	Wi	Th	He	Dia	We	AMe	Cu	Sn	As	Pb	Zn	Fe	Co	Ni	Sb	Ag	Pr	Mus	MusNo	Chk	Ref			
5040	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	61	11	4	7.2	10.6	4			0.798	XRF	99.9	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.226/CA 20.		
5041	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	3.2	5.5	2			0.116	XRF	99.8	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.227/CA 20.		
5042	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	3.5	3.9	2.6			0.089	XRF	99.5	<0.2	0.3	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.228/CA 20.		
5043	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	3.9	6.0	2			0.134	XRF	99.4	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	5.9	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.229/CA 20.4		
5044	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	61	11	4	2.7	3.9	2.2			0.061	XRF	99.8	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.230/CA 20.5		
5045	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	2.8	4.9	2.3			0.076	XRF	99.6	<0.2	0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.231/CA 20.1		
5046	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	62	11	4	3.9	4.7	2.2			0.137	XRF	99.8	<0.2	<0.2	<0.2	0.3	0.6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.232/CA 20.		
5047	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	3.9	5.5	2.8			0.140	XRF	99.9	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4					Soles / Stos-Gale, 04.46, Tabl.1.2, no IC.233/CA 20.1		
5048	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	3.2	3.7	2.1			0.063	XRF	99.9	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.234/CA 20.1		
5049	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	61	11	4	4.5	3.7	4.3			0.174	XRF	99.4	<0.2	<0.2	<0.2	0.5	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.235/CA 20.1		
5050	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	61	11	4	4.7	5.3	3.7			0.231	XRF	99.8	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.236/CA 20.1		
5051	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	61	11	4	4.6	7.5	2.6			0.215	XRF	99.9	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.237/CA 20.		
5052	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	2.7	3.7	1.6			0.035	XRF	99.9	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.238/CA 20.1		
5053	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	2.3	3.4	1.6			0.031	n.a.															Soles / Stos-Gale, 04.47, no IC.239/CA 20.14			
5054	Moc	Build. A.NR	1	1	3	1	4	63	11	4	2.4	2.6	1.6			0.029	n.a.																Soles / Stos-Gale, 04.47, no IC.240/CA 20.15		
5055	Cha	Destruction	3	1	3	1	4	63	11	4							NAA	99	n.d.	0.1	<0.1	n.d.	0.45	0.0240	0.0176	0.0031	0.0027	3	ChaM	M 056			Stos-Gale et al., 00.207, no 4, Tabl. 1, 2		
5056	Cha	Pit/street level	3	1	3	2	5	63	11	4							NAA	99	n.d.	0.08	<0.1	n.d.	<0.05	0.0385	0.0220	0.0024	0.0016	3	ChaM	M 054			Stos-Gale et al., 00.207, no 5, Tabl. 1, 2		
5057	Cha	Street level	3	1	3	2	6	63	11	4							XRF	99	<0.2	0.5	<0.1	n.d.	0.3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4	ChaM	MIS009			Stos-Gale et al., 00.207, no 8, Tabl. 1, 2		
5058	Kom	Unspec.	2	1	3	3	0	61	11	4	3	2.8	1.6					n.a.															Blitzer, 95.501, no M 1		
5059	Kom	Build. N	2	1	3	3	8	61	11	4	3.2	3.2	2.			0.046	n.a.																Blitzer, 95.501, no M 2; Shaw / Shaw, 06, 726, no 59		
5060	Kom	Build. N	2	1	3	3	8	61	11	4	3	2.5	1.2			0.029	n.a.																Blitzer, 95.501, no M 3; Shaw / Shaw, 06, 726, no 60		
5061	Kom	40A/3.56	2	1	3	3	7	61	11	4	3	2.2	1.3			0.015	n.a.																Blitzer, 95.501, no M 4		
5062	Kom	35A1/3.66	2	1	3	0	0	61	11	4	4.6	3.7	1.6			0.080	n.a.																Blitzer, 95.501, no M 5		
5063	Kom	Build. N, dump	2	1	3	3	8	61	11	4	5	3.5	2.3			0.128	n.a.																Blitzer, 95.501, no M 6; Shaw / Shaw, 06, 726, no 61		
5064	Ark	Unspec.	2	2	7	1	0	62	11	1	24	24	5.5			8	AAS	83.8	<0.02	0.13	0.04	0.09	0.77	0.81	3.15	0.01	0.02	n.a.	HM	2407				Evely, 00.343, no 1; Mangou / Ioannou, 00, 213	
5065	Ark	Unspec.	2	2	7	1	0	62	11	1							AAS	91.6	<0.02	0.59	0.08	0.03	0.10	0.01	0.14	0.07	0.04	5	HM	2408				Evely, 00.343, no 2; Mangou / Ioannou, 00, 213	
5066	Ark	Unspec.	2	2	7	1	0	62	11	1							AAS	89.0	<0.02	0.09	0.06	0.38	0.36	n.d.	0.02	0.06	0.07	n.a.	HM	2409					Evely, 00.343, no 3; Mangou / Ioannou, 00, 213
5067	Ark	Unspec.	2	2	7	1	0	62	11	1							AAS	87.2	<0.02	0.07	0.14	0.78	0.77	n.d.	0.02	0.06	0.07	n.a.	HM	2410					Evely, 00.343, no 4; Mangou / Ioannou, 00, 213
5068	Ark	Unspec.	2	2	7	1	0	62	11	1							AAS	88.6	<0.02	0.09	0.08	0.64	1.15	n.d.	0.02	0.06	0.04	n.a.	HM	2411					Evely, 00.343, no 5; Mangou / Ioannou, 00, 213
5069	NC	Unspec.	2	1	4	0	0	62	11	1							AAS	87.2	<0.02	0.26	0.14	1.67	2.21	0.34	0.36	0.01	0.05	n.a.	HM					Mangou / Ioannou, 00,213	
5070	PoK	Sand. Plot	2	1	3	1	0	63	11	4							n.a.																Dimopoulou, 97,435		
5071	PoK	Sand. Plot	2	1	3	1	0	63	11	4							n.a.																Dimopoulou, 97,435		
5072	PoK	Sand. Plot	2	1	3	1	0	63	11	4							n.a.																Dimopoulou, 97,435		
5073	PoK	Sand. Plot	2	1	3	1	0	63	11	4							n.a.																Dimopoulou, 97,435		
5074	PoK	Sand. Plot	2	1	3	1	0	63	11	4							n.a.																Dimopoulou, 97,435		
5075	PoK	Sand. Plot	2	1	3	1	0	63	11	4							n.a.																Dimopoulou, 97,435		
5076	Moc	Build. A.1	1	1	3	1	4	61	11	4	2.7	4.5	2.9			0.099	XRF	99.4	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	0.6	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.241/CA 82		
5077	Moc	Build. B.13	1	1	3	1	4	63	11	4	6.3	6.6	4.3			0.539	XRF	99.5	<0.2	0.5	<0.2	<0.2	<0.2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	4					Soles / Stos-Gale, 04.47, Tabl.1.2, no IC.242/CA 82		

Εικόνα 37:Χημικές αναλύσεις σε διάφορα αντικείμενα χαλκού της Μινωικής Κρήτης (Giumlia-Mair), αρχείο με ονομασία «ΧΑΛΚΟΣ» (Hakulin 2013).

Από τον Χαλκό στον Σίδηρο:

Με το τέλος της 2ης Χιλιετίας Π.Χ., στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής μεσογείου παρατηρούνται έντονες κοινωνικοπολιτικές αλλαγές στις κοινωνίες με αποτέλεσμα την κατάρρευση των κυρίαρχων Βασιλείων της Ύστερης εποχής του χαλκού, σαν το Νέο Βασίλειο της Αιγύπτου, ο Μυκηναϊκός και ο Μινωϊκός πολιτισμός, οι Χετταίοι και άλλοι. Πολλές ερμηνείες έχουν δοθεί ιστορικά γι αυτά τα γεγονότα, για παράδειγμα οι επιδρομές των λαών της θάλασσας, φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί και ξηρασίες κ.α. Επίσης έχει υποστηριχθεί στο παρελθόν πως τα κυρίαρχα κράτη που οδηγήθηκαν στην κατάρρευση είχαν αυτή τη μοίρα εξαιτίας της τεχνολογικής

τους στασιμότητας και της μη εισαγωγής του σιδήρου στη βιομηχανία τους. Ωστόσο σήμερα είναι γενικά αποδεκτό πως η κατάρρευση δεν εξηγείται από την εισαγωγή του σιδήρου αλλά αντιθέτως ο σίδηρος έγινε πιο διαδεδομένος ακριβώς αυτής της κοινωνικοπολιτικής ταραχής που έπληξε τους λαούς και μάλλον πρόκειται για συνδυασμό των προαναφερθέντων παραγόντων.

Η γνώση του σιδήρου, όπως αναφέραμε, προουπήρχε από τα πρώτα στάδια της αστικοποίησης του ανθρώπου όμως είχε αρχικά κυρίως διακοσμητικό χαρακτήρα όπως οι κρύσταλλοι σιδηροπυρίτη, και όχι κάποια εξελιγμένη χρήση. Από τη 2η χιλιετία και μετά πιστεύεται πως άρχισε με αργούς ρυθμούς να εισάγεται στις κοινωνίες, με τα πρώτα σιδηρικά αντικείμενα να χρονολογούνται εκείνη την εποχή, ωστόσο οι γνώσεις για την επεξεργασία του σιδήρου βρίσκονταν ακόμα σε πολύ πρώιμα στάδια.

Κατά τον 11ο αιώνα και με δεδομένη τη ξαφνική παύση της παραγωγής των χάλκινων τάλαντων, σύμφωνα με τα αρχαιολογικά ευρήματα, ο σίδηρος αρχίζει να εισάγεται στις ζωές των ανθρώπων όλο και περισσότερο καθώς γίνεται όλο και πιο χρηστικός. Οι κοινωνικοπολιτικές κρίσεις της εποχής φαίνεται πως ώθησαν τον άνθρωπο σε αναζήτηση νέων τεχνολογιών και καινοτομιών ώστε να αντεπεξέλθουν οι κοινωνίες μέσω της εξέλιξής τους και η εισαγωγή στη καθημερινότητα ενός καινούριου μετάλλου με σαφώς σπουδαιότερες ιδιότητες από τον χαλκό αλλά και σε πολύ μεγαλύτερα αποθέματα, θα μπορούσε να μεταμορφώσει τις κυρίαρχες κρατικές και κοινωνικές δομές.

Αρχαιολογικά ευρήματα μαρτυρούν πως εκείνη την εποχή οι Χετταίοι είχαν αρχικά το μονοπώλιο στη κατεργασία σιδήρου και αργότερα η τέχνη αυτή διαδόθηκε και στους Έλληνες, Ασσύριους, Αιγύπτιους κτλ, όμως αυτό δεν ήταν αρκετό για να αποτρέψει την κατάρρευσή τους. Βιβλικές αναφορές γράφουν για το μονοπώλιο των Χετταίων και των Φιλισταίων στην κατεργασία σιδήρου οπότε είναι δεδομένο πως η εισαγωγή του σιδήρου προηγήθηκε της κατάρρευσης η οποία ασφαλώς δεν ήταν ένα γεγονός ξαφνικό αλλά αποτέλεσμα χρόνιων τριβών και άλλων παραγόντων.

Με το τέλος της ηγεμονίας των κυρίαρχων λαών της εποχής τους χαλκού και την έναρξη της 1ης χιλιετίας π.Χ., ο σίδηρος γίνεται όλο και περισσότερο το βασικό μέταλλο, χωρίς ωστόσο η αξία του χαλκού να μειώνεται αφού παρέμενε σημαντικό αγαθό, αλλά σε δευτερεύοντα πλέον ρόλο. Κοντά στον 9ο με 8ο αιώνα βλέπουμε ευρεία χρήση του από τον λαό των Ασσυρίων στην περιοχή του Λεβάντε στη Μέση Ανατολή και κάποιου είδους μονοπώλιο. Η απαίτηση για περισσότερες χρήσεις εισάγει νέες τεχνολογίες στην μεταλλουργία και έτσι εντοπίζουμε στην Ιορδανία και στο Ισραήλ τις πρώτες κάμινους πρόωρης τήξης μεταλλευμάτων σιδήρου όπου και αρχαιολογικά στοιχεία δείχνουν πως πρόκειται μάλλον για τα αρχαιότερα χυτήρια σιδήρου στην εγγύς ανατολή.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή Tell Hamme στην Ιορδανία ένα χυτήριο έχει ανασκαφεί και πιστεύεται πως είναι το αρχαιότερο χυτήριο σιδήρου της περιοχής, όμως δεν φανερώνει ευρεία παραγωγή παρά μόνο για τοπικές ανάγκες. Επίσης σε εκείνη την εποχή χρονολογείται και το χυτήριο Beth Shemmesh στη Παλαιστίνη, όπου εντοπίζονται βιβλικές αναφορές για χρήση του από τους Φιλισταίους, ωστόσο και εκεί η παραγωγή φαίνεται να υπήρξε σε τοπική κλίμακα.

Η τοποθεσία των δύο αυτών χυτηρίων ασφαλώς δεν είναι τυχαία αλλά πιθανολογείται να είναι για γεωγραφικούς λόγους, αφού η περιοχή της Παλαιστίνης και της Συρίας βρίσκονται σε ένα γεωγραφικό σημείο όπου υπάρχει πρόσβαση είτε στη μεσογειακή λεκάνη είτε στο νότο και στην Αίγυπτο είτε στην Ανατολή, τους Ασσύριους και τους Πέρσες.

Έτσι λοιπόν ο σίδηρος ενώ εισάγεται με αργούς ρυθμούς στην έναρξη της 2ης χιλιετίας, με τη πάροδο του χρόνου μετατρέπεται σε βασικό μέταλλο. Η εξαγωγή και η παραγωγή του γίνεται όλο και σε μεγαλύτερο βαθμό από όλο και περισσότερους λαούς και με καινούριες χρήσεις μέχρι να φτάσει στο σημείο να αποτελέσει αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης κοινωνίας.

Με τα τέλη του 9ου αιώνα και την είσοδο στον 8ο εντοπίζονται τα πρώτα όπλα κατασκευασμένα από σίδηρο, γεγονός που υποδηλώνει πλέον πως ο σίδηρος έχει αντικαταστήσει πλήρως τον χαλκό, δεδομένου πως ο σιδηρικός οπλισμός έδινε σαφώς πλεονέκτημα σε όσους τον είχαν.

Συμπερασματικά, η κρίση των κοινωνιών ανάγκασε τον άνθρωπο σε νέες αναζητήσεις και καινοτομίες ωθώντας τους σταδιακά στην εποχή του σιδήρου, δημιουργώντας έτσι νέα δεδομένα που είχαν ως αποτέλεσμα την άνοδο καινούριων κυρίαρχων Βασιλείων με διαφορετικά και πιο προοδευτικά πολιτικά και κοινωνικοπολιτισμικά χαρακτηριστικά. Τέτοια βασίλεια και ηγεμονίες ήταν η Αχαιμενιδική Αυτοκρατορία της Περσίας, η Κλασσική Ελλάδα με τις πόλεις κράτη και τη Δημοκρατία, η Μακεδονία της Ελληνιστικής εποχής του Φίλιππου και του Αλέξανδρου και φυσικά η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία που αγκάλιασε τα εδάφη, τους λαούς και γενικά τις κουλτούρες της λεκάνης της μεσογείου για αιώνες. Όλα αυτά τα κράτη είχαν ως βασικό μέταλλο χρήσης τον σίδηρο (H. Alexander Veldhuijzen και βιβλιογραφικές αναφορές, 2012).

Κεφάλαιο 12: Συμπεράσματα

Στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Κρήτης, οι λιθολογικοί σχηματισμοί που πρωτογενώς συνδέονται με παρουσία μεταλλοφορίας, είναι μεταμορφωμένοι βασάλτες της Περμοτριάδικης ηφαιστειότητας εντός του Φυλλιτικού καλύμματος. Τα ανθρακικά πετρώματα των διαφόρων ενοτήτων είναι σε αρκετά μεγάλο βαθμό εξ αλλοιωμένα και για αυτό το λόγο μπορούν να χαρακτηριστούν ως Ραουβάκες.

Τα σιδηρομεταλλεύματα χρωματικά ποικιλούν σε διάφορες αποχρώσεις, από το κοινό ωχρό καφέ σε σκούρο καφέ, γκρι ή μαύρο, αναλόγως με τις διαφορετικές αναλογίες και συγκεντρώσεις των υδροξειδίων του σιδήρου και των τετρασθενών οξειδίων του μαγγανίου που πιθανώς να περιέχονται εντός αυτών. Ένα μέταλλευμα χρώματος ωχρού καφέ αποτελείται από γκαιτίτη ο οποίος εμφανίζεται ως εύθραπτο και πορώδες μέταλλευμα καθώς επίσης και σε μορφή σκληρών κρούστων ενώ ένα σκούρο καφέ έως μαύρο μέταλλευμα πολλές φορές μπορεί να είναι πλούσιο σε οξείδια του μαγγανίου. Τα πλούσια σε μαγγανιούχα στοιχεία μεταλλεύματα αποτελούνται από τα ορυκτά της ομάδας του κρυπτομέλανα.

Από τις χημικές αναλύσεις που προέκυψαν από τα δείγματά μας, παρατηρούμε πως τα οξείδια και τα ιχνοστοιχεία παρουσιάζουν μία ποικιλότροπη κατανομή εντός των δειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα περισσότερα δείγματά μας είναι πλούσια σε οξείδια του σιδήρου αντιθέτως ενώ η μαγγανιούχα μεταλλοφορία είναι περιορισμένη με μοναδικές αξιόλογες εμφανίσεις στα δείγματα μίας θέσης. Επίσης παρατηρείται μέσω των χημικών αναλύσεων πως κάποια από τα δείγματα περιέχουν ίχνη ή σταθμητή ποσότητα μετάλλων όπως χαλκό, νικέλιο, ψευδάργυρο, χρώμιο και κοβάλτιο. Ίχνη χαλκού βρέθηκαν σε αρκετά από τα δείγματα όμως σε πολύ περιορισμένες συγκεντρώσεις, χαμηλότερες από 100ppm. Παρομοίως όπως και ο χαλκός έτσι και το νικέλιο εμφανίζεται επίσης σε αρκετά δείγματα όμως και αυτό σε μικρές συγκεντρώσεις κάτω των 100ppm. Ψευδάργυρο βλέπουμε σε μερικά δείγματα με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις να εμφανίζονται στα δείγματα EP3 και EP4, στη θέση Ερρυκιά στο Άνω Βαλσαμόνερο, με συγκεντρώσεις 947ppm και 889ppm αντίστοιχα. Χρώμιο εμφανίζεται στα περισσότερα δείγματα με πολύ μικρές συγκεντρώσεις μέχρι 50ppm ενώ κοβάλτιο έχουμε μόνο σε τρεις περιπτώσεις δειγμάτων και αυτές να βρίσκονται σε μικροσκοπικές συγκεντρώσεις κάτω των 20ppm. Βάριο, συναντάμε στα δείγματα των περιοχών της Ερρυκιάς και του Κακόπετρου σε μικροσυγκεντρώσεις 0-120ppm ενώ μόλυβδος εμφανίζεται στο δείγμα EP3 με 261ppm και σε άλλα δύο με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Τέλος, αρσενικό

συναντάμε στις περισσότερες περιπτώσεις από τα δείγματά μας με συγκεντρώσεις μέχρι και 619ppm.

Ορυκτολογικά, στα περισσότερα δείγματα που συλλέξαμε ο σίδηρος εμφανίζεται σε μορφή γκαιτίτη ενώ τον αιματίτη τον συναντάμε σε δείγματα της Ερρυκιάς και της διασταύρωσης Μυριοκεφάλων. Ο αιματίτης βρίσκεται σε διαδικασία αντικατάστασης του γκαιτιτικού υλικού λόγω της τάσης του γκαιτίτη να αφυδατώνεται καθώς αυτός κρυσταλλώνεται περισσότερο. Η αξιόλογη μαγγανιούχος μεταλλοφορία όπως είδαμε συναντάτε μόνο στη τοποθεσία Κακόπετρος και αυτή να εντοπίζεται σε μορφή Κρυπτομέλανα.

Συνοπτικά, η μεταλλοφορία που παρατηρούμε στα δείγματα των περιοχών μελέτης μας, χαρακτηρίζεται ως επιγενετικής προέλευσης. Σαν πιο ενδιαφέρουσες τοποθεσίες από αυτές από όπου συλλέξαμε δείγματα και σύμφωνα με τις ορυκτολογικές και χημικές μας αναλύσεις, θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την τοποθεσία της Ρέντας πλησίον του χωριού Αρολίθι και την περιοχή του Κακόπετρου.

Η περιοχή της Ρέντας μας προκαλεί το ενδιαφέρον λόγω των υψηλών ποσοστών οξειδίων του σιδήρου σε μορφή συμπαγούς γκαιτίτη σε μεγάλες αναλογίες ενώ πολύ χαμηλές είναι οι τιμές του φωσφόρου σύμφωνα με τις χημικές αναλύσεις των δειγμάτων μας, ο οποίος όπως είδαμε συνδέεται άμεσα με τον γκαιτίτη, ως αναφορά την εμφάνισή του. Χαμηλές παρουσιάζονται και οι συγκεντρώσεις σε οξείδια πυριτίου και αργιλίου. Το σιδηρομετάλλευμα εμφανίζεται με τη μορφή φακοειδών σωμάτων εντός της ζώνης επαφής των φυλλιτών και των χαλαζιτών με υποκείμενα μάρμαρα ενώ πρόκειται για μετάλλευμα λειμωνιτικού τύπου και σπογγοειδούς υφής.

Στην περιοχή του Κακόπετρου το ενδιαφέρον επικεντρώνεται κυρίως λόγω της μαγγανιούχας μεταλλοφορίας που εντοπίζεται εκεί σε αρκετά σεβαστά ποσοστά ενώ οι συγκεντρώσεις σιδήρου στο γκαιτιτικό υλικό κρίνονται επίσης ικανοποιητικές. Το σιδηρομετάλλευμα βρίσκεται πάνω σε στρώμα Φυλλιτών και Χαλαζιτών και καλύπτεται από ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή πετρώματα. Κλείνοντας συνοπτικά, οι άνθρωποι από τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης στοιχειώδους πολιτισμού, παρατήρησαν τα ευδιάκριτα χαρακτηριστικά των μεταλλικών στοιχείων και συγκεντρώσεων που εμφανίζονταν πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της γης, όπως το χρώμα τους και η λάμψη τους. Τέτοιου είδους έντονα χαρακτηριστικά παρουσιάζουν οι διάφορες εναποθέσεις ως ένυδρες ανθρακικές ενώσεις του χαλκού, αζουρίτη και μαλαχίτη, τα οξείδια του σιδήρου όπως γκαιτίτης και αιματίτης εντός λειμωνιτικού πετρώματος κτλ. Αυτά τα εντυπωσιακά χαρακτηριστικά των μετάλλων προσέλκυαν την προσοχή και το ενδιαφέρον των ανθρώπων προς αυτά, οδηγώντας τους σταδιακά στην περισυλλογή επεξεργασία και εκμετάλλευση αυτών και χρησιμοποιώντας τα σε

διάφορες καθημερινές ανάγκες, επίσης, ακόμα και σαν δείκτες σε μεταλλευτικές έρευνες. Αυτό λοιπόν το ενδιαφέρον εισήγαγε τον πολιτισμό αρχικά στην εποχή του χαλκού-ορείχαλκου και σταδιακά ακολούθως με την ανάπτυξη της επεξεργασίας των σιδηρούχων συστατικών, στην εποχή του σιδήρου η οποία κατά κάποιο τρόπο θα μπορούσε να πει κανείς πως συνεχίζεται έως τις μέρες μας, αν κρίνει κανείς από τη χρήση χάλυβα και γενικότερα του σιδήρου σε διάφορους τομείς της τεχνολογίας και κατασκευές. Για τον λόγο αυτό, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας θα μπορούσαν χρησιμοποιηθούν ακόμα και σαν στοιχεία για κάποιου είδους αρχαιολογικής έρευνας, η οποία διεξάγεται στο νησί της Κρήτης εδώ και δεκαετίες. Οι θέσεις από όπου πάρθηκαν τα δείγματα και έγιναν αναλύσεις θα μπορούσαν να πιστοποιήσουν μία πρωταρχική παραγωγή χαλκού και στην συνέχεια σημαντική παραγωγή σιδήρου στο νησί, μια υπόθεση η οποία δεν θα ήταν αρνητικό να εξεταστεί.

Κεφάλαιο 13: Βιβλιογραφία

- AUBOUIN, J. & DERCOURT, J. (1965): *Sur la geologie de l' Egee: regard sur la Crete (Grece)* - Bull. Soc. Geol. France, 7, 787-821, Paris
- CAYEUX, L. (1902): *Sur la composition et l'age des terrains metamorphiques de la Crete.* — C. R. Acad. Sc. Paris, 134, 1116—1119, Paris.
- CREUTZBURG N. et al.: *General geological map of Greece, Crete Island, Scale 1 : 200.000.* — Inst. Geol. Min. Res., Athens 1977.
- CREUTZBURG N. & SEIDEL, E. (1975): *Zum Stand der Geologie des Praneogens auf Kreta.* — N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 149 (3), 363—383, Stuttgart.
- DORNSIEPEN, U.F. & MANUTSOGLU, E. (1994): *Zur Gliederung der Phyllit Decke Kretas und des Peloponnes.* - Z. dt. geol. Ges., 145: 286-303.
- DORNSIEPEN U.F., MANUTSOGLU E. & MERTMANN D. (2001): *Permian – Triassic paleogeography of the External Hellenides.* Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol. 172, 327-338.
- FYTROLAKIS, N. (1967): *Ueber einen Fossilfund im Metamorphikum von Ostkreta.* - Bull. geol. Soc. Greece, 7, 89—92, Athens.
- GREILING, R. (1982): *The metamorphic and structural evolution of the Phyllite-Quartzite Nappe of western Crete.* — J. Structural Geol., 4, 291—297, Oxford.
- GREILING, R. & SKALA, W. (1979): *Das tektonische Gefüge der Phyllit-Serie West-Kretas.* -- Geol. Rdsch., 68, 236—252, Stuttgart.
- GROVES D.I., R.J. GOLDFARB, M. GEBRE-MARIAM, S.G. HAGEMANN, F. ROBERT (1998): *Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types.* Ore Geology Reviews, 13, 1998 7–27.
- HAKULIN L. (2013): *Metals in LBA Minoan and Mycenaean societies on Crete: a quantitavy approach,* Unigrafia Oy Yliopistopaino.
- KASSIANIDOU V. & PAPASAVVAS G. (2009): *Eastern Mediterranean metallurgy and metalwork in the second Millennium BC, a conference in honour of James D. Muhly,* Department of history and archaeology and Archeological research unit of the University of Cyprus, Nicosia.

- KASSIANIDOU V. (2015): Oxhide ingots in Cyprus, Chapter-January 2009 in book Oxhide ingots in Central Mediterranean, Instituto di studi sulle civiltà dell'eggeo e del vicino oriente, Roma 2009.
- KNAPP B. (2000): Archaeology, science based archaeology and the Mediterranean bronze age trade, Department of Archaeology, University of Glasgow.
- JACOBSSHAGEN, V., DURR, S., KOCKEL, F., KOPP, K. O., & KOWALCZYK, S., with contrib. of BERCKHEIMER, H., & BUTTNER, D. (1978): *Structure and geodynamic evolution of the Aegean region.* — In: CLOSS, H., ROEDER, D., και SCHMIDT, K. (eds.), *Alps, Apennines, Hellenides, Inter-Union Commission on Geodynamics Sci. Report No. 38*, 537—564, Stuttgart.
- JEFFUS L. 2002. *Welding: Principles and Applications Cengage Learning, ISBN 1-4018-1046-2*, pp. 635.
- KOPP, K. O. (1978): *Stratigraphic and Tectonic Sequence on Crete.* — In: CLOSS, H., ROEDER, D., και SCHMIDT, K. (eds.), *Alps, Apennines, Hellenides, Inter-Union Commission on Geodynamics Sci. Report No. 38*, 439—442, Stuttgart.
- KOPP, K. O. & OTT, E. (1977): *Spezialkartierungen im Umkreis neuer Fossilfunde in Trypali- und Tripolitza-Kalken Westkretas.* — *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.* 1977, 217—238, Stuttgart.
- KRAHL, J., EBERLE, P., EICKHOFF, J., FORSTER, O., & KOZUR, H. (1982): *Biostratigraphical Investigations in the Phyllite-Quartzite Group on Crete Island, Greece.* - *International Symposium on the Hellenic Arc and Trench (H. E. A. T.), Proc. I*, 306—323, Athens.
- KRAHL, J., KAUFFMANN, G., KOZUR, H., MÖLLER, I., RICHTER, D., FÖRSTER, O., HEINRITZI, F. & DORNSIEPEN, U.F. (1986): *Neue Fossilfunde in der Phyllit-Gruppe Ostkretas (Griechenland).*- *Z. dt. geol. Ges.*, 137: 523-536.
- KRAHL, J., RICHTER, D., FÖRSTER, O., KOZUR, H. & HALL, R. (1988): *Zur Stellung der Talea Ori im Bau Bau des kretischen Deckenstapels (Griechenland).*- *Z. dt. geol. Ges.*, 139: 191-227.
- LIMING, L. (2015): *Mineralogy, Processing and Enviromental Sustainability- Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering: Number 66.*
- LOTTERMOSER B. (2017): *Environmental Indicators in metal mining, Institute of mineral resources engineering, University of Aachen.*
- MARKOPOULOS TH., MANUTSOGLU E., ALEVIZOS G. & REPOUSKOU E. (2010): *Traces of free gold and silver within ferruginous stockworks of the Phyllite-Quartzite-Unit of West Crete, Greece.* —*Proceedings of the 88th Annual Meeting of the German Mineralogical Society*, 334, Münster.
- O'BRIEN W. (2013): *Prehistoric copper mining in Europe, Oxford University Press, department of the University of Oxford.*
- PAPASTAMATIOU, J., & REICHEL, M. (1956): *Sur Fage des Phyllades de File de Crete.* — *Ecl. Geol. Helv.*, 49, 147—149, Basel.
- RAULIN Y. (1869): *Description physique de l'ile de Crete* - *Actes Soc. Linn. Bordeaux*, T24, p.338-748, Atlas, 21 plat., Paris

- SEIDEL, E. (1978): *Zur Petrologie der Phyllit-Quarzit-Serie Kretas. — Habilitationsschrift Univ. Braunschweig, 145 S., Braunschweig.*
- SEIDEL, E., KREUZER, H. & HARRE, W. (1982): *A Late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the External Hellenides.- Geol. Jb., 23: 165-206.*
- SEIDEL, M. (2003): *Tectono-sedimentary evolution of middle Miocene supra-detachment basins (western Crete, Greece), Köln.*
- SEIDEL, M., SEIDEL, E. AND STOECKHERT, B., (2007): *Tectono-sedimentary evolution of lower to middle Miocene half-graben basins related to an extensional detachment fault (western Crete, Greece). Terra Nova, 19, 39–47.*
- STAMBOLIADIS E., PANTELAKI O. & MANUTSOGLU E. (2004): *Removal of arsenic from water solutions by naturally occurring limonite. - Proceedings of the 1st International Conference “Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology”, (AMIREG 2004), 7 – 9 June 2004, Hania, Crete, pages 583 - 587.*
- TATARIS A.A., & CHRISTODOULOU G. (1965): *The geological structure of the Levka Mountains (Western Crete). - Bull geol. Soc. Greece, 6, 319-347. Athens.*
- WACHENDORF, H., GRALLA, P., KOLL, J., και SCHULZE, I.(1980): *Geodynamik des mittelmittelkretischen Deckenstapels (nordliches Dikti-Gebirge). —Geotekt. Forsch., 59, 1—72, Stuttgart,.*
- WURM, A. (1950): *Zur Kenntnis des Metamorphikums der Insel Kreta. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1950, 206—239, Stuttgart.*
- ΑΛΕΒΙΖΟΣ, Γ., ΣΤΡΑΤΑΚΗΣ, Α. & ΠΕΤΡΑΚΗΣ, Ε.(2010): *Ορυκτολογική εξέταση και δοκιμές εμπλουτισμού του σιδηρομεταλλεύματος της περιοχής άνω Βαλσαμόνερο Ρεθύμνου, Ορυκτός Πλούτος 155, 33-46.*
- ΒΛΑΜΙΑΗΣ Α.(2009): *Γεωχημική-Ορυκτοχημική μελέτη του Πολυκορσκή της περιοχής Βεντζίων Γρεβενών, Αδημοσίευτη διπλωματική εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης.*
- ΒΟΣΝΙΑΚΟΣ Γ. Χ. (2007): *«Οι Χάλυβες», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, σημειώσεις μεταπτυχιακών μαθημάτων Αθήνα.*
- ΓΚΙΟΚΑ Α.(2014): *Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη ιζημάτων από Νεογενείς λεκάνες της Κρήτης, Αδημοσίευτη διπλωματική εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης.*
- ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ Ν. (2012): *Κατανομή χρυσού σε πετρώματα νεογενούς και προ-νεογενούς ηλικίας της Δυτικής Κρήτης, Αδημοσίευτη μεταπτυχιακή εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης, 178 σελ.*
- ΕΒΡΕΝΟΠΟΥΛΟΣ Ι. (2011): *Εργαστήρια και εγκαταστάσεις μεταλλουργίας στη Μινωική Κρήτη στην Ανατολική και Μετανατολική περίοδο, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών.*
- ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ (ΕΘΙΓΜΕ) (1973): *Επεξηγηματικό τεύχος του μεταλλογενετικού χάρτη της Ελλάδος, Αθήνα, Έκδοση Ι.Γ.Ε.Υ 1965.*
- ΖΑΧΟΣ Κ. ΚΑΙ ΜΑΡΑΤΟΣ Γ. (1965): *Ο Μεταλλογενετικός χάρτης της Ελλάδος σε κλίμακα 1 : 1.000.000, Αθήνα.*

- ΚΑΤΖΑΓΙΑΝΝΑΚΗΣ Ν.(2017): Συγκριτική Ορυκτολογική μελέτη και διερεύνηση εμπλουτισμότητας σιδηρομεταλλευμάτων των περιοχών Αρολιθίου (Νομός Ρεθύμνης) και Κακόπετρου (Νομός Χανίων), Μεταπτυχιακή εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ΜΑΝΔΥΛΑΡΗΣ Θ.(2017): Μελέτη κατανομής ιχνοστοιχείων σε Λειμωνίτες του Φυλλιτικού καλύμματος της Δυτικής Κρήτης, Αδημοσίευτη διπλωματική εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Ε. (2008): Αδημοσίευτες Σημειώσεις Σεμιναρίου Γεωλογίας της Κρήτης, της Ερευνητικής Μονάδας Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, 55 σελ..
- ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ Ε. (2010): Η Αποτύπωση της Εξελικτικής Γεωλογικής Σκέψης σε Γεωλογικούς Χάρτες - Πρακτικά 11ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας “Η Χαρτογραφία του Ελληνικού Κράτους”, 8-11/12/2010, σελ. 91-110.
- ΜΑΡΓΑΡΙΤΗΣ Γ. (2009): Γεωλογική μελέτη για την ανίχνευση και εντοπισμό ιχνών χρυσού σε ιλυόλιθους του Νεογενούς στη Δ. Κρήτη, Αδημοσίευτη διπλωματική εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- ΜΕΛΙΔΩΝΗΣ, Γ. Ν. (1992): Γενική κοιτασματολογία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Έκδοση Διδακτικών βιβλίων, Αθήνα.
- ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, Ι. (1952): Ο ορυκτός πλούτος της Κρήτης, Αδημοσίευτη έκθεση Νο 256, ΙΓΕΥ, Αθήνα.
- ΣΠΑΝΑΚΗΣ Γ. (2015): Μελέτη των ιστορικών μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στην Δυτική Κρήτη, Αδημοσίευτη διπλωματική εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης, 77 σελ.
- ΤΡΙΧΟΣ Δ. (2011): Ορυκτολογική μελέτη και δοκιμές εμπλουτισμού σιδηρομεταλλεύματος από την περιοχή Σκινέ Ν. Χανίων, Αδημοσίευτη διπλωματική εργασία Τμήματος ΜΗΧΟΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης, 113 σελ.
- ΤΣΕΛΙΟΣ, Τ. (2007): Η μεταλλουργία του χαλκού στην προανακτορική Κρήτη. Τεχνολογικές εξελίξεις και κοινωνικές όψεις, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Ιστορίας-Αρχαιολογίας. Πανεπιστήμιο Κρήτης.
- ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΔΗΣ, Π. Γ. (2005): Κοιτασματολογία για μηχανικούς γεωτεχνολογικής κατεύθυνσης των τεχνολογικών εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, Κοζάνη, Εκδόσεις σύγγραμμα.
- ΧΑΤΖΗΚΥΡΚΟΥ Α.Α. (2003): Μελέτη θειούχου μεταλλοφορίας περιοχής Επτάδενδρου και Ράχης στην Ανατολική Ροδόπη, Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή Γεωλογικού Τμήματος ΑΠΘ, 233 σελ.

Κεφάλαιο 14: Παραρτήματα

Παράρτημα 1: Φωτογραφίες δειγμάτων

ΔΕΙΓΜΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ
<p>AP1/α, AP1/β</p> <p>Θέση: Αρολίθι-Τρύπα N: 35° 25' 104'' E: 24° 31' 426'' H= 570m</p>	
<p>AP2/α, AP2/β</p> <p>Θέση: Αρολίθι-Τρύπα N: 35° 25' 368'' E: 24° 31' 601'' H= 560m</p>	

EP1, EP2

**Θέση: Άνω Βαλσαμόνερο-
Ερρυκιά**

N: 35° 30' 426"

E: 24° 42' 241"

H= 386m



EP3, EP4

**Θέση: Άνω Βαλσαμόνερο-
Ερρυκιά**

N: 35° 30' 426"

E: 24° 42' 241"

H= 386m



ΚΑΛ1, ΚΑΛ2

Θέση: Καλλικράτης

N: 35° 24' 183"

E: 24° 27' 154"

H= 750m



ΚΑΛ3, ΚΑΛ4

Θέση: Καλλικράτης

N: 35° 24' 183"

E: 24° 27' 154"

H= 750m



Δ.ΜΥΡ1, Δ.ΜΥΡ2

**Θέση: Διασταύρωση προς
Μυριοκεφάλα**

N: 35° 24' 317"

E: 24° 78' 220"

H= 843m



ΚΑΡ1/α

Θέση: Κακόπετρος

N: 35° 41' 592"

E: 23° 75' 541"

H=650m



ΚΑΡ1/β

Θέση: Κακόπετρος

N: 35° 41' 592"

E: 23° 75' 541"

H=650m



ΚΑΡ1/γ

Θέση: Κακόπετρος

N: 35° 41' 592"

E: 23° 75' 541"

H=650m



KAP2/α

Θέση: Κακόπετρος

N: 35° 41' 592"

E: 23° 75' 541"

H=650m



KAP2/β

Θέση: Κακόπετρος

N: 35° 41' 592"

E: 23° 75' 541"

H=650m



KAP2/γ

Θέση: Κακόπετρος

N: 35° 41' 592"

E: 23° 75' 541"

H=650m



PENT1, PENT2

Θέση: Αρολίθι-Ρέντα

N: 35° 26' 608"

E: 24° 32' 246"

H= 530m



PENT3

Θέση: Αρολίθι-Ρέντα

N: 35° 26' 608"

E: 24° 32' 246"

H= 530m



PENT4

Θέση: Αρολίθι-Ρέντα

N: 35° 26' 608"

E: 24° 32' 246"

H= 530m



PENT5

Θέση: Αρολίθι-Ρέντα

N: 35° 26' 608"

E: 24° 32' 246"

H= 530m



Παράρτημα 2: Φωτογραφίες από εργασίες πεδίου

ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ
<p>Καλλικράτης</p> <p>Μετάλλευμα λειμωνίτη με σπογγώδη υφή.</p>	
<p>Καλλικράτης</p> <p>Μετάλλευμα λειμωνίτη με σπογγώδη υφή.</p>	

**Διασταύρωση προς
Μυριοκεφάλια**

**Επαφή Φυλλιτικού
Καλύμματος με
ανθρακικούς
σχηματισμούς.**



Αρολίθι

**Ανθρακικά πετρώματα
υπέρκεινται των
σχιστολίθων. Στην επαφή
τους διακρίνουμε ζώνη
οξείδωσης.**



Ρέντα

**Κοντά στην πηγή το
μετάλλευμα έχει σπογγώδη
υφή όπως στον
Καλλικράτη.**



Ρέντα

**Συσχέτιση Λειμωνίτη και
πυριτών.**

**Δεξιά ο Λειμωνίτης,
αριστερά Πορώδης
Χαλαζίτες και στο κέντρο
μάζα πυριτών με χαλαζία.**



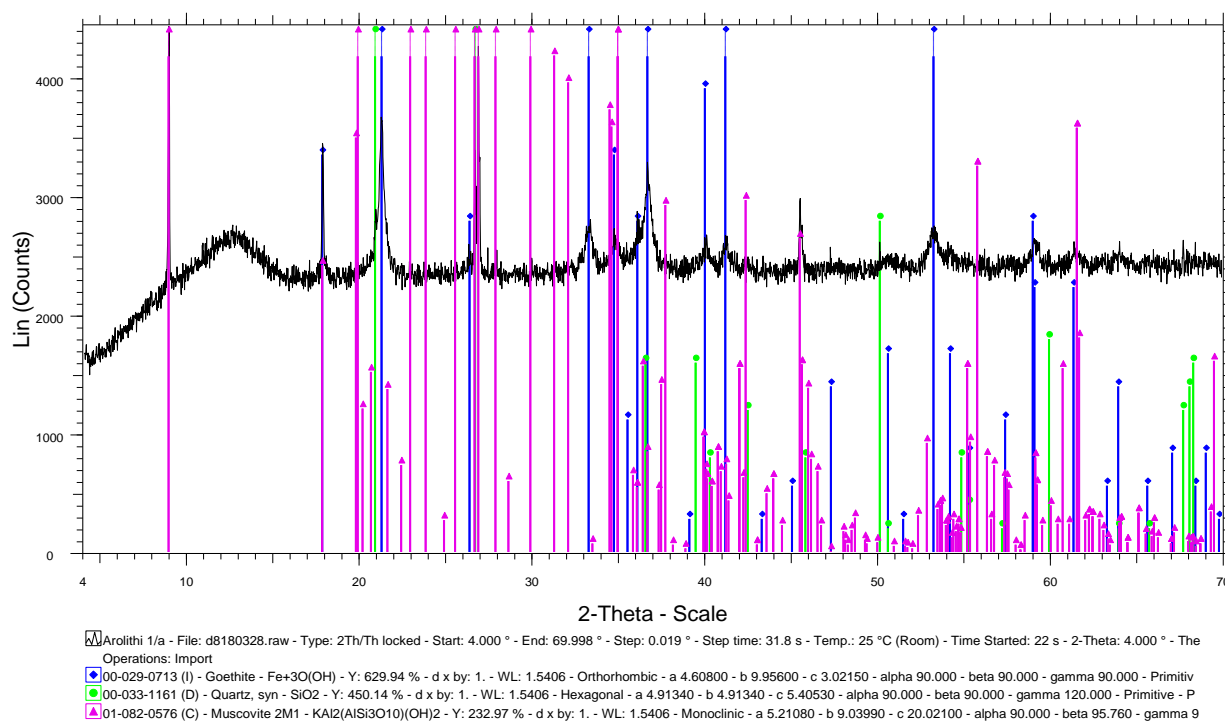
Ρέντα

Φλέβα με σιδηρούχα
οξειδία και μικτά θειούχα.

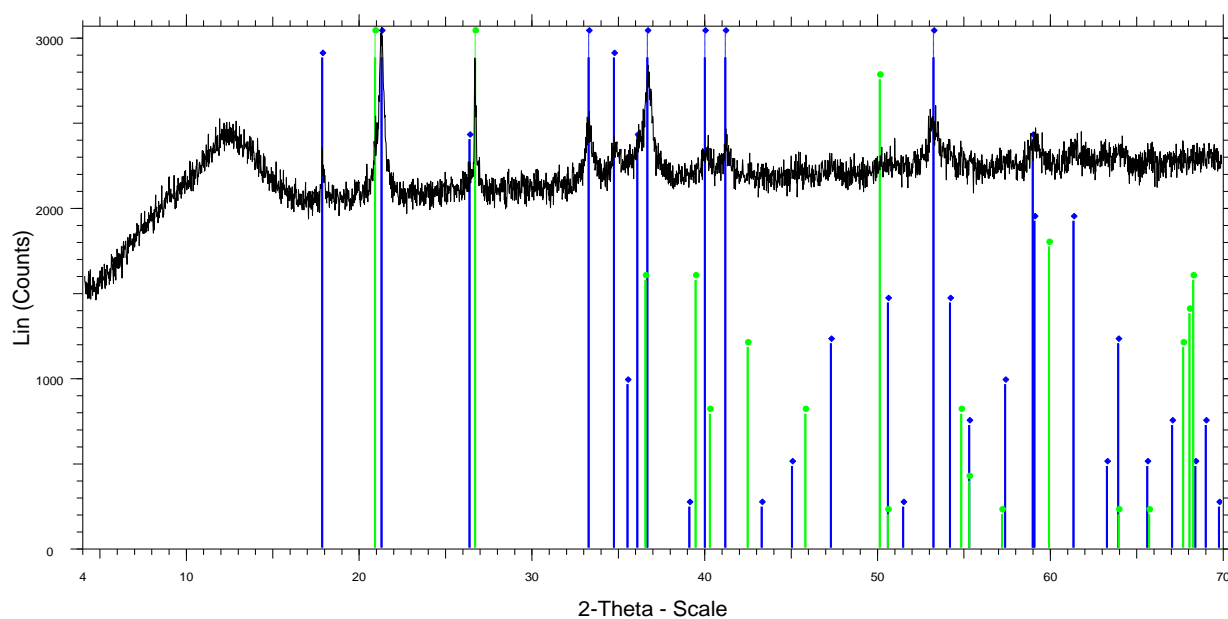


Παράρτημα 3: Ακτινοδιαγράμματα

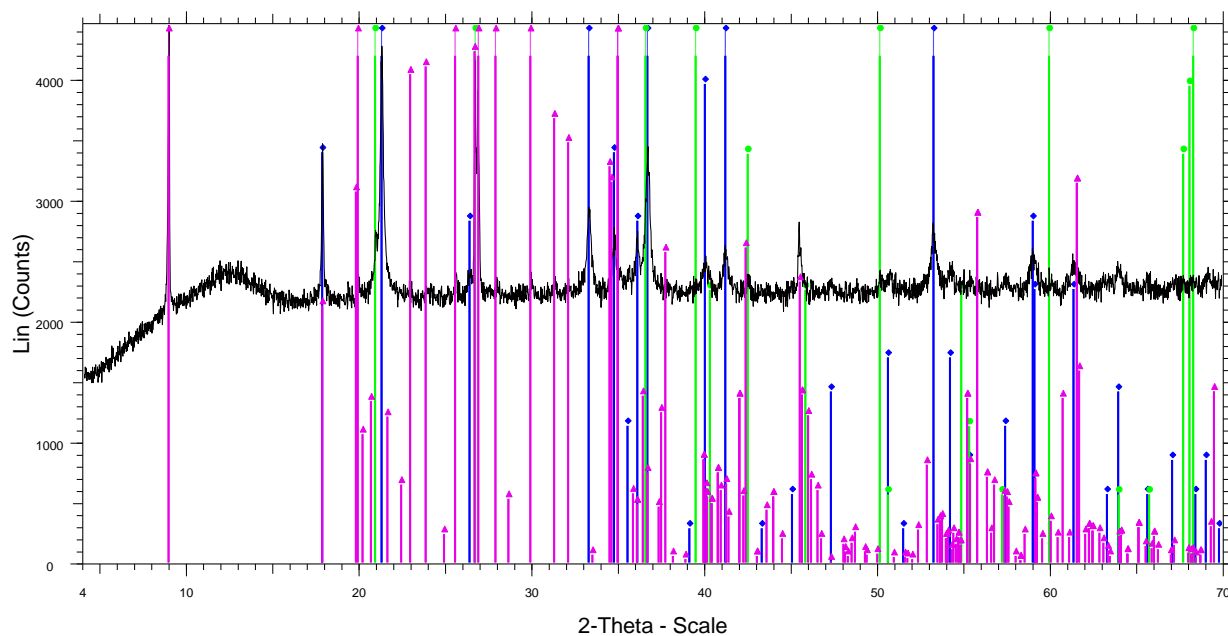
Arolithi 1/a



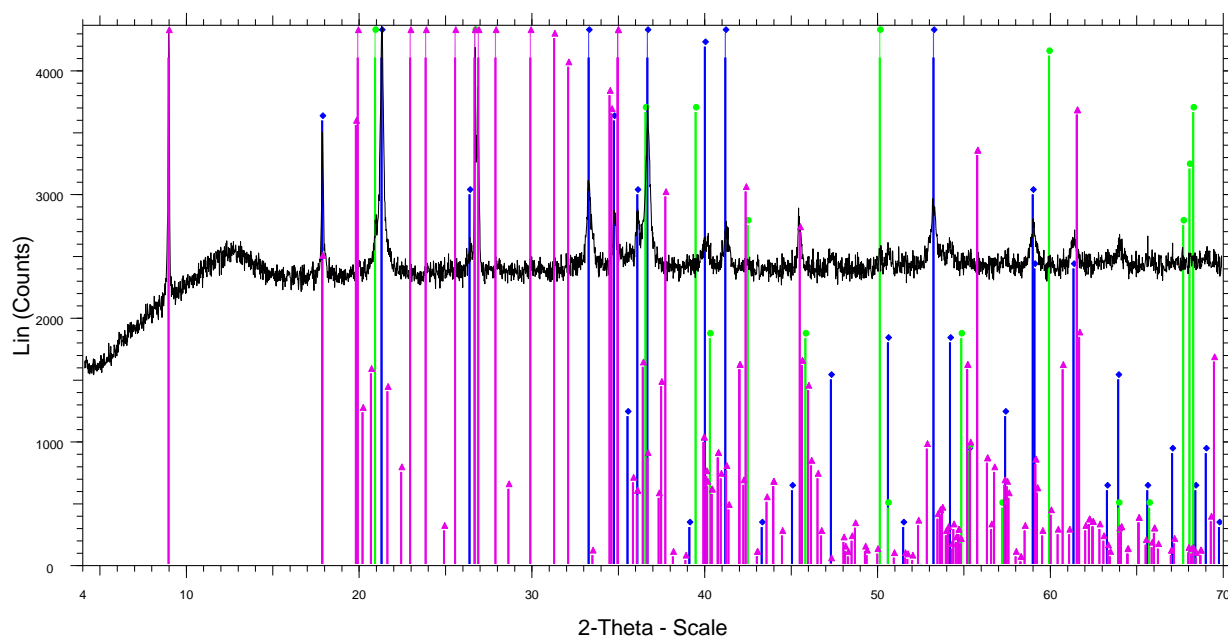
Arolithi 1/b



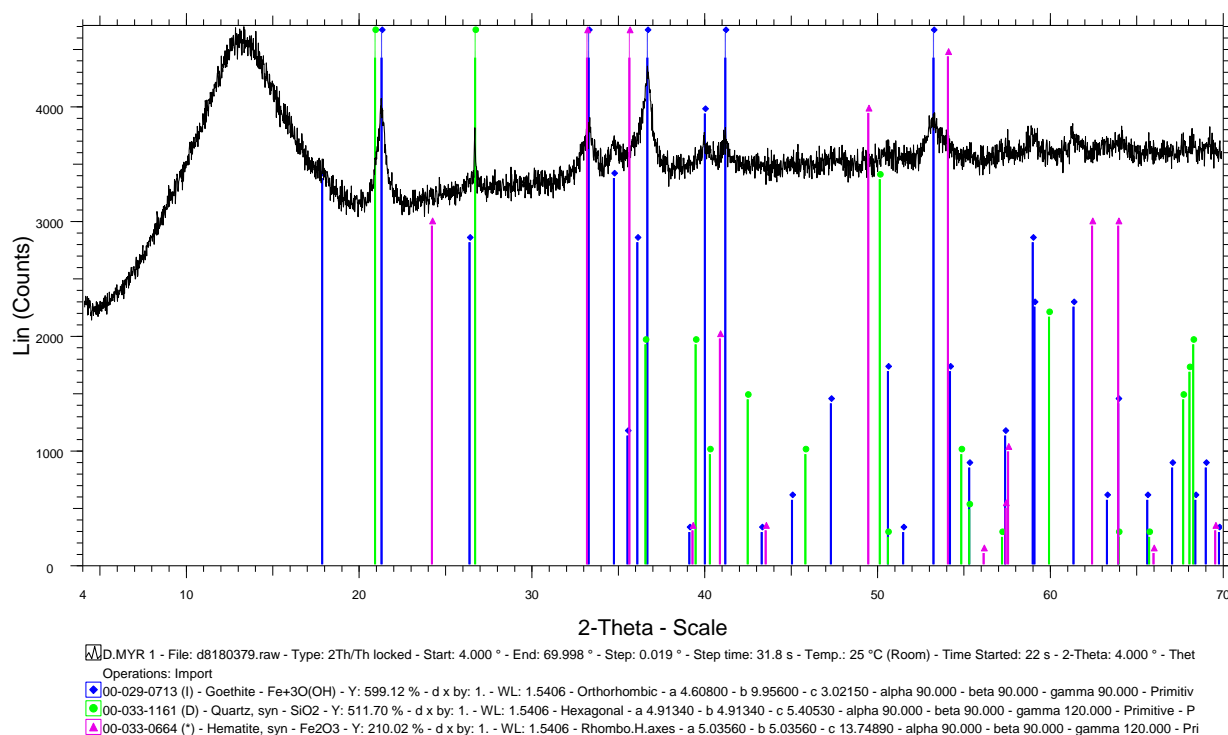
Arolithi 2/a



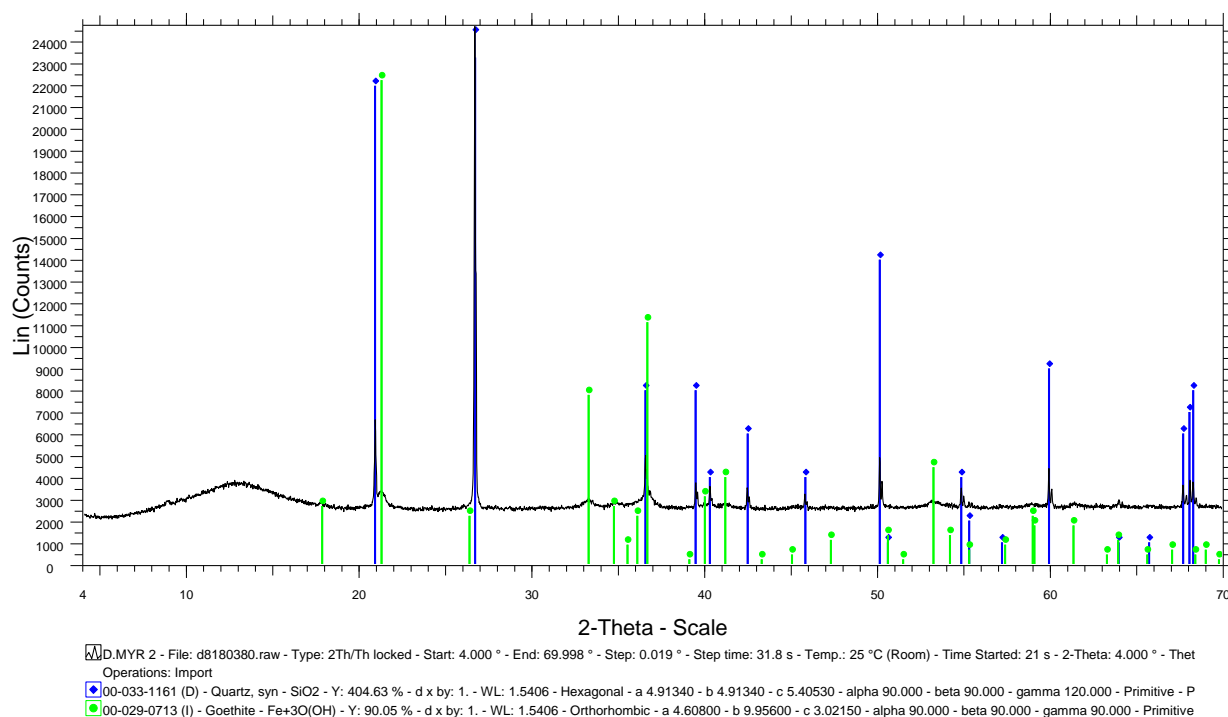
Arolithi 2/b



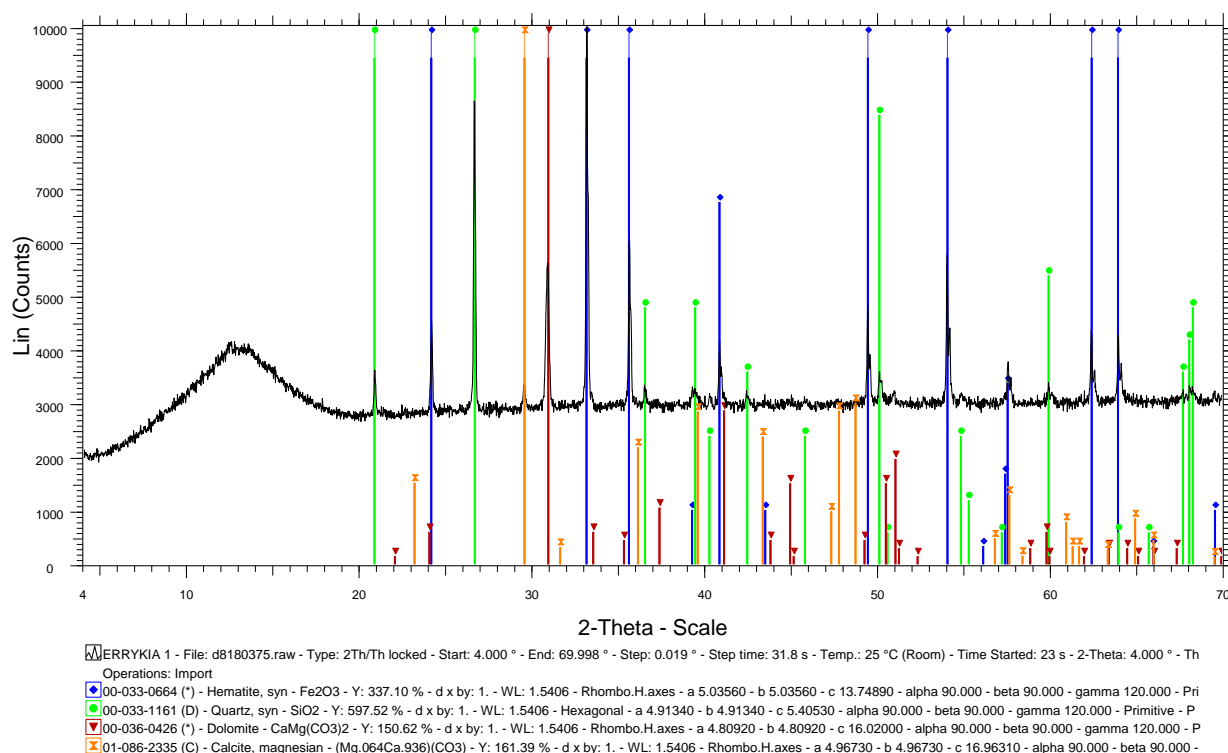
D.MYR 1



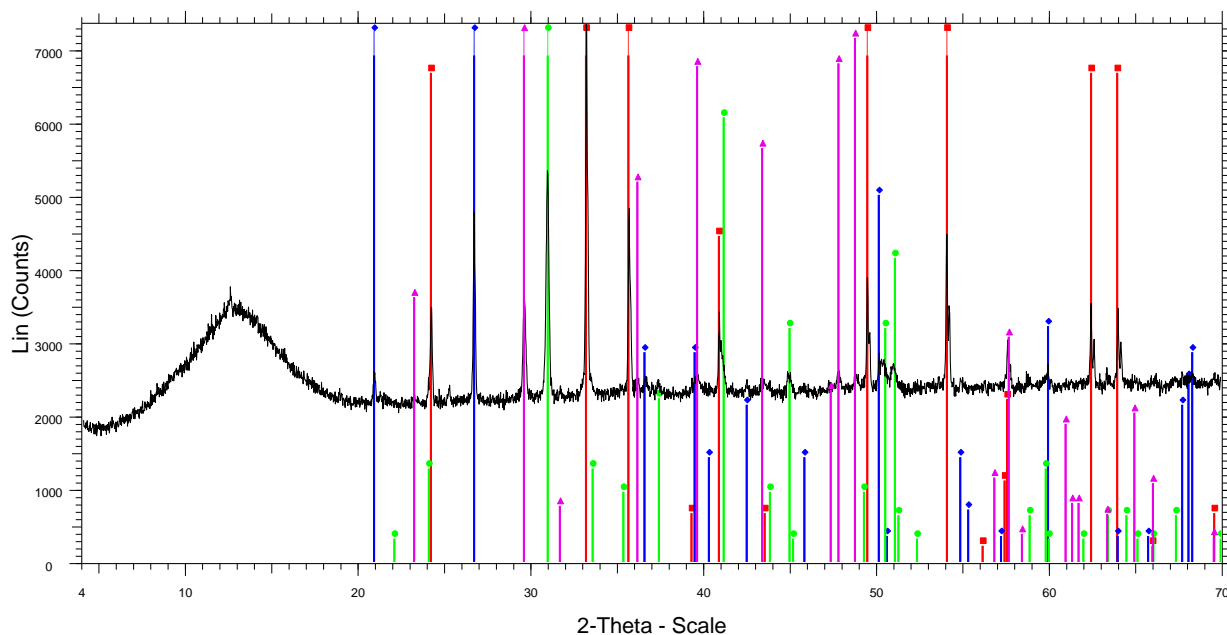
D.MYR 2



ERRYKIA 1

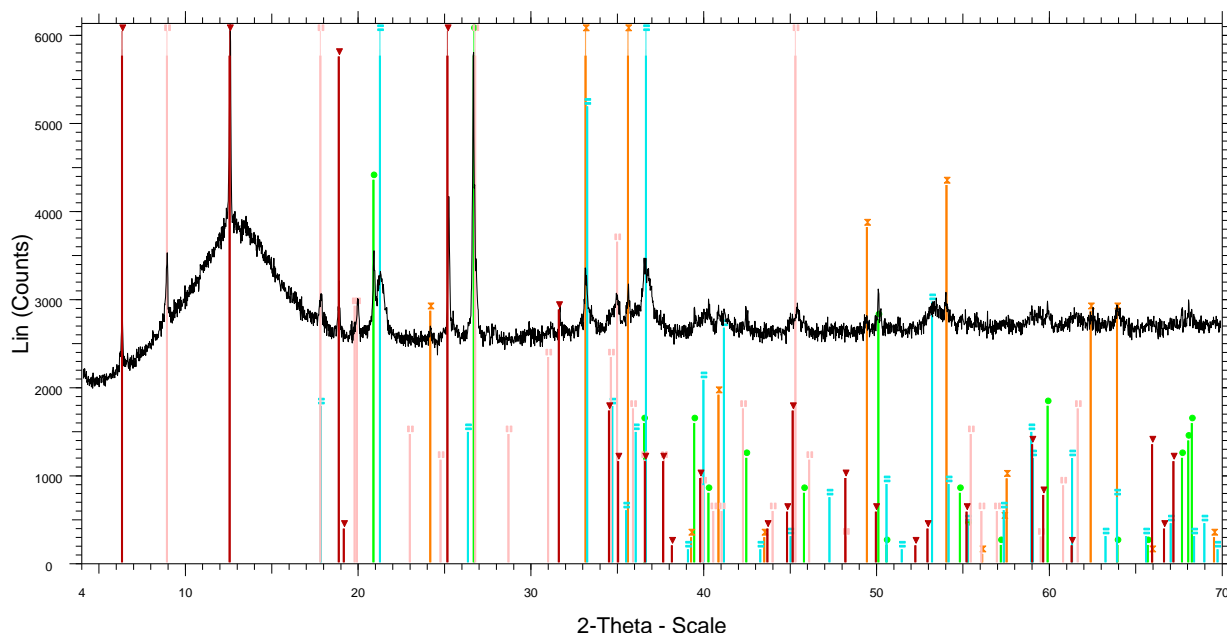


ERRYKIA 2



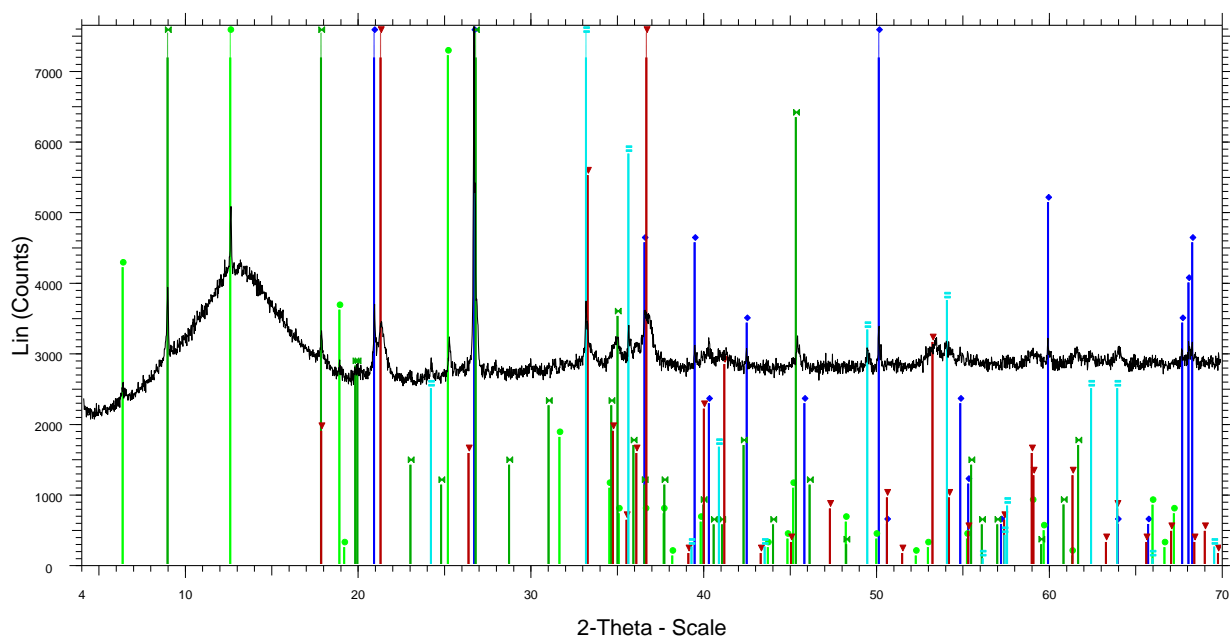
ERRYKIA 2 - File: d8180376.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Th
 Operations: Import
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 303.54 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 488.07 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-036-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - Y: 435.60 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80920 - b 4.80920 - c 16.02000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - P
 01-086-2335 (C) - Calcite, magnesian - (Mg_{0.064}Ca_{0.936})(CO₃) - Y: 523.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.96730 - b 4.96730 - c 16.96310 - alpha 90.000 - beta 90.000 -

ERRYKIA 3



ERRYKIA 3 - File: d8180377.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Th
 Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 323.55 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-029-0701 (I) - Clinocllore-1 ITM RGII ITb RG, ferroan - (Mg,Fe)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈ - Y: 313.68 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.36000 - b 9.28000 - c 14.20000 - alpha 90.0
 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃ - Y: 155.99 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 242.42 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-007-0042 (I) - Muscovite-3T - (K,Na)(Al,Mg,Fe)₂(Si_{3.1}Al_{0.9})O₁₀(OH)₂ - Y: 238.66 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.20300 - b 5.20300 - c 29.98800 - alpha 90.000 - beta 90.0

ERRYKIA 4

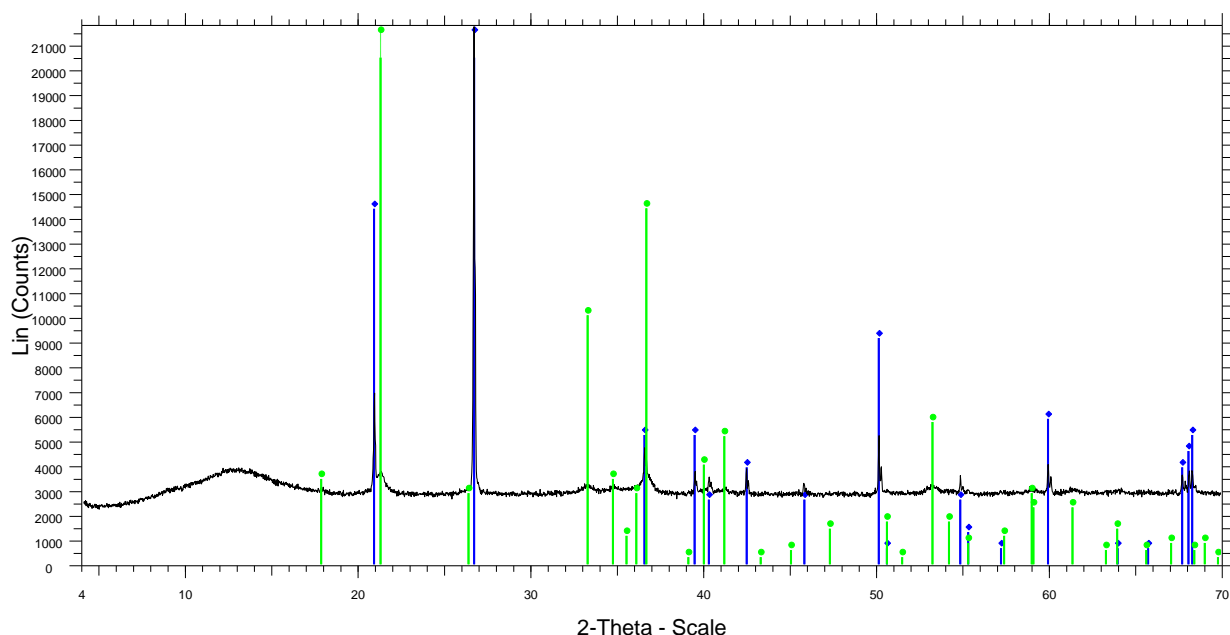


ERRYKIA 4 - File: d8180378.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Th

Operations: Import

- 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 748.70 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
- 00-029-0701 (I) - Clinocllore-1 ITM RGII ITb RG, ferroan - $(\text{Mg,Fe})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ - Y: 157.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Monoclinic - a 5.36000 - b 9.28000 - c 14.20000 - alpha 90.0
- 00-007-0042 (I) - Muscovite-3 ITT RG - $(\text{K,Na})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si}_3.1\text{Al}_0.9)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - Y: 184.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 5.20300 - b 5.20300 - c 29.98800 - alpha 90.000 -
- 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe_2O_3 - Y: 206.80 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
- 00-033-0664 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3 - Y: 109.17 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 5.03560 - b 5.03560 - c 13.74890 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Pri

KAL 1

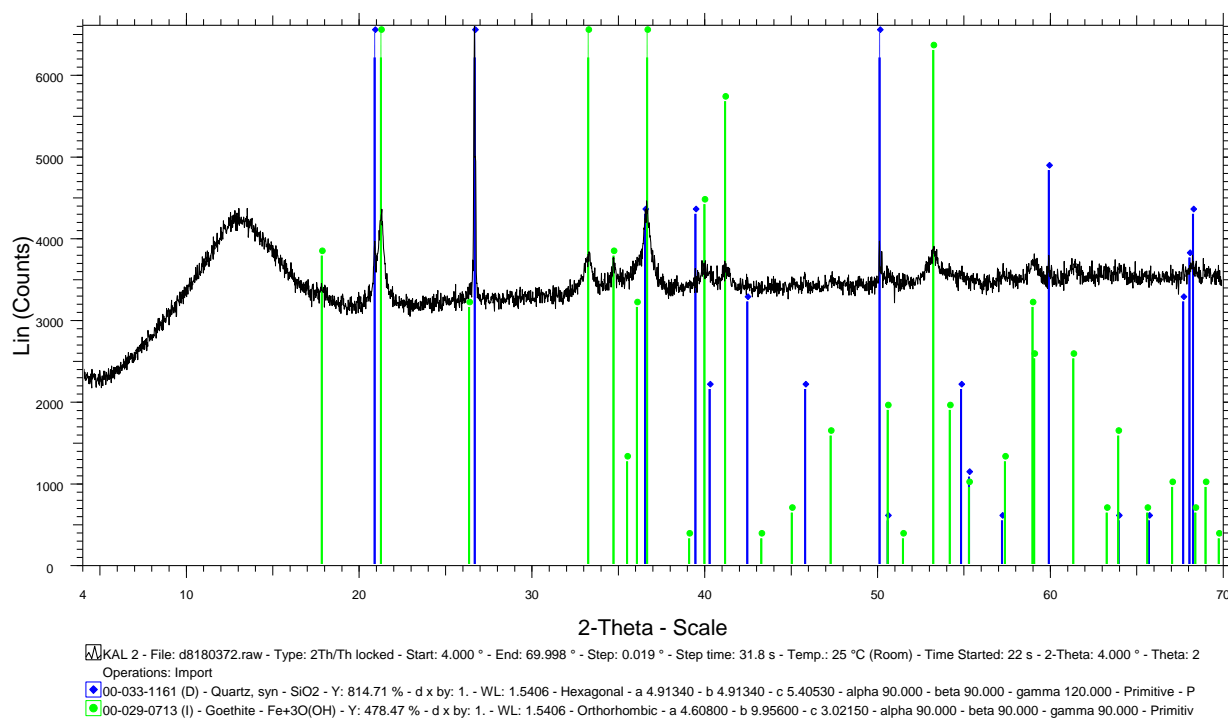


KAL 1 - File: d8180371.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta: 2

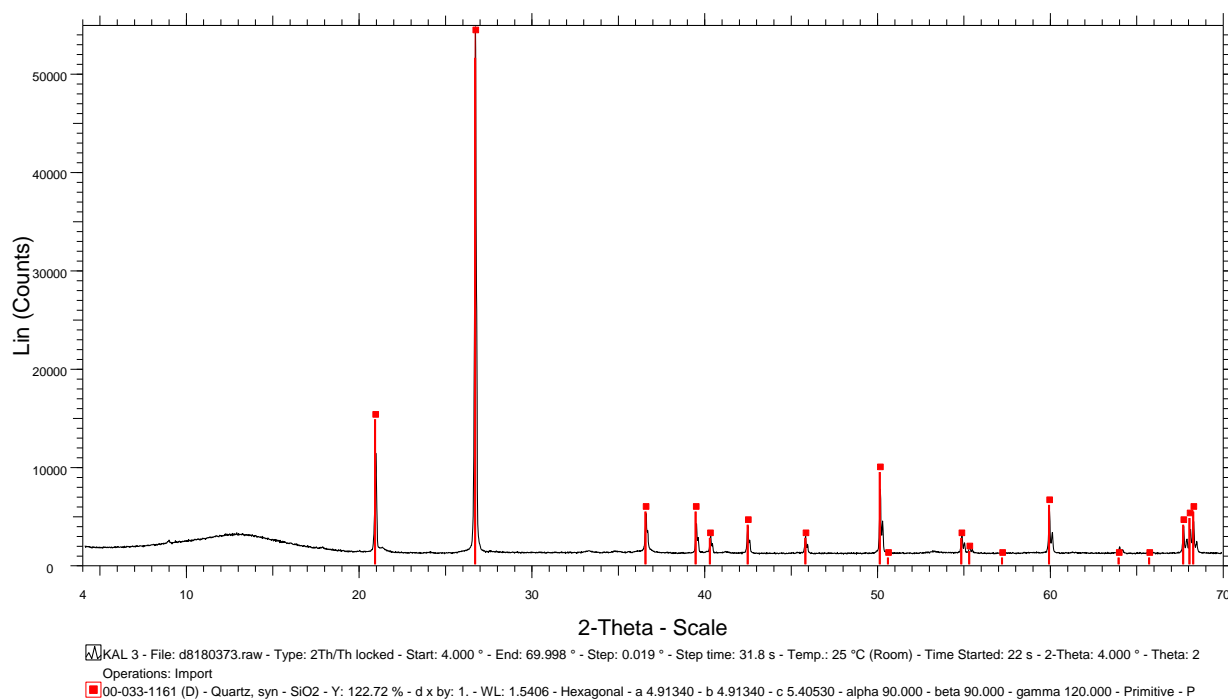
Operations: Import

- 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO_2 - Y: 300.71 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
- 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe_2O_3 - Y: 132.45 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv

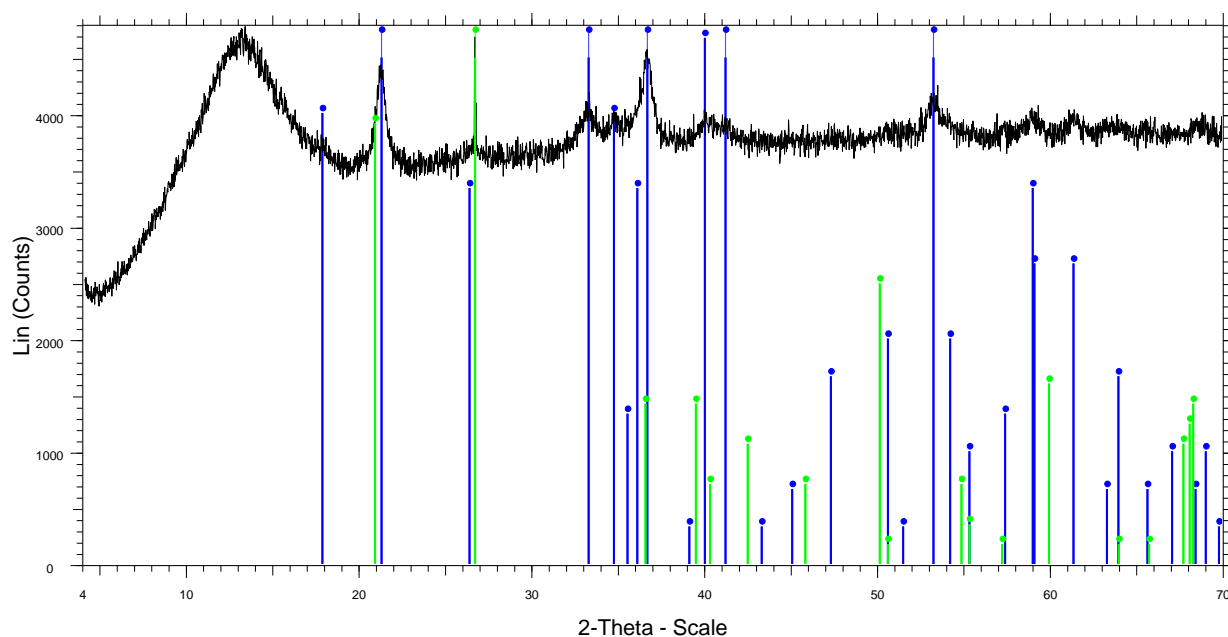
KAL 2



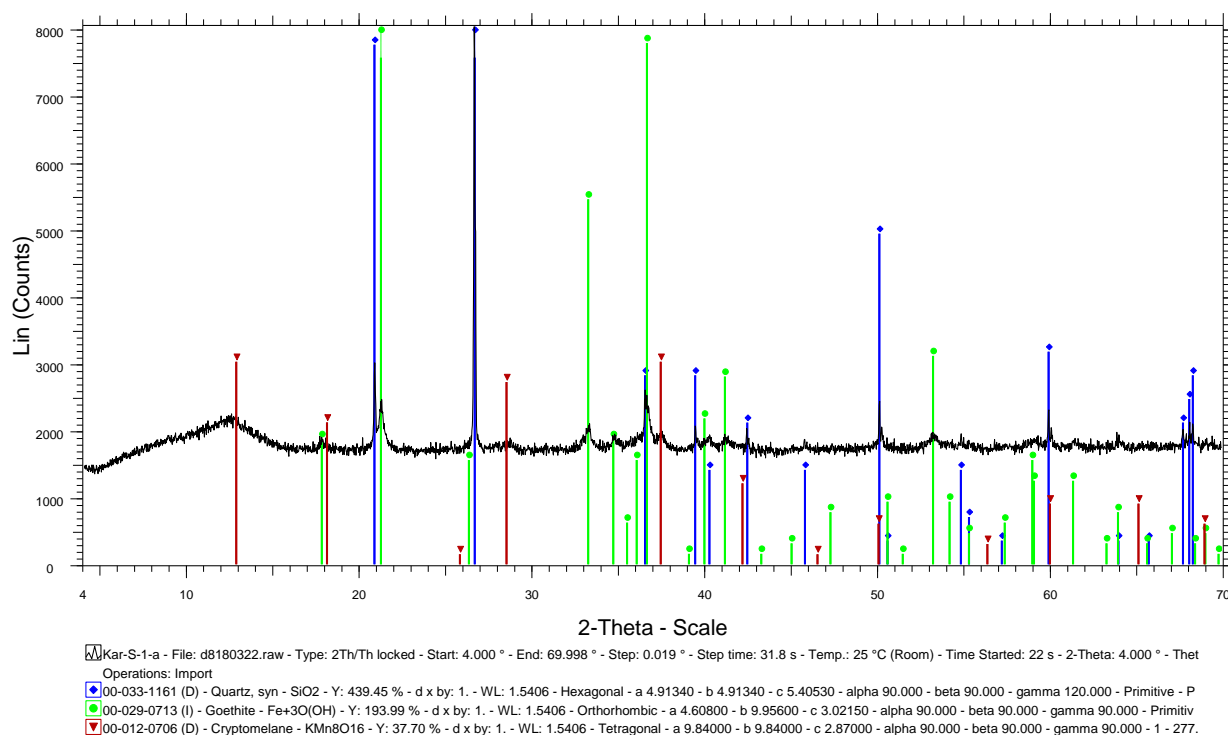
KAL 3



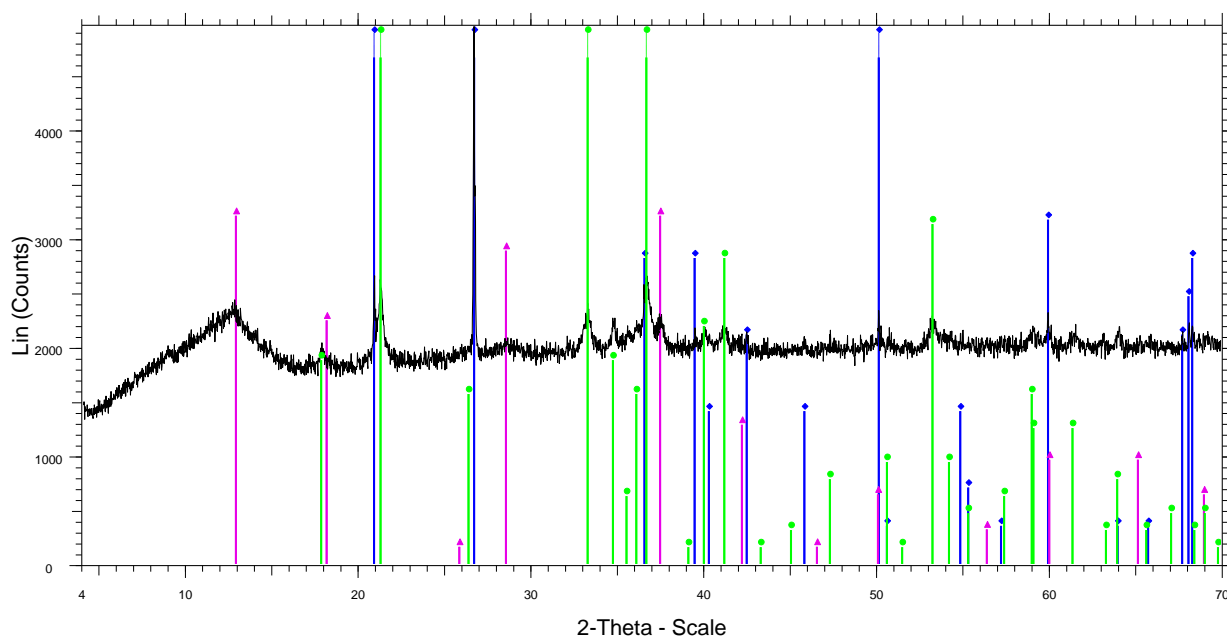
KAL 4



Kar-S-1-a

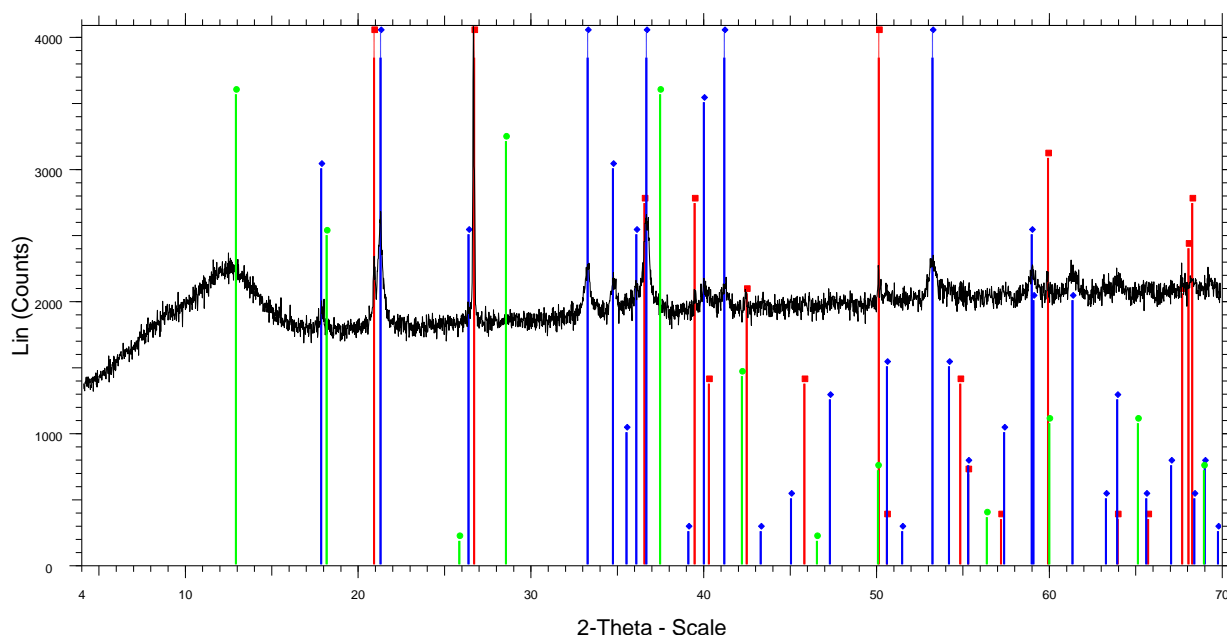


Kar-S-1-b



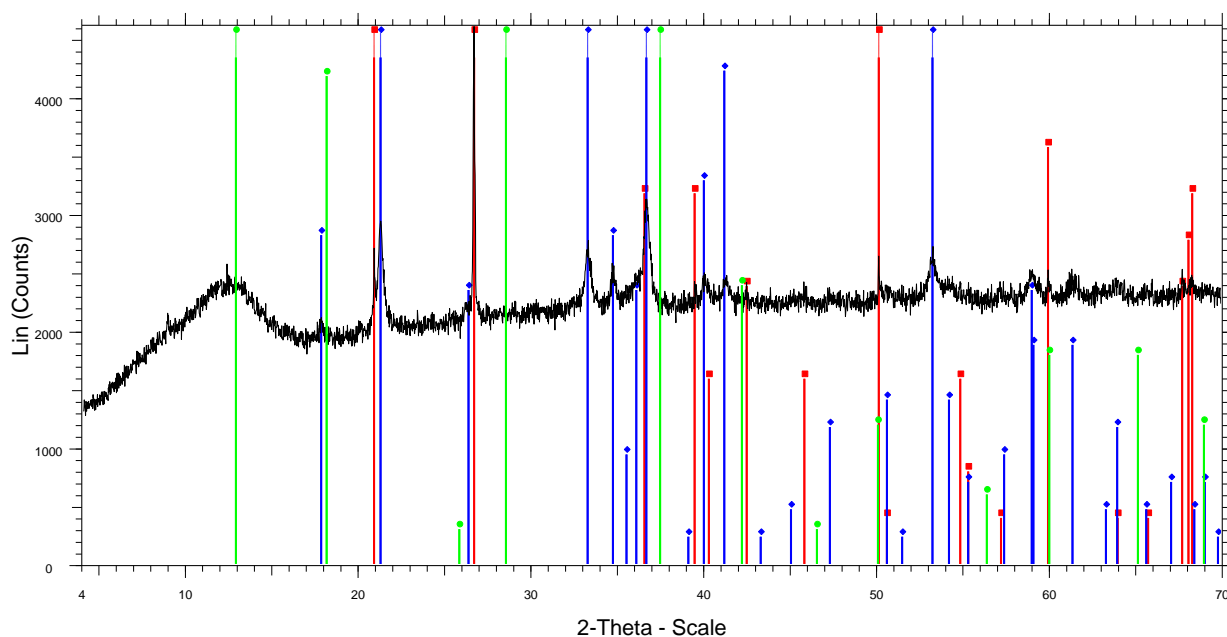
Kar-S-1-b - File: d8180323.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Thet
 Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 712.04 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe₂O₃(OH) - Y: 316.47 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-012-0706 (D) - Cryptomelane - KMn₈O₁₆ - Y: 64.83 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 9.84000 - b 9.84000 - c 2.87000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 1 - 277.

Kar-S-1-c



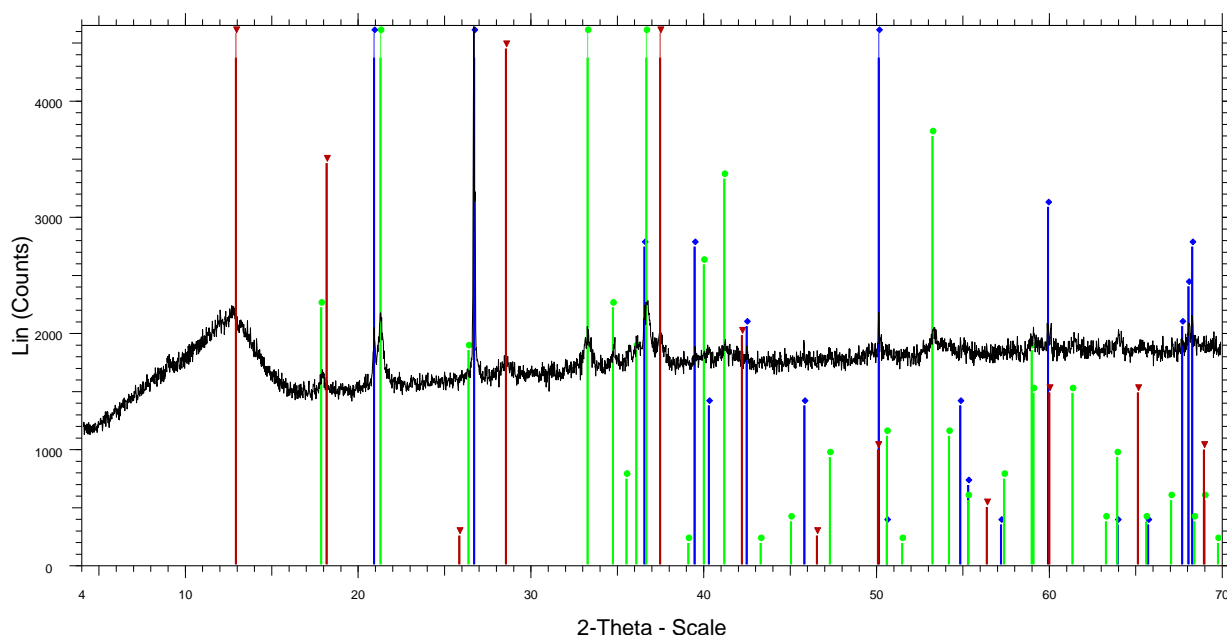
Kar-S-1-c - File: d8180324.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Thet
 Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 840.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe₂O₃(OH) - Y: 614.06 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-012-0706 (D) - Cryptomelane - KMn₈O₁₆ - Y: 87.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 9.84000 - b 9.84000 - c 2.87000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 1 - 277.

Kar-S-2-a



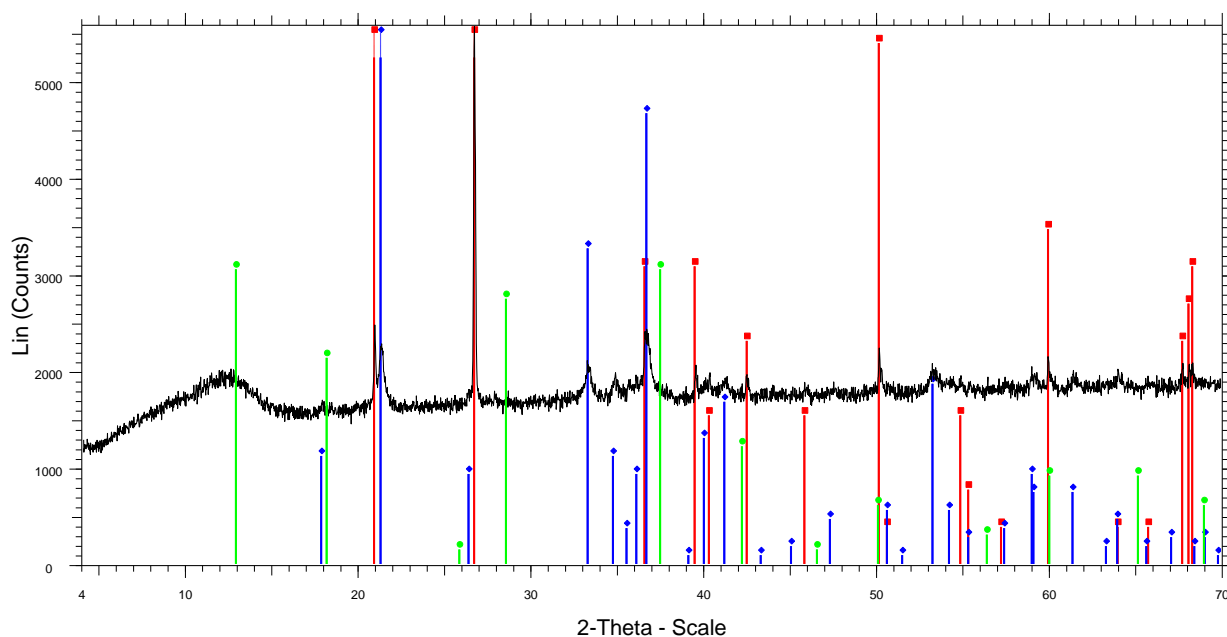
Kar-S-2-a - File: d8180325.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Thet
Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 862.43 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 510.14 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-012-0706 (D) - Cryptomelane - KMn₈O₁₆ - Y: 129.75 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 9.84000 - b 9.84000 - c 2.87000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 1 - 27

Kar-S-2-b



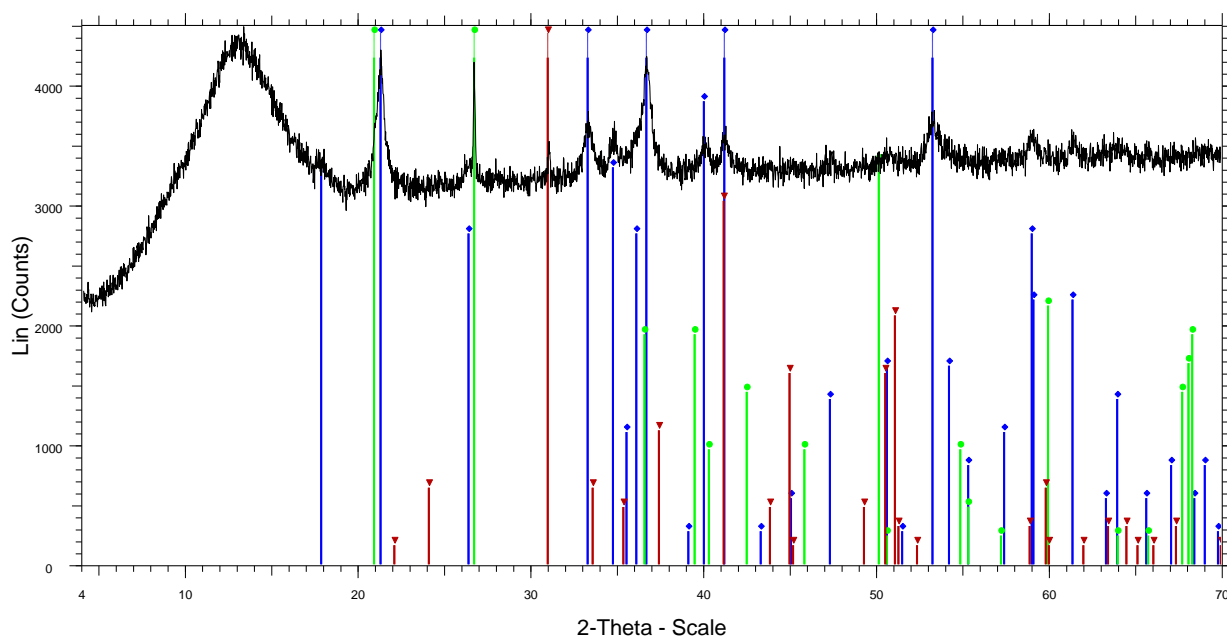
Kar-S-2-b - File: d8180326.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 21 s - 2-Theta: 4.000 ° - Thet
Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 738.81 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe+3O(OH) - Y: 398.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-012-0706 (D) - Cryptomelane - KMn₈O₁₆ - Y: 106.63 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 9.84000 - b 9.84000 - c 2.87000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 1 - 27

Kar-S-2-c



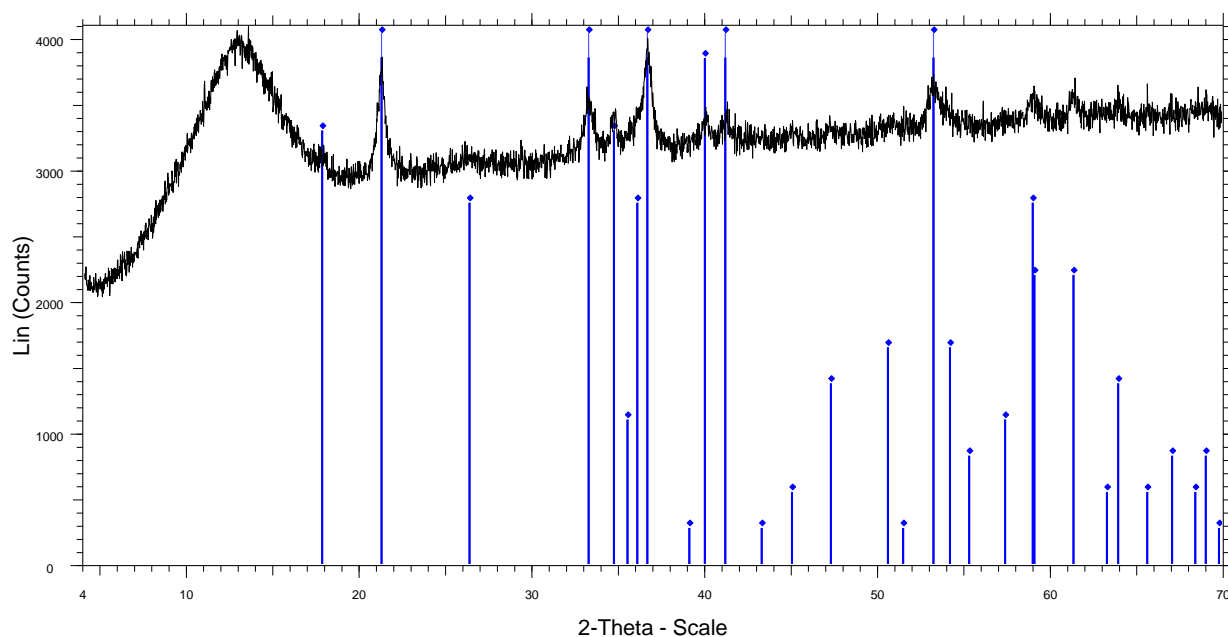
Kar-S-2-c - File: d8180327.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Thet
 Operations: Import
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 692.48 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe₂O₃(OH) - Y: 167.84 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-012-0706 (D) - Cryptomelane - KMn₈O₁₆ - Y: 54.85 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Tetragonal - a 9.84000 - b 9.84000 - c 2.87000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - 1 - 277.

PENT 1

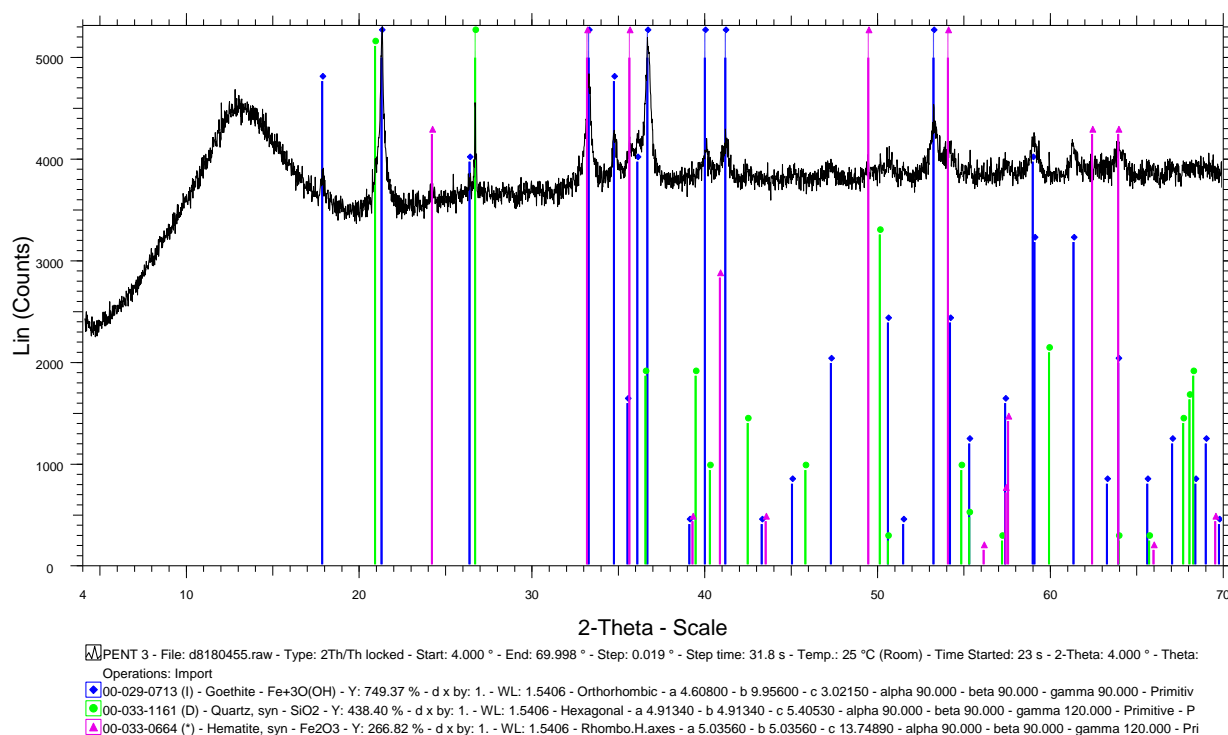


PENT 1 - File: d8180453.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 4.000 ° - End: 69.998 ° - Step: 0.019 ° - Step time: 31.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 22 s - 2-Theta: 4.000 ° - Theta:
 Operations: Import
 00-029-0713 (I) - Goethite - Fe₂O₃(OH) - Y: 615.64 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Orthorhombic - a 4.60800 - b 9.95600 - c 3.02150 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 90.000 - Primitiv
 00-033-1161 (D) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 534.72 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Hexagonal - a 4.91340 - b 4.91340 - c 5.40530 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - Primitive - P
 00-036-0426 (*) - Dolomite - CaMg(CO₃)₂ - Y: 356.02 % - d x by: 1. - WL: 1.5406 - Rhombo.H.axes - a 4.80920 - b 4.80920 - c 16.02000 - alpha 90.000 - beta 90.000 - gamma 120.000 - P

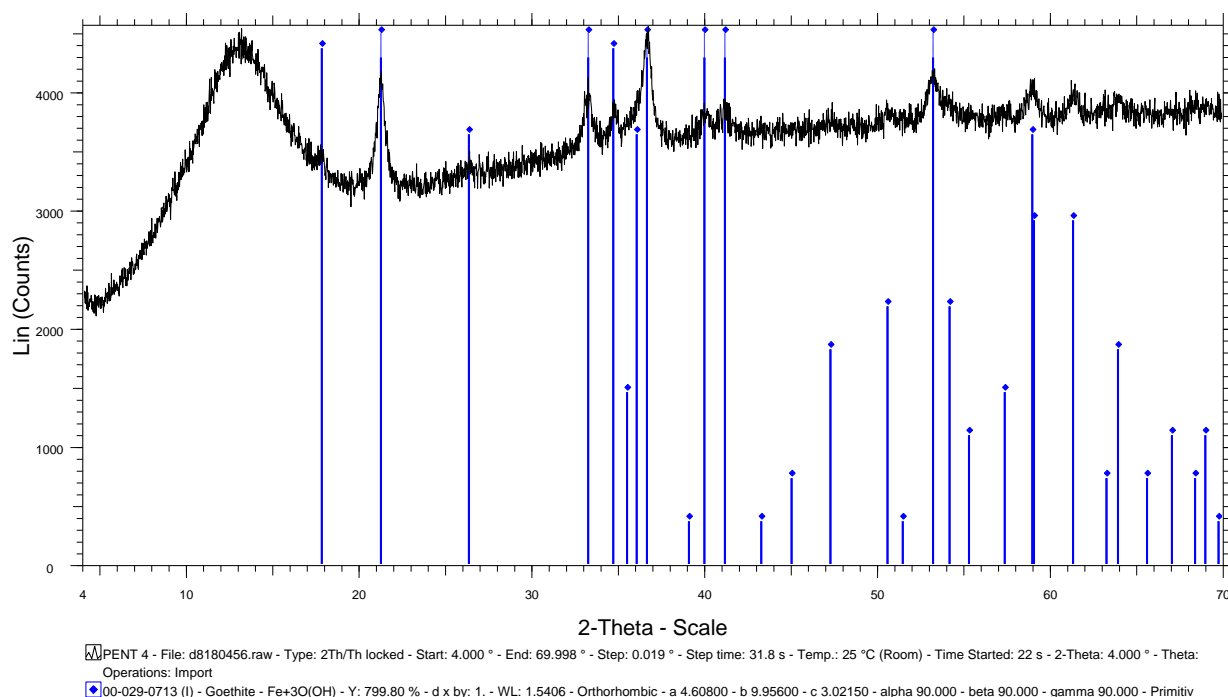
PENT 2



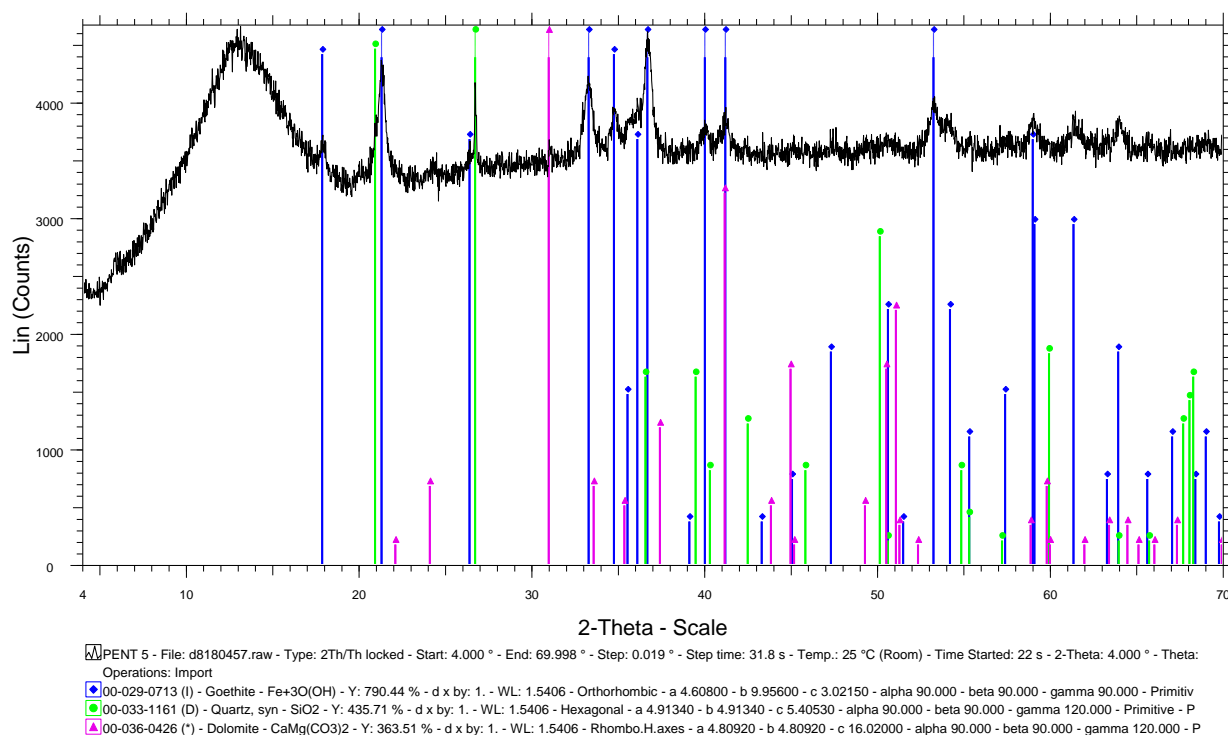
PENT 3



PENT 4



PENT 5

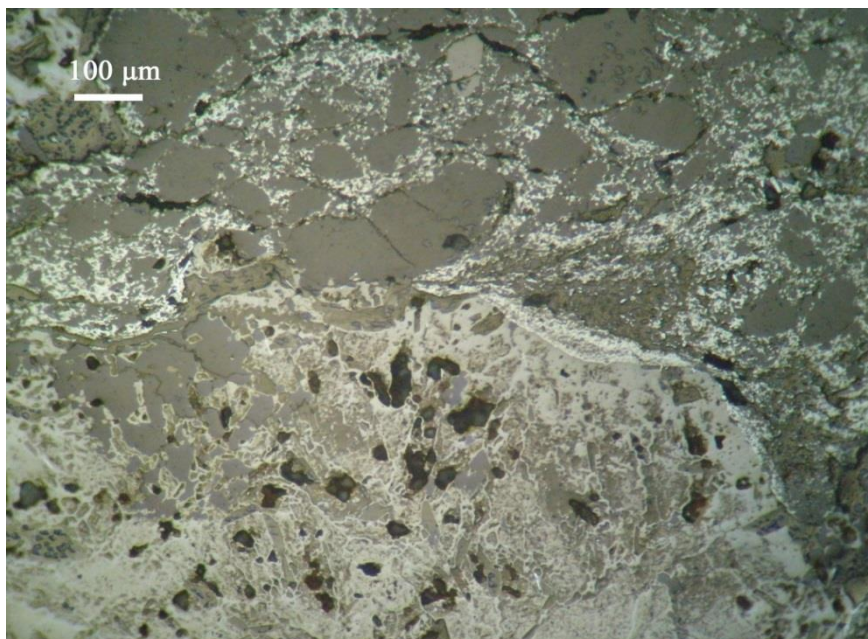


Παράρτημα 4: Φωτογραφίες Στιλπνών τομών

Οι παρακάτω μικροσκοπικές αναλύσεις είναι σε παράλληλα Nicolls.

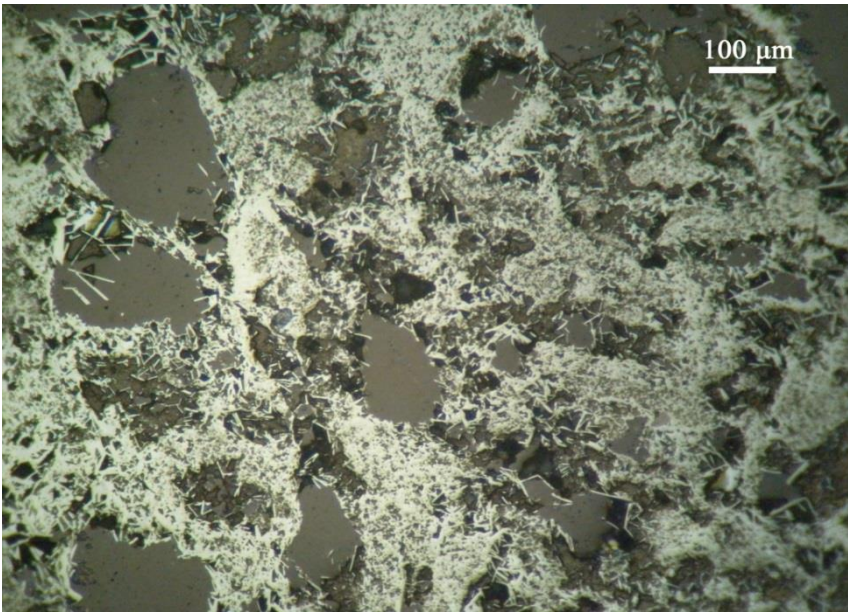
Μικροφωτογραφίες Σιδηρομεταλλευμάτων Κρήτης

Άνω Βαλσαμόνερο-Ερρυκιά.



Εικ. 1: Μεταλλοφορία γκαιτίτη αντικαθιστά το συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων του μητρικού πετρώματος (χαλαζίτη) και μεταβαίνει σταδιακά σε αιματίτη.

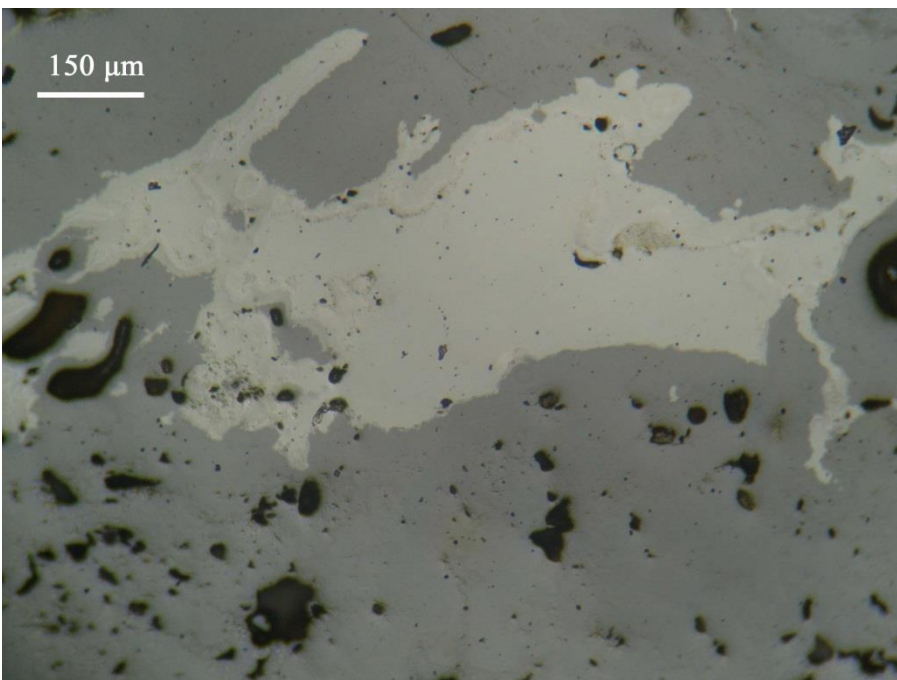
Δείγμα **ERR3**. Ανακλώμενο φως, // Nicols.



Εικ. 2: Λεπιοειδή συσσωματώματα αιματίτη αναπτύσσονται μεταξύ των κόκκων χαλαζία.

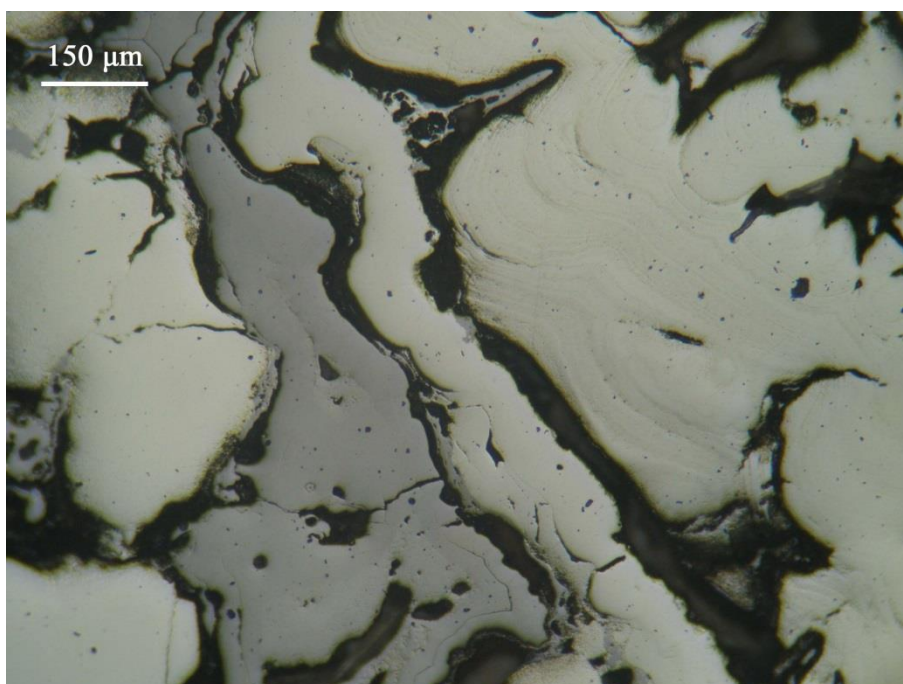
Δείγμα **ERR1**. Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Κακόπετρος



Εικ. 3: Μεταλλοφορία γκαιτίτη και κρυπτομέλανα αντικαθιστούν το συνδετικό υλικό των μητρικών πετρωμάτων (φυλλιτών-χαλαζιτών).

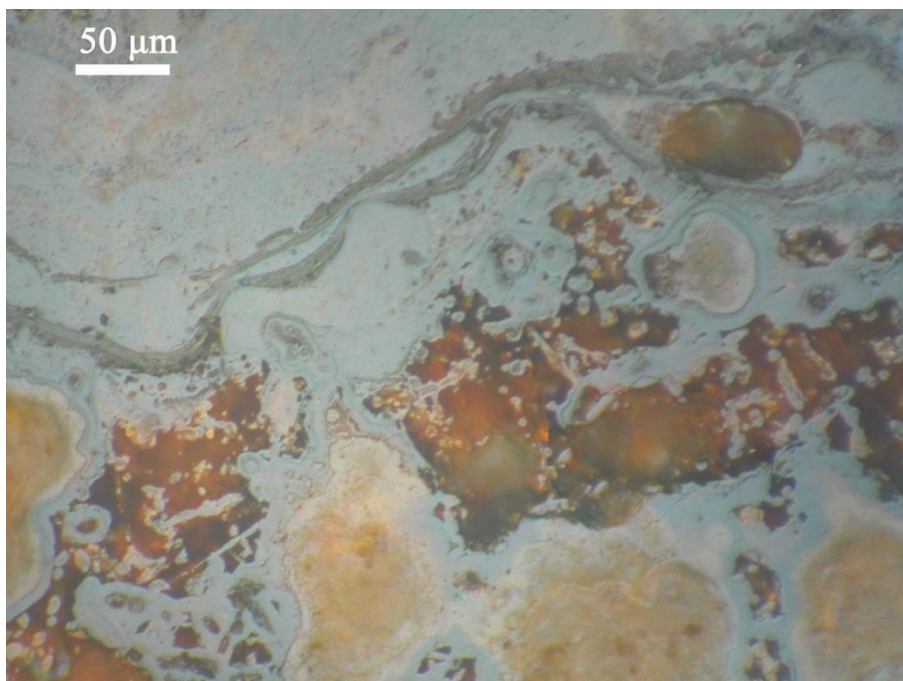
Δείγμα **Kar1a**. Ανακλώμενο φως, // Nicols.



Εικ. 4: Ρυθμικές συγκεντρικές επιφλοιώσεις από γκαιτίτη και κρυπτομέλανα.

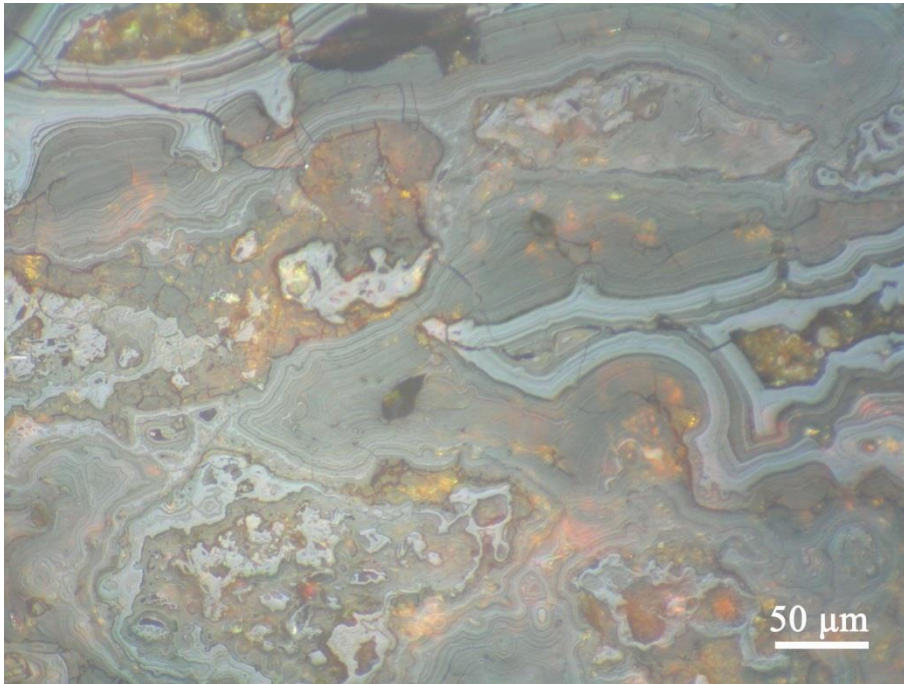
Δείγμα **Kar2b**. Ανακλώμενο φως, // Nicols.

Ρέντα-Αρολίθι



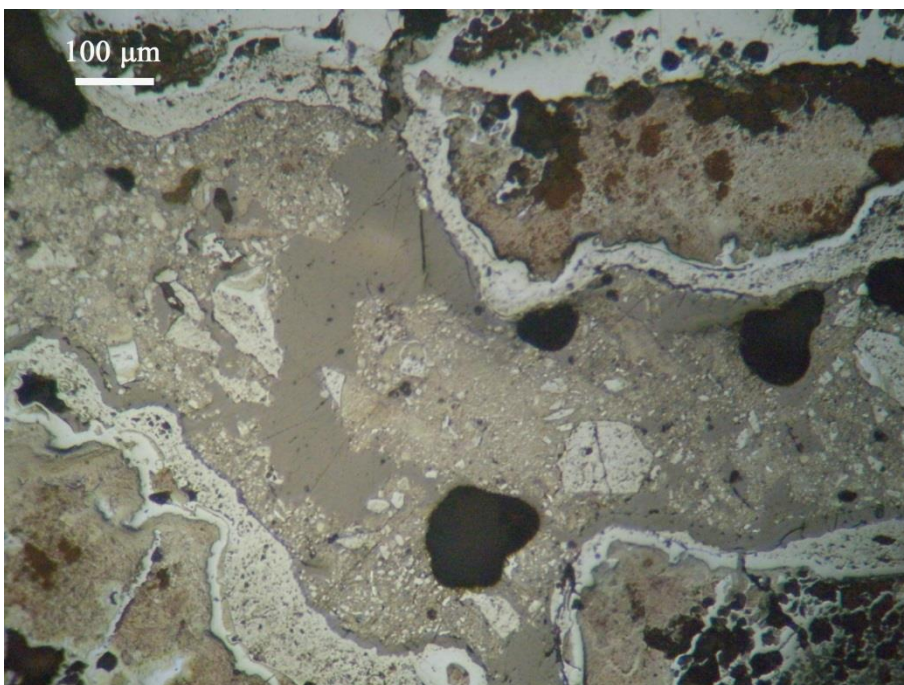
Εικ. 5: Σιδηρούχος μεταλλοφορία με μορφή γκαιτίτη.

Δείγμα **PENT2**. Ανακλώμενο φως, ελαιοκατάδυση, // Nicols



Εικ. 6: Ρυθμικές συγκεντρικές επιφλοιώσεις από γκαίτιτη.
Δείγμα **PENT4**. Ανακλώμενο φως, ελαιοκατάδυση, // Nicols.

Τρύπα-Αρολίθι



Εικ. 7: Μεταλλοφορία γκαίτιτη αντικαθιστά σταδιακά το λατυποποιημένο συνδετικό υλικό των μητρικών πετρωμάτων (φυλλιτών-χαλαζιτών).

Δείγμα **Ar. 1/a**. Ανακλώμενο φως, // Nicols.



Εικ. 8: Ρυθμικές συγκεντρικές επιφλοιώσεις από γκαιτίτη.

Δείγμα **Ar. 2/a**. Ανακλώμενο φως, // Nicols.