

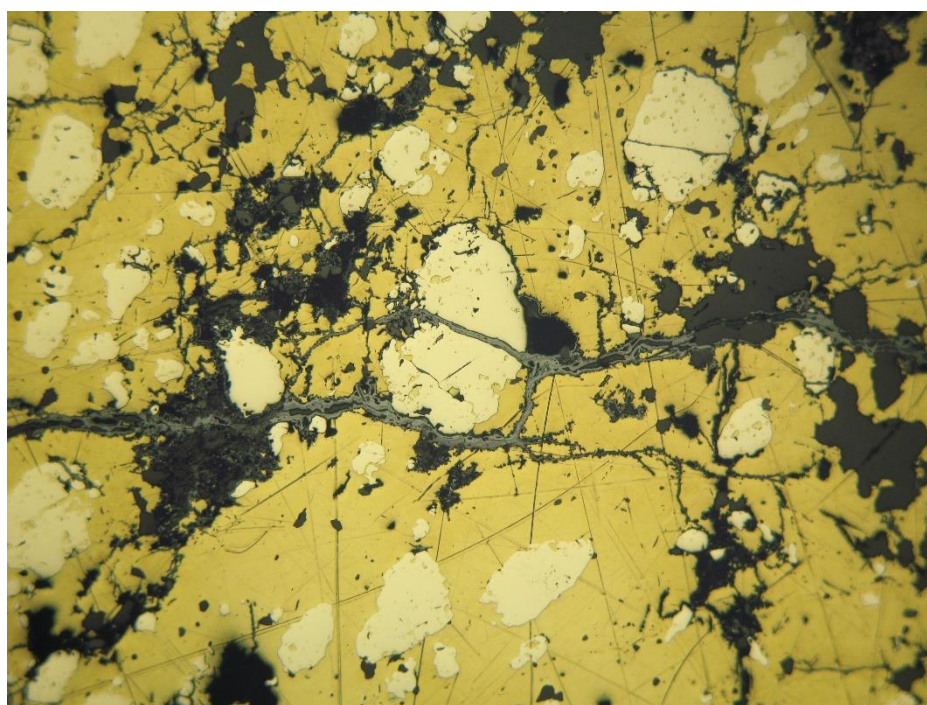


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΟΙΒΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΙΝΙΚΛΗΣ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΟΥΛΦΙΔΙΩΝ
ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΑ ΜΕΤΑΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΦΟΙΒΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΙΝΙΚΛΗΣ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΟΥΛΦΙΔΙΩΝ ΠΟΥ
ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΑ ΜΕΤΑΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ
ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ

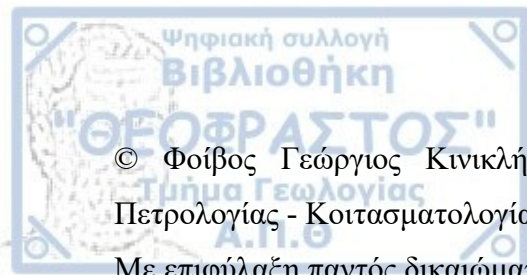
Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων

Βασίλειος Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Φοίβος Γεώργιος Κινικλής, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.



© Φοίβος Γεώργιος Κινικλής, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΟΥΛΦΙΔΙΩΝ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΕΤΑΙ ΜΕ ΤΑ ΜΕΤΑΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ

– Διπλωματική Εργασία

© Foivos Georgios Kiniklis, School of Geology, A.U.Th., Dept. of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, 2019

All rights reserved.

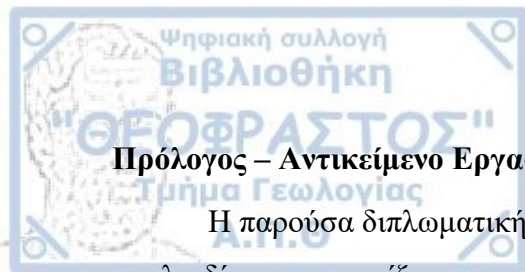
MINERALOGICAL STUDY OF THE ORE MINERALIZATION ASSOCIATED WITH THE METAVOLCANICS ROCKS OF XYLAGANI AREA, THRACE, NE GREECE

– Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: Μικροφωτογραφία στιλπνής τομής (δείγμα NP 15/2)



Πρόλογος – Αντικείμενο Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «Ορυκτολογική μελέτη της μεταλλοφορίας σουλφιδίων που σχετίζεται με τα μεταηφαιστειακά πετρώματα στη περιοχή της Ξυλαγανής», έχει ως αντικείμενο τον ορυκτολογικό προσδιορισμό της μεταλλοφορίας που εντοπίζεται στη περιοχή της Ξυλαγανής. Η πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019.

Στο 2^ο κεφάλαιο της εργασίας αρχικά αναφέρονται μερικά γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής μελέτης και στη συνέχεια μελετάται η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά στοιχεία για τα κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων και γίνεται αναλυτικότερη αναφορά στα κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ορυκτολογική μελέτη.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ορυκτολογική μελέτη της μεταλλοφορίας.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον αναπληρωτή καθηγητή κ. Βασίλειο Μέλφο για την ανάθεση του θέματος και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, για τις χρήσιμες συμβουλές και υποδείξεις του, καθώς και για τη παραχώρηση των προς μελέτη δειγμάτων και παρασκευασμάτων (στιλπνών τομών).

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους με βοήθησαν κατά την έρευνα και τη συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας.



Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	1
Abstract	2
Πρόλογος – Αντικείμενο Εργασίας	4
1. Εισαγωγή	3
2. Γεωγραφικά και γεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης.....	4
2.1. Γεωγραφική θέση.....	4
2.2. Γεωλογία της Περιριδοπικής ζώνης.....	5
2.2.1 Λιθοστρωματογραφία	7
2.2.2. Ενότητα Δρυμού – Μελίας	9
2.2.3 Ενότητα Μάκρης.....	9
3. Ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων (VMS).....	10
3.1 Γένεση.....	12
3.2 Τύποι ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων – ταξινομήσεις	15
3.3 Ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου	17
4. Αναλυτικές Μέθοδοι.....	21
5.Αποτελέσματα.....	22
5.1 Ορυκτολογική σύσταση	27
5.1.1 Σιδηροπυρίτης.....	27
5.1.2 Χαλκοπυρίτης	28
5.1.3 Σφαλερίτης.....	28
5.1.4 Μαγνητοπυρίτης	28
5.1.5 Τενναντίτης.....	28
5.1.6 Κοβελλίνης	28
5.1.7 Αυτοφυής Χρυσός	29
5.1.8 Μαλαχίτης.....	29
6. Συμπεράσματα	35
7. Βιβλιογραφία	36
Ξενόγλωσση.....	36
Ελληνική	40
Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο	40



Τίτλος: Ορυκτολογική μελέτη της μεταλλοφορίας σουλφιδίων που σχετίζεται με τα μεταηφαιστειακά πετρώματα στην περιοχή της Ξυλαγανής.

Όνομα: Φοίβος Γεώργιος Κινικλής

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την ορυκτολογική μελέτη της μεταλλοφορίας σουλφιδίων που εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή της Ξυλαγανής, στη βορειοδυτική Ελλάδα. Τα πετρώματα ξενιστές της μεταλλοφορίας ανήκουν γεωτεκτονικά στη Περιοδοπική ζώνη και πιο συγκεκριμένα στην ενότητα Μάκρης. Η ενότητα Μάκρης αποτελείται από ιζήματα, ασβεστολίθους, κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα και τεκτονικά τοποθετημένους οφιολίθους. Οι οφιολίθοι αυτοί, αποτελούν και τα πετρώματα ξενιστές της μεταλλοφορίας.

Η μεταλλοφορία με βάση τα ιστολογικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων διακρίνεται σε πέντε τύπους: α) Διάσπαρτη μεταλλοφορία β) Διάσπαρτη έως συμπαγής μεταλλοφορία γ) Μεταλλοφορία με τη μορφή λεπτών στρωμάτων δ) Συμπαγής μεταλλοφορία ε) Διάσπαρτη μεταλλοφορία σε χαλαζιακές φλέβες. Μάλιστα, ο τύπος της συμπαγούς μεταλλοφορίας μπορεί να διακριθεί σε δύο επιμέρους τύπους ανάλογα με το κυριαρχούμενο ορυκτό. Έτσι, διακρίνονται επίσης οι τύποι i) συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη και ii) συμπαγής μεταλλοφορία χαλκοπυρίτη-σιδηροπυρίτη

Η ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων έδειξε ότι η μεταλλοφορία αποτελείται από τα ακόλουθα ορυκτά: σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη, μαγνητοπυρίτη, τενναντίτη, αυτοφυή χρυσό, καθώς και μαλαχίτη, κοβελλίνη και λειμωνίτη.

Οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι η μεταλλοφορία σχηματίστηκε ταυτόχρονα με τα ηφαιστειακά πετρώματα που τη φιλοξενούν, ενώ οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι η μεταλλοφορία έχει επηρεαστεί από τις ίδιες τεκτονικές και μεταμορφικές διεργασίες που έχουν επηρεάσει και τα πετρώματα ξενιστές της.



Abstract

Title: Mineralogical study of the ore mineralization associated with the metavolcanics rocks of Xylagani area, Thrace, NE Greece

By: Foivos Georgios Kiniklis

The present Bachelor Thesis refers to the mineralogical study of the sulphide mineralization which is associated with the metavolcanic rocks in the area of Xylagani, northwestern Greece. The metavolcanic host rocks belong to the Circum Rhodope geotectonic belt (CRB) and more specifically in the Makri unit. The Makri unit consists of limestones, clastic sedimentary rocks, and tectonically placed metavolcanic rocks part an ophiolites suite. These metavolcanic rocks are also the host rocks of the mineralization.

The mineralization based on the textural characteristics of the samples is divided into five types: a) disseminated b) disseminated to massive c) banded quartz - sulphides d) massive e) disseminated at quartz veins. In fact, the type of massive mineralization can be divided into two sub-types depending on the dominant mineral. Thus, the types are also distinguished in: (i) massive pyrite-metallization and ii) massive chalcopyrite – pyrite.

The mineralogical study of the samples showed that the mineralization consists of the following minerals: pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, pyrrhotite, tennantite, native gold, as well as malachite, covellite and limonite.

The macroscopic observations showed that the mineralization formed simultaneously with the host volcanic rocks, while the macroscopic study showed that the mineralization has been affected by the same tectonic and metamorphic processes which have affected the host rocks.

Τα κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα (γνωστά και ως κοιτάσματα VMS), αποτελούν μια πολύ σημαντική πηγή βασικών και πολύτιμων μετάλλων. Το μετάλλευμα που εξορύσσεται είναι πλούσιο σε ψευδάργυρο, χαλκό, μόλυβδο και συχνά περιέχει αξιοσημείωτες ποσότητες χρυσού και αργύρου. Τα κοιτάσματα VMS παρουσιάζουν παγκόσμια εξάπλωση, με πάνω από 800 κοιτάσματα να είναι γνωστά διεθνώς, με περισσότερα από 400 να βρίσκονται στον Καναδά.

Τα κοιτάσματα VMS χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση τις ομοιότητες που παρουσιάζουν με καθορισμένα κοιτάσματα που έχουν οριστεί ότι τις αντιπροσωπεύουν. Η μεταλλοφορία που εντοπίζεται στη περιοχή της Ξυλαγανής, παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με τα κοιτάσματα που βρίσκονται στο όρος Τρόδος της Κύπρου, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται ως μεταλλοφορία τύπου Κύπρου.

Τα κοιτάσματα τύπου Κύπρου χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι τα πετρώματα ξενιστές της μεταλλοφορίας αποτελούν τμήματα μιας οφιολιθικής ακολουθίας.

Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των κοιτασμάτων τύπου Κύπρου, είναι ότι συσχετίζονται με τα σύγχρονα ενεργά υδροθερμικά συστήματα που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα, στα οποία γίνεται απόθεση σουλφιδίων και στο μέλλον ίσως να αποτελέσουν σημαντικά κοιτάσματα. Η κατανόηση του τρόπου γένεσης των κοιτασμάτων τύπου Κύπρου, αποτελεί σημαντικό βήμα στη κατανόηση της λειτουργίας των σύγχρονων υδροθερμικών συστημάτων και αντίστροφα. Η κατανόηση των σύγχρονων υδροθερμικών συστημάτων οδηγεί σε σημαντικά συμπεράσματα για τη λειτουργία του εσωτερικού της Γης.

2. Γεωγραφικά και γεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης

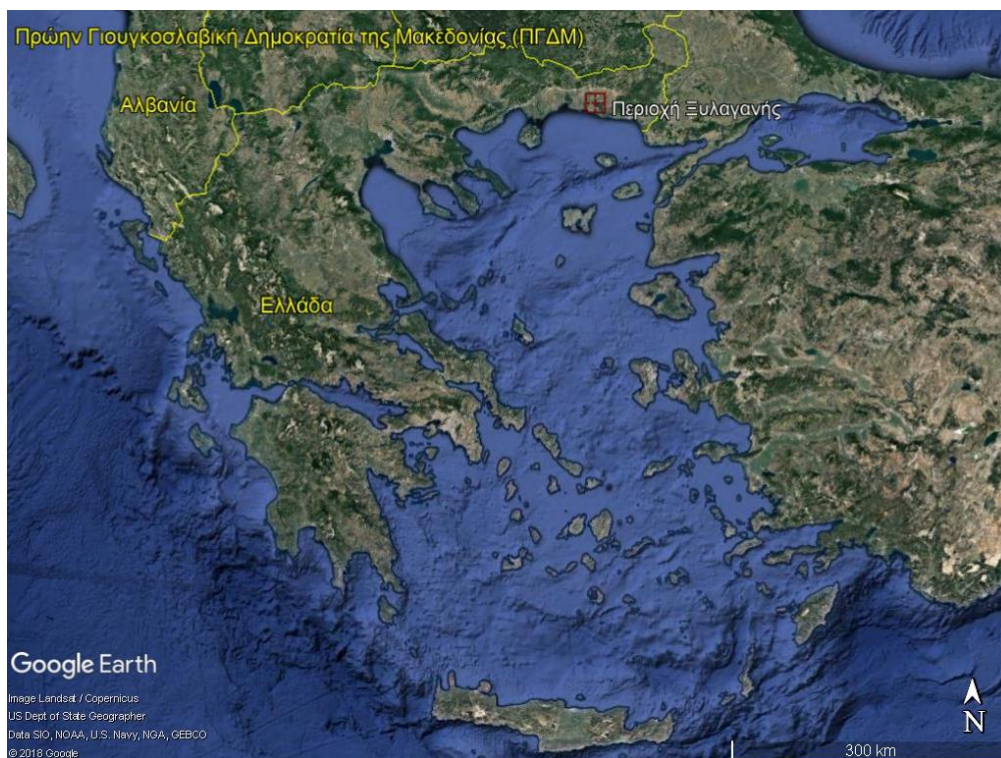
2.1. Γεωγραφική θέση

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης βρίσκεται κοντά στην κωμόπολη Ξυλαγανή που σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας από το πρόγραμμα 'Καλλικράτης' βρίσκεται στη Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης και ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Ροδόπης. Μέχρι το 2010, σύμφωνα με τη διοικητική διαίρεση της Ελλάδας, με το σχέδιο "Καποδίστριας", η Ξυλαγανή ανήκε στο νομό Ροδόπης. (σχήμα 2.1)

Η Ξυλαγανή βρίσκεται 17km Νότια της Κομοτηνής, σε υψόμετρο 42m από την επιφάνεια της θάλασσας και σύμφωνα με την απογραφή του 2011, οι κάτοικοί της είναι 1.180.

Πιο συγκεκριμένα, η περιοχή της εμφάνισης της μεταλλοφορίας, βρίσκεται πλησίον του χωριού Νέα Πέτρα που βρίσκεται 4km Βορειοανατολικά της Ξυλαγανής, στην τοποθεσία Μυλόρεμα.

Η προηγούμενη ονομασία του χωριού Νέα Πέτρα, ήταν Νέα Εργάνη, βρίσκεται σε υψόμετρο, 75 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας και κατά την απογραφή του 1991 είχε 99 κατοίκους (πηγή: ΕΛΣΤΑΤ).

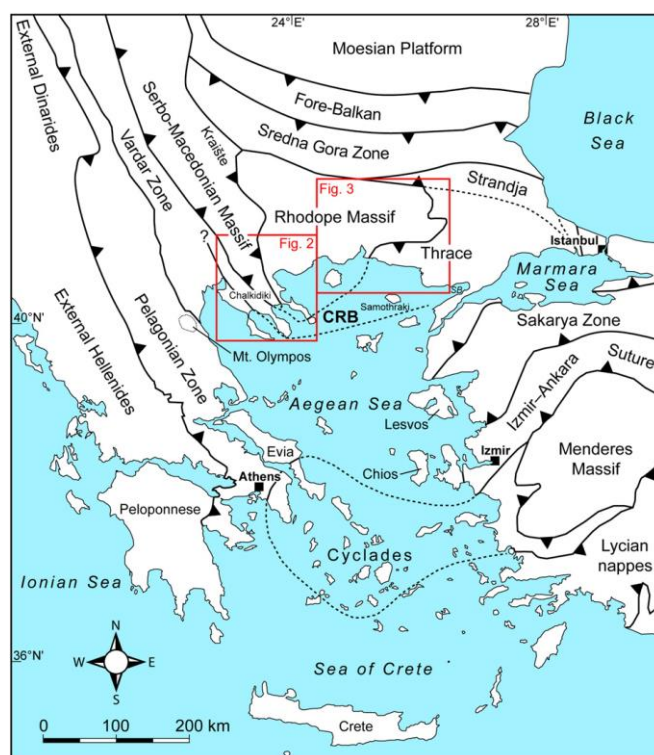


Σχήμα 2.1 Δορυφορική εικόνα με σημειωμένη τη θέση της περιοχής μελέτης (πηγή: Google-Earth)

2.2. Γεωλογία της Περιοδοπικής ζώνης

Σύμφωνα με τους Κουρής (1980), Cheliotis (1986), Μέλφος (1995) και Νταρλαγιάννης κ.ά. (2002) η ευρύτερη περιοχή της Ξυλαγανής ανήκει γεωτεκτονικά στη Περιοδοπική ζώνη.

Η Περιοδοπική ζώνη, σύμφωνα με τον Μουντράκης (2010) αποτελεί μια ζώνη πλάτους έως 20 Km που εκτείνεται από τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βόρεια Μακεδονία, περνάει από τη λίμνη Λαγκαδά με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, διέρχεται από τη κεντρική Χαλκιδική και τη Σιθωνία, στην οποία κάμπτεται προς τα ΒΑ, στη συνέχεια εμφανίζεται νότια της χερσονήσου του Άθω για να καταλήξει στην περιοχή της Σαμοθράκης και στην περιοχή Αλεξανδρούπολης - Έβρου (σχήματα 2.2.1 και 2.1.3).

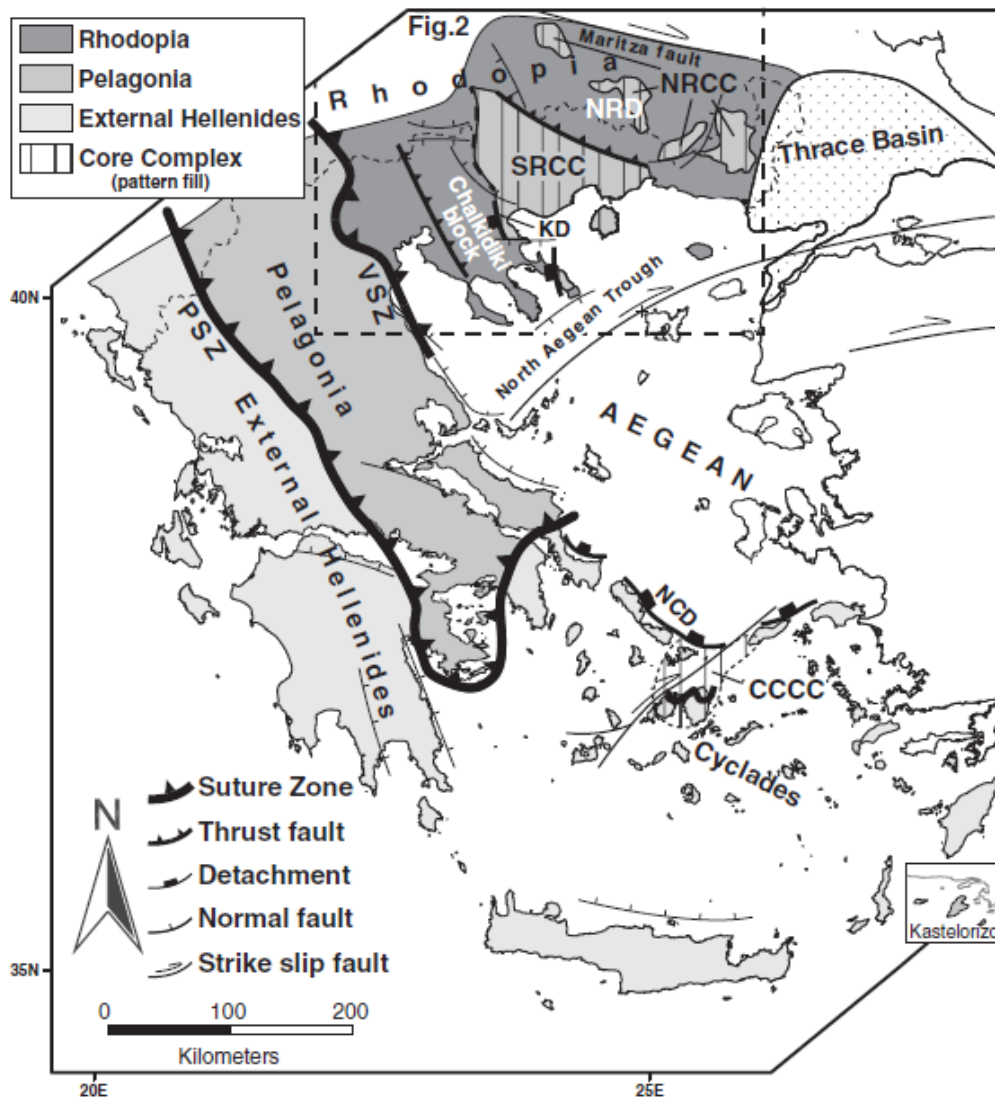


Σχήμα 2.2.1 Απλοποιημένος χάρτης με τις γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας, με CRB (Circum Rhodope Belt) σημειώνεται η θέση της Περιοδοπικής ζώνης (κατά Meinhold and Kostopoulos 2013).

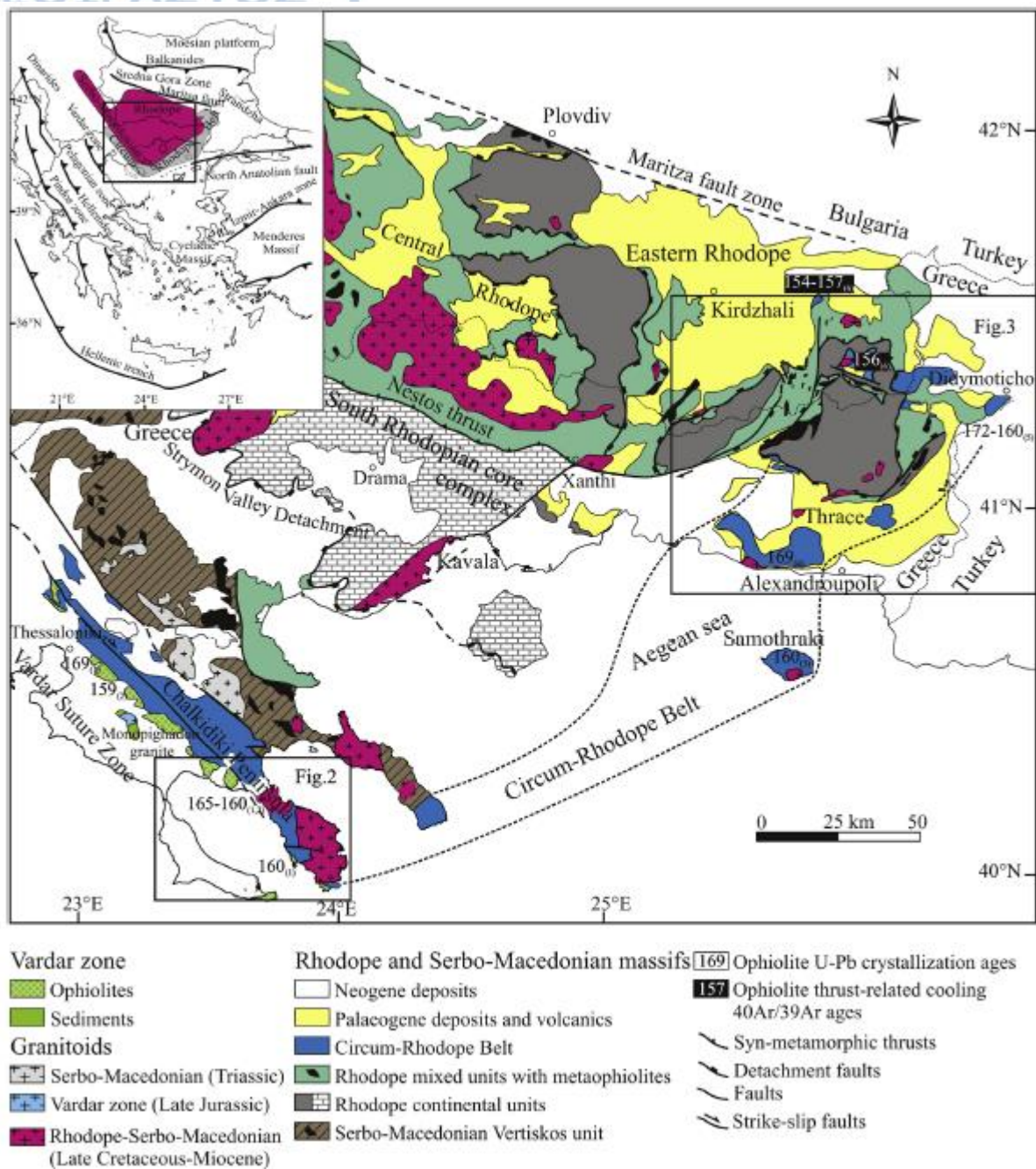
Η Περιοδοπική ζώνη, σύμφωνα με άλλες απόψεις (Kydonakis et al. 2015) δεν αποτελεί ξεχωριστή ενότητα αλλά τα πετρώματα από τα οποία αποτελείται στην περιοχή της Χαλκιδικής ανήκουν στο Τέμαχος Χαλκιδικής (Chalkidiki block), ενώ τα πετρώματα που αποτελούν την Περιοδοπική ζώνη στη Θράκη, ανήκουν στο Βόρειο Τομέα Ροδόπης (Northern Rhodope Domain). Σύμφωνα με την παραπάνω άποψη, οι περιοχές της Ελληνικής ενδοχώρας και της νότιας Βουλγαρίας, ανήκουν στον Τομέα Βορείου Αιγαίου (Northern

Aegean Domain), ο οποίος αποτελείται από τρεις υπο-τομείς (σχήμα 2.2.2):

- i. Τον Τομέα Βόρειας Ροδόπης (Northern Rhodope Domain)
- ii. Το Σύμπλεγμα Μεταμορφικού Πυρήνα Ανατολικής Ροδόπης (Southern Rhodope Core Complex)
- iii. Το Τέμαχος της Χαλκιδικής (Chalkidiki block).



Σχήμα 2.2.2.. Απλοποιημένος χάρτης των Ελληνίδων. Οι Ελληνίδες συγκροτούνται από τρία ηπειρωτικά τεμάχη, (τη Ροδόπη, τη Πελαγονική και τις εξωτερικές Ελληνίδες) και δύο ενδιάμεσες ωκεάνιες ζώνες συρραφής (Αξιού και Πίνδου) NRD: Northern Rhodope Domain (Βόρειος Τομέα Ροδόπης), NRCC: Northern Rhodope Core Complex (Σύμπλεγμα Μεταμορφικού Πυρήνα Βόρειας Ροδόπης), SRCC: Southern Rhodope Core Complex (Σύμπλεγμα Μεταμορφικού Πυρήνα Ανατολικής Ροδόπης), CCCC: Central Cyclades Core Complex (Σύμπλεγμα Μεταμορφικού Πυρήνα Κεντρικών Κυκλάδων), KD: Kerdylion Detachment (Detachment Κερδυλίων), NCD: North Cycladic Detachment (Detachment Βόρειων Κυκλάδων) (Kydonakis et al. 2015).



Σχήμα 2.2.3. Τεκτονικός χάρτης τη νότιας Βουλγαρίας και της βόρειας Ελλάδας (Bonev et al. 2013 τροποποιημένο από Ivanova et al. 2015).

2.2.1 Λιθοστρωματογραφία

Στην περιοχή της Μακεδονίας η Περιοδοπική ζώνη αποτελείται από 3 γεωλογικές ενότητες (Μουντράκης 2010), οι οποίες από Ανατολικά προς δυτικά είναι:

1. Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά,
2. Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα,
3. Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

Στην περιοχή της Θράκης διακρίνονται 2 ενότητες, (Κουρής 1980, Meinhold et al. 2010, Meinhold and Kostopoulos 2013, Ivanova 2015) οι οποίες είναι:

- i. η ανώτερη τεκτονικά τοποθετημένη Ενότητα Δρυμού – Μελίας (ή σχηματισμός Μελίας κατά τους Meinhold et al. 2010) και
- ii. η υποκείμενη Ενότητα Μάκρης (γνωστή και ως σειρά φυλλιτών).

Σύμφωνα με τον Cheliotis (1986), τα πετρώματα που φιλοξενούν τη μεταλλοφορία ανήκουν στο σχηματισμό των πρασινοσχιστόλιθων, ο οποίος μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη, το ανώτερο, στο οποίο το ποσοστό των λαβών είναι μεγαλύτερο από αυτό των τόφφων και στο κατώτερο, στο οποίο το ποσοστό των λαβών είναι μικρότερο από των τόφφων .

Ο Μαγγανάς (1988) αναφέρει ότι τα πετρώματα της περιοχής ανήκουν στην ενότητα Δρυμού – Μελίας και είναι ως επί το πλείστον μεταηφαιστίτες, με μορφή pillow λαβών και ροών λάβας, ενώ εμφανίζονται και ελάχιστα μεταπυροκλαστικά πετρώματα. Παρόμοια διαίρεση με τη διαίρεση των πρασινοσχιστόλιθων του Cheliotis (1986), έχουν κάνει και οι Magganis et al (1991) και Magganis (2002), οι οποίοι διαιρούν την ενότητα των πρασινοσχιστόλιθων σε ανώτερα μεταηφαιστειακά και σε κατώτερα μεταηφαιστειακά. Σύμφωνα με αυτή τη διαίρεση του σχηματισμού των πρασινοσχιστόλιθων, το κατώτερο τμήμα των μεταηφαιστειακών πετρωμάτων είναι μεταμορφωμένο στη πρασινοσχιστολιθική φάση, ενώ το ανώτερο είναι μεταμορφωμένο κυρίως στη φάση πρενίτη – πουμπεϋλίτη. Οι Μαγγανάς (1988), Meinhold et al. (2010) και Meinhold and Kostopoulos (2013) αναφέρουν ότι ο σχηματισμός των πρασινοσχιστόλιθων είναι τμήμα των οφιόλιθων του Έβρου.

Σύμφωνα με τους Κουρής (1980), Μέλφος κ.ά. (1993), Μέλφος (1995) και Νταρλαγιάννης κ.ά. (2002) (Σχήμα 2.2.2.1.) τα πετρώματα ξενιστές της μεταλλοφορίας, ανήκουν στην ενότητα Μάκρης και είναι πρασινοσχιστόλιθοι (μεταηφαιστειακά πετρώματα που παρουσιάζουν και χαρακτηριστικά pillow λαβών).



Σχήμα 2.2.2.1. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Ξυλαγανής, σημειωμένη η θέση της μεταλλοφορίας συμπαγών σουλφιδίων Fe-Cu(Zn-Pb) (από Νταρλαγιάννης κ.ά. 2002).

2.2.2. Ενότητα Δρυμού – Μελίας

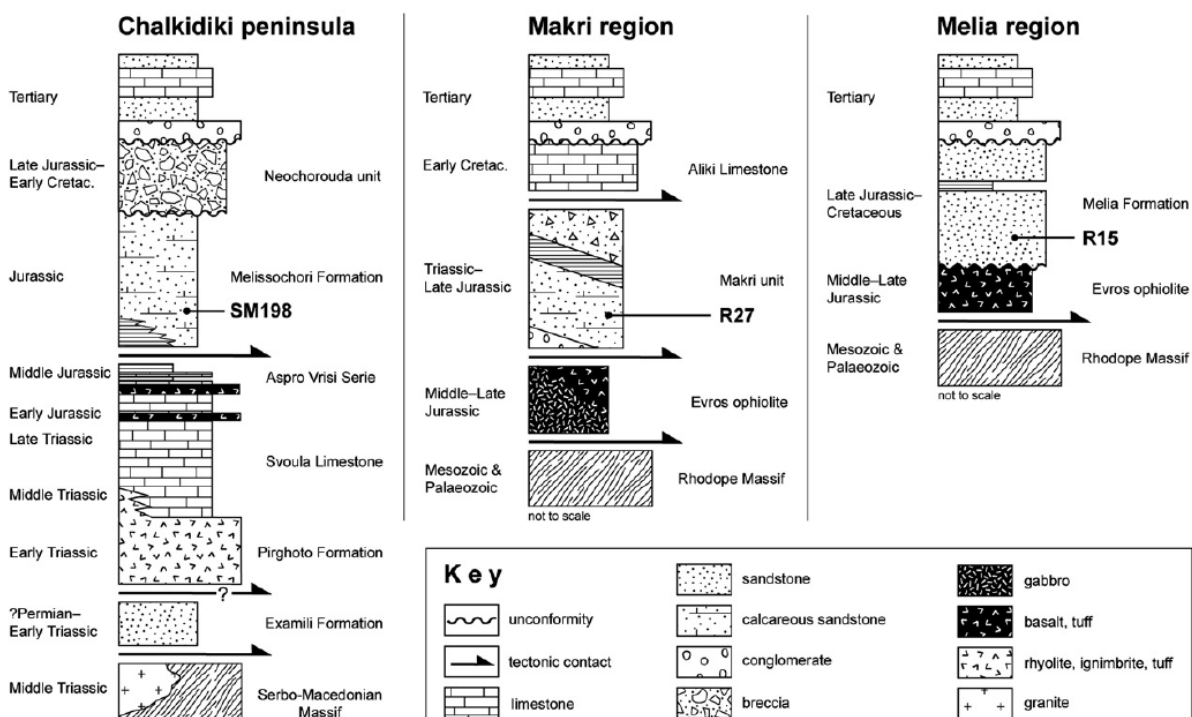
Η ενότητα Δρυμού – Μελίας βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένη πάνω στα υψηλής – υπερυψηλής (HP - UHP) πετρώματα της Μάζας Ροδόπης (Meinhold et al. 2010). Στη βάση της εντοπίζονται οι Άνω Ιουρασικοί οφιόλιθοι του Έβρου, μεταμορφωμένοι στη πρασινοσχιστολιθική φάση, ο οποίοι αποτελούνται από γάββρους, βασάλτες, πλαγιογρανίτες, διορίτες και τόφφους. Πάνω από τους οφιόλιθους βρίσκεται ασύμφωνα ο σχηματισμός Μελίας ηλικίας Άνω Ιουρασικού – Κρητιδικού. Ο σχηματισμός Μελίας αποτελείται από κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και υλιολίθους) τα οποία παρουσιάζουν μεταμόρφωση πολύ χαμηλού βαθμού (αγχιμεταμόρφωση).

Τα αμεταμόρφωτα πετρώματα που βρίσκονται πάνω από το σχηματισμό Μελίας, αποτελούν μια ιζηματογενή καλυμματική ακολουθία ηλικίας Καινοζωικού, η οποία αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα, νουμμουλιτοφόρους ασβεστόλιθους και κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα (κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και ιλυολίθους). Δεδομένα ραδιοχρονολογήσεων σε ζirkόνια που βρέθηκαν στους ψαμμιτικούς ορίζοντες της ενότητας, δείχνουν ότι η ενότητα Μελίας έχει ηλικία Άνω Ιουρασικού – Κρητιδικού (Meinhold et al. 2010).

2.2.3 Ενότητα Μάκρης

Η ενότητα Μάκρης σύμφωνα με τους Meinhold et al. (2010) και Meinhold and Kostopoulos (2013) βρίσκεται επίσης τεκτονικά τοποθετημένη πάνω στη Μάζα της Ροδόπης.

Στη βάση της βρίσκονται οι οφιόλιθοι του Έβρου ηλικίας Άνω Ιουρασικού, οι οποίοι έχουν υποστεί μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Πάνω από τους οφιόλιθους βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένος ο σχηματισμός Μάκρης ηλικίας Άνω Ιουρασικού – Τριαδικού. Ο σχηματισμός Μάκρης αποτελείται από κλαστικά και ανθρακικά ιζηματογενή πετρώματα (κροκαλοπαγή, φυλλίτες, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι). Μέσα στον σχηματισμό Μάκρης εμφανίζονται τεκτονικά τοποθετημένα υπολείμματα πετρωμάτων των οφιόλιθων του Έβρου αλλά και του σχηματισμού Μελίας. Το γεγονός αυτό, έχει οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι ο σχηματισμός Μάκρης είναι ένα τεκτονικό μείγμα (tectonic Melange) (Von Braun 1993) το οποίο έχει μεταμορφωθεί σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Ιωαννίδης κ.ά. 1998, 1999). Πάνω από το σχηματισμό Μάκρης βρίσκεται τεκτονικά τοποθετημένος ο απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος Αλίκης, ηλικίας κάτω Κρητιδικού. Πάνω από τον ασβεστόλιθο Αλίκης επικάθεται ασύμφωνα η ιζηματογενής καλυμματική ακολουθία του Καινοζωικού (σχήμα 2.2.3.1). Δεδομένα ραδιοχρονολογήσεων σε ζirkόνια που βρέθηκαν στους ψαμμιτικούς ορίζοντες της ενότητας, δείχνουν ότι η ενότητα Μάκρης έχει ηλικία Άνω Τριαδικού – Ιουρασικού (350 – 290 Ma) (Meinhold and Kostopoulos 2013).



Σχήμα 2.2.3.1. Τεκτονοστρωματογραφικές στήλες της Περιοδοπικής Ζώνης, απεικονίζεται η χερσόνησος της Χαλκιδικής καθώς και οι ενότητες Μάκρης και Μελίας (Meinhold and Kostopoulos 2013).

3. Ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων (VMS)

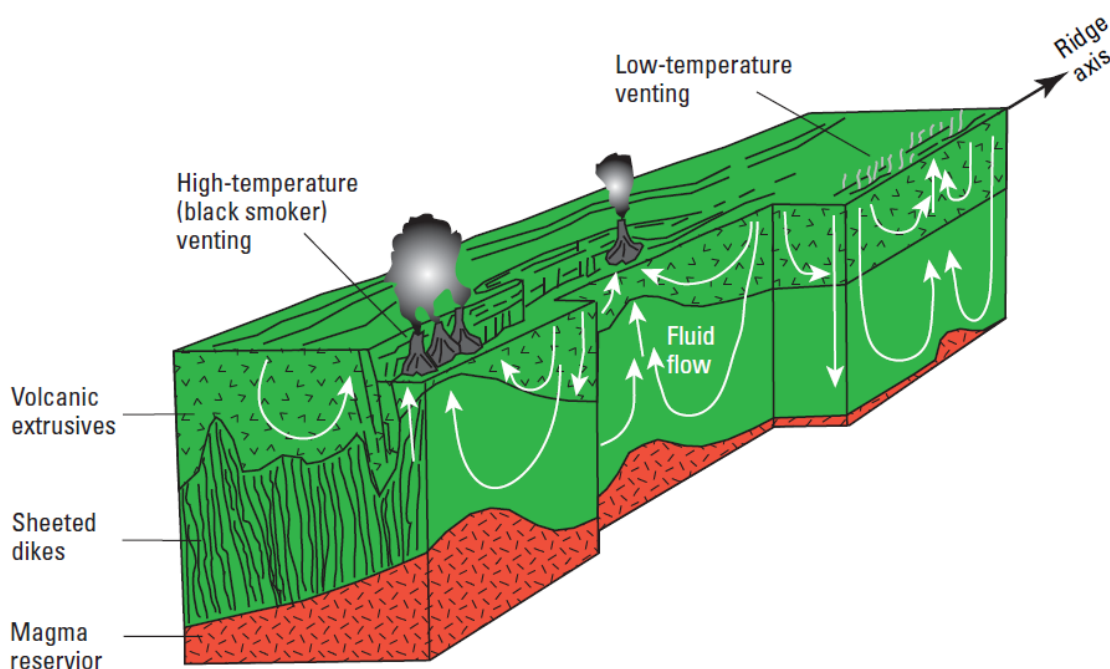
Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων [Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) Deposits)] είναι γνωστά και ως «κοιτάσματα που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειακή δράση» ή αλλιώς «ατμιδοϋδροθερμικά κοιτάσματα» ή «κοιτάσματα υποθαλάσσιων αναθυμιάσεων και εκχύσεων». Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων είναι σημαντικές πηγές βασικών μετάλλων, όπως: χαλκού, ψευδαργύρου, μολύβδου, αλλά και πολύτιμων, όπως: χρυσού και αργύρου. Η ορυκτολογική σύσταση των κοιτασμάτων VMS είναι: >40% σουλφίδια, συνήθως σιδηροπυρίτης, μαγνητοπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης και γαληνίτης. Τα σύνδρομα ορυκτά που εμφανίζονται είναι χαλαζίας, βαρύτης, ανυδρίτης, χλωρίτης, σερίκίτης και τάλκης (Shanks and Thurston 2012).

Τα Ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων παρουσιάζουν μια ευρεία ποικιλία στη μορφή και στο μέγεθός τους. Αν και γενικά χαρακτηρίζονται ως στρωματόμορφα (stratiform) είναι πολύ πιθανό να σχηματίζουν και φακούς μικρού μεγέθους (λιγότερο του ενός τόνου) έως υπερμεγέθεις συγκεντρώσεις, όπως για παράδειγμα, το κοιτάσμα Rio Tinto στην Ισπανία, μεγέθους 1.5 δισεκατομμυρίων τόνων (Galley et al., 2007).

Η ηλικία των κοιτασμάτων VMS κυμαίνεται από 3.55 Ga (δισεκατομμύρια έτη) μέχρι σύγχρονα κοιτάσματα μηδενικής ηλικίας που σχηματίζονται σε ενεργά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα (μεσοωκεάνιες ράχες, νησιωτικά τόξα και οπισθοτόξιες λεκάνες) (Shanks 2001, Hannington et al., 2005).

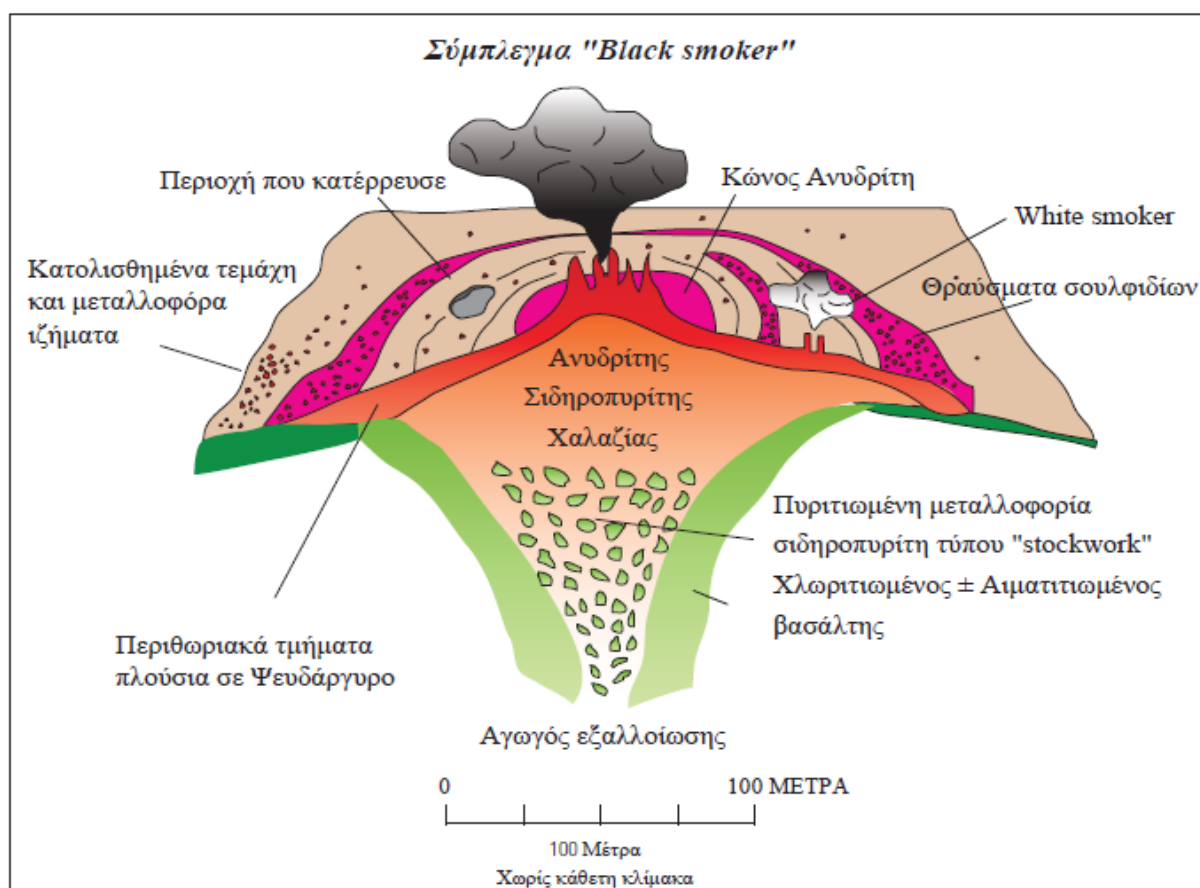
3.1 Γένεση

Όπως γίνεται εμφανές από το όνομά τους, για να σχηματισθούν τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων είναι απαραίτητη η ύπαρξη ηφαιστειακής δράσης (Hannington et al., 1998, 2005). Κατά τη δημιουργία των κοιτασμάτων, υδροθερμικά ρευστά κυκλοφορούν κυκλικά στον πυθμένα του ωκεανού ή κοντά σε αυτόν, εξαιτίας της θερμότητας που εκλύεται από την ηφαιστειακή δράση. Κατά την άνοδό τους μέσα από τα πετρώματα του ωκεάνιου φλοιού, τα υδροθερμικά ρευστά ψύχονται, λόγω της ανάμιξής τους με θαλασσινό νερό και νερό που περιέχεται στους πόρους των ιζηματογενών πετρωμάτων του ωκεάνιου πυθμένα, με αποτέλεσμα να αποδεσμεύουν μεταλλικά συστατικά, διοξείδιο του πυριτίου κ.ά. συστατικά, τα οποία φέρονται διαλυμένα μέσα τους (σχήμα 3.1.1). Η απόθεση των σουλφιδίων γύρω από τις ατμίδες όπου διαφεύγουν τα υδροθερμικά ρευστά, δημιουργεί σχηματισμούς με μορφές καμινάδας από όπου αναδύονται μαύρα σύννεφα υδροθερμικών ρευστών. Οι σχηματισμοί αυτοί, ονομάζονται "black smokers" (σχήματα, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4) Τα μεταλλικά στοιχεία που βρίσκονται διαλυμένα στα υδροθερμικά ρευστά, προέρχονται κυρίως από την απόπλυση των γειτονικών πετρωμάτων, αλλά μπορεί να προέρχονται από τη μαγματική πηγή, ή και από το θαλασσινό νερό (Galley et al. 2007).

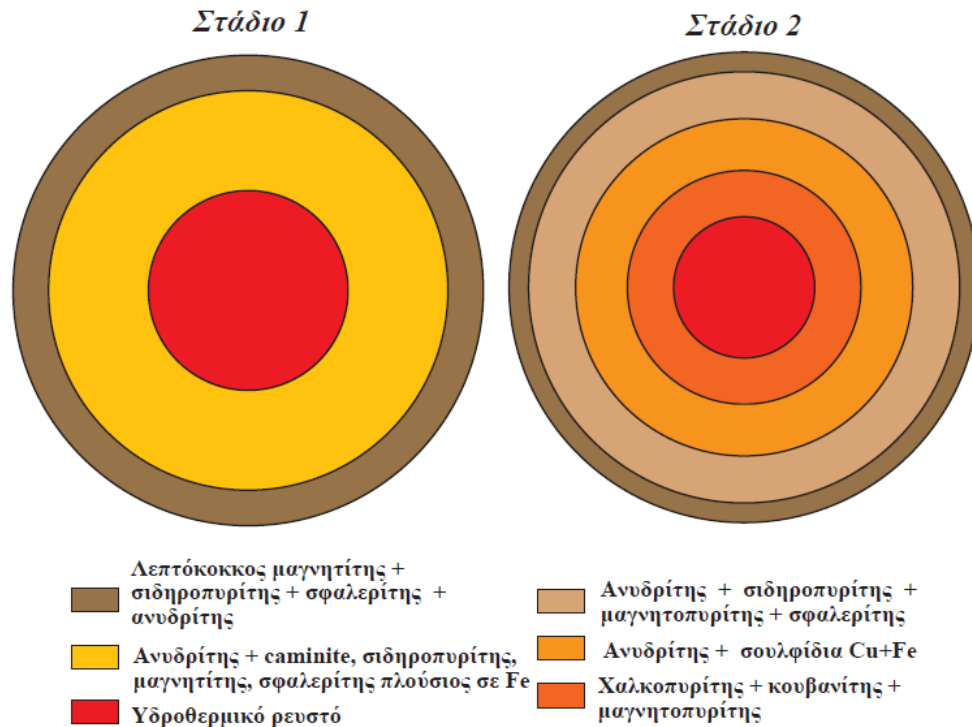


Σχήμα 3.1.1. Σχηματικό διάγραμμα που απεικονίζει τη προτεινόμενη διαδρομή των υδροθερμικών ρευστών σε μία ταχέως αναπτυσσόμενη μεσοωκεάνια ράχη (πχ η μεσωκεάνια ράχη του Ανατολικού Ειρηνικού). Παρατηρούμε ότι οι υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικοί πόροι (black smokers) δημιουργούνται πάνω από τα τμήματα που βρίσκονται πιο κοντά στο μαγματικό θάλαμο (Haymon et al. 1991, τροποποιημένο από Shanks and Thurston 2012).

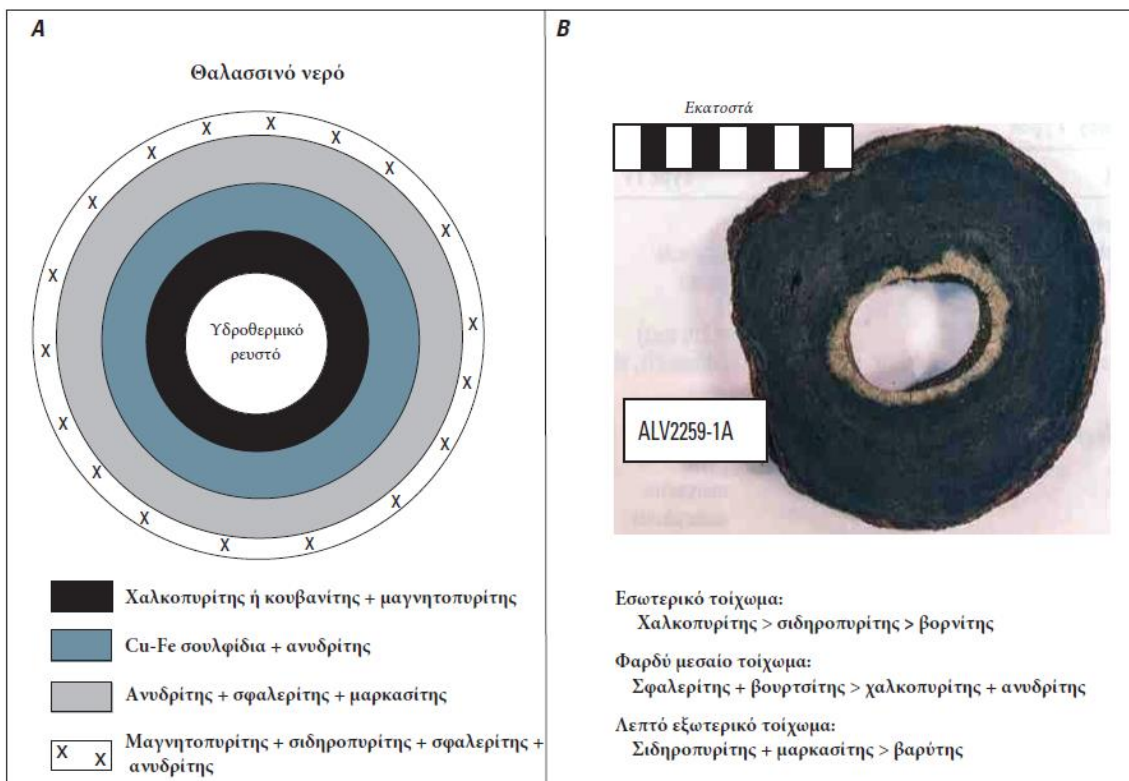
Σημαντικό ρόλο στη κατανόηση του τρόπου δημιουργίας των ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων έπαιξαν οι ανακαλύψεις των τελευταίων 50 ετών που προήλθαν από την εξερεύνηση του ωκεάνιου πυθμένα και είχαν ως επακόλουθο την ανακάλυψη σύγχρονων VMS κοιτασμάτων και τη σύνδεσή τους με τους υποθαλάσσιους υδροθερμικούς πόρους (hydrothermal vents). Η ανακάλυψη ενός υβώματος αποτελούμενο από σουλφίδια στο μεσοατλαντικό γεωθερμικό πεδίο TAG (Trans-Atlantic Geothermal sulfate-sulfide mound) και η μελέτη του μετά από ενδεδειγμένα προγράμματα γεωτρήσεων, προσέφεραν σημαντικά τρισδιάστατα δεδομένα για την ερμηνεία του τρόπου γένεσης των σύγχρονων ηφαιστειογενών κοιτασμάτων σουλφιδίων (σχήμα 3.1.2). Παρόλο που το κοίτασμα TAG δεν παρουσιάζει ομοιότητες με κάποιο αρχαίο ηφαιστειογενές κοίτασμα, έχει σημαντικές χημικές, ορυκτολογικές και ηφαιστειακές ομοιότητες με τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα τύπου Κύπρου (Hannington et al. 1998).



Σχήμα 3.1.2 Σχηματικό διάγραμμα του σύγχρονου διατλαντικού κοιτάσματος σουλφιδίων (Trans-Atlantic Geothermal (TAG) sulfide deposit) στη μεσοατλαντική ράχη, που απεικονίζει μια τομή του κοιτάσματος με φακούς ημι-συμπαγών έως συμπαγών σουλφιδίων οι οποίοι επικάθονται σύμφωνα πάνω από ένα σύστημα stockwork φλεβών (Hannington et al. 1998 τροποποιημένο από Shanks and Thurston 2012).



Σχήμα 3.1.3. Ιδεατές κάθετες τομές δια μέσου των δύο κύριων σταδίων ανάπτυξης μιας καμινάδας συμπαγών σουλφιδίων. Το στάδιο 1 περιλαμβάνει την αρχική εναπόθεση ανυδρίτη, ακολουθούμενη από καταβύθιση σουλφιδίων Fe και σφαλερίτη πλούσιου σε Fe στο πορώδες δίκτυο που σχηματίζει ο ανυδρίτης. Η καμινάδα αναπτύσσεται προς τα έξω με προσθήκη ανυδρίτη στο εξωτερικό τοίχωμά της λόγω θέρμανσης του περιβάλλοντος θαλασσινού νερού από τα θερμά υδροθερμικά διαλύματα που διαχέονται προς τα έξω από τον κεντρικό πυρήνα υγρού. Η ανάπτυξη του σταδίου 2 περιλαμβάνει την εναπόθεση σουλφιδίων υψηλής θερμοκρασίας (χαλκοπυρίτης, ισοκουβανίτης, μαγνητοπυρίτης) από υδροθερμικά υγρά τα οποία ουσιαστικά είναι προστατευμένα από την επαφή με το ψυχρό θαλασσινό νερό. Η διήθηση του υδροθερμικού ρευστού μέσα στο τοίχωμα της καμινάδας, οδηγεί σε ψύξη και καταβύθιση σουλφιδίων χαμηλότερης θερμοκρασίας, όπως σφαλερίτης (Haymon, 1983 τροποποιημένο από Shanks and Thurston 2012).



Σχήμα 3.1.4. Σύγκριση της ζωνώδους κατανομής ορυκτών ενός (Α) μοντελοποιημένου “Black smoker” από τη μεσοωκεάνια ράχη του Ανατολικού Ειρηνικού 21°N (τροποποιημένο από Haymon, 1983) και μιας (Β) τομής από καμινάδα υψηλής θερμοκρασίας (περ. 310⁰) από τον υδροθερμικό πόρο Monolith, στη νότια περιοχή της μεσοωκεάνιας ράχης Juan de Fuca (από Koski et al. 1994). Κάθε καμινάδα έχει ένα εσωτερικό τοίχωμα που κυριαρχείται από σουλφίδια χαλκού-σιδήρου, ένα μεσαίο τοίχωμα που περιέχει άφθονα σουλφίδια ψευδαργύρου και ένα λεπτό εξωτερικό τοίχωμα που κυριαρχείται από σουλφίδια σιδήρου.

3.2 Τύποι ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων – ταξινομήσεις

Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες μεταξύ τους αλλά έχουν και σημαντικές διαφορές. Το γεγονός αυτό, οδήγησε τους ερευνητές, να δημιουργήσουν συστήματα ταξινόμησης για τα κοιτάσματα VMS, με στόχο την κατηγοριοποίηση τους σε τύπους ανάλογα με το είδος της μεταλλοφορίας που παρουσιάζουν (το ποσοστό των βασικών μετάλλων), το ποσοστό χρυσού, τον τύπο του πετρώματος ξενιστή και τις γεωτεκτονικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά την περίοδο της γένεσης των κοιτασμάτων. Μία από τις πρώτες ταξινομήσεις, έγινε από τον Hutchinson (1973), ο οποίος διέκρινε τρεις τύπους κοιτασμάτων:

- i. Τύπος Zn - Cu - σιδηροπυρίτη
- ii. Τύπος Pb - Zn -Cu - Ag - σιδηροπυρίτη
- iii. Τύπος Cu – σιδηροπυρίτη

Από την κατηγοριοποίηση του Hutchinson (1973) έως σήμερα, έχουν προταθεί αρκετά συστήματα ταξινόμησης των ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων, όπου στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1) παρουσιάζονται τα κυριότερα των κυριότερων συστήματα ταξινόμησης και αντιστοιχίζονται οι διαφορετικοί τύποι αυτών μεταξύ τους.

Πίνακας 1 Αντιστοίχιση των διασημότερων κατηγοριοποιήσεων VMS κοιτασμάτων.

Cox and Singer (1986)	Galley et al. (2007)	Mosier et al. (2009)	Shanks and Thurston (2012)
Kuroko	Felsic-siliciclastic	Felsic	Siliciclastic-felsic
	Bimodal-felsic		Bimodal-felsic
	Bimodal-mafic	Bimodal-mafic	Bimodal-mafic
Besshi	Pelitic-mafic	Mafic	Siliciclastic-mafic
Cyprus	Back-arc mafic		Mafic-ultramafic

Νεότερες ταξινομήσεις, αναγνωρίζουν 2 επιπλέον τύπους κοιτασμάτων σε σχέση με τη κατηγοριοποίηση του Hutchinson, έτσι κατά τη ταξινόμηση των Shanks and Thurston (2012) διακρίνονται οι εξής πέντε τύποι.: i) Siliciclastic-felsic, ii) Bimodal-felsic, iii) Bimodal-mafic, iv) Siliciclastic-mafic, v) Mafic-ultramafic.

- i. Siliciclastic-felsic (κλαστικά - όξινα): τα κοιτάσματα αυτού του τύπου σχηματίζονται στα τελικά στάδια της εξέλιξης ενδοηπειρωτικών περιθωριακών τόξων και σε οπισθοτόξιες λεκάνες όπου παράγονται siliciclastic – βασικές ακολουθίες στις οποίες κυριαρχούν ηπειρωτικά ιζηματογενή και ηφαιστειοκλαστικά στρώματα. Χαρακτηριστικά κοιτάσματα αυτού του τύπου: Iberia, Bathurst.
- ii. Bimodal-felsic (Διτού μαγματισμού - όξινα): ο συγκεκριμένος τύπος δημιουργείται στα αρχικά στάδια σχηματισμού ενδοηπειρωτικών περιθωριακών τόξων και οπισθοτόξιων λεκανών. Ο συγκεκριμένος τύπος VMS κοιτασμάτων, χαρακτηρίζεται από 35-70 τις εκατό, όξινης σύστασης ηφαιστειοκλαστικά στρώματα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα: Skellefte, Tasmania, Jerome
- iii. Bimodal-mafic (Διτού μαγματισμού – βασικά): δημιουργείται στα αρχικά στάδια σχηματισμού ενδοωκεάνιων νησιωτικών τόξων και χαρακτηρίζεται

από ροές λάβας και λιγότερο από 25 τις εκατό όξινα στρώματα.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα: Noranda.

- iv. Siliciclastic-mafic (κλαστικά – βασικά): Δημιουργούνται σε ηπειρωτικά περιθώρια ή ενδοηπειρωτικές διαρρήξεις ή σε ιζηματογενή περιβάλλοντα ωκεάνιας ράχης. Χαρακτηρίζονται από ίσα μέρη πηλίτη και βασάλτη. Χαρακτηριστικά παραδείγματα: Besshi.
- v. Mafic-ultramafic (βασικά - υπερβασικά): θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο (3.3).

3.3 Ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου

Σύμφωνα με τον Cheliotis (1986), η μεταλλοφορία της Ξυλαγανής έχει δημιουργηθεί σε περιβάλλον νησιωτικού ή ηφαιστειακού τόξου αλλά δεν είναι δυνατόν να αντιστοιχισθεί με ακρίβεια σε κάποιον από τους τρεις τύπους κοιτασμάτων (Cyprus, Besshi, Kuroko) της κατηγοριοποίησης του Hutchinson (1983), καθώς παρουσιάζει διαφορές με τον κάθε ένα.

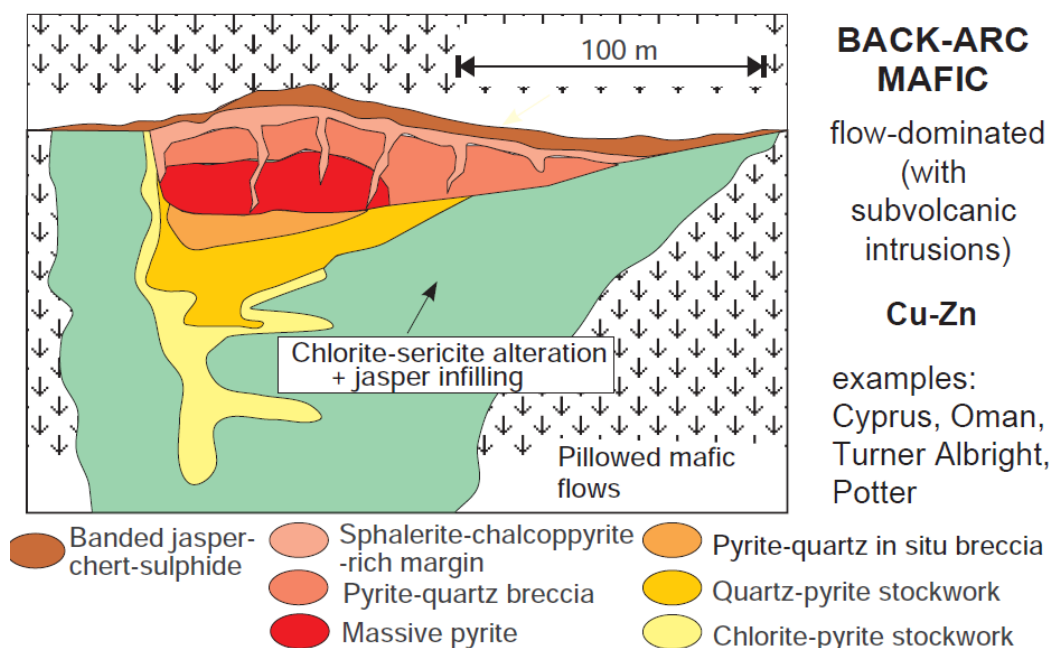
Σύμφωνα με τον Μέλφος (1995), η μεταλλοφορία στη περιοχή της Ξυλαγανής έχει δημιουργηθεί σε περιβάλλον ηφαιστειακού τόξου – οπισθοτόξιας λεκάνης και μπορεί να αντιστοιχισθεί με τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου (σχήμα 3.3.3).

Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου “Cyprus type deposits” (Cox and Singer 1986) είναι γνωστά και ως τύπος Cu – σιδηροπυρίτη “Cu - pyrite” (Hutchinson 1983), “mafic type” (Barried and Hannington 1999), “back arc mafic” (Galley et al. 2007), “mafic - ultramafic” (Shanks and Thurston 2012). Η ονομασία “τύπος Κύπρου” καθιερώθηκε καθώς τα πιο αντιπροσωπευτικά κοιτάσματα που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου, έχουν βρεθεί στο όρος Τρόδος στη Κύπρο. Οι διαφορές που εντοπίζονται μεταξύ των ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου και των υπόλοιπων τύπων, αφορούν το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού, ο πετρογραφικός χαρακτήρας του πετρώματος ξενιστή, η ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος και το ποσοστό χρυσού.

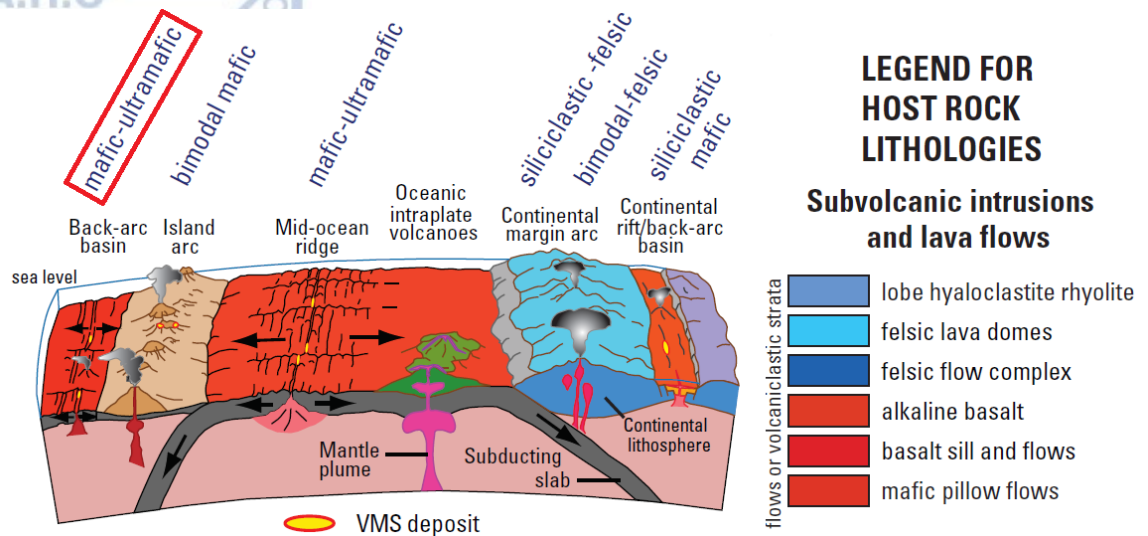
Πιο συγκεκριμένα, τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου σχηματίζονται σε ωκεάνιες περιοχές όπου παρουσιάζεται εφελκυστική τεκτονική με αποτέλεσμα τη διάρρηξη του ωκεάνιου φλοιού, δηλαδή σε γεωτεκτονικά περιβάλλοντα όπως: πρώιμα στάδια σχηματισμού μιας ενδοωκεάνιας οπισθοτόξιας λεκάνης, εμπροσθοτόξιες λεκάνες και μεσοωκεάνιες ράχες (σχήμα 3.3.2) (Galley et al. 2007, Shanks and Thurston 2012).

Όπως ήδη αναφέρθηκε νεότερες ταξινομήσεις ονομάζουν τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα τύπου Κύπρου ως “mafic” ή “mafic – ultramafic” (Barried and Hannington 1999, Shanks and Thurston 2012), δηλαδή “βασικά” ή “βασικά - υπερβασικά”. Οι ονομασίες αυτές προκύπτουν από τον πετρολογικό χαρακτήρα των πετρωμάτων ξενιστών των κοιτασμάτων, που αποτελούνται σχεδόν εξολοκλήρου από ακολουθίες οφιολίθων που περιέχουν λιγότερο από 10% ιζηματογενή πετρώματα, δηλαδή αποτελούνται ως επί το πλείστον από βασικά – υπερβασικά πυριγενή πετρώματα (σχήμα 3.3.1) (Franklin et al. 2005). Τα συνηθέστερα πετρώματα που αποτελούν ξενιστές μεταλλοφοριών τύπου Κύπρου είναι, οι βασαλτικές ροές μαξιλαροειδών (pillow) λαβών (Galley et al. 2007).

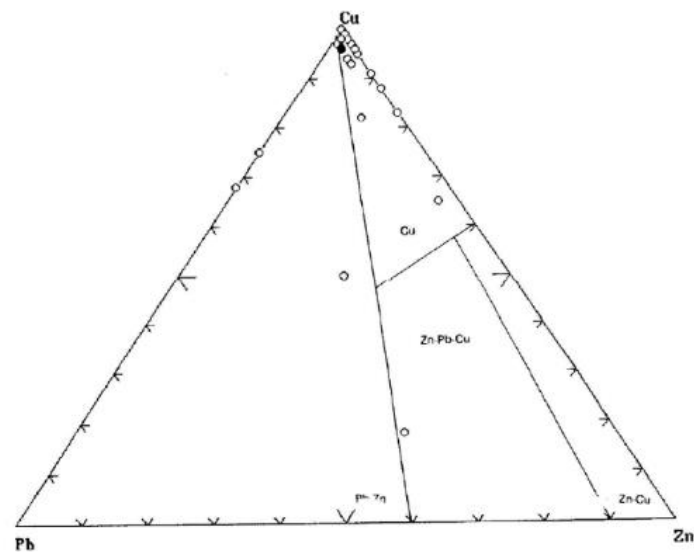
Τα κοιτάσματα τύπου Κύπρου περιέχουν αρκετά υψηλό ποσοστό χαλκού (Cu), ελάχιστο ψευδάργυρο (Zn), αμελητέες ποσότητες μολύβδου (Pb), ενώ τα ποσοστά του χρυσού (Au) είναι υψηλότερα από τα ποσοστά του αργύρου (Hannington et al. 2005)



Σχήμα 3.3.1 Γραφική αναπαράσταση της λιθολογίας ενός κοιτάσματος VMS τύπου Back-Arc κατά Barrie and Hannington (1999) τροποποιημένο από Franklin et al. (2005). Με κόκκινο χρώμα συμβολίζεται η συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, προς τα πάνω, ακολουθεί μια λατυποποιημένη ζώνη με σιδηροπυρίτη και πυριτικό υλικό, ακολουθεί μια ζώνη πλουσία σε σφαλερίτη – χαλκοπυρίτη η οποία επικαλύπτεται από μια λεπτή ζώνη εναλλαγών ίασπη και σουλφιδίων. Κάτω από τη συμπαγή μεταλλοφορία του σιδηροπυρίτη εντοπίζεται σιδηροπυρίτης με χαλαζία, στη συνέχεια μεταλλοφορία τύπου stockwork με φλεβίδια χαλαζία – σιδηροπυρίτη, στη συνέχεια εμφανίζεται μεταλλοφορία τύπου stockwork με φλεβίδια χλωρίτη – σιδηροπυρίτη, τα οποία περιβάλλονται από μια γενικότερη χλωριτική – σεριτική εξαλλοίωση. Όλο το κοίτασμα βρίσκεται μέσα σε ροές βασικών pillow λαβών.



Σχήμα 3.3.2 Σχηματική απεικόνιση του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος κατά τη δημιουργία των διαφορετικών τύπων κοιτασμάτων VMS, με τόνους του κόκκινου συμβολίζονται τα βασικά πετρώματα, ενώ με τόνους του μπλε, τα όξινα (Galley et al. 2007, τροποποιημένο από Shanks and Thurston 2012).



Σχήμα 3.3.3 Τριγωνικό διάγραμμα με την εκατοστιαία αναλογία των στοιχείων Cu-Zn-Pb κατά Franklin et al. (1981) και Large (1992). Το μεγαλύτερο μέρος των χημικών αναλύσεων (ο) της μεταλλοφορίας της περιοχής Ξυλαγανής, καθώς και η μέση τιμή όλων των αναλύσεων (•), προβάλλονται στο πεδίο Cu (Μέλφος 1995).

3.3 Εμφανίσεις ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έχουν εντοπιστεί εμφανίσεις μεταλλοφοριών συμπαγών σουλφιδίων τύπου Κύπρου στις θέσεις: Ερμιόνη Αργολίδας, Ξυλαγανή Ροδόπης, Λιμνογάρδι και Περιβόλι Γρεβενών. Οι παραπάνω μεταλλοφόρες εμφανίσεις, δε μπορούν να χαρακτηριστούν κοιτάσματα καθώς μέχρι στιγμής δεν έχουν γίνει εκτεταμένες έρευνες για το αν παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον, παρόλο που έχουν εξορυχθεί τμήματά τους κατά το παρελθόν (κυρίως κατά τον 20^ο αιώνα).

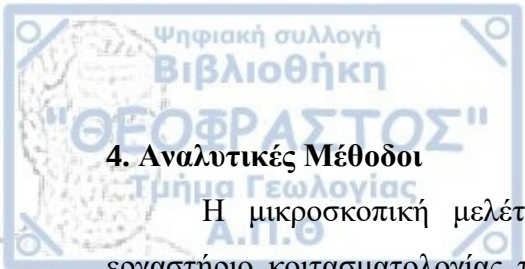
Στη περιοχή της Ερμιόνης Αργολίδος σύμφωνα με τους Varnavas and Panagos (1984) και Robertson et al. (1987), μέσα σε οφιολιθικά σώματα (βασικές λάβες) εντοπίζεται μεταλλοφορία Fe – Cu, τύπου Κύπρου. Νέα γεωχημικά, ορυκτολογικά και λιθολογικά δεδομένα, οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι η μεταλλοφορία είναι δυνατόν να χαρακτηριστεί τύπου “Besshi” με βάση τα γεωτεκτονικά στοιχεία που προκύπτουν (Triantafyllidis 2019, Triantafyllidis and Diamantakis 2019).

Στη περιοχή της Ξυλαγανής εντοπίζεται μεταλλοφορίας τύπου Κύπρου (Μέλφος 1995) η οποία αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας.

Στη περιοχή του Λιμογαρδίου Φθιώτιδας, εντοπίζεται εμφάνιση μεταλλοφορίας τύπου Κύπρου, η οποία φιλοξενείται μέσα σε λάβες τύπου MORB (mid-ocean ridge basalt/βασάλτες μεσωκεάνιων ραχών). Η μεταλλοφορία αποτελείται από μία ζώνη συμπαγών σουλφιδίων πάχους έως 5m, υπερκείμενη ενός πλέγματος φλεβών stockwork και διάσπαρτης μεταλλοφορίας σουλφιδίων (Rassios 1990, Robertson and Varnavas 1993).

Στη θέση Κόνδρο, ανάμεσα από τα χωριά Περιβόλι και Αβδέλλα, στις ΝΑ πλαγιές του βουνού Σμόλικας, εντοπίζεται μεταλλοφορία τύπου Κύπρου. Η μεταλλοφορία αποτελείται από φακούς συμπαγών σουλφιδίων μεγίστου μεγέθους 4m επί 40m, οι οποίοι εμφανίζονται πάνω από συμπαγείς ή pillow λάβες διαβασικής σύστασης και επικαλύπτονται από ιζήματα που φέρουν οξείδια σιδήρου (Skounakis et al. 1980).

Επίσης μικρές επιφανειακές εμφανίσεις μεταλλοφοριών τύπου Κύπρου, έχουν βρεθεί στις περιοχές Έλβα (Nesbitt et al. 1988) και Μικρό Δέρειο (Ashworth et al. 1988) στον Έβρο.



4. Αναλυτικές Μέθοδοι

Η μικροσκοπική μελέτη των παρασκευασμάτων (στιλπνών τομών) έγινε στο εργαστήριο κοιτασματολογίας του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. Συνολικά μελετήθηκαν 30 στιλπνές τομές, σε μικροσκόπιο Leitz LABORLUX 11 POL S.

Η φωτογράφιση των στιλπνών τομών πραγματοποιήθηκε σε μικροσκόπιο Zeiss Axioskop 40 του Τομέα Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon Powershot A640.

Η φωτογράφιση των μακροσκοπικών δειγμάτων έγινε με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Sony ILCE-6000 με προσαρμοσμένο φακό Pentax 50mm f/1.7 SMC-M.

5.Αποτελέσματα

Από τη μελέτη των μακροσκοπικών δειγμάτων αλλά και από υπαίθριες έρευνες στη περιοχή, προέκυψε ότι η μεταλλοφορία μπορεί να διακριθεί σε πέντε επιμέρους τύπους. (Μέλφος 1995):

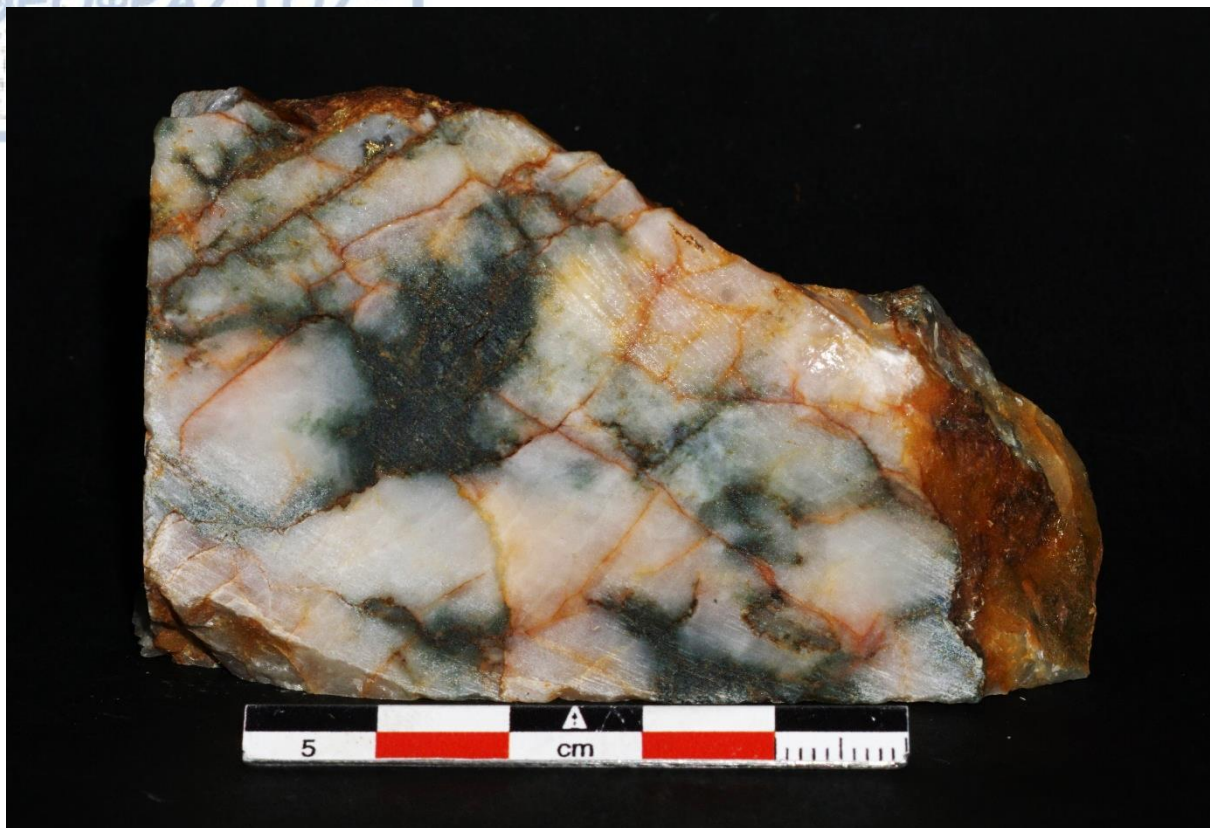
- i. Διάσπαρτη μεταλλοφορία: Αποτελείται κυρίως από διάσπαρτο σιδηροπυρίτη και εμφανίζεται συνήθως μέσα σε πυριτικό υλικό (σχήμα 5.5, σχήμα 5.6, σχήμα 5.7) και σπανιότερα σε εξαλλοιωμένα μεταφαισטיακά πετρώματα (σχήμα 5.2, σχήμα 5.4). Αποτελεί το πιο συχνά εμφανιζόμενο τύπο μεταλλοφορίας στη περιοχή έρευνας.
- ii. Διάσπαρτη έως συμπαγής μεταλλοφορία: Αποτελεί υποπερίπτωση του προηγούμενου τύπου, καθώς εντοπίζεται σε ορισμένες θέσεις όπου η διάσπαρτη μεταλλοφορία σταδιακά πυκνώνει και γίνεται σχεδόν συμπαγής. Αποτελείται επίσης, κατά κύριο λόγο από σιδηροπυρίτη, ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται και χαλκοπυρίτης.
- iii. Μεταλλοφορία με τη μορφή λεπτών στρωμάτων: Εμφανίζεται μέσα σε πυριτικό υλικό και αποτελείται ως επί το πλείστον από στρώματα λεπτόκοκκου σιδηροπυρίτη πάχους 0,5 έως 3mm. Τα στρώματα είναι παράλληλα με τη στρώση και η πτύχωσή τους ακολουθεί τη πτύχωση του πετρώματος ξενιστή (σχήμα 5.1)
- iv. Συμπαγής μεταλλοφορία: Διακρίνεται σε δύο επιμέρους τύπους: Σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη - σιδηροπυρίτη. Η συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη (σχήμα 5.8) εμφανίζεται με τη μορφή φακών μεγίστου μεγέθους 30cm επί 10cm και φλεβών μεγίστου μεγέθους 10m επί 3cm. Η συμπαγής μεταλλοφορία χαλκοπυρίτη – σιδηροπυρίτη εμφανίζεται με τη μορφή κοιτών των οποίων το μήκος ξεπερνά τα 10m ενώ το πάχος του είναι περίπου 3cm. Η συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη είναι περισσότερο διαδεδομένη από τη συμπαγή μεταλλοφορία χαλκοπυρίτη – σιδηροπυρίτη, η οποία εντοπίζεται μόνο κατά τόπους.
- v. Διάσπαρτη μεταλλοφορία σε χαλαζιακές φλέβες: Πλήθος από τις χαλαζιακές φλέβες που εμφανίζονται μέσα στα μεταφαισטיακά πετρώματα ξενιστές της μεταλλοφορίας περιέχουν εκτός από χαλαζία, σημαντικά ποσοστά διάσπαρτου σιδηροπυρίτη (σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.1 Δείγμα NP 10/2. Λεπτά στρώματα μεταλλοφορίας σιδηροπυρίτη εντός πυριτικού υλικού. Παρατηρείται μία στρωμάτωση των σουλφιδίων.



Σχήμα 5.2 Δείγμα NP 15/2. Μεταφαιστειακό πέτρωμα που υπέρκειται της συμπαγούς μεταλλοφορίας χαλκοπυρίτη – σιδηροπυρίτη, παρατηρούνται ίχνη διάσπαρτης μεταλλοφορίας σιδηροπυρίτη.



Σχήμα 5.3 Δείγμα NP 18. Μεταμορφική χαλαζιακή φλέβα με διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη.



Σχήμα 5.4 Δείγμα NP 24. Μεταφαιστειακό πέτρωμα με διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη.



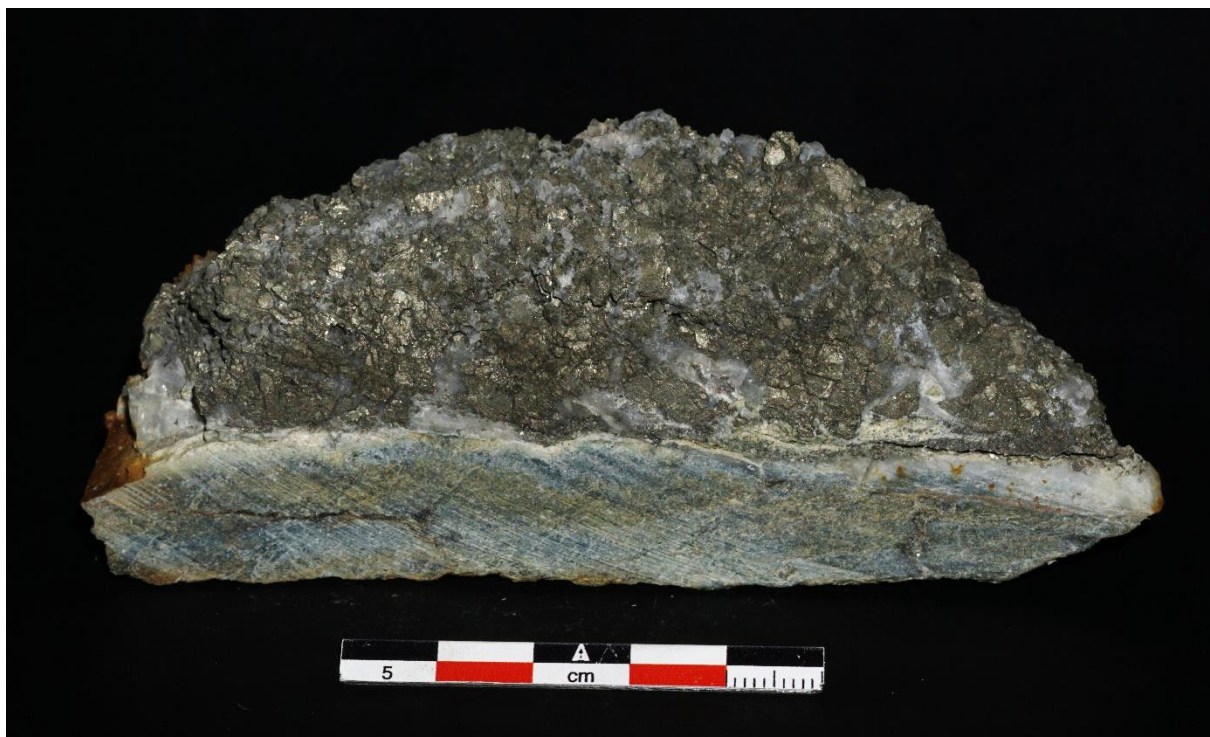
Σχήμα 5.5 Δείγμα NP 42. Διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη μέσα σε πυριτικό υλικό.



Σχήμα 5.6 Δείγμα NP 45. Διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη μέσα σε πυριτικό υλικό.



Σχήμα 5.7 Δείγμα NP 27/2 Διάσπαρτη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη μέσα σε μεταμφιστειακό πέτρωμα. Παρατηρείται μία στρωμάτωση κατά την απόθεση της μεταλλοφορίας.



Σχήμα 5.8 Δείγμα NP 48. Συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη (τμήμα φακού συμπαγούς σιδηροπυρίτη).

5.1 Ορυκτολογική σύσταση

Από τη μελέτη των παρασκευασμάτων (στιλπνές τομές) σε μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα για την ορυκτολογική σύσταση της μεταλλοφορίας:

Η μεταλλοφορία αποτελείται από τα ακόλουθα ορυκτά: σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης, μαγνητοπυρίτης, τενναντίτης, αυτοφυής χρυσός, καθώς και μαλαχίτης, κοβελλίνης και λειμωνίτης

5.1.1 Σιδηροπυρίτης

Κυριότερο ορυκτό της μεταλλοφορίας αποτελεί ο σιδηροπυρίτης με γενικό χημικό τύπο FeS_2 , ο οποίος συμμετέχει και στους πέντε τύπους μεταλλοφορίας που έχουν διακριθεί και μάλιστα κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τα υπόλοιπα ορυκτά της μεταλλοφορίας.

Οι κρύσταλλοι του σιδηροπυρίτη εμφανίζονται κυρίως ιδιόμορφοι ή υπιδιόμορφοι έως αλλοτριόμορφοι και συχνά σχηματίζουν συσσωματώματα. Αρκετά πιθανή είναι και η εμφάνιση σιδηροπυρίτη με μορφή framboidal (σχήμα 5.1.1), κυρίως στον τύπο της διάσπαρτης μεταλλοφορίας μέσα σε πυριτικό υλικό.

Το μέγεθος των κρυστάλλων σιδηροπυρίτη που μελετήθηκαν ποικίλει από τύπο σε τύπο και κυμαίνεται από $5\mu\text{m}$ έως 1mm , ενώ συσσωματώματα κρυστάλλων μπορεί και φτάσουν και σε μέγεθος μεγαλύτερο των 5mm .

Ο σιδηροπυρίτης συχνά εμφανίζει κατακλαστική υφή (σχήμα 5.1.2) και ιστό ανακρυστάλλωσης τριπλών σημείων επαφής, όπου οι κόκκοι εμφανίζουν γωνία 120° μεταξύ τους (σχήμα 5.1.10, σχήμα 5.1.11). Η κατακλαστική υφή δείχνει την τεκτονική καταπόνηση που δέχθηκαν τα πετρώματα που φιλοξενούν τη μεταλλοφορία, ενώ ο ιστός ανακρυστάλλωσης τριπλών σημείων μαρτυρά τη χαμηλή μεταμόρφωση που δέχθηκαν τα πετρώματα ξενιστές της μεταλλοφορίας.

Μέσα στους κρυστάλλους του σιδηροπυρίτη είναι πολύ συχνή η εμφάνιση εγκλεισμάτων, τα οποία αποτελούνται συνήθως από χαλκοπυρίτη, σφαλερίτη, μαγνητοπυρίτη και σπανιότερα από αυτοφυή χρυσό. Σε ορισμένες περιπτώσεις ανάμεσα στις διακλάσεις του σιδηροπυρίτη εμφανίζονται ορυκτά οξειδωσης, όπως, λειμωνίτης (σχήμα 5.1.3).

5.1.2 Χαλκοπυρίτης

Ο χαλκοπυρίτης με γενικό χημικό τύπο CuFeS_2 αποτελεί το δεύτερο σε συχνότητα εμφάνισης ορυκτό της μεταλλοφορίας. Ο χαλκοπυρίτης εμφανίζεται επίσης σε όλους τους τύπους μεταλλοφορίας αλλά σημαντικά αυξημένα ποσοστά του εμφανίζονται στο τύπο συμπαγούς μεταλλοφορίας όπως και στο τύπο διάσπαρτης έως συμπαγούς μεταλλοφορίας.

Ο χαλκοπυρίτης δε σχηματίζει κρυστάλλους αλλά πληρώνει τα κενά μεταξύ των κρυστάλλων και των κατακερματισμένων κόκκων σιδηροπυρίτη, σχηματίζει φλεβίδια ανάμεσα από τους κρυστάλλους των συνδρόμων ορυκτών (σχήμα 5.1.8) και εμφανίζεται πολύ συχνά με τη μορφή εγκλεισμάτων μέσα στο σιδηροπυρίτη (σχήμα 5.1.5), ενώ βρέθηκε και με μορφή σταγονιδίων μέσα στο σφαλερίτη (σταγονοειδής εξιδρωματικός ιστός απόμειξης).

5.1.3 Σφαλερίτης

Ο σφαλερίτης με γενικό χημικό τύπο ZnS , εντοπίστηκε και στους πέντε τύπους της μεταλλοφορίας, πάντα όμως σε μικρό ποσοστό. Εμφανίζεται είτε σε σύμφυση με σιδηροπυρίτη ή/και χαλκοπυρίτη (σχήμα 5.1.4) είτε με τη μορφή ακανόνιστων κόκκων που εγκλείονται μέσα στο σιδηροπυρίτη.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο σφαλερίτης εμφανίζει συχνά στο εσωτερικό του σταγονίδια χαλκοπυρίτη, δηλαδή παρουσιάζει σταγονοειδή εξιδρωματικό ιστό απόμειξης (σχήμα 5.1.10).

5.1.4 Μαγνητοπυρίτης

Ο μαγνητοπυρίτης έχει γενικό χημικό τύπο Fe_{1-x}S και βρέθηκε σε μικρό ποσοστό με τη μορφή μικροσκοπικών εγκλεισμάτων μέσα σε κρυστάλλους σιδηροπυρίτη.

5.1.5 Τενναντίτης

Ο τενναντίτης με γενικό χημικό τύπο $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ βρέθηκε σε πολύ μικρό ποσοστό κυρίως σε σύμφυση με σιδηροπυρίτη και σφαλερίτη (σχήμα 5.1.4) στους τύπους διάσπαρτης μεταλλοφορίας, διάσπαρτης έως συμπαγούς και σε χαλαζιακές φλέβες.

5.1.6 Κοβελλίνης

Ο κοβελλίνης με γενικό χημικό τύπο CuS , βρέθηκε στη διάσπαρτη μεταλλοφορία, στη διάσπαρτη έως συμπαγής και στη συμπαγή μεταλλοφορία. Στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελεί προϊόν αντικατάστασης του χαλκοπυρίτη (σχήμα 5.1.6) ενώ

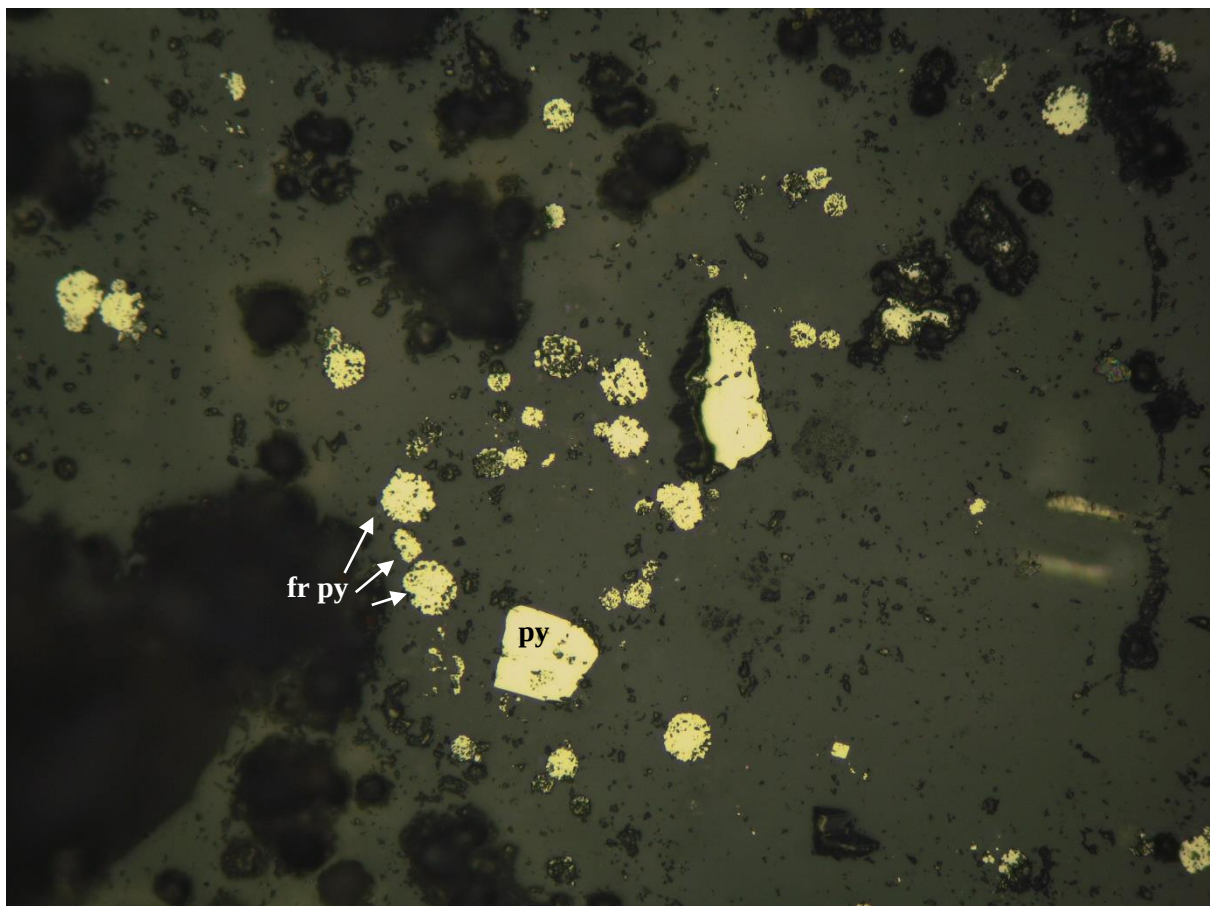
παράλληλα βρέθηκαν ακανόνιστοι κόκκοι κοβελλίνη που πιθανότατα να προέρχονται από την πλήρη μετατροπή του χαλκοπυρίτη σε κοβελλίνη (σχήμα 5.1.7).

5.1.7 Αυτοφυής Χρυσός

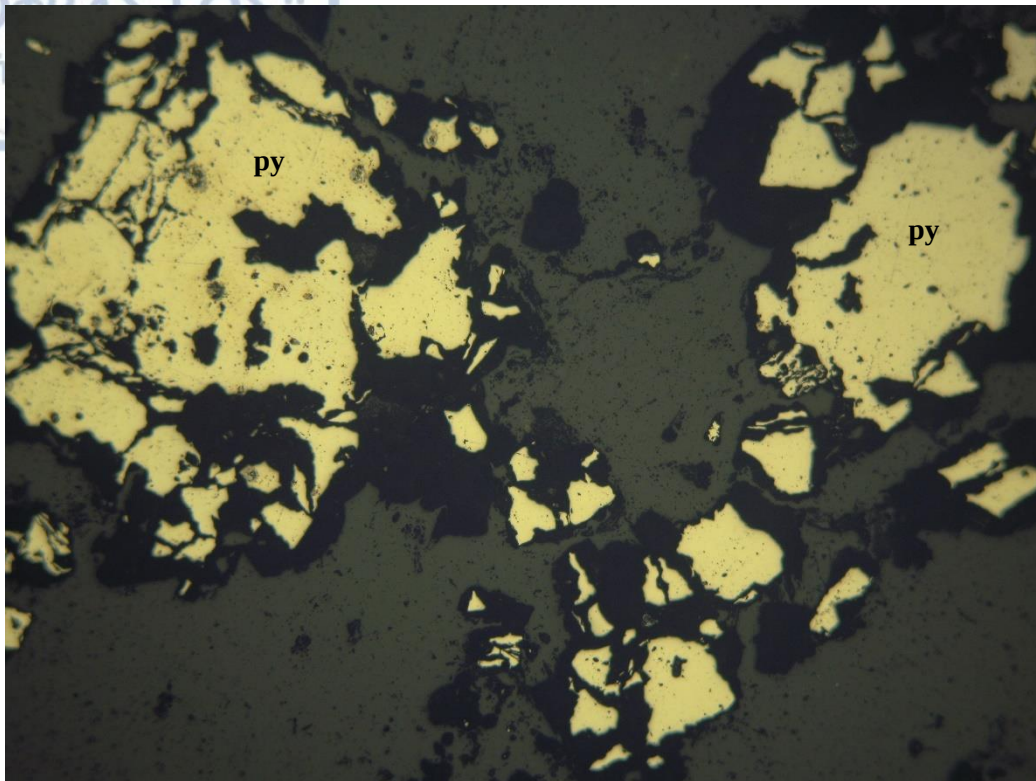
Αυτοφυής Χρυσός με γενικό χημικό τύπο Au , βρέθηκε στον τύπο διάσπαρτης έως συμπαγούς μεταλλοφορίας με τη μορφή ακανόνιστων μικροσκοπικών εγκλεισμάτων μέσα στους κρυστάλλους του σιδηροπυρίτη (σχήμα 5.1.9).

5.1.8 Μαλαχίτης

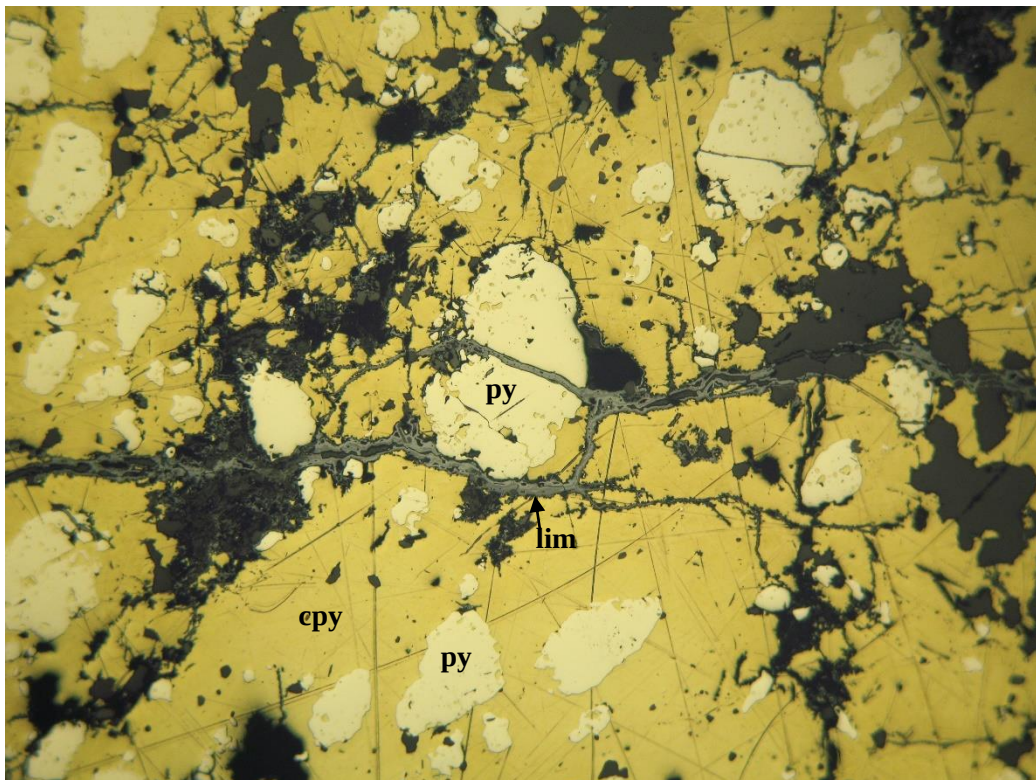
Μαλαχίτης με γενικό χημικό τύπο $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ εντοπίστηκε κυρίως στον τύπο μεταλλοφορίας με τη μορφή λεπτών στρωμάτων και αποτελεί προϊόν οξείδωσης του χαλκοπυρίτη.



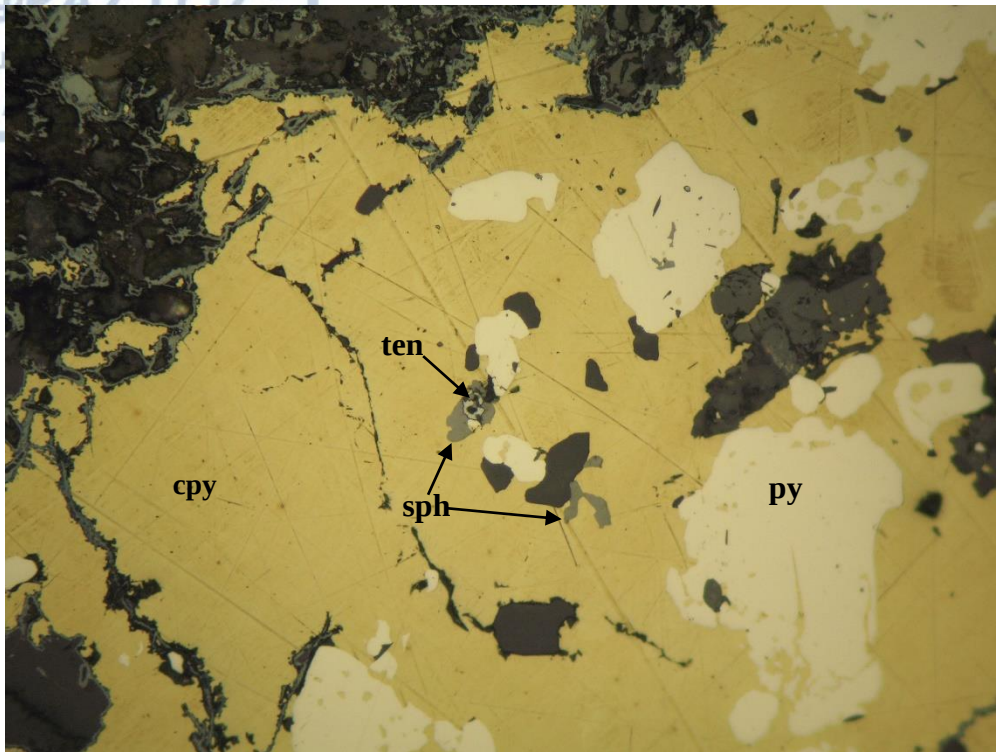
Σχήμα 5.1.1 Δείγμα NP 5-9. Ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (py) και σιδηροπυρίτης μορφής fraboid (fr py). Μήκος φωτογραφίας 0.65mm, //N.



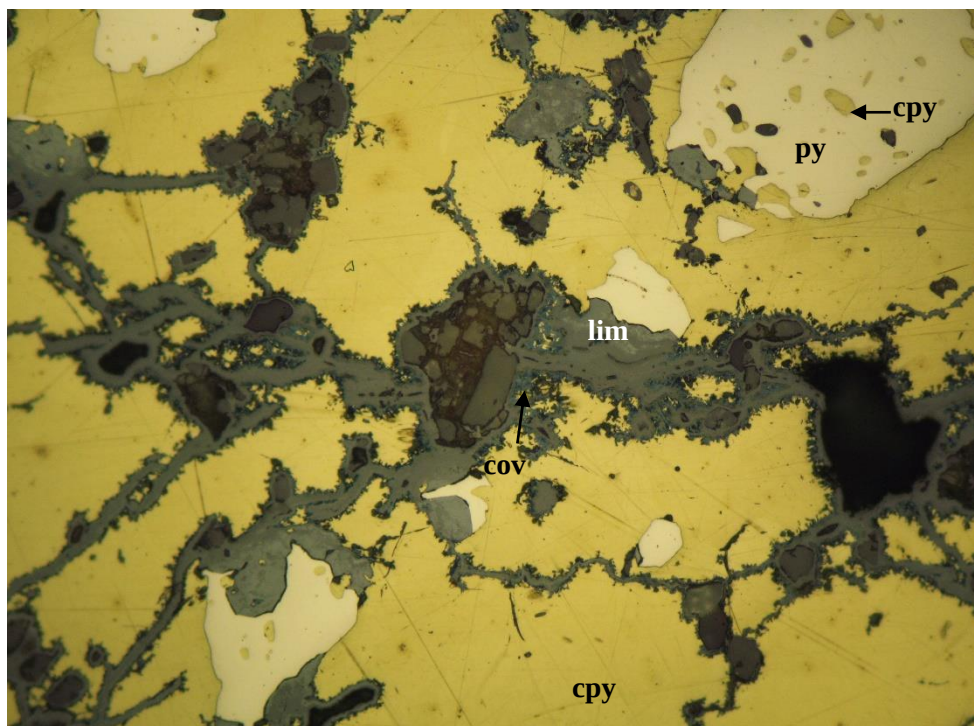
Σχήμα 5.1.2 Δείγμα NP 5-9. Υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι σιδηροπυρίτη (py) που παρουσιάζουν κατακλαστική υφή. Μήκος φωτογραφίας 2.6mm, //N.



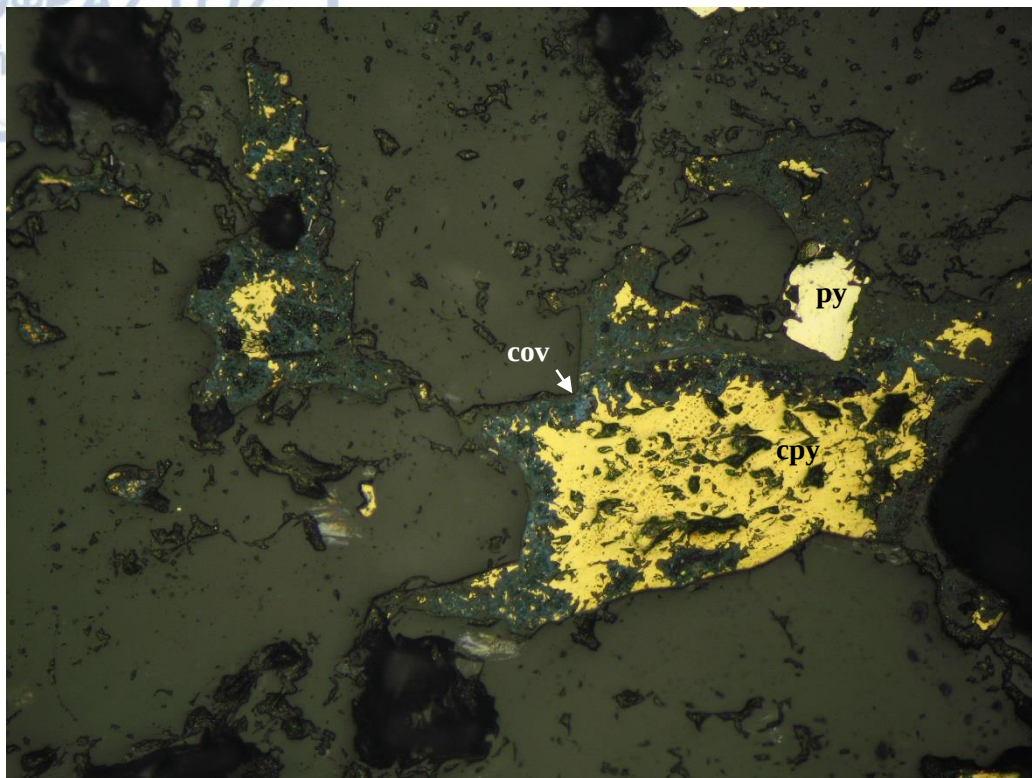
Σχήμα 5.1.3 Δείγμα NP 15-1, συμπαγής μεταλλοφορία χαλκοπυρίτη (cpry) – σιδηροπυρίτη (py). Εγκλείσματα χαλκοπυρίτη μέσα σε σιδηροπυρίτη, φλεβίδια λειμωνίτη (lim). Μήκος φωτογραφίας 2.6mm, //N.



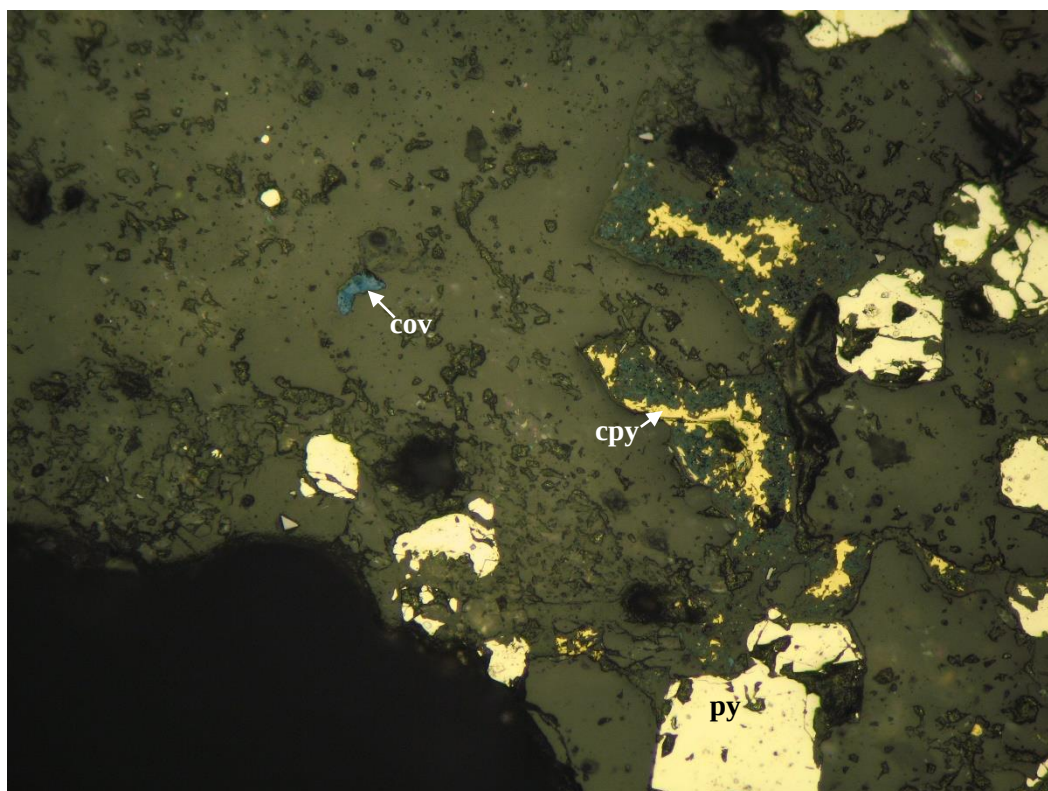
Σχήμα 5.1.4 Δείγμα NP 15-1. Εγκλείσματα χαλκοπυρίτη (cpy) μέσα σε σιδηροπυρίτη (py), σύμφυση σφαλερίτη (sph) – χαλκοπυρίτη, σύμφυση τενναντίτη (ten) – σφαλερίτη – σιδηροπυρίτη. Μήκος φωτογραφίας 1.3mm, //N.



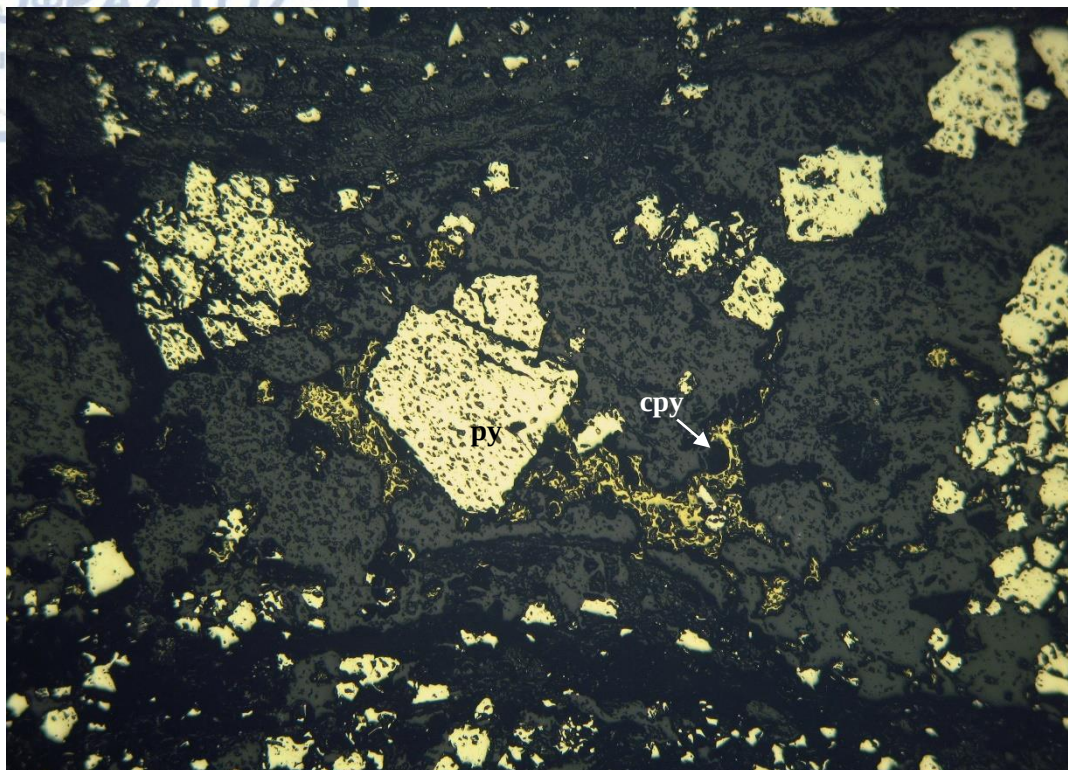
Σχήμα 5.1.5 Δείγμα NP 15-1. Εγκλείσματα χαλκοπυρίτη (cpy) μέσα σε σιδηροπυρίτη (py), φλεβίδια λειμωνίτη (lim), μετατροπή του χαλκοπυρίτη σε κοβελίνη (cov). Μήκος φωτογραφίας 0.65mm, //N.



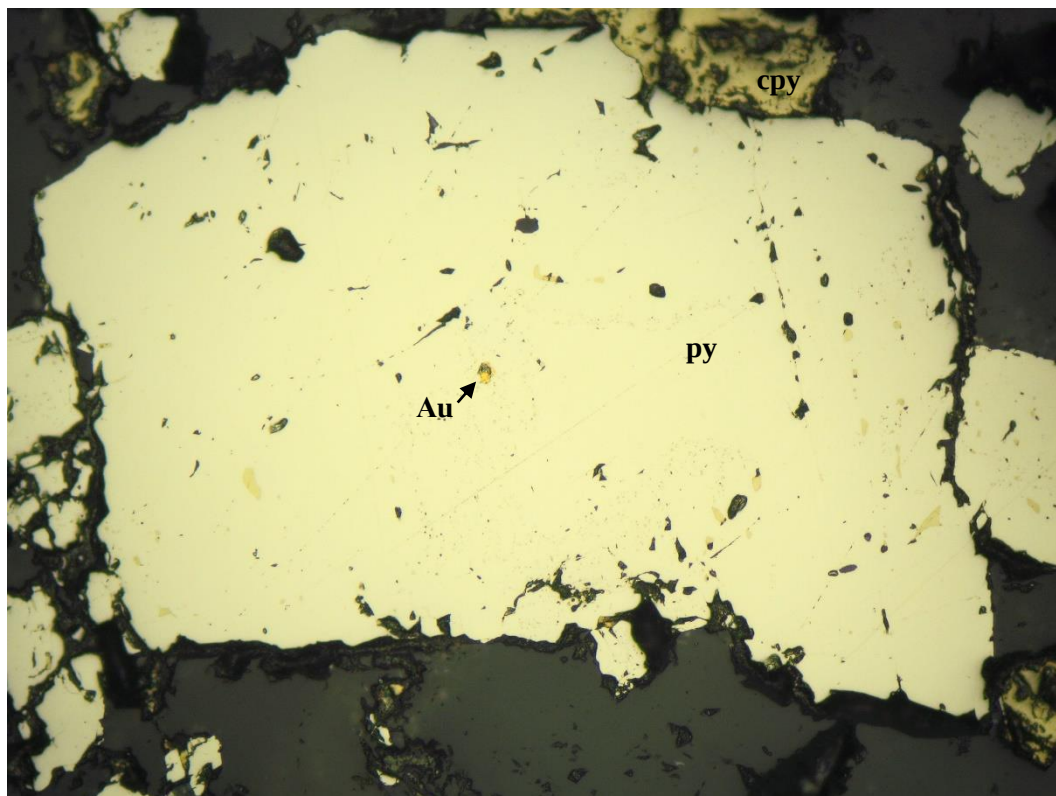
Σχήμα 5.1.6 Δείγμα NP 42. Χαλκοπυρίτης (cpr) που μετατρέπεται σε κοβελίνη (cov), ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (py) με εγκλείσματα χαλκοπυρίτη. Μήκος φωτογραφίας 0.65mm, //N.



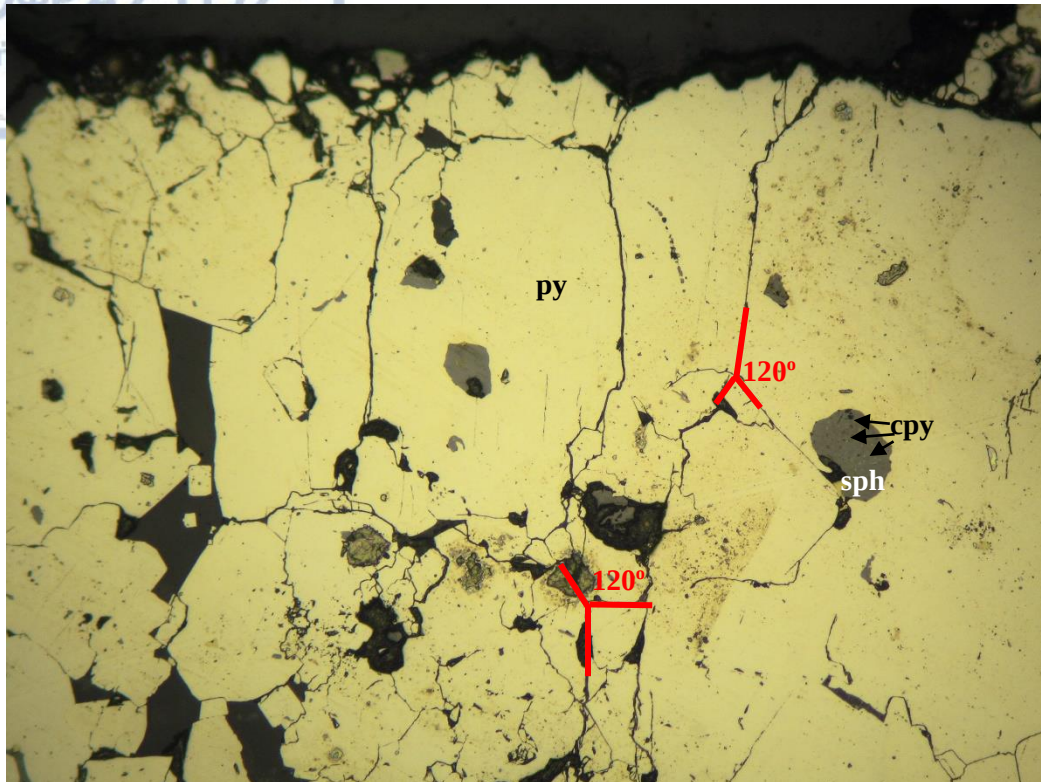
Σχήμα 5.1.7 Δείγμα NP 42. Κοβελίνης (cov), χαλκοπυρίτης (cpr) που μετατρέπεται σε κοβελίνη, υπιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (py) που παρουσιάζει κατακλαστική υφή. Μήκος φωτογραφίας 0.65mm, //N.



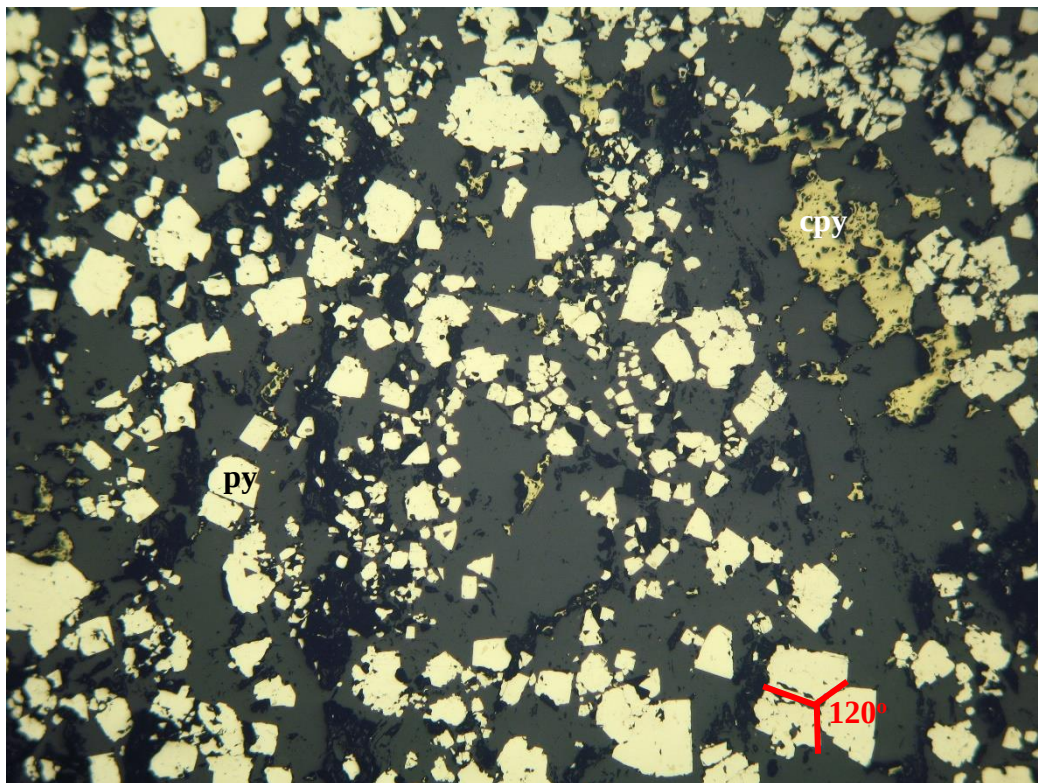
Σχήμα 5.1.8 Δείγμα NP 16-7. Ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (py) και χαλκοπυρίτης (cpr), παρουσιάζουν σπογγοειδή υφή. Μήκος φωτογραφίας 1.3mm, //N.



Σχήμα 5.1.9 Δείγμα NP 16-7. Ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (py) με εγκλείσματα χαλκοπυρίτη (cpr) και χρυσού (Au), χαλκοπυρίτης cpr). Μήκος φωτογραφίας 0.65mm, //N.



Σχήμα 5.1.10 Δείγμα NP 16. Σιδηροπυρίτης (py) με εγκλείσματα σφαλερίτη (sph) με σταγονίδια χαλκοπυρίτη (cpy), χαλκοπυρίτης. Χαρακτηριστικός ιστός ανακρυστάλλωσης τριπλών σημείων επαφής (triple junction points). Οι κρύσταλλοι σχηματίζουν μεταξύ τους χαρακτηριστικές γωνίες 120° . Μήκος φωτογραφίας 0.65mm, //N.



Σχήμα 5.1.11 Δείγμα NP 16-7. Ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης (py), χαλκοπυρίτης (cpy). Χαρακτηριστικός ιστός ανακρυστάλλωσης τριπλών σημείων επαφής (triple junction points). Οι κρύσταλλοι σχηματίζουν μεταξύ τους χαρακτηριστικές γωνίες 120° . Μήκος φωτογραφίας 2.6mm, //N.

6. Συμπεράσματα

Με βάση τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις προκύπτει το συμπέρασμα ότι η απόθεση της μεταλλοφορίας έγινε ταυτόχρονα με την απόθεση των ηφαιστειακών πετρωμάτων που τη φιλοξενούν, ενώ οι μικροσκοπικές παρατηρήσεις αποδεικνύουν ότι τα γεωτεκτονικά γεγονότα (μεταμόρφωση και τεκτονισμός) που συνέβησαν μετά την απόθεση της μεταλλοφορίας, επηρέασαν τόσο τα ηφαιστειακά πετρώματα ξενιστές, όσο και την ίδια τη μεταλλοφορία.

Από τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις αποδεικνύεται η ταυτόχρονη απόθεση σουλφιδίων και ηφαιστειακών πετρωμάτων, καθώς η μεταλλοφορία εντοπίζεται με τη μορφή φακών ή κοιτών (τύποι συμπαγούς μεταλλοφορίας), εναλλαγών λεπτών στρωμάτων με πυριτικό υλικό και διάσπαρτης μεταλλοφορίας (υπόλοιποι τύποι μεταλλοφορίας).

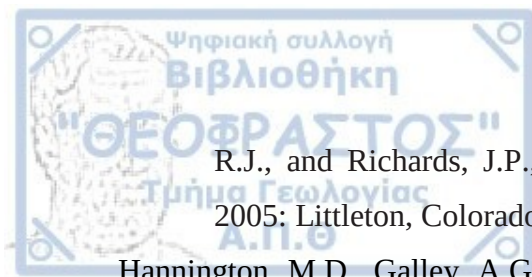
Από τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις αποδεικνύεται ο επηρεασμός της μεταλλοφορίας από τα γεωτεκτονικά γεγονότα που συνέβησαν μετά το σχηματισμό της μεταλλοφορίας, καθώς η κατακλαστική υφή και ο χαρακτηριστικός ιστός ανακρυστάλλωσης με γωνίες 120° που εμφανίζονται στους κρυστάλλους του χαλαζία, είναι αποτελέσματα των τεκτονικών δυνάμεων και της μεταμόρφωσης, αντίστοιχα, που έδρασαν πάνω στα ηφαιστειακά πετρώματα. Επίσης, από τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον τύπο μεταλλοφορίας λεπτών στρωμάτων, φαίνεται ότι τα στρώματα του λεπτόκοκκου σιδηροπυρίτη έχουν πτυχωθεί μαζί με το περιβάλλον πέτρωμα, καθώς οι πτυχώσεις τους ακολουθούν τις πτυχές του σχηματισμού.

Με βάση την ορυκτολογική σύσταση από τα ορυκτολογικά δεδομένα που προκύπτει, φαίνεται να επιβεβαιώνεται η κατάταξη της μεταλλοφορίας ως τύπου Cu-σιδηροπυρίτη (τύπου Κύπρου). Ωστόσο για να καταταχθεί η μεταλλοφορία της Ξυλαγανής σύμφωνα με τις νεότερες ταξινομήσεις (πχ. Shanks and Thurston 2012), χρειάζονται επιπλέον πετρολογικά και τεκτονικά δεδομένα από τη περιοχή.

7. Βιβλιογραφία

Ξενογλώσση

- Ashworth, K.L., Billett, M.F., Constantinides, D., Demetriades, A., Katirtzoglou, C. and Michael, C. (1988). Base metal mineralization in the Evros Region, N.E. Greece. In: Base Metal Sulphide Deposits. Eds: Friedrich, G.H. and Herzig, P.M., Springer-Verlag, Berlin. 169-181
- Barrie C. T., Hannington M. D. (1999) Classification of Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits Based on Host-Rock Composition, Volcanic-associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient settings Ed: 8 Ch: 1, Society of Economic Geologists
- Bonev, N., Ovtcharova-Schaltegger, M., Mortiz, R., Marchev, P., Ulianov, A., (2013). Peri Gondwanan Ordovician crustal fragments in the high-grade basement of the Eastern Rhodope Massif, Bulgaria: evidence from U-Pb LA-ICP-MS zircon geochronology and geochemistry. *Geodinamica Acta* 26 (3e4): 207-229
- Cheliotis I. (1986). Geology, mineralization and rock geochemistry of a volcanic-sedimentary formation in the Xylagani Maronia area, NE Greece. M.Sc., University of Leicester, U.K.
- Cox, D.P., Singer D.A., eds., (1986) Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, Department of the Interior, US Geological Survey.
- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., and Galley, A.G., (2005), Volcanogenic massive sulfide deposits, in Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds., *Economic Geology 100th anniversary volume, 1905–2005*: Littleton, Colo., Society of Economic Geologists, p. 523-560.
- Franklin, J.M., Lydon, J.W. and Sangster, D.F. (1981). Volcanic-associated massive sulphide deposits. *Econ. Geol.*, 75th Anniv. vol., 485-627.
- Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R. (2007) Volcanogenic massive sulphide deposits., *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, 141-161.
- Hannington, M.D., de Ronde, C.E.J., and Petersen, S., (2005), Sea-floor tectonics and submarine hydrothermal systems, in Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb,



- R.J., and Richards, J.P., eds., Economic Geology 100th anniversary volume 1905–2005: Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists, p. 111–141.
- Hannington, M.D., Galley, A.G., Herzig, P.M., and Petersen, S., (1998), Comparison of the TAG mound and stockwork complex with Cyprus type massive sulfide deposits; Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results Volume 158, College Station, TX, p. 389–415.
- Haymon, R.M., (1983), Growth history of hydrothermal black smoker chimneys: Nature, v. 301, p. 695–698.
- Haymon, R.M., Fornari, D.J., Edwards, M.H., Carbotte, S., Wright, D., MacDonald, K.C., (1991), Hydrothermal vent distribution along the East Pacific Rise crest (9°09' - 54'N) and its relationship to magmatic and tectonic processes on fast-spreading mid-ocean ridges: Earth and Planetary Sciences, v. 104, p. 513–534.
- Hutchinson, R.W. (1973). Volcanogenic sulphide deposits and their metallogenic significance. Econ. Geol., 68, p. 1223–1246.
- Ivanova D., Bonev N., Chatalov A. (2015) Biostratigraphy and tectonic significance of lowermost Cretaceous carbonate rocks of the Circum-Rhodope Belt (Chalkidiki Peninsula and Thrace region, NE Greece) Cretaceous Research 52: 25–63
- Koski, R.A., Clague, D.A., and Oudin, E., (1984), Mineralogy and chemistry of massive sulfide deposits from the Juan de Fuca Ridge: Geological Society of America Bulletin, v. 95, p. 930–945.
- Koski, R.A., Jonasson, I.R., Kadko, D.C., Smith, V.K., and Wong, F.L., (1994), Compositions, growth mechanisms, and temporal relations of hydrothermal sulfide-sulfate-silica chimneys at the northern Cleft segment, Juan de Fuca Ridge: Journal of Geophysical Research, v. 99, p. 4813–4832.
- Kydonakis K., Brun J., Sokoutis D., Gueydan F. (2015) Kinematics of Cretaceous subduction and exhumation in the western Rhodope (Chalkidiki block), Tectonophysics 665: 218–235
- Large, R.R. (1992). Australian volcanic-hosted massive sulphide deposits: Features, styles, and genetic models. Econ. Geol., 87, 471–510.
- Magganas A., (2002) Constraints on the petrogenesis of Evros ophiolite extrusives, NE Greece, Lithos 65: 165–182
- Magganas A., Sideris C., Kokkinakis A. (1991) Marginal Basin Volcanic Arc Origin of Metabasic Rocks of the Circum-Rhodope Belt, Thrace, Greece, Mineralogy and Petrology 44: 235–252

- Mark D. Hannington, Alan G. Galley, Peter M. Herzig, Sven Petersen (1998) Comparison of the TAG mound and stockwork complex with cyprus-type massive sulfide deposits. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 158
- Meinhold G., Kostopoulos D. (2013) The Circum-Rhodope Belt, northern Greece: Age, provenance, and tectonic setting, *Tectonophysics* 595-596: 55-68
- Meinhold G., Reischmann T., Kostopoulos D., Frei D., Larionov A. (2010) Mineral chemical and geochronological constraints on the age and provenance of the eastern Circum-Rhodope Belt low-grade metasedimentary rocks, NE Greece, *Sedimentary Geology* 229: 207–223
- Mosier, D.L., Berger, V.I., and Singer, D.A., (2009), Volcanogenic massive sulfide deposits of the world—Database and grade and tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report 2009–1034, 50 p.
- Nesbitt, R.W., Billett, M.F., Ashworth, K.L., Deniel, C., Constantinides, D., Demetriades, A., Katirtzoglou, C., Michael, C., Mposkos, E., Zachos, S. and Sanderson, D. (1988). The geological setting of base metal mineralization in the Rhodope region, Northern Greece. In: *Base Metal Sulphide Deposits*. Eds: Friedrich, G.H. and Herzig, P.M., Springer-Verlag, Berlin. 499-514.
- Rassios A. (1990) Geology and copper mineralization of the Vrinena area, east Othris Ophiolite, Greece, *Ophioliti*, 15(2), p. 287-304
- Robertson A.H.F. and Varnavas (1993) S.P. The origin of hydrothermal metalliferous sediments associated with the Early Mesozoic Othris and Pindos ophiolites, mainland Greece, *Sedimentary Geology*, 83, p. 87-113
- Robertson A.H.F., Varnavas S.P., Panagos A.G. (1987) Ocean ridge origin and tectonic setting of mesozoic sulphide and oxide deposits of the Argolis peninsula of the Peloponnese, Greece, *Sedimentary Geology*, 53, p. 1-32
- Shanks, W.C., III, (2001), Stable isotopes in seafloor hydrothermal systems—Vent fluids, hydrothermal deposits, hydrothermal alteration, and microbial processes, in Valley, J.W., and Cole, D.R., eds., *Stable isotope geochemistry: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 43, p. 469–525.
- Shanks, W.C., III, Thurston Roland eds., (2012) Volcanogenic massive sulfide occurrence model: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070—C, Department of the Interior, US Geological Survey.
- Skounakis, S., Economou, M., Sideris, C., (1980), The ophiolite complex of Smolicas and the associated Cu-sulfide deposits. In: Augoustidis, S.S. (Ed.), *Proceedings, International*



Symposium on the Metallogeny of Mafic and Ultramafic Complexes, UNESCO, IGCP Project 169, vol. 2. Theophrastus Publications S.A., Athens, p. 361–374.

Triantafyllidis Stavros (2019) Trace element geochemistry, mineralogy and texture of the Ermioni VMS mineralization host volcanics, and new insights on the geotectonic setting of volcanism, Argolis, Greece, 15th International Congress of the Geological Society of Greece, Bulletin of the Geological Society of Greece, Sp. Pub. 7

Triantafyllidis Stavros and Diamantakis Nikolaos (2019) New Insights on the Ermioni VMS Ore Based on Ore Texture and Host Rock Lithology and Geochemistry (SE Argolis Peninsula, Peloponnese, Greece), Petrogenesis and Exploration of the Earth's Interior p. 141-143

Varnavas S.P and Panagos A.G. (1984) Mesozoic metalliferous sediments from the ophiolites of Ermioni, Greece; Analogue to recent mid-ocean ridge ferromanganese deposits, Chemical Geology, 42, p. 227-242

Von Braun, E., (1993) The Rhodope Question viewed from Eastern Greece. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 144: 406–418

Ιωαννίδης Ν., Κωστόπουλος Δ., Σκλαβούνος Σ., (1999), Ριζική αναθεώρηση των συνθηκών μεταμόρφωσης της ανατολικής περιοδοπικής ζώνης. Ενδείξεις περί υψηλών πιέσεων στους ιζηματογενείς σχηματισμούς και εγκεκλεισμένους γνευσίους στην περιοχή Νέας Μάκρης Αλεξανδρουπόλεως, Δυτική Θράκη, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας 33: 149–160.

Ιωαννίδης Ν., Χατζηδημητριάδης Ε., Μουντράκης Δ., Κίλιας Α. (1998), Η μελέτη της χαμηλής μεταμόρφωσης νεοπαλαιοζωικών έως και κάτω μεσοζωικών ιζημάτων στην περιοχή της Νέας Μάκρης, δυτικά της Αλεξανδρούπολης, δυτική Θράκη / Ελλάδα , Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας 32: 79–89.

Κουρής, Χ. (1980). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Μέση-Ξυλαγανή, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ, Αθήνα

Μαγκανάς, Α. (1988). Μελέτη της ορυκτολογίας, πετρολογίας, γεωχημείας και των φαινομένων μεταμορφώσεως βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της Περιοδοπικής Ζώνης στην περιοχή της Θράκης. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών

Μέλφος Β. (1995). Έρευνα των βασικών και ευγενών μετάλλων στην Περιοδοπική ζώνη της Θράκης. Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη

Μέλφος Β., Βαβελίδης Μ., Φιλιππίδης Α., (1993) “Framboidal” σιδηροπυρίτης στη μεταλλοφορία Fe-Cu-(Zn-Pb-Au) της περιοχής Ξυλαγανής του Νομού Ροδόπης (Θράκη), Αθήνα, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 28(2): 407-415

Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη. University Studio Press.

Νταρλαγιάννης Δ., Βαβελίδης Μ., Αρίκας Κ., Μέλφος Β., Goetz D., (2002), Περιβαλλοντική γεωχημική μελέτη των ιζημάτων των ποταμών Σαπόρεμα και Φιλιούρη στην περιοχή Σαπών - Ξυλαγανής του Νομού Ροδόπης στη Θράκη, Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Τόμος II, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2002

Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο

ΕΛΣΤΑΤ: <https://www.statistics.gr/>

Google Earth: <https://earth.google.com/web/>

<http://www.medellin.unal.edu.co/>