



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

**ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ
ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Pb-Zn-Au-Ag ΣΕ ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗΝ
ΠΙΑΒΙΤΣΑ ΤΗΣ ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

ΜΑΡΙΑ ΤΣΙΒΙΛΙΚΑ

Φοιτήτρια Γεωλογίας

Α.Μ.: 5054



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής

Β. Μέλφος, Επίκουρος Καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017





Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	4
2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ.....	8
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	11
3.1. Γεωλογία.....	11
3.2. Τριτογενής μαγματισμός.....	14
3.3. Παραμόρφωση και μεταμόρφωση.....	15
3.4. Νεοτεκτονική – Ρήγμα Στρατωνίου.....	16
3.5. Μεταλλοφορίες της ΒΑ Χαλκιδικής.....	18
3.5.1. Μεταλλοφορίες πορφυριτικού τύπου.....	18
3.5.2. Μεταλλοφορία μολύβδου-ψευδαργύρου-χρυσού-αργύρου.....	20
3.5.3. Μεταλλοφορία Skarn.....	23
3.5.4. Μεταλλοφορία οξειδίων μαγγανίου.....	24
3.5.5. Μεταλλοφορία σεελίτη.....	24
3.5.6. Σιδηρούχοι σχηματισμοί και υδροθερμικοί χαλαζίτες με χρυσό.....	24
3.5.7. Προσχωματικός χρυσός.....	25
4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	26
5. Η ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ Pb-Zn-Au ΣΤΗΝ ΠΙΑΒΙΤΣΑ.....	27
5.1. Ιστοί και υφές της μεταλλοφορίας στην Πιάβιτσα.....	29
5.2. Αποτελέσματα από την μικροσκοπική μελέτη.....	36
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Πετρογραφική και ορυκτολογική μελέτη της μεταλλοφορίας αντικατάστασης Pb-Zn-Au-Ag σε ανθρακικά πετρώματα στην Πιάβιτσα της ΒΑ Χαλκιδικής

Μαρία Τσιβιλίκα

Η παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη της μεταλλοφορίας στην Πιάβιτσα της ΒΑ Χαλκιδικής που αναπτύσσεται κατά μήκος του ρήγματος του Στρατωνίου, με σημαντικές περιεκτικότητες σε χρυσό και άργυρο. Πρόκειται για μία μεταλλοφορία αντικατάστασης Pb-Zn-Ag-Au που εντοπίζεται μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλλίων. Η κινητική του ρήγματος Στρατωνίου έχει επηρεάσει την μεταλλοφορία και τα πετρώματα ξενιστές και αυτό φαίνεται από την ανάπτυξη τεκτονικών λατυποπαγών στην μεταλλοφορία. Οι μορφές μεταλλοφορίας ποικίλουν και περιλαμβάνουν 4 κύριους τύπους: 1) την μαγγανιούχο μεταλλοφορία, 2) την συμπαγή μεταλλοφορία σουλφιδίων, 3) την ημισυμπαγή μεταλλοφορία σουλφιδίων, και 4) τις επιθερμικές μεταλλοφόρες φλέβες και σώματα με ροδοχρωσίτη. Η ημισυμπαγής μεταλλοφορία παρουσιάζει έντονη κατάκλαση και σχηματισμό λατυποπαγούς από την τεκτονική δραστηριότητα του ρήγματος Στρατωνίου. Οι λατύπες και σε αυτήν την περίπτωση αποτελούνται από κατακλαστίτες μαρμάρου. Τόσο η συμπαγής όσο και η ημισυμπαγής μεταλλοφορία βρίσκονται υπό μορφή πληρώσεων κενών χώρων μέσα στο μάρμαρο ποικίλου μεγέθους, σε μεταλλοφόρα σώματα αντικατάστασης. Οι τύποι αυτοί της μεταλλοφορίας αποτελούν τους πλουσιότερους τύπους σε χρυσό, με τα βασικά μέταλλα να υπερτερούν στον συμπαγή τύπο και τα πολύτιμα μέταλλα Au και Ag στην λατυποπαγή μεταλλοφορία. Οι επιθερμικές μεταλλοφόρες ταινιωτές φλέβες και σώματα περιλαμβάνουν χαλαζία με ροδοχρωσίτη και συχνά παρατηρείται βουλανζερίτης. Με βάση τη μικροσκοπική μελέτη αναγνωρίστηκαν τα εξής μεταλλικά ορυκτά: σιδηροπυρίτης, αρσеноπυρίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης και βουλανζερίτης. Τα κύρια σύνδρομα ορυκτά της μεταλλοφορίας είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης και ο ροδοχρωσίτης. Η παρουσία μαγματικών πορφυριτικών φλεβών ηλικίας 20.62 ± 0.13 Ma δείχνει μία κατώτερη ηλικία της μεταλλοφορίας στο κάτω Μειόκαινο, παρόμοια με αυτή του πορφυριτικού κοιτάσματος στις Σκουριές και στην Τσικάρα.



ABSTRACT

Petrographic and mineralogical study of the carbonate replacement Pb-Zn-Au-Ag mineralization at Piavitsa, NE Chalkidiki

Maria Tsivilika

This diploma thesis focuses on the study of the carbonate replacement Pb-Zn-Au-Ag mineralization in Piavitsa, Northeastern Chalkidiki. This mineralization is found along the Stratoni fault, with significant gold and silver contents. The kinetics of the Stratoni fault have influenced the mineralization and the host rocks, and this is evident from the occurrence of mineralized breccias. The mineralization form varies and includes 4 main types: 1) manganese mineralization, 2) massive sulphide mineralization, 3) semi-massive sulphide mineralization, and 4) epithermal veins and bodies including rhodochrosite. The semi-massive sulphide mineralization shows intense breaking and is characterized by extensive breccias due to the continuous tectonic activity of the Stratoni fault. The broken material including in the breccias is formed by marble. The massive and the semi-massive mineralization forms in empty space fillings of marble varying in size, in the form of replacement ore bodies. They are the richest types in terms of metals. The massive type is enriched in base metals, whereas the breccias are rich in gold. The epithermal mineralized banded veins and bodies include quartz with rhodochrosite and boulangerite. Based on the microscopic study, the following ore minerals were identified: pyrite, arsenopyrite, sphalerite, galena and boulangerite, accompanied by quartz, calcite and rhodochrosite. The presence of magmatic porphyry veins with an age of 20.62 ± 0.13 Ma indicates a lower age of mineralization during the lower Miocene, which is similar to the age of the porphyry Cu deposits in Skouries and Tsikara.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε το Μάρτιο του 2016 από τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την υπόδειξη του θέματος, την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.

Η διπλωματική αυτή εργασία δεν θα ήταν εφικτό να πραγματοποιηθεί χωρίς την συμβολή της εταιρίας «Ελληνικός Χρυσός» της Eldorado Gold, η οποία παραχώρησε δείγματα από πυρήνες γεωτρήσεων του κοιτάσματος στην Πιάβιτσα και την οποία ευχαριστούμε ιδιαίτερα. Θερμές ευχαριστίες οφείλω και στην κ. Sally Russel και στον κ. Νικόλαο Νεστόροβ για την υποστήριξη και τις υποδείξεις τους κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας.

Στο πλαίσιο της αναζήτησης και μελέτης χρυσοφόρων μεταλλοφοριών στον ελλαδικό χώρο, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει και να εξετάσει την μεταλλοφορία αντικατάστασης Pb-Zn-Au-Ag σε ανθρακικά πετρώματα στην Πιάβιτσα που σχετίζεται άμεσα με το ενεργό ρήγμα του Στρατωνίου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Β. Μέλφο, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή βοήθειά του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

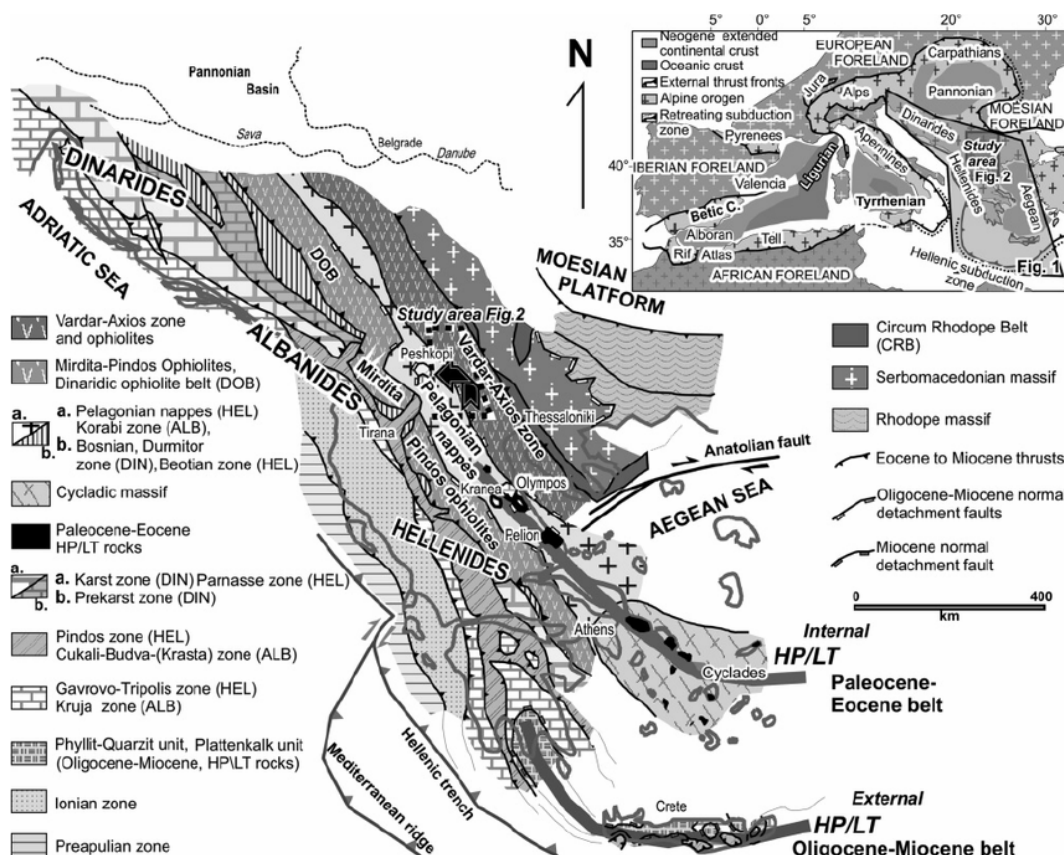
Η Ελλάδα αποτελεί διαχρονικά μία σημαντική χώρα στην ΝΑ Ευρώπη στην εξόρυξη και παραγωγή μετάλλων, ιδιαίτερα κατά την αρχαιότητα. Η εξόρυξη χρονολογείται από την προϊστορική εποχή, και αφορούσε αρχικά τον χρυσό, τον χαλκό και το σίδηρο. Αργότερα, στους χρόνους της Κλασικής (5^{ος}-4^{ος} αιώνας π.Χ.) και Ελληνιστικής (4^{ος}-2^{ος} αιώνας π.Χ.) περιόδου, η εκμετάλλευση μετάλλων έγινε πιο έντονη, ειδικά για Au, Ag, Cu και Fe. Σημαντικά κέντρα εξόρυξης από εκείνη την εποχή λειτουργούσαν γύρω από το Αιγαίο, όπου σώζεται ακόμη και σήμερα ένας μεγάλος αριθμός υπόγειων στοών και μεταλλουργικών κλιβάνων. Πολλά μέταλλα, όπως Ag, Au, Fe και Cu, παράγονται επίσης κατά τη διάρκεια των βυζαντινών (4^{ος}-15^{ος} αιώνας μ.Χ.) και των οθωμανικών χρόνων (15^{ος}-19^{ος} αιώνας μ.Χ.) αλλά με μικρότερη ένταση. Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ειδικά μετά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο (μετά το 1945), πολλά μεταλλεία λειτούργησαν στην Ελλάδα για την εκμετάλλευση των κοιτασμάτων Cr, Ni, Al, Mn, Fe, Pb, Zn, Cu, Au και Ag από χρωμίτη, λατερίτη, βωξίτη, οξειδία σιδήρου-μαγγανίου και μεταλλοφορίες Pb-Zn- (± Cu ± Au ± Ag) (Tsirampides and Filippidis 2012).

Οι περισσότερες από τις μεταλλευτικές επιχειρήσεις έχουν ανασταλεί τα τελευταία χρόνια για οικονομικούς, πολιτικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς λόγους (Melfos and Voudouris 2012). Ωστόσο, η Ελλάδα παραμένει η σημαντικότερη χώρα στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) για την παραγωγή Ni-Fe από λατερίτες (παραγωγή 2014: 2.4 Mt που περιέχουν 18.500 t Ni) και Al από βωξίτες (παραγωγή 2014: 1.8 Mt που περιέχουν 170.000 t Al) της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας. Η παραγωγή Mg από μαγνησίτη είναι επίσης σημαντική (παραγωγή 2014: 270.000 t μαγνησίτης). Οι πιο πρόσφατες έρευνες έχουν ανακαλύψει σημαντικές μεταλλοφορίες πλούσιες σε χρυσό, άργυρο, χαλκό, μολυβδαίνιο, ρήνιο, αντιμόνιο, βολφράμιο και τελλούριο, κυρίως στη βόρεια Ελλάδα (Melfos et al. 2002, Voudouris 2006, Voudouris et al. 2011, Melfos and Voudouris 2012, Voudouris et al. 2013a,b,c, Bristol et al. 2015, Stergiou et al. 2016).

Η ΕΕ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα κρίσιμα και σπάνια μέταλλα τα οποία είναι πολύ σημαντικά για μια βιώσιμη ανάπτυξη. Ωστόσο, η ευρωπαϊκή βιομηχανία δεν είναι σε θέση να καλύψει τις απαιτήσεις της από φυσικές πηγές και εισάγει τις μεταλλικές πρώτες ύλες από τρίτες χώρες. Η Ελλάδα είναι μία από τις χώρες της ΕΕ με το μεγαλύτερο δυναμικό για την παροχή αυτών των στρατηγικών μεταλλικών πρώτων υλών στο μέλλον, δεδομένου ότι φιλοξενεί ένα μεγάλο αριθμό κοιτασμάτων μεταλλευμάτων. Τα κοιτάσματα επιθερμικού και πορφυριτικού τύπου και τα intrusion related systems στις μεταλλογενετικές επαρχίες της

Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης, στην ΒΑ Ελλάδα, αποτελούν στόχους για μια μελλοντική αναζήτηση και εξόρυξη μετάλλων όπως Sb, Te, Mo, Re, Ga, In, REE και PGE (Melfos and Voudouris 2012, 2017). Τα κοιτάσματα λατερίτη και βωξίτη. Οι μεταλλοφορίες αυτές περιέχουν επίσης σημαντικές ποσότητες Co ή REE που πρέπει να εξεταστούν στα μελλοντικά σχέδια των μεταλλουργικών βιομηχανιών. Οι REE βρίσκονται σε υψηλή περιεκτικότητα στις παραθαλάσσιες προσχωματικές αποθέσεις μεταξύ Χαλκιδικής και Καβάλας (βόρεια Ελλάδα), ενώ αυξημένες συγκεντρώσεις PGE εντοπίζονται στους χρωμίτες της βορειοδυτικής Ελλάδας (Melfos and Voudouris 2012, 2017). Συμπερασματικά, ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδας μπορεί να συμβάλει σημαντικά σε μια βιώσιμη και ανταγωνιστική οικονομία της Ευρώπης.

Οι Ελληνίδες (Σχ. 1), οι οποίες αποτελούν τμήμα της Αλπικής ορογένεσης, περιλαμβάνουν πολυάριθμα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα που αναπτύχθηκαν στο περίπλοκο γεωδυναμικό καθεστώς των ωκεανών της Παλαιοιθηθύος και Νεοιθηθύος (Pe-Piper and Piper 2002, Schmid et al. 2008, Jolivet and Brun 2010, Ring et al. 2010, Jolivet et al. 2013, Menant et al. 2016).



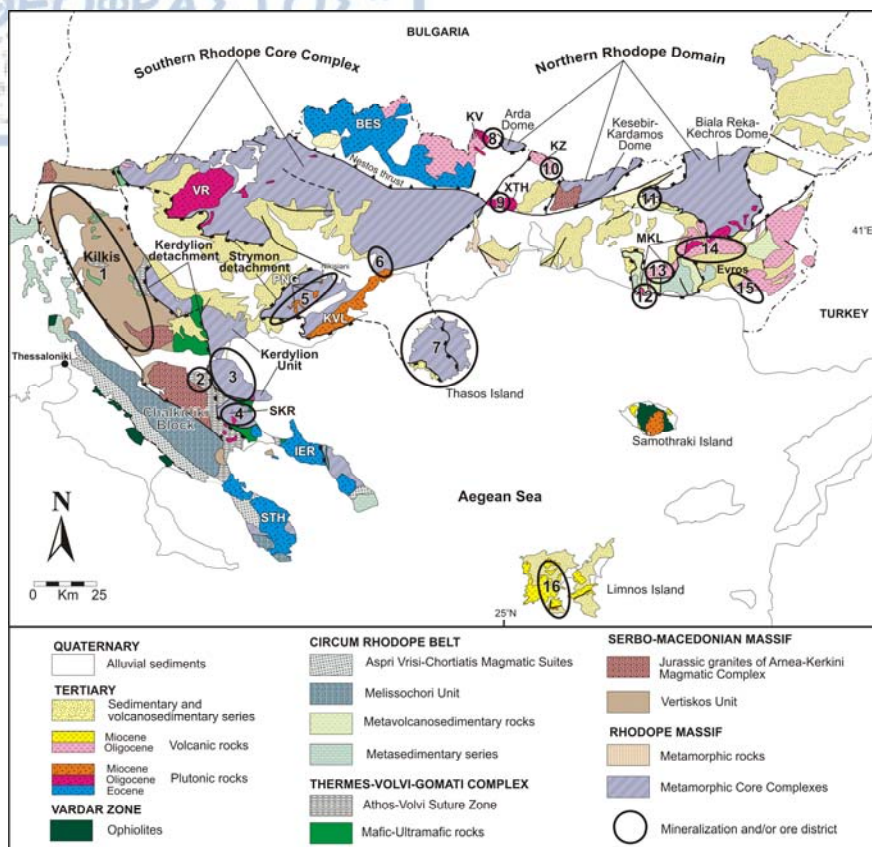
Σχ. 1.1. Γεωτεκτονικός χάρτης της Βαλκανικής που δείχνει την θέση των Ελληνίδων με τις διάφορες ζώνες (Kilias et al. 2010).

Κατά τη διάρκεια των μετα-ορογενετικών γεγονότων που ακολούθησαν το κλείσιμο των ωκεάνιων λεκανών του Βαρδάρη (Αξιού) και της Πίνδου (Νεοτηθύς), σχηματίστηκαν μεγάλης κλίμακας ρήγματα αποκόλλησης που έφεραν στην επιφάνεια (με το φαινόμενο της εκταφής, exhumation) σημαντικούς πυρήνες μεταμορφικών συμπλεγμάτων. Ταυτόχρονα, παρατηρήθηκε έντονος Τριτογενής και Τεταρτογενής μαγματισμός αλκαλικού και αβεστα-αλκαλικού χαρακτήρα που εκτείνεται σήμερα στον χώρο του Αιγαίου (Jolivet et al. 2013).

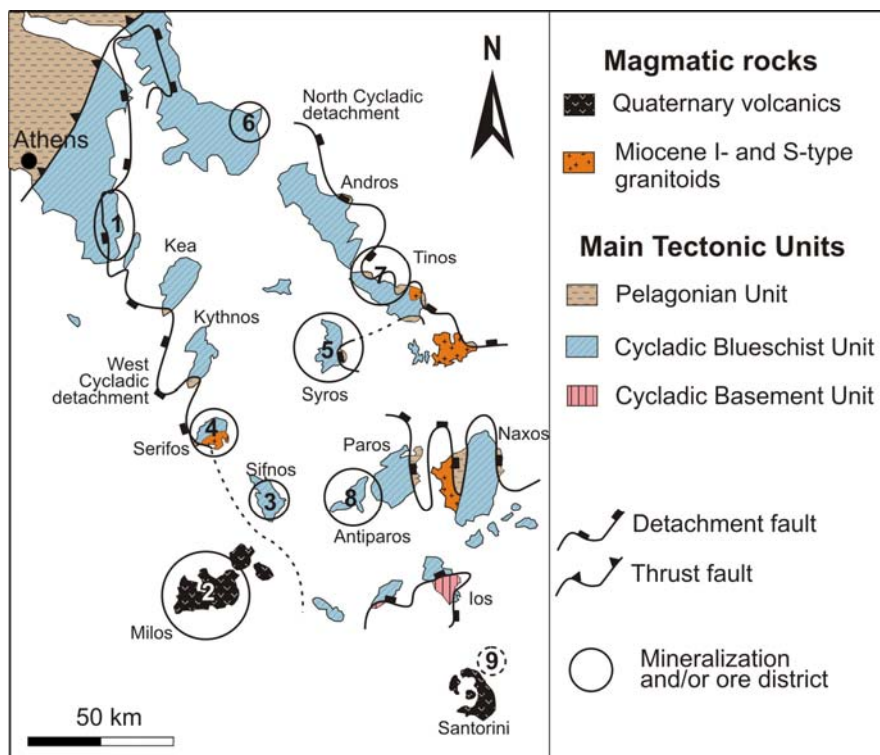
Σε αυτό το γεωτεκτονικό καθεστώς αρκετές σημαντικές και εκατοντάδες μικρότερων διαστάσεων μεταλλοφορίες σχηματίστηκαν κατά το Καινοζωικό στην Ελλάδα σε συνδυασμό με τον μαγματισμό και τα μαγματικά-υδροθερμικά συστήματα. Οι μεταλλοφορίες αυτές περιλαμβάνουν πορφυριτικά κοιτάσματα, κοιτάσματα αντικατάστασης Pb-Zn-Ag-Au σε ανθρακικά πετρώματα, υψηλής, ενδιάμεσης και χαμηλής θείωσης επιθερμικές φλέβες πολυμεταλλικών και πολύτιμων μετάλλων, κοιτάσματα τύπου skarn, κοιτάσματα που συνδέονται με μαγματικές διεισδύσεις (intrusion-related) καθώς και χρυσοφόρες πολυμεταλλικές χαλαζιακές φλέβες σε μεταμορφωμένα.

Οι μεταλλοφορίες αυτές συγκεντρώνονται κυρίως σε δύο σημαντικές γεωτεκτονικές ζώνες, στην Ροδόπη (μάζες της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής) και στην Αττικο-Κυκλαδική (Σχ. 1.1, 1.2), οι οποίες έχουν υποστεί παρόμοια τεκτονική-μεταμορφική και μαγματική εξέλιξη μετά το Κρητιδικό. Αυτές οι περιοχές είναι οι πλέον υποσχόμενες για μελλοντική εξερεύνηση και αναζήτηση πολύτιμων, σπάνιων και κρίσιμων μετάλλων στην Ελλάδα (Melfos and Voudouris 2012, 2017).

Η ΒΑ Χαλκιδική αποτελεί μία από τις σημαντικότερες μεταλλογενετικές περιοχές της Ελλάδας και της ΝΑ Ευρώπης με σημαντικά κοιτάσματα χρυσού, αργύρου, χαλκού, μολύβδου, ψευδαργύρου, που έχουν υποστεί εκμετάλλευση από την αρχαιότητα έως σήμερα (Vavelidis et al. 1983, Wagner et al. 1986, Vavelidis and Melfos 2012). Οι κυριότερες μεταλλοφορίες είναι τύπου πορφυριτικού Cu-Au, αντικατάστασης πολυμεταλλικών σουλφιδίων Pb-Zn-Au-Ag, Skarn και οξειδίων Mn, που σχετίζονται με τον Τριτογενή μαγματισμό. Μία από αυτές τις μεταλλοφορίες αποτελεί το κοιτάσμα της Πιάβιτσας κατά μήκος του ρήγματος του Στρατωνίου, με σημαντικές περιεκτικότητες σε χρυσό και άργυρο. Το κοιτάσμα αυτό αποτελεί το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας η οποία αναφέρεται στα γεωλογικά και κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας.



Σχ. 1.2. Γεωλογικός χάρτης της μάζας της Ροδόπης και της Σερβομακεδονικής μάζας στη βόρεια Ελλάδα με τις κύριες μεταλλογενετικές περιοχές του Καινοζωικού (Melfos and Vodouris 2017).

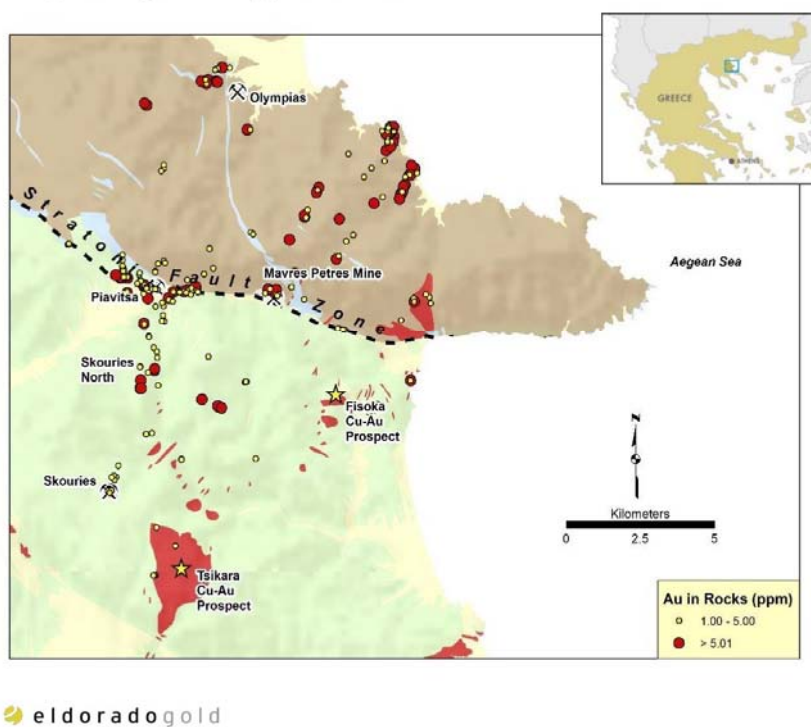


Σχ. 1.3. Γεωλογικός χάρτης της Αττικοκυκλαδικής μάζας στη νότια Ελλάδα με τις κύριες μεταλλογενετικές περιοχές του Καινοζωικού (Melfos and Vodouris 2017).

2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Η μεταλλευτική περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής, γνωστής και ως «Μεταλλεία Κασσάνδρας», βρίσκεται περίπου 100 km ανατολικά της Θεσσαλονίκης. Τα αποθέματα σε χρυσό υπολογίζονται σε ~12 εκατομμύρια ουγκιές (Eldorado Gold 2017) που σχετίζονται με πορφυριτικά συστήματα και με κοιτάσματα αντικατάστασης σε ανθρακικά πετρώματα. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις υψηλές περιεκτικότητες σε Ag, Cu, Pb, Zn, καθιστά την περιοχή σε μία από τις σημαντικότερες περιοχές στη Μεταλλογενετική Επαρχία της Σερβομακεδονικής (Serbo-Macedonian Metalllogenic Province) (Hahn et al. 2012, Siron et al. 2016, Melfos and Voudouris 2017). Πολυμεταλλικά κοιτάσματα Pb-Zn σε ανθρακικά πετρώματα εντοπίζονται στην Ολυμπιάδα, στο Μαντέμ Λάκκο και στις Μαύρες Πέτρες, ενώ ένα σημαντικό κοιτάσμα χαλκού-χρυσού σχετίζεται με το πορφυριτικό σύστημα στις Σκουριές (Σχ. 2.1).

Halkidiki Brownfields Potential Long-term growth opportunities



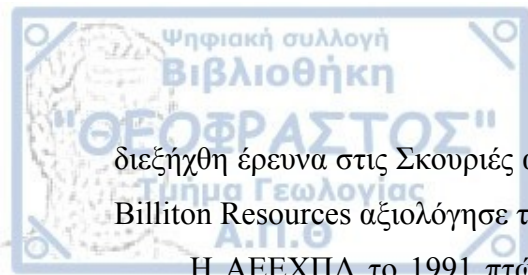
Σχ. 2.1. Γεωλογικός χάρτης της ΒΑ Χαλκιδικής, γνωστής και ως «Μεταλλεία Κασσάνδρας», με τις κυριότερες μεταλλοφόρες εμφανίσεις (Eldorado Gold).

Το κοιτάσμα στην Ολυμπιάδα (Σχ. 2.1) έχει μετρηθέντες πόρους (measured resources) 16,3 εκατομμύρια τόνους (Mt) μεταλλεύματος με 8,6 g/t Au, 146 g/t Ag, 4,9% Pb και 6,5%

Zn (Eldorado Gold 2017). Από τα μεταλλεία του Μαντέμ Λάκκου εξορύχθηκαν κατά το παρελθόν συνολικά περίπου 13,5 Mt μεταλλεύματος Ag-PbZn ενώ σήμερα το μεταλλείο θεωρείται εξοφλημένο (Forward et al. 2010). Οι μετρηθέντες πόροι (measured resources) του κοιτάσματος στις Μαύρες Πέτρες είναι 1,1 εκατομμύρια τόνους (Mt) με 210 g/t Ag, 7,9% Pb και 10,5% Zn (Eldorado Gold 2017). Το πορφυριτικό κοιτάσμα Au-Cu στις Σκουριές περιέχει αποθέματα 283,6 Mt με 0,6 g/t Au και 0,43% Cu (Eldorado Gold 2017).

Για την μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα στη Χαλκιδική κατά την αρχαιότητα δεν υπάρχουν μαρτυρίες σε αρχαία κείμενα. Όπως προκύπτει από τις ανασκαφικές ενδείξεις αλλά και από βεβαιωμένα ίχνη μεταλλευτικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή, η δραστηριότητα αυτή είχε ξεκινήσει τουλάχιστον από τον 6ο αι. π.Χ. (Βαβελίδης και Μέλφος 2012). Η περιοχή γνώρισε περιορισμένη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια της ρωμαϊκής κυριαρχίας. Η εκμετάλλευση των μεταλλείων εντατικοποιείται κατά τους Βυζαντινούς χρόνους. Μεταλλευτικό κέντρο της περιοχής την περίοδο αυτή είναι τα «Σιδηροκαύσια» (κοινώς Σιδερόκαψα), τότε ονομασία της περιοχής βόρεια από το Ίσβορο, τη σημερινή Στρατονίκη. Το τοπωνύμιο Σιδηροκαύσια απαντάται για πρώτη φορά τον 9^ο αιώνα. Συστηματική εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της ΒΑ Χαλκιδικής έγινε από τον 15^ο έως τον 17^ο αι. (Gounaris 2015). Το 1553, ο Γάλλος περιηγητής Belon περιγράφει με λεπτομέρεια το ακμαίο μεταλλουργικό κέντρο της περιοχής, στο οποίο εργάζονταν 6.000 εργάτες διαφόρων εθνικοτήτων σε 500-600 μεταλλουργικούς φούρνους, που ήταν διασκορπισμένοι στην περιοχή. Το 1775 ιδρύεται το «Κοινόν των Μαντεμοχωρίων» από την Πύλη της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας που εμπιστεύεται την εκμετάλλευση των αργυρωρυχείων στα 12 μεγάλα χωριά της περιοχής - στο «Κοινό των Μαντέμιων» - κι έτσι δημιουργείται ένας εκτεταμένος μεταλλευτικός συνεταιρισμός με χωριστή δική του κοινοτική διοίκηση και ελευθερίες.

Η εξόρυξη συνεχίστηκε από την «Γάλλο-Οθωμανική Α.Ε. Μεταλλεία Κασσάνδρας» που από το 1893 έως το 1908 εξόρυσσε μαγγάνιο από τις Μαύρες Πέτρες και την Πιάβιτσα, ενώ το 1901 ξεκίνησε και την εκμετάλλευση των σουλφιδίων για την παραγωγή θείου. Η σύγχρονη εποχή εκμετάλλευσης σηματοδοτείται από την Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠΛ) που λειτούργησε από το 1927 έως το 1991. Το 1953 η ΑΕΕΧΠΛ ξεκίνησε τη λειτουργία του μεταλλείου του Μαντέμ Λάκκου και το 1957 αυτό των Μαύρων Πετρών με παραγωγή θειούχων συμπυκνωμάτων γαληνίτη, σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη, ενώ το 1971 και 1974 εγκατέστησε δύο νέα εργοστάσια εμπλουτισμού στο Στρατώνι και την Ολυμπιάδα αντίστοιχα. Κατά την δεκαετία του 1970



διεξήχθη έρευνα στις Σκουριές από την εταιρία “Nippon Mining and Placer International”. Η Billiton Resources αξιολόγησε το κοίτασμα στις Σκουριές στις αρχές της δεκαετίας του 1980.

Η ΑΕΕΧΠΑ το 1991 πτώχευσε και το 1995 το ιδιοκτησιακό καθεστώς πέρασε στην εταιρεία «TVX Hellas ΑΕ» καναδικών συμφερόντων. Επί της TVX έγινε ένα πολύ εκτεταμένο πρόγραμμα έρευνας στα κοιτάσματα της ΒΑ Χαλκιδικής και υπολογίστηκαν τα αποθέματα σε ορισμένα από αυτά. Το 2002 η TVX αποχώρησε από τη Χαλκιδική λόγω κοινωνικών αντιδράσεων καθώς και της αρνητικής απόφασης του Συμβουλίου της Επικρατείας.

Μετά την αποχώρηση της TVX, τον Ιανουάριο 2004 το Ελληνικό Κράτος παραχώρησε τα μεταλλευτικά δικαιώματα στην εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. Σήμερα η «Ελληνικός Χρυσός» ανήκει κατά 95% στην Καναδική εταιρεία «Eldorado Gold» η οποία εξαγόρασε το 2012 το ποσοστό της προκατόχου Καναδικής «European Goldfields Ltd», ενώ το 5% ανήκει στην εταιρεία «ΑΚΤΩΡ».

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

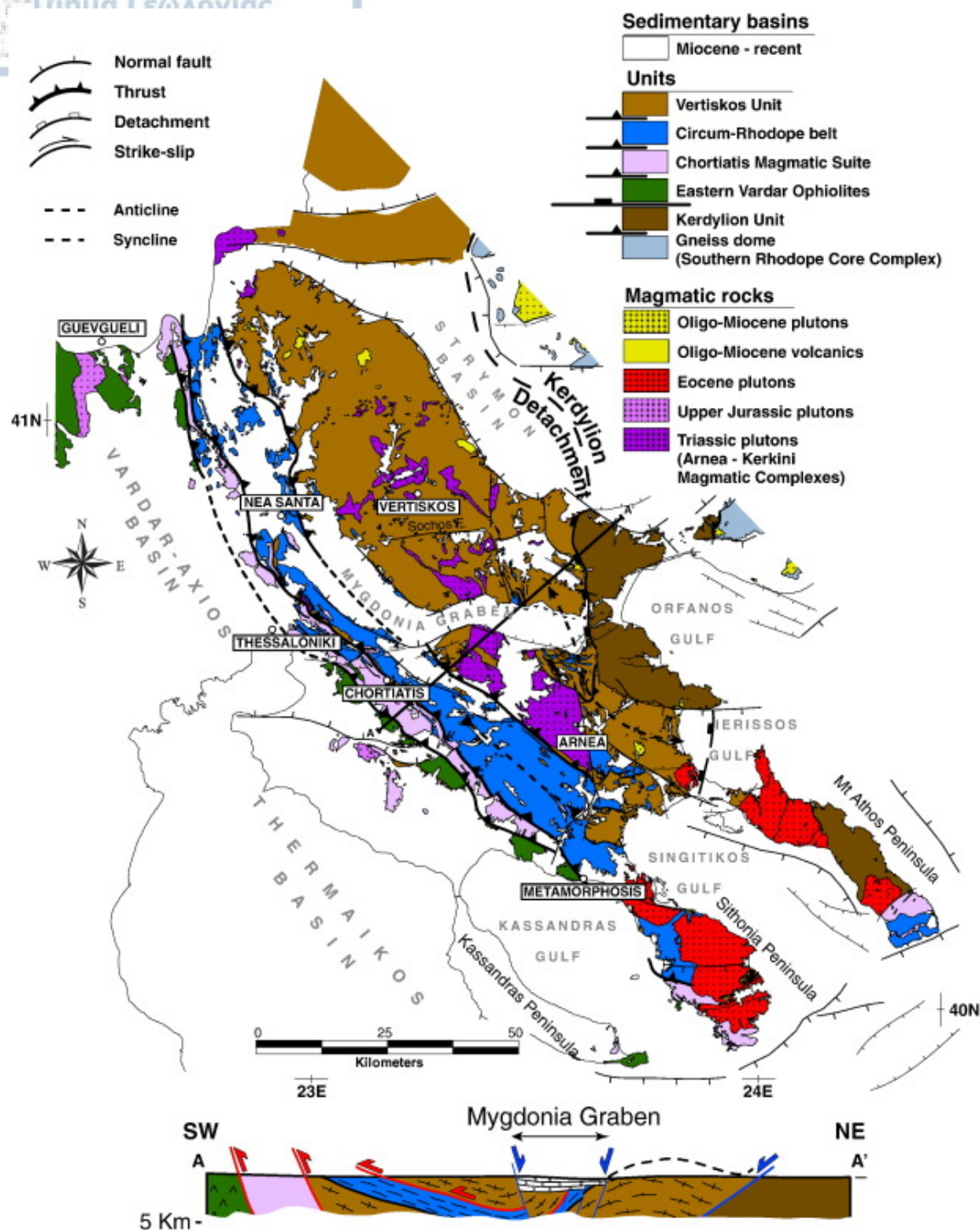
3.1. Γεωλογία

Η ΒΑ Χαλκιδική (Σχ. 3.1) ανήκει γεωλογικά στην ενότητα Κερδυλλίων της μάζας της Ροδόπης και στην ενότητα Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής μάζας (Kydonakis 2015, 2016). Η ενότητα Κερδυλλίων χωρίζεται από την ενότητα Βερτίσκου με το ρήγμα αποκόλλησης (detachment) των Κερδυλλίων. Πρόσφατες έρευνες αποδεικνύουν μια πολύπλοκη τεκτονική δράση στα πετρώματα της περιοχής, το σχηματισμό οφιολιθικών συμπλεγμάτων και την διείδυση πυριγενών πετρωμάτων, που συνοδεύτηκαν από παραμορφωτικά και μεταμορφικά φαινόμενα Μεσοζωικής και Τριτογενούς ηλικίας. Αυτό σημαίνει ότι οι νεότερες φάσεις της Αλπικής ορογένεσης επηρέασαν έντονα τη Σερβομακεδονική μάζα και την μάζα της Ροδόπης (Dixon and Dimitriadis 1984, de Wet 1989).

Η ενότητα Κερδυλλίων αποτελεί τμήμα του Νοτίου Μεταμορφικού Συμπλέγματος της Ροδόπης και περιορίζεται στα βορειοδυτικά του κόλπου του Ορφανού (Kydonakis 2015, 2016). Αποτελείται από έντονα μεταμορφωμένα πετρώματα, κυρίως βιοτιτικούς γνευσίους, αμφιβολίτες, κεροστιλβικούς-βιοτιτικούς γνευσίους και σε μικρή έκταση από μάρμαρα και μοσχοβιτικούς-γρανατικούς γνευσίους.

Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι κυριαρχούν στην ενότητα αυτή και παρουσιάζουν τέλεια μεταμορφική στρωμάτωση. Σύμφωνα με τους Kalogeropoulos et al (1989), οι συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας μεταμόρφωσης των βιοτιτικών γνευσίων είναι 4-9 Kbar και 540-670° C αντίστοιχα. Οι αμφιβολίτες εμφανίζονται κυρίως ως στρώσεις μέσα στους βιοτιτικούς γνευσίους ή ως φακοειδή σώματα. Σύμφωνα με τον Σακελλαρίου (1988), πρόκειται για ορθοαμφιβολίτες. Οι μοσχοβιτικοί-γρανατικοί γνεύσιοι εμφανίζονται σε μικρή έκταση μόνο στο δυτικό τμήμα της ενότητας Κερδυλλίων και υπέρκεινται του ανώτερου ορίζοντα μαρμάρου. Σύμφωνα με την σύσταση τους κατατάσσονται στους παραγνεύσιους που προήλθαν από μεταμόρφωση πηλινών ή γραουβακών.

Τα μάρμαρα της ενότητας των Κερδυλλίων διατάσσονται, σύμφωνα με τους Kockel et al. (1977), σε τρεις ορίζοντες, τον ανώτερο, τον κατώτερο και τον βαθύτερο ορίζοντα. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελεί και το όριο της ενότητας Κερδυλλίων με την Ενότητα Βερτίσκου. Σύμφωνα με τον Σακελλαρίου (1988), ο ορίζοντας αυτός παρουσιάζει έντονη μυλονιτίωση και αποτελεί μια διατμητική ζώνη μεταξύ των δύο ενότητων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλλίων, φιλοξενούν σημαντικά κοιτάσματα σουλφιδίων και μαγγανίου.



Σχ. 3.1. Γεωλογικός χάρτης της Χαλκιδικής (Kydonakis et al. 2015).

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της ενότητας των Κερδυλλίων είναι οι πολυάριθμες πηγματικές και απλιτικές φλέβες που διατρέχουν τα έντονα μεταμορφωμένα πετρώματα. Οι φλέβες αυτές είναι πλούσιες σε αστρίους και, σύμφωνα με τον Δημητριάδη (1974), μπορούν

να διακριθούν ορυκτολογικά δύο κύριες γενιές φλεβών. Οι πλούσιες σε πλαγιόκλαστα φλέβες έχουν υποστεί παραμόρφωση και είναι παράλληλες με την σχιστότητα των γνευσίων ενώ οι πλούσιες σε καλιούχο άστριο φλέβες είναι νεότερες και λιγότερο παραμορφωμένες. Έχουν ακανόνιστο σχήμα και διαπερνούν τους γνευσίους και τα μάρμαρα. Το πάχος των φλεβών φτάνει τα 60 m (Nebel et al. 1991).

Η ενότητα Βερτίσκου υπέρκειται της ενότητας Κερδυλλίων και τα πετρώματα της καλύπτουν τη Σερβομακεδονική Μάζα στη Βόρεια Ελλάδα. Το όριό της με την ενότητα Κερδυλλίων είναι τεκτονικό και εντοπίζεται βόρεια στον τεκτονισμένο ανώτερο ορίζοντα μαρμάρου της ενότητας Κερδυλλίων και νότια στο ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας, μήκους περίπου 15 km. Αποτελείται κυρίως από διμαρμαρυγικούς και μοσχοβιτικούς γνευσίους και αμφιβολίτες. Η ενότητα του Βερτίσκου έχει υποστεί μέσου βαθμού μεταμόρφωση (Kassoli-Fournaraki 1982, Frei 1992).

Οι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι, σύμφωνα με τον Frei (1992), έχουν υποστεί αρχικά μεταμόρφωση κατώτερης αμφιβολιτικής φάσης και κατόπιν ανάδρομη μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Σύμφωνα με τον Σακελλαρίου (1988), προέρχονται από μεταμόρφωση πηλितών και βρίσκονται σε εναλλαγή με τους μοσχοβιτικούς γνευσίους, οι οποίοι είναι προϊόν μεταμόρφωσης αργλικών ιζημάτων.

Οι αμφιβολίτες εμφανίζονται ως φακοί ή ενστρώσεις μέσα στους γνευσίους. Η Κασώλη-Φουρναράκη (1981) θεωρεί ότι οι αμφιβολίτες της ενότητας Βερτίσκου είναι προϊόντα μεταμόρφωσης βασικών θολειτικών μαγμάτων, ενώ προτείνει παρόμοια προέλευση και για τους αμφιβολίτες της ενότητας Κερδυλλίων. Ο Frei (1992), βασισμένος στην μελέτη των ισοτόπων Pb, θεωρεί ότι όλοι οι αμφιβολίτες της Σερβομακεδονικής μάζας, εκτός των παρααμφιβολιτών της Νέας Μαδύτου, ανήκουν στην ίδια οφιολιθική ακολουθία. Η τεκτονική εναπόθεση τους συνοδεύεται από μέσου βαθμού μεταμόρφωση, η οποία είναι μεταγενέστερη της υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης.

Στην ενότητα του Βερτίσκου εντοπίζονται οφθαλμογεύσιοι σε στενές ζώνες με έντονη παραμόρφωση και μυλωνιτικό ιστό. Τέλος, ένας ιδιαίτερος τύπος μαρμαρυγικών-γρανατικών γνευσίων με σημαντικό ποσοστό σταυρολίθου, κυανίτη και χλωριτοειδούς, που εντοπίζεται στην ενότητα αυτή, έχει μεγάλη σημασία για τον προσδιορισμό του βαθμού μεταμόρφωσης της ενότητας του Βερτίσκου.

Κοντά στο όριο με την ενότητα των Κερδυλλίων εμφανίζονται τρία σώματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, το σύμπλεγμα Θερμά-Βόλβη-Γομάτι (TVG complex). Το σώμα της Βόλβης, σύμφωνα με τους Dixon and Dimitriadis (1984), είναι βασικής σύστασης, ενώ τα σώματα Θερμά και Γομάτι είναι υπερβασικής σύστασης. Τα πετρώματα αυτά έχουν

υποστεί υψηλού βαθμού μεταμόρφωση σε αντίθεση με τα περιβάλλοντα πετρώματα. Οι Dixon and Dimitriadis (1984) αναφέρουν ότι πρόκειται για ένα in situ rift complex Μεσοζωικής ηλικίας.

Ανάμεσα στον γρανίτη Αρναίας στα δυτικά και στην ενότητα Κερδυλλίων στα ανατολικά, παρεμβάλλονται τεκτονικά στα μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου μάρμαρα, γραφιτικοί φυλλίτες και σχιστόλιθοι. Αυτή είναι, κατά τον Σακελλαρίου (1988), η ενότητα Νέας Μαδύτου, η οποία, κατά τους Kockel et al. (1977) θεωρείται αντίστοιχη της Άνω Τριαδικής-Κάτω Ιουρασικής σειράς της Σβούλας της Περιοδοπικής ζώνης.

Ο γρανίτης της Αρναίας αποτελεί την ανώτερη τεκτονική ενότητα της Σερβομακεδονικής μάζας. Είναι επωθημένος στα πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου με όριο ένα ρήγμα με μικρή γωνία κλίσης και ΝΔ διεύθυνση κλίσης. Δυτικά εφάπτεται με τα πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης. Πρόκειται για έντονα αποσαθρωμένο διμαρμαρυγικό και μοσχοβιτικό γρανίτη που καλύπτει επιφάνεια 80 km². Ο γρανίτης της Αρναίας είναι ένας από τους πλουτωνίτες που διείσδυσαν στην ευρύτερη περιοχή κατά το Μεσοζωικό, όπως και οι γρανίτες του Φλαμουρίου, του Στρυμόνα, του Λαχανά και του Μονοπήγαδου. Αποτελείται από ένα κύριο γρανιτικό σώμα που εκτείνεται νοτιοδυτικά της λίμνης Βόλβης μέχρι την πόλη της Αρναίας και άλλα μικρότερα σώματα βόρεια της λίμνης Βόλβης. Η ηλικία διείσδυσης του γρανιτικού σώματος προσδιορίστηκε στο Ανώτερο Ιουρασικό, ενώ επηρεάστηκε από μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης κατά το Ανώτερο Ιουρασικό ως Κατώτερο Κρητιδικό (de Wet 1989).

3.2. Τριτογενής μαγματισμός

Κατά το Τριτογενές μαγματικοί όγκοι διείσδυσαν στα μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας Κερδυλλίων και της ενότητας Βερτίσκου (Σχ. 3.1). Οι διεισδύσεις αυτές εντοπίζονται σε δύο ευρύτερες περιοχές, στο βορειοδυτικό και στο νοτιοανατολικό τμήμα της Σερβομακεδονικής μάζας. Η σύσταση των μαγματικών σωμάτων είναι μονζοδιοριτική, γρανοδιοριτική και γρανιτική, ενώ κάποια μικρότερα υποηφαιστειακά σώματα και φλέβες παρουσιάζουν λατιτική, τραχειτική, ανδεσιτική, ρυολιθική και δακιτική σύσταση (Frei 1992).

Χαρακτηριστικά τέτοια σώματα στην Χαλκιδική είναι ο γρανίτης της Ιερισσού, της Σιθωνίας και της Ουρανούπολης. Πρόσφατες γεωχρονολογήσεις από τους de Wet (1989), Frei (1992) και Christofides et al. (1998), υποδεικνύουν Ηωκαινική ηλικία για τους γρανίτες αυτούς. Στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής εμφανίζονται και υποηφαιστιακές πορφυριτικές διεισδύσεις στις θέσεις Σκουριές, Φυσώκα, Δίλοφο, Τσικάρα, Αλατίνα, Στρατώνι. Η ηλικία

διείσδυσης των σωμάτων αυτών, σύμφωνα με γεωχρονολογήσεις με K/Ar και U/Pb (Tomproulglou 1981, Frei 1992) είναι Ολιγοκαινική-Μειοκαινική. Ο Frei (1992), σύμφωνα με γεωχρονολογήσεις με τη μέθοδο U-Pb, εντόπισε τουλάχιστον τέσσερις κύκλους μαγματικών διεισδύσεων, στα πετρώματα αυτά:

1. Διεισδύσεις ηλικίας Κατώτερου έως Μέσου Ηωκαίνου (κυρίως γρανιτικά έως γρανοδιοριτικά σώματα).
2. Σώματα ηλικίας Ολιγοκαίνου (μάγματα γρανοδιοριτικής σύστασης)
3. Μαγματισμό ηλικίας Κατώτερου Μειόκαινου (διείσδυση πορφυριτικών πετρωμάτων)
4. Τελευταίο γεγονός ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου έως Πλειόκαινο, που σχετίζεται με εφελκυστικές παραμορφώσεις κατά μήκος του βόρειου και δυτικού ορίου της Αιγιακής μικροπλάκας και εξακολουθούν να συμβαίνουν μέχρι σήμερα.

3. 3. Παραμόρφωση και μεταμόρφωση

Σύμφωνα με τον Σακελλαρίου (1989), τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας εμφανίζουν έξι διαφορετικές φάσεις παραμόρφωσης και πέντε επεισόδια μεταμόρφωσης. Ο ιστός της πρώτης φάσης (P1) διατηρείται σε σπάνιες περιπτώσεις και μόνο στα πετρώματα των ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων. Με τον όρο «πρώτη φάση» ο Σακελλαρίου (1989) αναφέρεται σε μια σύνθετη ιστορία μεταμόρφωσης και παραμόρφωσης, που δεν είναι δυνατόν να περιγραφεί με βεβαιότητα. Χαρακτηριστικό της φάσης αυτής είναι οι φλέβες χαλαζία, που σχηματίζονται κατά το στάδιο της πρώτης φάσης παραμόρφωσης ενός πετρώματος και παράλληλα προς την πρώτη σχιστότητα. Η μεταμόρφωση είναι εκλογιτικού βαθμού. Η ηλικία της πρώτης παραμορφωτικής και μεταμορφικής φάσης δεν έχει προσδιοριστεί, άλλα θεωρείται αρχαιότερη του Παλαιοζωικού.

Η δεύτερη φάση (P2) επέδρασε στα πετρώματα των ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων αλλά και της «Νέας Μαδύτου». Εμφανίζει συνθήκες μέσου αμφιβολιτικού βαθμού μεταμόρφωσης και πιθανόν αντιπροσωπεύει την Κιμμέρια ορογένεση του κατώτερου Μεσοζωικού ή ένα Παλαιοζωικό επεισόδιο.

Στην τρίτη φάση (P3) οφείλεται ο παραμορφωτικός και μεταμορφικός ιστός που κυριαρχεί στα πετρώματα όλων των ενοτήτων της περιοχής. Είναι η πρώτη φάση που εντοπίστηκε στο γρανίτη της Αρναίας αλλά και στις πηγματιτοειδείς φλέβες της ενότητας των Κερδυλλίων. Έλαβε χώρα πιθανόν στο Μέσο-Ανω Ιουρασικό (Papadopoulos and Kiliass 1985), πριν το Τιθόνιο, και πρόκειται για μεταμόρφωση κατώτερης αμφιβολιτικής φάσης.

Η τέταρτη φάση (P4) επέδρασε σε όλα τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας. Ήταν όμως σαφώς ασθενέστερη και δεν κάλυψε τον ιστό της P3. Οι συνθήκες μεταμόρφωσης είναι ανώτερης πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Η ηλικία της φάσης αυτής, σύμφωνα με αποτελέσματα ραδιοχρονολογήσεων (Papadopoulos and Kiliass 1985, de Wet and Miller 1987), είναι Κάτω Κρητιδικού και εκφράζει την δράση της Ηωελληνικής ορογενετικής φάσης στην ΒΑ Χαλκιδική.

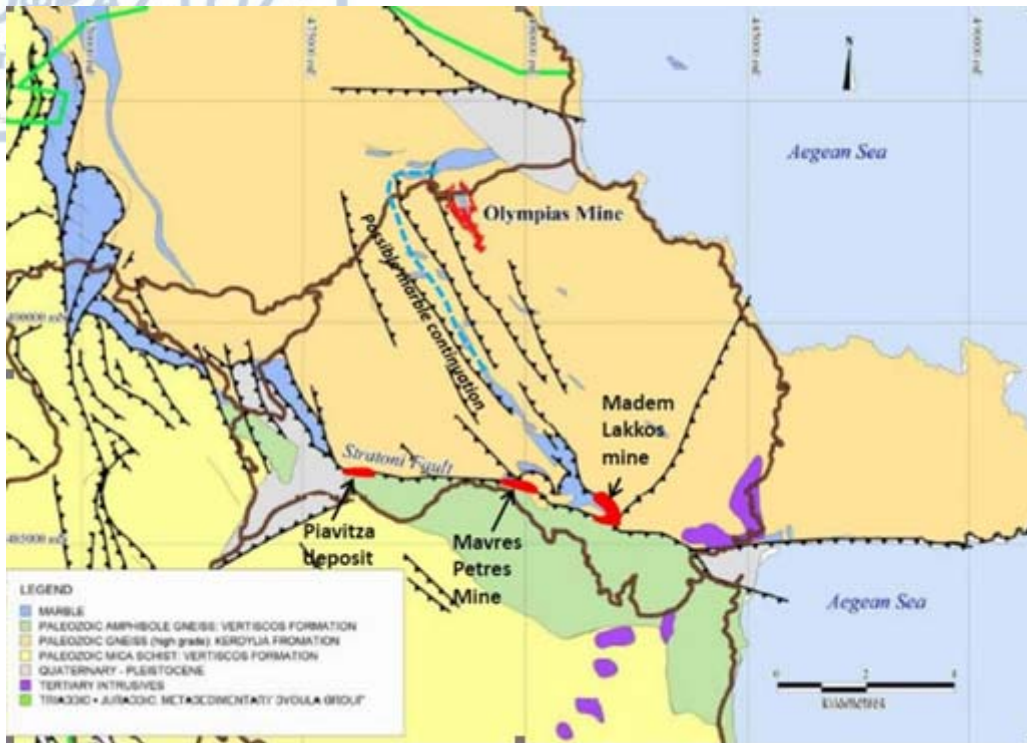
Η πέμπτη φάση (P5) είναι η νεότερη παραμορφωτική και μεταμορφική φάση που έδρασε στα πετρώματα της ΒΑ Χαλκιδικής και παρουσιάζει τοπικό χαρακτήρα. Οι συνθήκες που έλαβε χώρα είναι αυτές της κατώτερης πρασινοσχιστολιθικής φάσης και η ηλικία της, σύμφωνα με τις ραδιοχρονολογήσεις (Harre et al. 1968), είναι Ηωκαινική.

Τέλος, η έκτη φάση παραμόρφωσης εκφράζεται από τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων σε όλα τα πετρώματα της περιοχής, με τρεις βασικές κατευθύνσεις. Τα ρήγματα αυτά είναι ενεργά από το Ολιγόκαινο, οπότε και λειτούργησαν σαν δίοδοι ανόδου των μαγμάτων, δημιουργώντας μία σεισμικά ενεργή ζώνη με σεισμούς μικρού βάθους, μέχρι και σήμερα (Pavlidis and Tranos 1991).

3. 4. Νεοτεκτονική – Ρήγμα Στρατωνίου

Η νεοτεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή Χαλκιδικής χαρακτηρίζεται από κανονικά ρήγματα (Παυλίδης κ.ά. 2010) που έχει διαμορφώσει πολλά τεκτονικά κέρατα και τάφρους και με αυτές συνδέονται Νεογενείς-Τεταρτογενείς ιζηματογενείς σχηματισμοί (Παυλίδης κ.ά. 2010). Η νεοτεκτονική αυτή δραστηριότητα ξεκίνησε στα μέσα με τέλη του Μειοκαίνου και συνεχίστηκε στο Τεταρτογενές. Οι εφελκυστικές τάσεις με διεύθυνση Β-Ν προκαλούν κανονικά ρήγματα με διευθύνσεις κυρίως Α-Δ.

Το ρήγμα Στρατωνίου (Σχ. 3.2), τμήμα του γνωστού ρήματος Στρατωνίου-Βαρβάρας, αποτελεί μία από τις μεγάλες τεκτονικές μονάδες της Χαλκιδικής και έχει μήκος περίπου 25 km (Χατζηπέτρος κ.ά. 2005). Διαχωρίζει την ενότητα Κερδυλλίων στα βόρεια (footwall block) που χαρακτηρίζεται από ένα υψηλό ανάγλυφο με το Στρατωνικό όρος να ξεχωρίζει, του οποίου η νότια πλευρά συμπίπτει με το ρήγμα Στρατωνίου. Στα νότια του ρήματος (hangingwall block) αναπτύσσεται η ενότητα Βερτίσκου, με χαμηλό και ομοιόμορφο ανάγλυφο και ένα εκτεταμένο υδρογραφικό δίκτυο (Χατζηπέτρος κ.ά. 2005, Μιχαηλίδου κ.ά. 2005). Κατά μήκος του ρήματος και στην άμεση επαφή με αυτό διακρίνονται εκτεταμένες εμφανίσεις συνεκτικών πλευρικών κορημάτων Τεταρτογενούς ηλικίας με ερυθρό χρώμα και με λατύπες από τα πετρώματα του υποβάθρου.



Σχ. 3.2. Τεκτονικός χάρτης της Χαλκιδικής όπου διακρίνεται το ρήγμα Στρατωνίου (Eldorado Gold).

Οι Χατζηπέτρος κ.ά. (2005) αναφέρουν ότι οι παλαιότερες γραμμώσεις τεκτονική ολίσθησης προσδιορίζουν μία αριστερόστροφη κίνηση και αυτές είναι οι κυρίαρχες και χαρακτηρίζονται από μεγάλο μήκος ανάπτυξης. Αντίθετα οι παρουσία γραμμώσεων τεκτονικής ολίσθησης που πιθανώς να προσδιορίζουν μια δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης είναι πολύ περιορισμένες σε ανάπτυξη και σε πλήθος. Τέλος οι κανονικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης επικαλύπτουν όλες τις προηγούμενες, γεγονός που δείχνει ότι είναι και οι τελευταίες (Τρανός 1998).

Το ρήγμα Στρατωνίου έχει διεύθυνση Α-Δ και διέρχεται από τα Στάγειρα, την Στρατονίκη και το Στρατώνι. Προς τα δυτικά ενώνεται με το ρήγμα Βαρβάρας που έχει ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση που λόγω μεταβολής της παράταξης αποτελεί άλλο ανεξάρτητο τμήμα ρήγματος (Τρανός 1998). Στα ανατολικά από το Στρατώνι έως τη θέση Λιβάδι, κατά μήκος της ακτής εντοπίζονται τριγωνικά κλίτη στα πρηνή (Χατζηπέτρος κ.ά. 2005). Το ρήγμα Στρατωνίου συνδέεται με σύγχρονους σεισμούς και ιδιαίτερα με τον σεισμό του 1932 στην Ιερισσό.

Σύμφωνα με τους Hahn et al. (2012) πρόκειται για ένα από τα κύρια Τριτογενή ρήγματα αποκόλλησης (detachment) του Νοτίου Μεταμορφικού Συμπλέγματος της Ροδόπης με χαρακτήρα διαγώνιου εφελκυσμού (transtensional). Το ρήγμα αυτό λειτούργησε στην

αρχή ως ένα ανάστροφο ρήγμα (trust fault) λόγω της συμπίεστικής τεκτονικής που αργότερα εξελίχθηκε σε ρήγμα αποκόλλησης μικρής κλίσης (Siron et al. 2016).

3.5. Μεταλλοφορίες της ΒΑ Χαλκιδικής

Στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής εντοπίζονται σημαντικές μεταλλοφορίες και κοιτάσματα (Σχ. 3.3) που έτυχαν εκμετάλλευσης στο παρελθόν και εξακολουθούν να είναι εκμεταλλεύσιμα και σήμερα. Οι κυριότεροι τύποι μεταλλοφορίας είναι πορφυριτικού τύπου, αντικατάστασης πολυμεταλλικών σουλφιδίων σε ανθρακικά πετρώματα και τύπου Skarn.



Σχ. 3.3. Μεταλλοφορίες στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής (Eldorado Gold).

3.5.1. Μεταλλοφορίες πορφυριτικού τύπου

Σύμφωνα με τους Kockel et al. (1975), στην ενότητα Βερτίσκου υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πορφυριτικών σωμάτων. Οι διεισδύσεις αυτές εντοπίζονται στις θέσεις Σκουριές, Φυσόκα, Δίλοφο, Αλατίνα, Τσικάρα, Άσπρα Χώματα, είναι Τριτογενούς ηλικίας και σχετίζονται γενετικά με τις πολύ σημαντικές μεταλλοφορίες τύπου πορφυριτικού χαλκού και χρυσού στη ΒΑ Χαλκιδική.

Στις Σκουριές, κοντά στον οικισμό Μεγάλη Παναγία, ένας υποηφαιστειακός πορφυριτικός γρανοδιορίτης διεισδύει στην ενότητα Βερτίσκου. Η περιοχή πήρε το όνομά της από την παρουσία μεταλλουργικών σκωριών που μαρτυρούν την εκμετάλλευση του κοιτάσματος κατά την αρχαιότητα. Η περιοχή, σύμφωνα με τον Περαντώνη (1982), καλύπτεται κυρίως από τους αμφιβολιτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και γνευσίους της ενότητας Βερτίσκου. Ο πορφύρης και τα περιβάλλοντα πετρώματα έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση, η οποία χαρακτηρίζεται από έντονη πυριτίωση. Το μεγαλύτερο τμήμα του κοιτάσματος έχει υποστεί ποτασική εξαλλοίωση, ενώ κάποια τμήματα εμφανίζουν προπυλιτική εξαλλοίωση (Περαντώνης, 1982). Η φυλλιτική εξαλλοίωση είναι σχεδόν απύσχα στις Σκουριές.

Η μεταλλοφορία είναι διάσπαρτη, τύπου stockwork και με μορφή φλεβιδίων. Αποτελείται από σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, βορνίτη, μαγνητίτη και σε μικρότερες ποσότητες γαληνίτη και τετραεδρίτη. Ο χρυσός εμφανίζεται μέσα στον χαλκοπυρίτη, ενώ ο μολυβδαινίτης είναι σπάνιος. Σύμφωνα με τον Περαντώνη (1982), λόγω δευτερογενούς εμπλουτισμού έχει παρατηρηθεί κατακόρυφη διαφοροποίηση της μεταλλοφορίας. Μέχρι βάθους 40 m από την επιφάνεια, στη ζώνη οξειδωσης, επικρατούν τα ορυκτά μαλαχίτης και αζουρίτης και φλεβίδια λειμωνίτη. Ακολουθεί η ζώνη αναγωγής με την παρουσία κοβελλίνη, χαλκοσίνη, χαλκοπυρίτη, σιδηροπυρίτη και μαγνητίτη μαζί με μαλαχίτη, αζουρίτη. Τέλος κάτω από την ζώνη εμπλουτισμού αναπτύσσεται το πρωτογενές κοίτασμα, το οποίο, σύμφωνα με γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή συνεχίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 700 m.

Τα αποθέματα του κοιτάσματος πορφυριτικού χαλκού στις Σκουριές είναι 152.7 Mt με 0.8 g/t Au, και 0.5 % Cu, και συνολική ποσότητα 3.8 Moz Au και 776 Mt Cu (Eldorado Gold 2017). Σύμφωνα με τους Eliopoulos and Economou-Eliopoulou (1991), στο κοίτασμα εντοπίστηκαν 8-41 ppb Ru και 2-10 ppb Pt.

Ο Frei (1992), μετά από συστηματική μελέτη των ισοτόπων Pb, Sr, O, S και C στο κοίτασμα των Σκουριών και των γειτονικών πετρωμάτων συμπέρανε ότι ο Cu του κοιτάσματος προέρχεται από πετρώματα μεγάλου βάθους και όχι από τα ανώτερα πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου. Η μεταλλοφορία που φιλοξενείται στις φλέβες χαλαζία-ασβεστίτη της προπυλιτικής εξαλλοίωσης περιέχει μόλυβδο μαγματικής προέλευσης με ένα ποσοστό συμμετοχής του μολύβδου των περιβαλλόντων πετρωμάτων.

Στις θέσεις Φυσώκα, Αλατίνα, Δίλοφο η μεταλλοφορία πορφυριτικού χαλκού συνδέεται με μια αναπτυγμένη φυλλιτική ζώνη εξαλλοίωσης που περιβάλλει τις πορφυριτικές διεισδύσεις γρανοδιοριτικής έως διοριτικής σύστασης. Οι ίδιες διεισδύσεις

έχουν βρεθεί σε μορφή μικρών φλεβών στο γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, στη θέση Άσπρα Χώματα. Σύμφωνα με τον Gilg (1993), η μεταλλοφορία στην Φυσώκα είναι διάσπαρτη ή φλεβική τύπου stockwork δύο γενεών. Μια παλαιότερη με κύρια παραγένεση χαλαζία, σερικήτη, ανυδρίτη, σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη και μία νεότερη με χαλαζία, ασβεστίτη, σερικήτη, σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη $\pm$ τετραεδρίτη $\pm$ γαληνίτη. Οι δύο γενεές μεταλλοφοριών σχηματίστηκαν σε παρόμοιες θερμοκρασίες (300-400° C) αλλά κάτω από πολύ διαφορετικές πιέσεις. Σύμφωνα με τους Papadakis and Michailidis (1976) και Περαντώνη (1982), υπάρχει μια κατακόρυφη διαφοροποίηση της μεταλλοφορίας, όπως και στο κοίτασμα των Σκουριών, λόγω δευτερογενούς εμπλουτισμού. Σε βάθος που κυμαίνεται από 40 έως 80 μ από την επιφάνεια, ανάλογα με τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, επικρατεί η ζώνη οξειδωσης με οξειδία του σιδήρου, μαλαχίτη και αζουρίτη. Ακολουθεί η ζώνη εμπλουτισμού, πάχους 40 m, με κοβελλίνη, χαλκοπυρίτη, σιδηροπυρίτη και χαλκοσίνη και την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε χαλκό. Ακολουθεί η πρωτογενής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη και χαλκοπυρίτη. Οι περιεκτικότητες σε Mo, σύμφωνα με τον Περαντώνη (1982) είναι 50 ppm ενώ μικροσκοπικά δεν εντοπίστηκαν ορυκτά του μολυβδαινίου. Η περιεκτικότητα της μεταλλοφορίας στη θέση Φυσώκα σε χρυσό είναι περιορισμένη (0,5 gr/t).

3.5.2. Μεταλλοφορία μολύβδου-ψευδαργύρου-χρυσού-αργύρου.

Στους ορίζοντες μαρμάρου σε επαφή με τους γνευσίους της ενότητας Κερδυλλίων εντοπίζονται κοιτάσματα αντικατάστασης πολυμεταλλικών σουλφιδίων υπό μορφή στρωμάτων (mantos) και φλεβών (chimneys). Τα σημαντικότερα κοιτάσματα αυτού του τύπου εντοπίζονται στις θέσεις Μαντέμ Λάκκος και Ολυμπιάδα, που φιλοξενούνται στον κατώτερο ορίζοντα μαρμάρου στην επαφή με τον βιοτιτικό γνεύσιο της ενότητας Κερδυλλίων και στη θέση Μαύρες Πέτρες, στον ανώτερο ορίζοντα μαρμάρου κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου.

Σύμφωνα με τον Gilg (1993), παρατηρείται μια ζωνώδης κατανομή των μεταλλικών στοιχείων κατά μήκος των δύο οριζόντων μαρμάρου. Η ζώνη Cu-Fe (Chevallier, Κουλοχέρας, Άγιος Νικόλαος) αναπτύσσεται σε απόσταση περίπου 1 Km από την διείσδυση του γρανοδιορίτη Στρατωνίου, η ζώνη Pb-Zn-Au-Ag (Μαύρες Πέτρες, Μαντέμ Λάκκος) σε απόσταση 1-3 Km και η ζώνη Mn-Au (Πιάβιτσα, Βαρβάρα, Βαγόνια) σε απόσταση μεγαλύτερη των 3 Km από τις διεισδύσεις.

Οι Nebel et al. (1991) αναφέρονται σε δυο τύπους μεταλλοφορίας στο Μαντέμ Λάκκο, μια παλαιότερη συμπαγή μεταλλοφορία συγγενετικής προέλευσης και μια νεότερη διάσπαρτη μεταλλοφορία επιγενετικής προέλευσης. Ο Gilg (1993), διακρίνει δύο φάσεις. Η

μεταλλοφορία I είναι συμπαγής και αποτελείται κυρίως από γαληνίτη, σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη και σε μικρές ποσότητες χαλκοπυρίτη, αρσеноπυρίτη, τενναντίτη-τετραεδρίτη, χαλαζία, μοσχοβίτη και γραφίτη. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάποια τμήματα της μεταλλοφορίας αυτής στο Μαντέμ Λάκκο και στις Μαύρες Πέτρες εμφανίζουν ενδείξεις παραμόρφωσης.

Η μεταλλοφορία II είναι διάσπαρτη και σύμφωνα με τους Nebel et al. (1991), είναι εμπλουτισμένη σε Cu, As, Mn, Sb και Bi σε σχέση με τον προηγούμενο τύπο. Λόγω ορυκτολογικών διαφορών, η διάσπαρτη μεταλλοφορία διαχωρίζεται, από τον Gilg (1993), σε τέσσερα επιμέρους στάδια. Τα στάδιο IIa χαρακτηρίζεται από φλέβες πλούσιες σε χαλαζία, μοσχοβίτη, σφαλερίτη, και γαληνίτη ενώ το στάδιο IIb περιέχει επιπλέον ανθρακικά ορυκτά, όπως ανκερίτη και σιδηρίτη. Το στάδιο IIc αντιπροσωπεύει την κύρια διάσπαρτη μεταλλοφορία που εντοπίζεται στο Μαντέμ Λάκκο και στις Μαύρες Πέτρες και αποτελείται από σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη, αρσеноπυρίτη, χαλκοπυρίτη, τενναντίτη-τετραεδρίτη και βουλανζερίτη με σύνδρομα ορυκτά τον χαλαζία, ροδοχρωσίτη, σερικήτη, καολίνη, ανατάση και σπάνια γραφίτη (Gilg 1993). Στο στάδιο αυτό εντοπίστηκαν πολλά θειοάλατα και σουλφίδια όπως βουρνονίτης, σελιγμανίτης, εναργίτης, μενεγγινίτης, γεωχρονίτης, κοβελίνης, γαληνοβισβουθινίτης, βισμούθινίτης, κοσαλίτης, λιλιανίτης, μπεεγερίτης, τζείμεσονίτης, τετραδυμίτης, αλαμπαντίτης, πυραργυρίτης, αυτοφυής χρυσός και κολουσίτης. Το στάδιο IId χαρακτηρίζεται από ιδιόμορφο χαλαζία και ρομβοεδρικούς και σκαλινοεδρικούς μαγγανιούχους ασβεστίτες. Σύμφωνα με τους Nebel et al. (1991) και Gilg (1993) η συμπαγής μεταλλοφορία είναι παλαιότερη από την διάσπαρτη, ενώ η χρονική σχέση των επιμέρους σταδίων της διάσπαρτης μεταλλοφορίας δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με βεβαιότητα (Gilg 1993).

Στην Ολυμπιάδα η μεταλλοφορία εμφανίζεται επίσης συμπαγής, φλεβική ή διάσπαρτη. Τα κύρια μεταλλικά ορυκτά είναι σιδηροπυρίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης, και αρσеноπυρίτης που συνυπάρχουν με χαλαζία, ασβεστίτη και ροδοχρωσίτη (Kilias 1991). Τα δευτερεύοντα ορυκτά είναι χαλκοπυρίτης, τετραεδρίτης, βουλανζερίτης, βουρνονίτης, μαγνητοπυρίτης, μαρκασίτης, γεωχρονίτης, εναργίτης και γραφίτης. Ο χρυσός είναι "invisible" δηλαδή μέσα στο πλέγμα του σιδηροπυρίτη-αρσеноπυρίτη. Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας περιέχει 14.8 Mt μεταλλεύματος με 8.93 g/t Au συνολικής ποσότητας for 4.3 Moz (1 oz = 28 g). Ο σχεδιασμός του μεταλλείου είναι η παραγωγή 190,000 oz το χρόνο από το 2018 με λειτουργία για πάνω από 25 χρόνια.

Οι φλεβικές μεταλλοφορίες στη θέση Ζέπκο (Wagner et al. 1986) και στη θέση Βίνα παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας Pc και Id του Μαντέμ Λάκκου και των Μαύρων Πετρών.

Όσον αφορά τον σχηματισμό των κοιτασμάτων αυτού του τύπου έχουν διατυπωθεί διαφορετικά μοντέλα. Οι Nebel et al. (1991), βασισμένοι σε φαινόμενα παραμόρφωσης που εντοπίζονται στο συμπαγές κοίτασμα του Μαντέμ Λάκκου (Μεταλλοφορία σταδίου I κατά Gilg 1993), ισχυρίστηκαν ότι το κοίτασμα αυτό σχηματίστηκε πριν την περιοχική μεταμόρφωση των πετρωμάτων της ενότητας Κερδυλλίων, ηλικίας Κρητιδικού έως Ηωκαίνου. Πιο συγκεκριμένα, υποστηρίζουν ότι το συμπαγές κοίτασμα σουλφιδίων είναι ένα κοίτασμα συν-ιζηματογενούς προέλευσης, το οποίο σχηματίστηκε ως στρωματόμορφο κοίτασμα. Κατόπιν υπέστη μεταμόρφωση ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης, στο πλαίσιο της περιοχικής μεταμόρφωσης που επηρέασε τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής μάζας κατά το Κρητιδικό έως το Ηώκαινο. Η διάσπαρτη μεταλλοφορία και η μεταλλοφορία τύπου Skarn που εντοπίζονται στην περιοχή σχηματίστηκαν, σύμφωνα με τους Nebel et al. (1991), από αντικατάσταση του μαρμάρου κατά την διείσδυση μετατεκτονικών θερμών διαλυμάτων. Κατά τη διάρκεια αυτού του μεταλλογενετικού σταδίου τα μέταλλα Pb, Zn, Fe, Mn, Ag και Au του συμπαγούς κοιτάσματος μετακινήθηκαν και αποτέθηκαν ξανά.

Σύμφωνα όμως με εκτεταμένες έρευνες ισοτόπων και ρευστών εγκλεισμάτων, ο Frei (1992) και ο Gilg (1993) απέδειξαν ότι οι συμπαγείς και διάσπαρτες μεταλλοφορίες και οι μεταλλοφορίες τύπου Skarn είναι επιγενετικής προέλευσης. Συγκεκριμένα, ο Gilg (1993) έδειξε ότι το συμπαγές κοίτασμα του Μαντέμ Λάκκου δεν υπέστη μεταμόρφωση ανώτερης αμφιβολιτικής φάσης. Ο ίδιος ισχυρίζεται ότι αυτή η παραμόρφωση που εντοπίζεται σε κάποια τμήματα της μεταλλοφορίας είναι τοπικού χαρακτήρα και οφείλεται σε ρήγματα, όπως αυτό του Στρατωνίου και άλλα μικρότερα στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου. Μάλιστα, σύμφωνα με την μελέτη των ρευστών εγκλεισμάτων, αποδεικνύει ότι η παραμόρφωση συνέβη αμέσως μετά το σχηματισμό του κοιτάσματος.

Ο Frei (1992) ενισχύει την άποψη αυτή, με τη μελέτη των ισοτόπων Pb και με τη διαπίστωση ότι η ισοτοπική σύσταση του κοιτάσματος του Μαντέμ Λάκκου διαφέρει από αυτή των πετρωμάτων που το φιλοξενούν, γεγονός που αποκλείει τη συγγενετική προέλευση. Αντίθετα όλοι οι τύποι μεταλλοφορίας (συμπαγής, διάσπαρτη, skarn) εμφανίζουν παρόμοια ισοτοπική σύσταση, ενισχύοντας την άποψη του επιγενετικού μοντέλου. Υποστηρίζει ότι ο Pb του κοιτάσματος είναι ένα μείγμα μαγματικού Pb και του Pb από τους αμφιβολίτες και τους γενυσίους του συμπλέγματος Θερμά-Βόλβη-Γομάτι (TVG complex) και από τους γενυσίους της ενότητας Βερτίσκου. Οι ισοτοπικές συστάσεις του κοιτάσματος της

Ολυμπίδας και του Μαντέμ Λάκκου είναι απόλυτα όμοιες, γεγονός που αποδεικνύει την γενετική σχέση των δύο κοιτάσμάτων. Σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα τα κοιτάσματα αυτά σχηματίστηκαν κατά τον ίδιο μεταλλογενετικό κύκλο.

Όσον αφορά στην προέλευση των υδροθερμικών διαλυμάτων, στα οποία οφείλεται η δημιουργία των κοιτασμάτων, οι Kalogeropoulos et al. (1989) ισχυρίστηκαν ότι η δημιουργία του κοιτάσματος οφείλεται στην διείσδυση του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου. Σύμφωνα με τον Frei (1992), οι ισοτοπικές συστάσεις Pb και Sr του κοιτάσματος δεν εμπίπτουν στο πεδίο του γρανοδιορίτη του Στατωνίου. Αντίθετα εμπίπτουν στο πεδίο των πορφυριτικών διεισδύσεων της περιοχής Φυσόκα. Αυτό σημαίνει ότι ο σχηματισμός των κοιτασμάτων σχετίζεται γενετικά με την υδροθερμική δραστηριότητα που ακολούθησε τη διείσδυση των πορφυριτικών πετρωμάτων.

3.5.3. Μεταλλοφορία Skarn

Εμφανίσεις αυτού του τύπου μεταλλοφορίας στη ΒΑ Χαλκιδική εντοπίζονται στις θέσεις Chevallier, Άγιος Νικόλαος και Κουλοχέρας. Εντοπίζονται κυρίως στην επαφή του μαρμάρου με τον γρανοδιορίτη του Στρατωνίου. Δυτικότερα, στην περιοχή Μορφούλι εντοπίζονται επίσης σποραδικές εμφανίσεις skarn, όπως και σε κάποια επίπεδα στο μεταλλείο του Μαντέμ Λάκκου.

Η κύρια παραγένεση των skarn των ασβεστιτικών μαρμάρων είναι γρανάτης, κλινοπυρόξενος ± ανυδρίτης, επίδοτο και μαγνητίτης (Nebel et al. 1991). Τα υδροθερμικά διαλύματα ήταν υψηλής θερμοκρασίας (350-500° C) και υψηλής αλατότητας (14-45 wt% NaCl), ενώ η μετασώματωση έλαβε χώρα σε συνθήκες πίεσης 50-100 Mpa (Gilg 1993). Η σύσταση των γρανατών και των κλινοπυροξένων, παραπέμπει σε skarn που σχετίζονται με κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού και όχι με κοιτάσματα μολύβδου-ψευδαργύρου (Einaudi et al. 1981).

Πρέπει να αναφερθεί ότι ο Gilg (1993) εντόπισε και μαγνησιούχα skarn σε δολομιτικά μάρμαρα της ενότητας Κερδυλλίων. Η κύρια παραγένεση τους είναι φορστερίτης, μαγνητίτης ± σιδηροπυρίτης. Η παρουσία του σιδηροπυρίτη και του χαλκοπυρίτη στους δύο τύπους skarn, μέσα σε φλέβες χαλαζία-ασβεστίτη ή διάσπαρτα συνδέεται με την εξαλλοίωση των ανδρών ορυκτών σε ένυδρα πυριτικά.

3.5.4. Μεταλλοφορία οξειδίων μαγγανίου

Στην ΒΑ Χαλκιδική τα κοιτάσματα αυτά αναπτύσσονται κυρίως στα όρια των κοιτασμάτων μεικτών θειούχων Μαντέμ Λάκκου και Ολυμπιάδας και κατά μήκος της τεκτονικής ασυνέχειας Στρατωνίου-Βαρβάρας.

Οι μεταλλοφορίες μαγγανίου φιλοξενούνται στα μάρμαρα, που εναλλάσσονται με τους βιοτιτικούς γνευσίους της ενότητας Κερδυλλίων. Η παραγένεση των κοιτασμάτων που παρατηρούνται κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου εξελίσσεται από την θειούχο φάση των βασικών μετάλλων στα ανατολικά, όπως παρατηρείται στις θέσεις Μαντέμ Λάκκος και Μαύρες Πέτρες, μέχρι την μαγγανιούχο (ανθρακική ή και πυριτική) πρωτογενή και οξειδωμένη μεταλλοφορία στα δυτικά, στις θέσεις Πιάβιτσα και Βαρβάρα. Σημαντικές είναι και οι εμφανίσεις μαγγανιούχου μεταλλοφορίας στην Ολυμπιάδα, στο Μπασδέκ Λάκκο και στη ζώνη Ζέπκο-Στρατονίκη.

3.5.5. Μεταλλοφορία σεελίτη

Στην περιοχή Πυργαδίκια-Μεταγγίτσι-Σαλονικιό εντοπίζονται χαλαζιακές φλέβες με σεελίτη (CaWO_4) και χρυσό. Οι χαλαζιακές φλέβες φιλοξενούνται σε διμαρμαρυγιακούς γνευσίους και σχιστόλιθους της ενότητας Βερτίσκου.

Συγκεκριμένα, η μεταλλοφορία σεελίτη στις περιοχές Σαλονικιό και Καλογριάς Λιβάδι συνοδεύεται από παρουσία μοσχοβίτη και αλβίτη, Μο-στολζίτη, αρσеноπυρίτη, σιδηροπυρίτη και Fe-οξείδια. Το 95% των φλεβών αποτελείται από χαλαζία και περιέχουν 0,5% WO_3 και λιγότερο από 20 ppb Au.

Στην περιοχή Πραβίτα η μεταλλοφορία συνδέεται με συμπαγές κοιτάσμα σουλφιδίων και απαντάται σε μορφή στωματόμορφων «σιδηρούχων σχηματισμών» και χρυσοφόρων χαλαζιακών φλεβών ή φακών. Η περιεκτικότητα του κοιτάσματος φτάνει μέχρι 0,2% WO_3 . Τα αποθέματα του κοιτάσματος σουλφιδίων υπολογίστηκαν 5 t με μέση περιεκτικότητα 5% Pb+Zn και 2 g/t Au (Frei 1992, Βεράνης και Μπίτσιος 1984, Kiliyas et al. 1995).

Ο σχηματισμός των μεταλλοφοριών σχετίζεται με θερμά διαλύματα, πλούσια σε CO_2 , με θερμοκρασίες 220-250° C και πιέσεις 1-2,6 Kb κατά τη διάρκεια ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.

3.5.6. Σιδηρούχοι σχηματισμοί και υδροθερμικοί χαλαζίτες με χρυσό

Στην ευρύτερη περιοχή Μεταγγιτσίου, η οποία αποτελείται από τον διμαρμαρυγιακό γνεύσιο της ενότητας Βερτίσκου και την ομάδα Σβούλας, εντοπίζονται σιδηρούχοι

σχηματισμοί και υδροθερμικοί χαλαζίτες στην επαφή μαρμάρου-μοσχοβιτικού σχιστόλιθου ή μαρμάρου-φυλλιτών.

Στην περιοχή Αξάντα απαντώνται σιδηρούχοι σχηματισμοί (Wagner et al. 1986). Συγκεκριμένα, πρόκειται για εναλλαγές ταινιών χαλαζία και μαγνητίτη με περιεκτικότητα 1,9 ppm Au.

Στη Φτερούδα εντοπίζονται υδροθερμικοί χαλαζίτες με ή χωρίς οξειδία σιδήρου και με χρυσό που φιλοξενούνται στην επαφή μαρμάρου-φυλλίτη της Σβούλας (Vavelidis 1989, Βεράνης 1992). Παρατηρήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι μεταλλοφορίας, ανάλογα με το ποσοστό των οξειδίων σιδήρου, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 5-50%. Ο χρυσός εντοπίζεται στο σιδηροπυρίτη με μέγεθος 50-400 μm . Οι κόκκοι του χρυσού έχουν χημική σύσταση 1,8% Cu, 87,2% Au και 11,2% Ag (Vavelidis 1989). Τα αποθέματα, σύμφωνα με τον Βεράνη (1992), υπολογίστηκαν 60000 t με 4,0 g/t Au και 40 g/t Ag.

3.5.7. Προσχωματικός χρυσός

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί η παρουσία προσχωματικού χρυσού σε πολλές θέσεις της ΒΑ Χαλκιδικής, όπως στην περιοχή Μεταγγίτσι, όπου, σύμφωνα με τον Vavelidis (1989), πάνω από το 85% των κόκκων του χρυσού αποτελείται από 0,8% Cu, 92,2% Au, 7,1% Ag και το 15% των κόκκων αποτελείται από 0,3% Ir, 81,7% Au, 18,1% Ag. Επίσης στο ρέμα του Χαβρία και στον Άσπρο Λάκκο εντοπίστηκε προσχωματικός χρυσός.

5. Η ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ Pb-Zn-Au ΣΤΗΝ ΠΙΑΒΙΤΣΑ

Η Πιάβιτσα ήταν γνωστή για την μεταλλοφορία μαγγανίου στην οποία είχε γίνει επιφανειακή εξόρυξη κατά το πρόσφατο παρελθόν (Σχ. 5.1-2). Η μεταλλοφορία αποτέλεσε το επίκεντρο ενός εκτεταμένου γεωτρητικού προγράμματος της Eldorado Gold το 2012 (Σχ. 5.3) που οδήγησε στην ανακάλυψη ενός νέου κοιτάσματος αντικατάστασης Pb-Zn σε ανθρακικά πετρώματα, πλούσιου σε χρυσό και άργυρο. Τα ορυκτολογικά και γεωχημικά δεδομένα δείχνουν σημαντικές ομοιότητες με την μεταλλοφορία στην Ολυμπιάδα. Τα πιθανά αποθέματα στην Πιάβιτσα υπολογίστηκαν σε 10,5 Mt μεταλλεύματος με 5,70 g/t Au και 1,9 Moz Au, και με 57 g/t Ag και 19,15 Moz Ag (www.eldoradogold.com/assets).

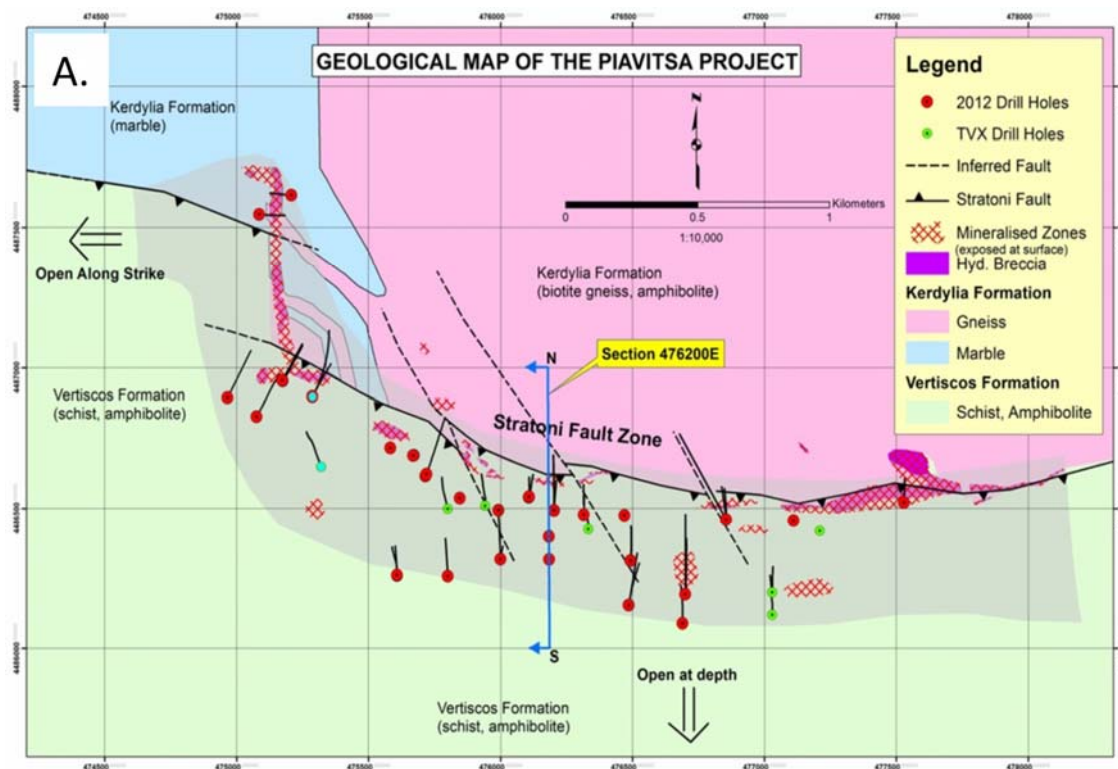


Σχ. 5.1. Υπόγειο ανενεργό μεταλλείο μαγγανίου στην Πιάβιτσα.

Η μεταλλοφορία εντοπίζεται κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου σε μήκος περίπου 4 km (Σχ. 5.3) και αναπτύσσεται στα δυτικά δύο άλλων σημαντικών κοιτασμάτων Pb-Zn στην περιοχή, στο Μαντέμ Λάκκο και στις Μαύρες Πέτρες. Η συνεχής δραστηριοποίηση του ρήγματος κατά την διάρκεια του σχηματισμού της μεταλλοφορίας δημιούργησε εκτεταμένα λατυποπαγή πλούσια σε μεταλλοφορία.

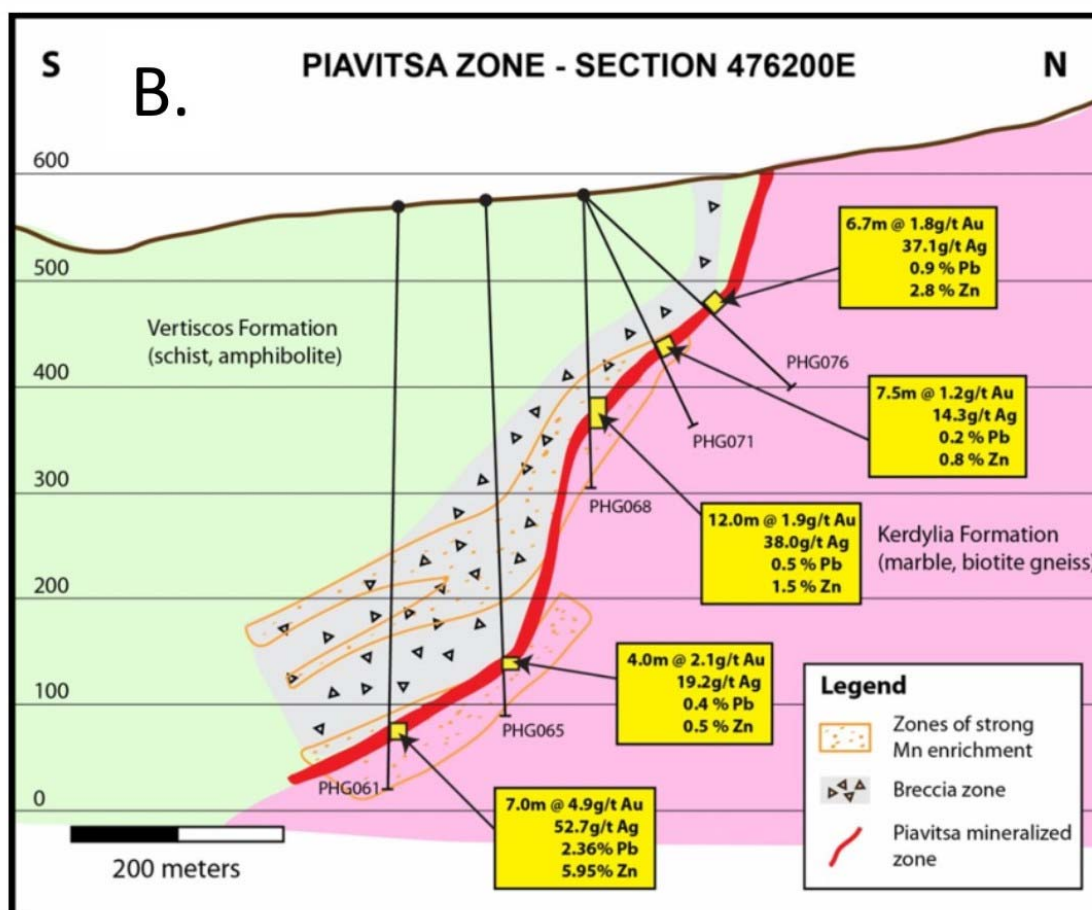


Σχ. 5.2. Επιφανειακό ανενεργό μεταλλείο μαγγανίου στην Πιάβιτσα.



Σχ. 5.3. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Πιάβιτσα όπου διακρίνεται το ρήγμα Στρατωνίου και οι γεωτρήσεις (Eldorado Gold).

Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται εντός των μαρμάρων της ενότητας Κερδυλλίων κατά μήκος του ρήγματος σε επαφή με τους σχιστολίθους της ενότητας Βερτίσκου (Σχ. 5.4). Πρόκειται λοιπόν για μία μεταλλοφορία αντικατάστασης Pb-Zn-Au-Ag μέσα σε ανθρακικά πετρώματα με έντονο όμως τεκτονικό έλεγχο.



Σχ. 5.4. Γεωλογική τομή της περιοχής Πιάβιτσα όπου διακρίνεται το ρήγμα Στρατωνίου και η μεταλλοφορία μέσα στα μάρμαρα (Eldorado Gold).

5.1. Ιστοί και υφές της μεταλλοφορίας στην Πιάβιτσα

Με βάση την παρατήρηση και την μελέτη των γεωτρήσεων και των δειγμάτων διαπιστώσαμε 4 διαφορετικούς τύπους μεταλλοφορίας: Οι μορφές μεταλλοφορίας ποικίλουν και περιλαμβάνουν 4 κύριους τύπους: 1) την μαγγανιούχο μεταλλοφορία, 2) την συμπαγή μεταλλοφορία σουλφιδίων, 3) την ημισυμπαγή μεταλλοφορία σουλφιδίων, και 4) τις επιθερμικές μεταλλοφόρες φλέβες και σώματα με ροδοχρωσίτη. Παρόμοια ταξινόμηση δίνουν σε πρόσφατη μελέτη τους και οι Siron et al. (2016).

Η μαγγανιούχος μεταλλοφορία εντοπίζεται στα ανώτερα τμήματα της μεταλλοφορίας και φθάνει σε βάθος έως τα 170 m στην γεώτρηση PHG70 και έως τα 100 m στην γεώτρηση PVD88. Διακρίνεται σε συμπαγή μεταλλοφορία (Σχ. 5.5.) και σε τεκτονισμένη με σχηματισμό λατυποπαγούς μεταλλοφορίας (Σχ. 5.6.). Οι λατύπες σε αυτές τις περιπτώσεις αποτελούνται από κατακλαστίτες μαρμάρου σε ποικίλα μεγέθη (Σχ. 5.6).

Η συμπαγής μεταλλοφορία περιλαμβάνει μεταλλοφόρα σώματα αντικατάστασης σε διάφορα μεγέθη. Η ορυκτολογική σύσταση αποτελείται από σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη, σφαλερίτη και γαληνίτη (Σχ. 5.7, 5.8). Τα συμπαγή μεταλλοφόρα σώματα χαρακτηρίζονται από μία στρωματογραφική συμφωνία με τα περιβάλλοντα ανθρακικά πετρώματα. Το μέταλλευμα βρίσκεται κάτω από λιθολογικό και τεκτονικό έλεγχο και φιλοξενείται μέσα στα μάρμαρα. Ο τύπος αυτός σύμφωνα με τους Siron et al. (2016) είναι και ο πλουσιότερος σε βασικά μέταλλα.

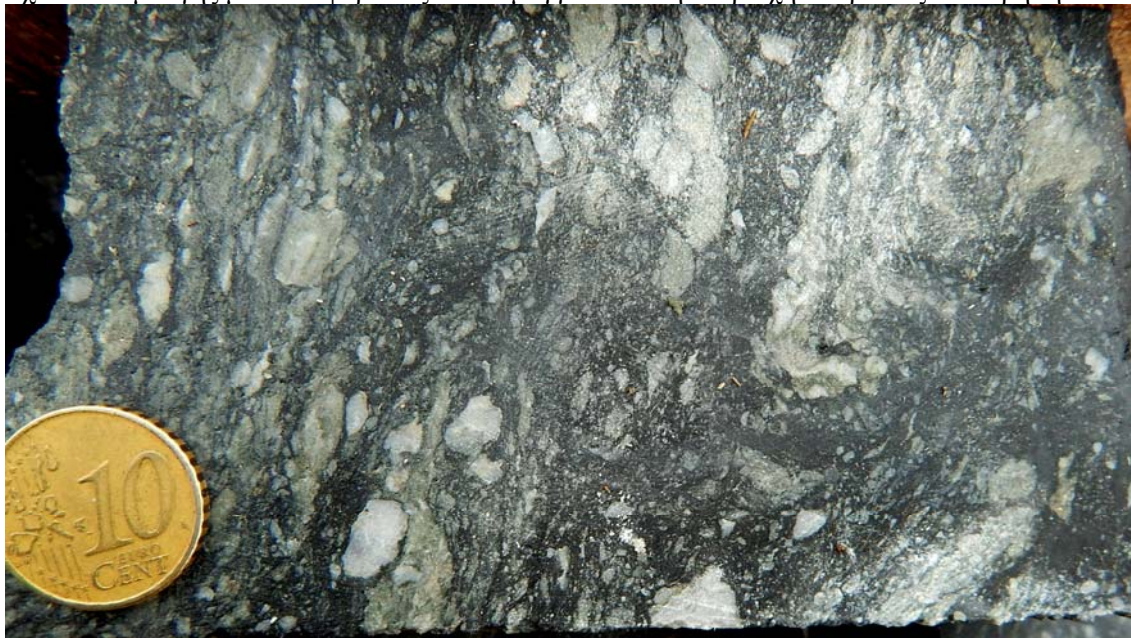
Η ημισυμπαγής μεταλλοφορία είναι ιδιαίτερα εκτεταμένη και αποτελείται από σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη, σφαλερίτη και γαληνίτη (Σχ. 5.9, 5.10). Τα σύνδρομα ορυκτά περιλαμβάνουν τον χαλαζία και τον ασβεστίτη. Η ημισυμπαγής μεταλλοφορία παρουσιάζει έντονη κατάκλαση και σχηματισμό λατυποπαγούς (Σχ. 5.11, 5.12) από την τεκτονική δραστηριότητα του ρήγματος Στρατωνίου. Οι λατύπες και σε αυτήν την περίπτωση αποτελούνται από κατακλαστίτες μαρμάρου.

Τόσο η συμπαγής όσο και η ημισυμπαγής μεταλλοφορία βρίσκονται υπό μορφή πληρώσεων κενών χώρων μέσα στο μάρμαρο ποικίλου μεγέθους, σε μεταλλοφόρα σώματα αντικατάστασης. Οι τύποι αυτοί της μεταλλοφορίας αποτελούν τους πλουσιότερους τύπους σε χρυσό, με τα βασικά μέταλλα να υπερτερούν στον συμπαγή τύπο και τα πολύτιμα μέταλλα Au και Ag στην λατυποπαγή μεταλλοφορία (Siron et al. 2016).

Ο τέταρτος τύπος περιλαμβάνει επιθερμικές μεταλλοφόρες φλέβες και σώματα με χαλαζία, ασβεστίτη και ροδοχρωσίτη (Σχ. 5.13-17). Η μεταλλοφορία αποτελείται από σιδηροπυρίτη ενώ συχνά παρατηρείται βουλανζερίτης. Συχνά οι μεταλλοφόρες φλέβες έχουν μία ταινιωτή υφή (Σχ. 5.16, 5.17).



Σχ. 5.5. Συμπαγής μεταλλοφορία οξειδίων μαγγανίου στην περιοχή Πιάβιτσας. Γεώτρηση PVD88.



Σχ. 5.6. Λατυποπαγής μεταλλοφορία οξειδίων μαγγανίου στην περιοχή Πιάβιτσας. Οι λατύπες αποτελούνται από μάρμαρο. Γεώτρηση PVD88.



Σχ. 5.7. Λατυποπαγής μεταλλοφορία οξειδίων μαγγανίου στην περιοχή Πιάβιτσας. Οι λατύπες αποτελούνται από μάρμαρο. Γεώτρηση PVD88.



Σχ. 5.8. Συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη στην περιοχή Πιάβιτσα. Γεώτρηση PHG70, 217 m.



Σχ. 5.9. Ημισυμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη στην περιοχή Πιάβιτσα. Τα σύνδρομα ορυκτά είναι χαλαζίας και σβεστίτης. Γεώτρηση PHG78, 100 m.



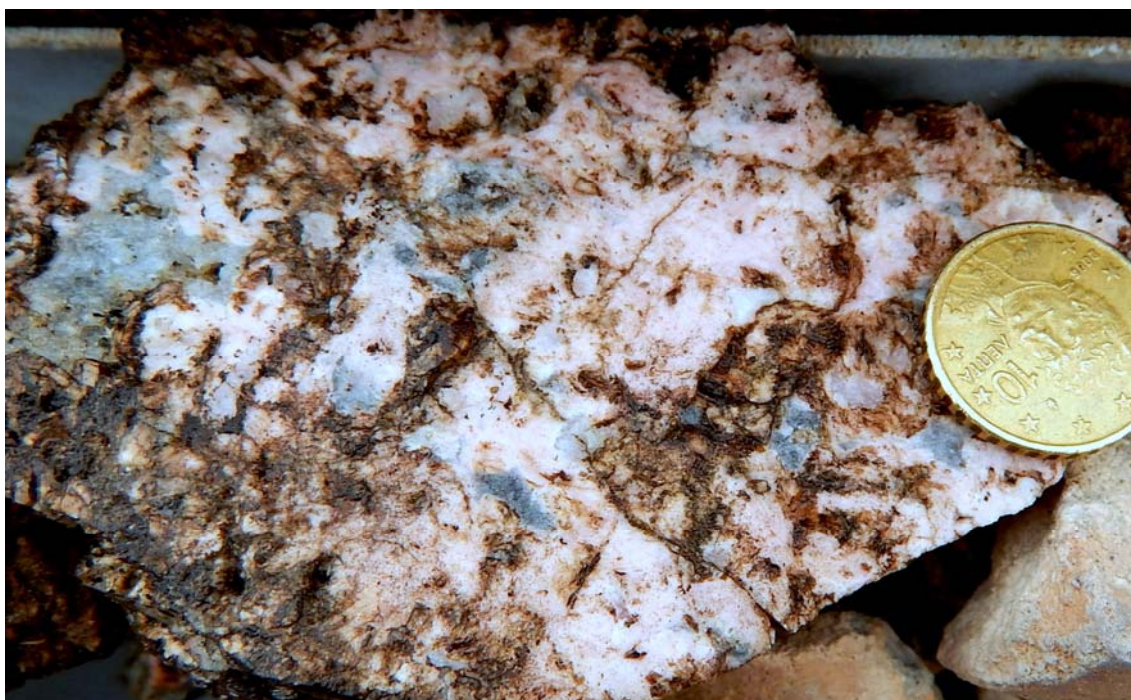
Σχ. 5.10. Ημισυμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη στην περιοχή Πιάβιτσα. Τα σύνδρομα ορυκτά είναι χαλαζίας και σβεστίτης. Γεώτρηση PHG78, 100 m.



Σχ. 5.11. Λατυποπαγές ημισυμπαγούς μεταλλοφορίας με σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη στην περιοχή Πιάβιτσα. Οι λατύπες αποτελούνται από μάρμαρο. Γεώτρηση PHG70, 221 m.



Σχ. 5.12. Λατυποπαγές ημισυμπαγούς μεταλλοφορίας με σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη στην περιοχή Πιάβιτσα. Οι λατύπες αποτελούνται από μάρμαρο. Γεώτρηση PHG70, 221 m.



Σχ. 5.13. Ροδοχρωσίτης από την επιθερμική μεταλλοφορία στην περιοχή Πιάβιτσα. Γεώτρηση PVD88.



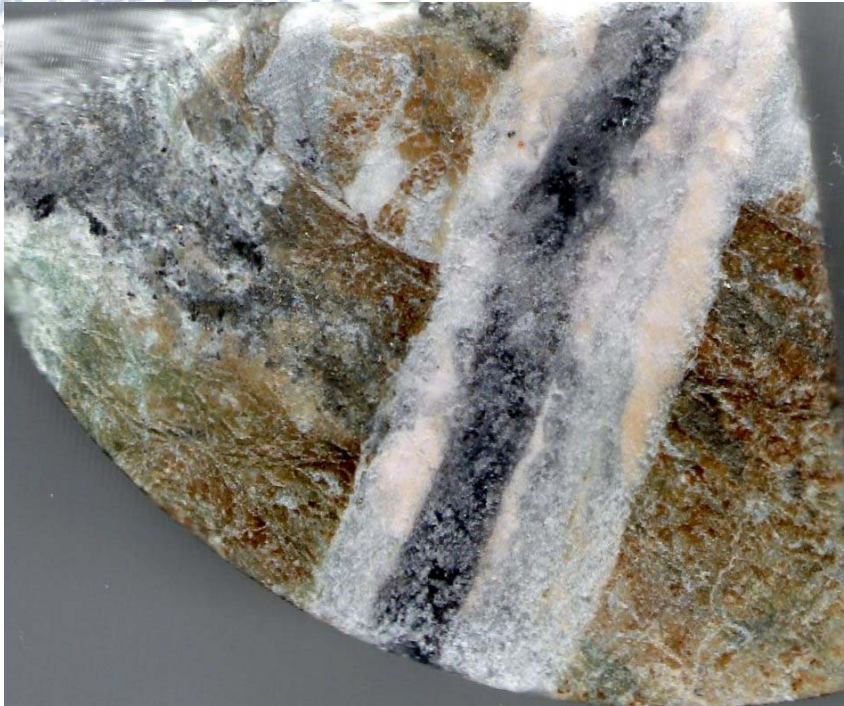
Σχ. 5.14. Επιθερμικές φλέβες χαλαζία και ροδοχρωσίτη από την μεταλλοφορία στην περιοχή Πιάβιτσα. Γεώτρηση PVD88, 125 m.



Σχ. 5.15. Επιθερμική μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, και σφαλερίτη με χαλαζία και ροδοχρωσίτη από την μεταλλοφορία στην περιοχή Πιάβιτσα. Γεώτρηση PHG78, 98 m.



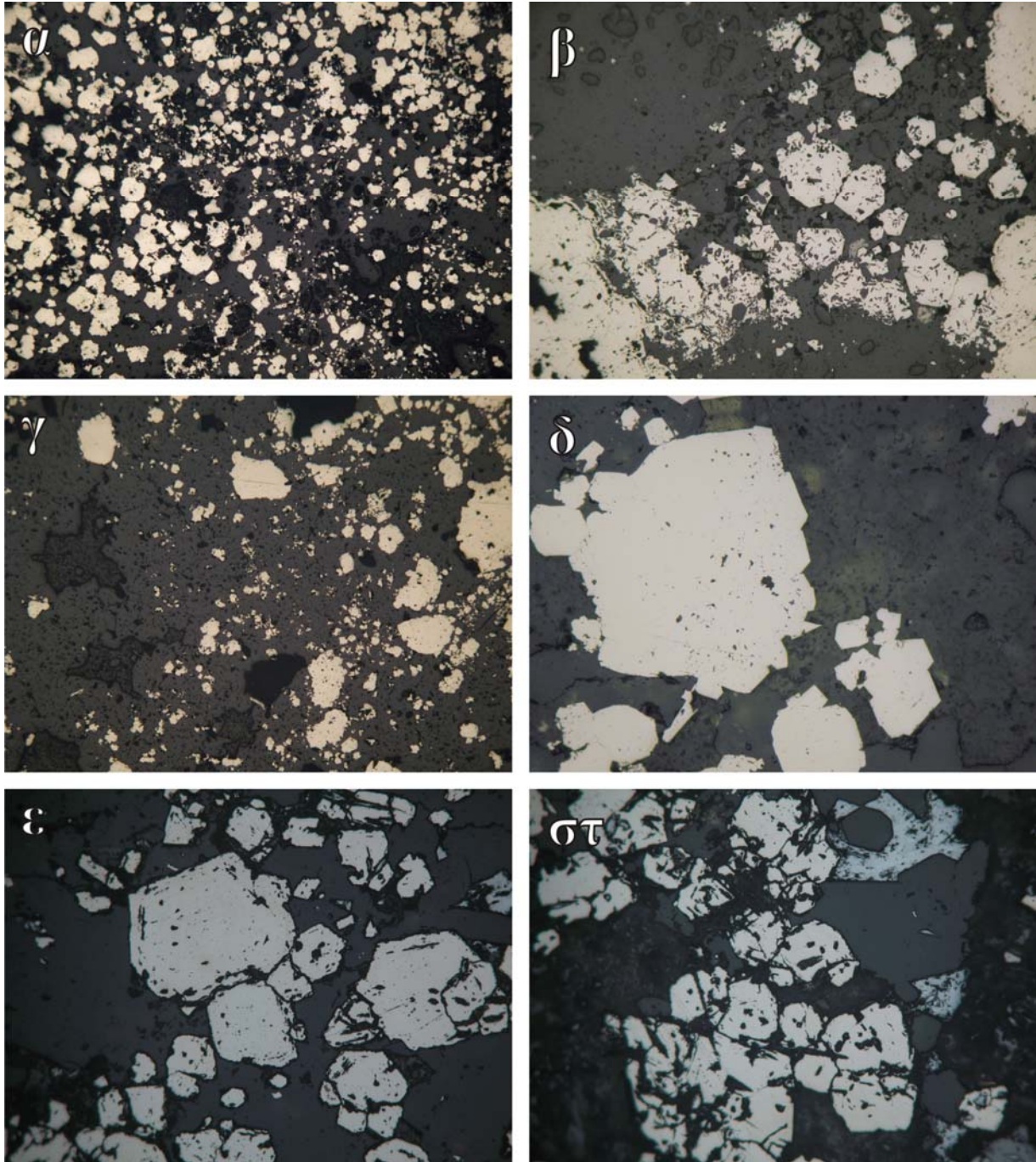
Σχ. 5.16. Ιστός επιθερμικής οξειδωμένης μεταλλοφορίας με χαλαζία και ροδοχρωσίτη από την μεταλλοφορία στην περιοχή Πιάβιτσα. Γεώτρηση PHG78, 102 m.



Σχ. 5.17. Επιθερμική ταινιώδης φλέβα με χαλαζία και βουλανζερίτη από την μεταλλοφορία στην περιοχή Πιάβιτσα. Γεώτρηση RHG78, 95 m.

5.2. Αποτελέσματα από την μικροσκοπική μελέτη

Με βάση τη μικροσκοπική μελέτη αναγνωρίστηκαν τα εξής μεταλλικά ορυκτά: σιδηροπυρίτης, αρσενοπυρίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης και βουλανζερίτης (Σχ. 5.18, 5.19). Τα κύρια σύνδρομα ορυκτά της μεταλλοφορίας είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης και ο ροδοχρωσίτης.



Σχ. 5.18. Φωτογραφίες σε οπτικό μικροσκόπιο ανακλώμενου φωτός. Στιλπνές τομές, //N. α-γ. Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι σιδηροπυρίτη (Μήκος φωτογραφίας 2,6 mm). δ-ε. Χαρακτηριστικές μορφές ιδιόμορφου σιδηροπυρίτη με γεωμετρικά σχήματα (εξαγωνικό, πενταγωνικό και τετραγωνικό σχήμα). (Μήκος φωτογραφίας 0,65 mm). στ. Ιδιόμορφος σιδηροπυρίτης σε σύμφυση με γαληνίτη (Μήκος φωτογραφίας 0,65 mm).

Ο σιδηροπυρίτης αποτελεί το επικρατέστερο ορυκτό της μεταλλοφορίας στο κοίτασμα της Πιάβιτσας. Το μέγεθος των κόκκων ποικίλει και κυμαίνεται από 5 μm έως 3 cm. Παρατηρούνται διάσπαρτοι κρύσταλλοι σιδηροπυρίτη στο σύνδρομο με χαρακτηριστικά γεωμετρικά σχήματα. Στην περίπτωση αυτή συχνά παρουσιάζουν τομές με εξαγωνικό, πενταγωνικό και τετραγωνικό σχήμα. Επίσης παρατηρούνται και συσσωματώματα ιδιόμορφων κρυστάλλων καθώς και αλλοτριόμορφοι έως υπιδιόμορφοι κόκκοι (Σχ. 5.18^α-στ).

Ο σιδηροπυρίτης εμφανίζεται σε σύμφυση με σφαλερίτη και γαληνίτη ως έγκλεισμα στα ορυκτά αυτά. Επίσης ο σιδηροπυρίτης χαρακτηρίζεται από έντονη κατακλαστική υφή λόγω της θραυστικής παραμόρφωσης του μεταλλεύματος και οι κενοί χώροι πληρώνονται με διαφανή ορυκτά, κυρίως χαλαζία και ασβεσίτη, ή με άλλα μεταλλικά ορυκτά (γαληνίτης, σφαλερίτης, βουλανζερίτης) που σχηματίζονται μετά από το σιδηροπυρίτη και διεισδύουν στους κενούς χώρους των διακλάσεων.

Ο αρσеноπυρίτης αναπτύσσεται σε μεμονωμένους κρύσταλλους με μέγεθος έως 0,5 mm σε σύνδρομα ορυκτά. Παρουσιάζει συχνά το χαρακτηριστικό ρομβικό του σχήμα στην περίπτωση της παρουσίας ιδιόμορφων κρυστάλλων.

Ο σφαλερίτης εμφανίζεται με αλλοτριόμορφους κόκκους μεγέθους 0,1 έως 0,7 mm και σε συμπαγείς μάζες που πληρώνουν τα κενά του σιδηροπυρίτη. Επίσης ευμεγέθεις κόκκοι σφαλερίτη με μέγεθος έως 1 mm εντοπίζονται εντός των σύνδρομων ορυκτών και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται να βρίσκεται σε σύμφυση με σιδηροπυρίτη και γαληνίτη. Συχνά εγκλείει κρυστάλλους σιδηροπυρίτη.

Ο γαληνίτης εμφανίζεται με τη τυπική του μορφή, δηλαδή με την ανάπτυξη του κυβικού σχισμού (Σχήμα 5.19α) καθώς και με γραμμές λείανσης. Το μέγεθος των κόκκων του κυμαίνεται από 10 μm έως 1 cm. Ο γαληνίτης και ο σφαλερίτης αναπτύσσονται γύρω από τον σιδηροπυρίτη, ο οποίος εντοπίζεται σε περιορισμένη σχετικά έκταση.

Ο βουλανζερίτης σχηματίζει τυπικούς βελονοειδείς κρυστάλλους με μέγεθος από 0,1-0,9 mm (Σχ. 5.19γ,δ). Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται να πληρώνει μικροδιακλάσεις και έγκοιλα του σιδηροπυρίτη. Προκύπτει λοιπόν ότι ο βουλανζερίτης σχηματίστηκε μετά από τον σιδηροπυρίτη.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη της μεταλλοφορίας στην Πιάβιτσα της ΒΑ Χαλκιδικής που αναπτύσσεται κατά μήκος του ρήγματος του Στρατωνίου, με σημαντικές περιεκτικότητες σε χρυσό και άργυρο. Πρόκειται για μία μεταλλοφορία αντικατάστασης Pb-Zn-Ag-Au που εντοπίζεται μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλλίων.

Αυτός ο τύπος κοιτασμάτων αποτελεί την κυριότερη πηγή μολύβδου και ψευδαργύρου καθώς και αργύρου και σε ορισμένες περιπτώσεις χρυσού ή και χαλκού. Έχει ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα, διότι το γεωδυναμικό καθεστώς της ευνόησε τη δημιουργία σημαντικών κοιτασμάτων στο Λαύριο και στη ΒΑ Χαλκιδικής (Ολυμπιάδα, Μαντέμ Λάκκο, Μαύρες Πέτρες, Πιάβιτσα).

Η κινητική του ρήγματος Στρατωνίου έχει επηρεάσει την μεταλλοφορία και τα πετρώματα ξενιστές και αυτό φαίνεται από την ανάπτυξη τεκτονικών λατυποπαγών στην μεταλλοφορία. Το ρήγμα Στρατωνίου ελέγχει την άνοδο μαγματικών πετρωμάτων με κυρίαρχο τον γρανοδιορίτη Στρατωνίου καθώς και την διείδυση πλήθους πορφυριτικών μαγματικών φλεβών (porphyry dikes) όπως αναφέρουν οι Siron et al. (2016).

Η μεταλλοφορία αναπτύσσεται μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλλίων σε Τα συμπαγή μεταλλοφόρα σώματα χαρακτηρίζονται από μία στρωματογραφική συμφωνία με τα περιβάλλοντα ανθρακικά πετρώματα. Το μετάλλευμα βρίσκεται κάτω από λιθολογικό και τεκτονικό έλεγχο και φιλοξενείται μέσα στα μάρμαρα. Τα κοιτάσματα αυτά σχηματίζονται όταν το μάγμα ανέρχεται προς τα ανώτερα στρώματα του φλοιού και τα υδροθερμικά διαλύματα διαλύουν τα ανθρακικά πετρώματα και στους κενούς χώρους αποθέτουν την μεταλλοφορία. Για την απόθεση μεταλλοφορίας απαιτείται μία «προετοιμασία» δηλαδή μία αύξηση του πορώδους και της διαπερατότητας του πετρώματος ξενιστής ή αύξηση της ικανότητάς του για να αντιδράσει με τα μεταλλοφόρα διαλύματα. Οι σημαντικότεροι χώροι που διευκολύνουν την απόθεση μεταλλοφορίας στην Πιάβιτσα είναι το ρήγμα Στρατωνίου και οι αποφύσεις του, η σχιστότητα καθώς και οι χώροι που δημιουργούνται από τα έντονα κατακλαστικά φαινόμενα και τον σχηματισμό χαρακτηριστικών μεταλλοφόρων λατυποπαγών (breccias) κάτι που δείχνει ότι η μεταλλοφορία δημιουργήθηκε σε ένα καθεστώς ενεργού τεκτονικής δραστηριότητας.

Τα μαγγανιούχα κοιτάσματα στην Πιάβιτσα σύμφωνα με τους Theodoroudis and Galanopoulos (1994) οι περιεκτικότητες σε Mn είναι ιδιαίτερα ψηλές παρόμοιες με αυτές στο

Μπασδέκ Λάκκο και στην Ολυμπιάδα. Ο Fe, το MgO, το Al₂O₃ και το CaO απουσιάζουν από τις μεταλλοφορίες αυτές, που είναι εμπλουτισμένες σε SiO₂, Pb, Zn, Au και Ag. Η μαγγανιούχος αυτή μεταλλοφορία συνδέεται με τα υδροθερμικά διαλύματα πλούσια σε Mn από τα οποία σχηματίστηκε η πρωτογενής μεταλλοφορία στην Πιάβιτσα. (Theodoroudis and Galanopoulos 1994).

Η μεταλλοφορία αντικατάστασης στα μάρμαρα εντοπίζεται σε 4 κύριους τύπους: 1) την μαγγανιούχο μεταλλοφορία, 2) την συμπαγή μεταλλοφορία σουλφιδίων, 3) την ημισυμπαγή μεταλλοφορία σουλφιδίων, και 4) τις επιθερμικές μεταλλοφόρες φλέβες και σώματα με ροδοχρωσίτη. Η μικροσκοπική μελέτη έδειξε ότι η μεταλλοφορία αποτελείται από σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη και βουλανζερίτη με σύνδρομα τον χαλαζία, τον ασβεστίτη και τον ροδοχρωσίτη.

Η παρουσία μαγματικών πορφυριτικών φλεβών ηλικίας 20.62 ± 0.13 Ma (Sironδείχνει μία κατώτερη ηλικία της μεταλλοφορίας στο κάτω Μειόκαινο, παρόμοια με αυτή του πορφυρτικού κοιτάσματος στις Σκουριές και στην Τσικάρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bristol, S.K., Spry, P.G., Voudouris, P.Ch., Melfos, V., Fornadel, A.P., Sakellaris, G.A., 2015. Geochemical and geochronological constraints on the formation of shear-zone hosted Cu-Au-Bi-Te mineralization in the Stanos area, Chalkidiki, northern Greece. *Ore Geology Reviews* 66, 266-282.
- Christofides, G., Soldatos, T., Elefthertiadis, G., Koroneos, A., 1998. Chemical and isotopic evidence for source contamination and crustal assimilation in the Hellenic Rhodope plutonic rocks. *Acta Volcanologica* 10, 305-318.
- Eldorado Gold Corp., 2017. Assets; Resources and Reserves. <http://www.eldoradogold.com> (accessed 20th May 2017).
- Eliopoulos, D.G., Economou-Eliopoulos, M., 1991. Platinum-group element and gold contents in the Skouries porphyry copper deposit, Chalkidiki peninsula, Northern Greece. *Economic Geology* 86, 740-749.
- Forward, P., Francis, A., Lidell, N., 2010. Technical Report on the Stratoni Project Pb-Zn-Ag Deposit, Northern Greece. European Goldfields Limited. 49 p.
- Frei, R., 1992. Isotope (Pb, Rb-Sr, S, O, C, U-Pb) geochemical investigations on Tertiary intrusives and related mineralizations in the Serbo-Macedonian Pb-Zn, Sb+Cu-Mo metallogenic province in Northern Greece. Unpublished Doctoral dissertation, Zürich, Switzerland, ETH Zürich. 231 p.
- Gilg, A.G., 1993. Geochronology (K-Ar), fluid inclusion and stable isotope (C, O, H) studies of skarn, porphyry copper, and carbonate-hosted Pb-Zn (Ag-Au) replacement deposits in the Kassandra mining district (Eastern Chalkidiki, Greece). Unpublished Doctoral dissertation, Zürich, Switzerland, ETH Zürich. 152 p.
- Gounaris B. (2015). Introduction. In: Gounaris B. (ed), *Mines, Olives and Monasteries. Aspects of Halkidiki's Environmental History*. Published by Epikentro Publishers and PHAROS books, Thessaloniki. 327 p.
- Hahn, A., Naden, J., Treloar, P.J., Kiliyas, S.P., Ranking, A.H., Forward, P., 2012. A new time frame for the mineralisation in the Kassandra mine district, N. Greece: deposit formation during metamorphic core complex exhumation. *European Mineralogical Conference* 1, EMC2012-742.
- Jolivet, L., Brun, J.-P., 2010. Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean region. *International Journal Earth Science* 99, 109-138.

- Jolivet, L., Faccenna, C., Huet, B., Labrousse, L., Le Pourhiet, L., Lacombe, O., Lecomte, E., Burov, E., Denèle, Y.; Brun, J.-P., Philippon, M., Paul, A.; Salaün, G., Karabulut, H., Piromallo, C., Monié, P., Gueydan, F., Okay, A.I., Oberhänsli, R., Pourteau, A., Augier, R., Gadenne L., Driussi O., 2013. Aegean tectonics: Strain localization, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics* 597, 1–33.
- Kalogeropoulos, S.I., Kiliass, S.P., Bitzios, D.C., Nicolaou, M., Both, R.A., 1989. Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulfide ore deposit, eastern Chalkidiki Peninsula, northern Greece. *Economic Geology* 84, 1210-1234.
- Kockel, F., Mollat, H., Gundlach, H., 1975. Hydrothermally altered and (copper) mineralized porphyritic intrusions in the Serbo-Macedonian Massif (Greece). *Mineralium Deposita* 10, 195-204.
- Kydonakis, K., Brun, J.-P., Poujol, M., Monié, P., Chatzitheodoridis, E., 2016. Inferences on the Mesozoic evolution of the North Aegean from the isotopic record of the Chalkidiki block. *Tectonophysics* 682, 65-84.
- Kydonakis, K., Brun, J.-P., Sokoutis, D., Gueydan, F., 2015. Kinematics of Cretaceous subduction and exhumation in the western Rhodope (Chalkidiki block). *Tectonophysics* 665, 218-235.
- Melfos V., Voudouris P. (2017). Cenozoic metallogeny of Greece and potential for precious, critical and rare metals exploration. *Ore Geology Reviews*, 89, 1030–1057.
- Melfos, V., Vavelidis, M., Christofides, G., Seidel, E., 2002. Origin and evolution of the Tertiary Maronia porphyry copper-molybdenum deposit, Thrace, Greece. *Mineralium Deposita* 37, 648-668
- Melfos, V., Voudouris, P., 2012. Geological, mineralogical and geochemical aspects for critical and rare metals in Greece. *Minerals* 2, 300-317.
- Menant, A., Jolivet, L., Vrielynck, B., 2016. Kinematic reconstruction and magmatic evolution illuminating crystal and mantle dynamics of the eastern Mediterranean region since the late Cretaceous. *Tectonophysics* 675, 103-140.
- Pe-Piper, G., Piper, D.J.W, 2002. The igneous rocks of Greece. The anatomy of an orogen, *Beiträge der regionalen Geologie der Erde* 30. Berlin-Stuttgart. 573 p.
- Ring, U., Glodny, J., Will, T., Thomson, S., 2010. The Hellenic subduction system: high pressure metamorphism, exhumation, normal faulting, and large-scale extension. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38, 45-76.

- Schmid, S.M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski K., 2008. The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences* 101, 139-183.
- Siron, C.R., Thompson, J.F.H., Baker, T., Friedman, R., Tsitsanis, P., Russell, S.V., Randall, S.B., Mortensen, J.K., 2016. Magmatic and metallogenic framework of Au-Cu porphyry and polymetallic carbonate-hosted replacement deposits of the Kassandra mining district, Northern Greece. *Society of Economic Geologists Special Publication* 19, 29-55.
- Stergiou, C., Melfos, V., Voudouris, P., Michailidis, K., Spry, P., Chatzipetros A. 2016. Hydrothermal alteration and structural control of the Vathi porphyry Cu-Au-Mo-U ore system, Kilkis district, N. Greece. *Scientific Annals of the School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki (Honorary Publication in Memory of Professor A. Kasoli-Fournaraki)* 105, 69-74.
- Tompouloglou, C., 1981. Les mineralisations tertiaires, type cuivre porphyrique, du massif Serbo-Macedonien (Macedoine Grece) dans leur contexte magmatique (avec un traitement geostatistique pour les donnees du prospect d' Alexia). Unpublished Doctoral dissertation, Paris, France, Ecole National Superieure des Mines de Paris. 230 p.
- Tsirambides, A., Filippidis, A., 2012. Metallic mineral resources of Greece. *Central European Journal of Geosciences* 4, 641-650.
- Vavelidis M., Melfos V. (2012). Study of the ancient metallurgical works in Kipouristra, Olympiada (Ancient Stageira), NE Chalkidiki. *Scientific Annals of the School of Geology, Faculty of Sciences, Aristotle University of Thessaloniki. Special Volume* 101, 9-16 (in Greek)
- Vavelidis, M., Amstutz, G.C., 1983. New Genetic Investigations on the Pb-Zn Deposits of Thasos (Greece). In: *Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe: Berlin-Heidelberg, Springer*, pp. 359-365.
- Voudouris, P., 2006. Comparative mineralogical study of Tertiary Te-rich epithermal and porphyry systems in northeastern Greece. *Mineralogy and Petrology* 87, 241-275.
- Voudouris, P., Melfos V., Spry P.G., Bonsall T., Tarkian M., Economou-Eliopoulos M., 2008a. Mineralogical and fluid inclusion constraints on the evolution of the Plaka intrusion-related ore system, Lavrion, Greece. *Mineralogy and Petrology* 93, 79-110.
- Voudouris, P., Melfos, V., Spry, P.G., Bindi, L., Moritz, R., Ortelli, M., Kartal T., 2013c. Extremely Re-rich molybdenite from porphyry Cu-Mo-Au prospects in northeastern

Greece: mode of occurrence, causes of enrichment, and implications for gold exploration. *Minerals* 3, 165-191.

Voudouris, P., Melfos, V., Spry, P.G., Kartal, T., Schleicher, H., Moritz, R., Ortelli, M.,

2013b. The Pagoni Rachi/Kirki Cu-Mo-Re-Au-Ag-Te deposit, northern Greece: mineralogical and fluid inclusion constraints on the evolution of a telescoped porphyry-epithermal system. *The Canadian Mineralogist* 51, 411-442.

Voudouris, P., Melfos, V., Spry, P.G., Moritz, R., Papavasiliou, C., Falalakis, G., 2011.

Mineralogy and geochemical environment of formation of the Perama Hill high-sulfidation epithermal Au-Ag-Te-Se deposit, Petrota graben, NE Greece. *Mineralogy and Petrology* 103, 79-100.

Voudouris, P., Spry, P.G., Mavrogonatos, C., Sakellaris G.A., Bristol, S.K., Melfos, V.,

Fornadel, A., 2013a. Bismuthinite derivatives, lillianite homologues, and bismuth sulfotellurides as indicators of gold mineralization at the Stanos shear-zone related deposit, Chalkidiki, northern Greece. *The Canadian Mineralogist* 51, 119-142.

Περαντώνης, Γ.Ι. (1982). Γένεση των πορφυρικών κοιτασμάτων Χαλκιδικής και δυτικής Θράκης. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Αθηνών. 150σ.