

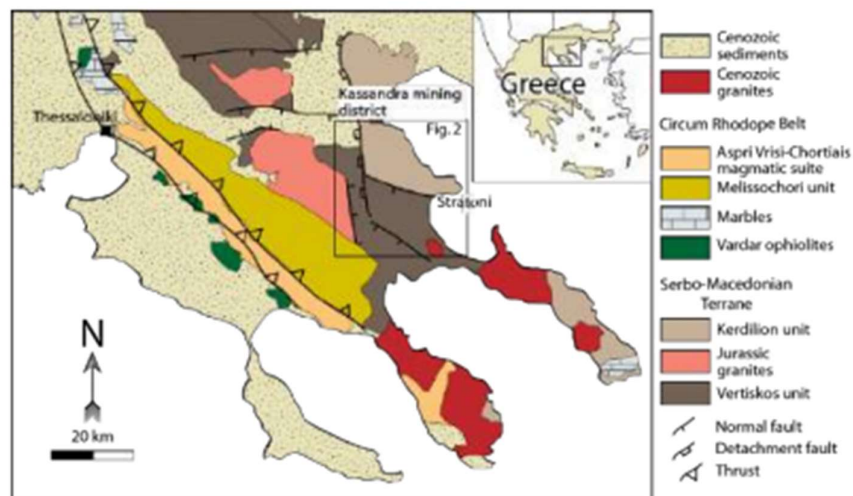


ΝΤΟΚΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΑΕΜ 5973

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2024



ΝΤΟΚΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

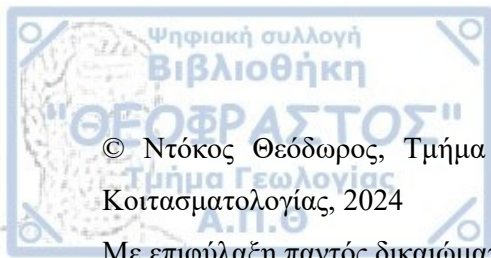
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλης Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Ντόκος Θεόδωρος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All Rights reserved.



© Ντόκος Θεόδωρος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Κοιτάσματα βορειοανατολικής Χαλκιδικής – *πτυχιακή Εργασία*

© Ntokos Theodoros, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2024

All rights reserved.

Ore deposits of north-eastern Chalkidiki – *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: Melfos and Voudouris 2017 and Siron et al. 2018



ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT	6
Εισαγωγή	7
1. Τα κύρια ορυκτά της βορειοανατολικής Χαλκιδικής	13
1.1 Χαλκοπυρίτης	13
1.2 Σιδηροπυρίτης	13
1.3 Σφαλερίτης	14
1.4 Γαληνίτης.....	14
1.5 Χρυσός.....	14
2. Κοιτάσματα αντικατάστασης	16
2.1. Μαντέμ Λάκκος και Μαύρες Πέτρες.....	16
2.2 Πιάβιστα	19
2.3 Ολυμπιάδα	21
2.4 Κοίτασμα Cu-Au στις Σκουριές	24
3. Το ορυχείο στο Μαντέμ Λάκκο	26
4. Επιπτώσεις από την εξορυκτική δραστηριότητα	27
5. Συμπέρασμα.....	28
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	31



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΟΡΕΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

ΝΤΟΚΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αναφέρεται στα κοιτάσματα της βορειοανατολικής Χαλκιδικής. Η βορειοανατολική Χαλκιδική αποτελείται από τις ζώνες Αξιού, τη Σέρβο-μακεδονική μάζα και τη μάζα Ροδόπης. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται τα κύρια ορυκτά που συναντώνται στην περιοχή. Έπειτα το δεύτερο κεφάλαιο διακρίνει τα πολυμεταλλικά κοιτάσματα αντικατάστασης στις περιοχές Πιάβιστα, Μαύρες Πέτρες, Μαντέμ Λάκκο και Σκουριές. Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στο ορυχείο του Μαντέμ Λάκκο και τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται οι επιπτώσεις από την εξορυκτική δραστηριότητα.



ABSTRACT

ORE DEPOSITS OF NORTH-EASTERN OF CHALKIDIKI

NTOKOS THEODOROS

This thesis refers to the deposits of northeastern Chalkidiki. More specifically, Northeastern Chalkidiki consists of three zones, Axios, Serbo-Macedonian and Rhodope mass.

The first chapter refers to the main minerals found in the area. The second chapter examines the polymetallic replacement deposits in the areas of Piavista, Mavres Petres, Madem Lakkos and Skouries. Similarly, in the third chapter we talk about the mine of Madem Lakkos and finally, in the fourth chapter, the effects of mining activity are mentioned.

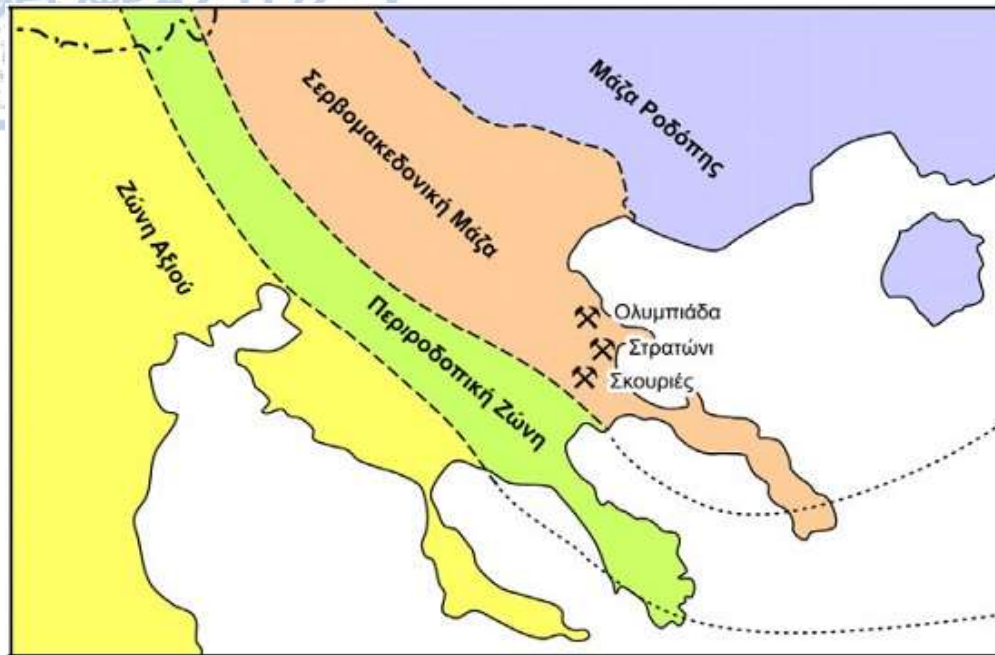


Εισαγωγή

Σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα, στη Βορειοανατολική Χαλκιδική κατά την αρχαιότητα, εκμεταλλεύονταν τις επιφανειακές εμφανίσεις του κοιτάσματος χαλκού-χρυσού στις Σκουριές, όπως επιπλέον και τις επιφανειακές εμφανίσεις μολύβδου-ψευδαργύρου, κατασκευάζοντας μικρές υπόγειες στοές, που ακολουθούσαν, όσο ήταν δυνατό, τις εμφανίσεις της μεταλλοφορίας. Η μεταλλευτική δραστηριότητα ήταν έντονη από την αρχαιότητα και αυτό φανερώνουν τα υπολείμματα της αρχαίας μεταλλουργίας και του μεταλλεύματος (σκωρίες) που έχουν βρεθεί. Ακόμη, έχουν διατηρηθεί για τον τόπο αυτό τα τοπωνύμια Σιδηροκάυσια και Μαντεμοχώρια που αφορούν τη Βυζαντινή και Οθωμανική περίοδο αντίστοιχα.

Επιπρόσθετα, η Σερβομακεδονική μάζα, η ζώνη Ροδόπης, η ζώνη Αξιού (Vardar) αποτελούν τη Χαλκιδική χερσόνησο στη βόρεια Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο τμήμα της Χαλκιδικής βρίσκεται στην Ελληνική ενδοχώρα, με εξαίρεση δύο στρώματα, που έχουν πάχος 19-22 χιλιόμετρα και προσανατολισμό ΒΔ-ΝΑ, οι οποίες ανήκουν στις εσωτερικές Ελληνίδες. Επίσης η Χαλκιδική χερσόνησος περιλαμβάνει τρεις γεωτεκτονικές ζώνες, οι οποίες σχηματίστηκαν κατά την Αλπική ορογένεση που βρίσκονται σε διάφορες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας (Σχ. 1).

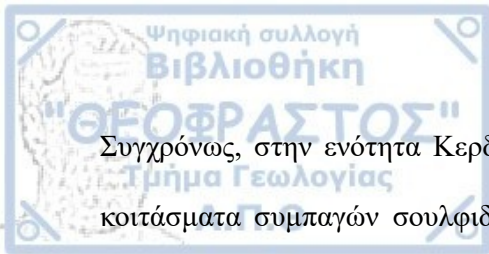
Όπως φαίνεται και στο (σχήμα 1) δυτικά βρίσκεται η ζώνη Αξιού, στην συνέχεια η Περιοδοπική ζώνη, πιο ανατολικά η Σέρβο-μακεδονική και η ανατολικότερη ζώνη είναι η μάζα της Ροδόπης. Ειδικότερα οι δυο πρώτες ζώνες αποτελούν τις εσωτερικές Ελληνίδες και οι δυο ανατολικότερες συντελούν Ελληνική Ενδοχώρα. Επιπλέον, η Σερβομακεδονική μάζα διαχωρίζεται σε δύο ενότητες, την ενότητα των Κερδυλλίων στα δυτικά και την ενότητα του Βερτίσκου στα ανατολικά (Kaufmann et al., 1976, Kockel et al., 1979, Kougoulis et al., 1989).



Σχήμα 1: Οι ζώνες της Χαλκιδικής Χερσονήσου.(Κατράκη, 1932).

Στην πρώτη ενότητα παρατηρούνται κυρίως μάρμαρα και βιοτιτικοί γενέσιοι της Σερβομακεδονικής ζώνης. Η ηλικία της ενότητας των Κερδυλλίων χρονολογείται στο Προκάμβριο. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο στάδιο, το οποίο είναι πιθανότατα Ερκύνεια, τείνει να βυθίζεται προς τα βόρεια, ενώ τα στάδια των άλλων δύο πραγματοποιήθηκαν κατά την αλπική ορογένεση. Ειδικότερα, η Τριαδική εποχή, χαρακτηρίζεται από ευρείες πτυχές και έντονη ώθηση, ενώ από την Άνω Ιουρασική έως την Κάτω Κρητιδική έχει υποϊσοκλινικές πτυχώσεις με ποικίλες τάσεις (Mountrakis 2020). Συχνά παρατηρείται αντικατάσταση του βιοτιτικού γενεσίου σε μιγματιτικό γενέσιο (Elioroulos and Economou-Elioroulos 1990).

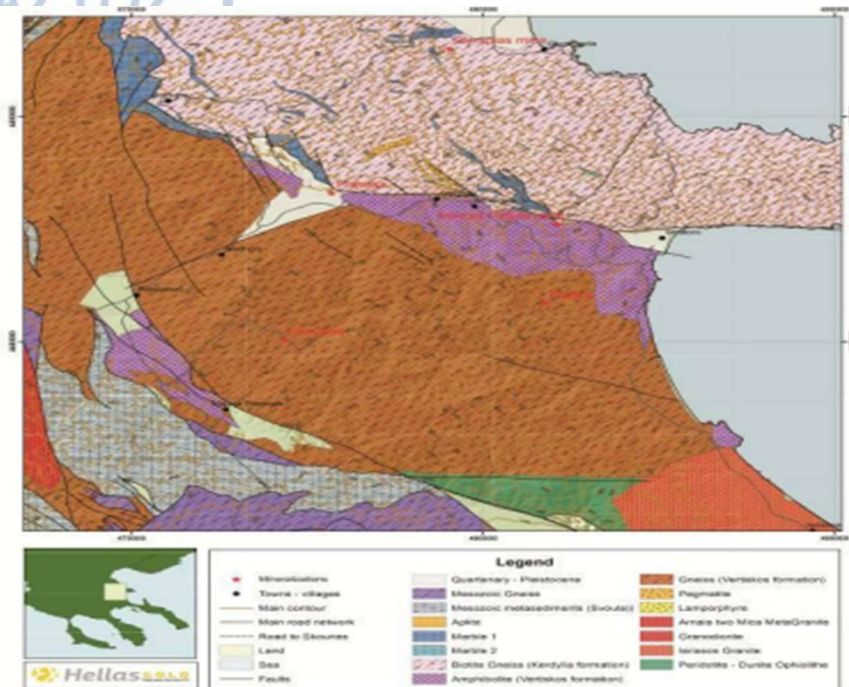
Στην δεύτερη περίπτωση εμφανίζονται πετρώματα χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης, όπως πρασινοσχιστόλιθοι, σερπεντίνης. Επιπρόσθετα τα κύρια πετρώματα της ενότητας Βερτίσκου είναι μοσχοβιτικοί και διαμαρμαρυγικοί γενέσιοι,φιβολίτες, και σπανιότερα παρατηρούνται οφθαλμογενέσιοι καθώς και τα πορφυριτικά κοιτάσματα Cu-Au (Elioroulos and Economou-Elioroulos 1990).



Συγχρόνως, στην ενότητα Κερδυλλίων στη Χαλκιδική και στη βόρεια Ελλάδα βρίσκονται κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων Pb-Zn στις περιοχές Ολυμπιάδα, Μαντέμ Λάκκος, και Μαύρες Πέτρες (Kockel et al. 1977). Τόσο η ενότητα Βερτίσκου όσο και η ενότητα Κερδυλλίων εμφανίζονται σε ζώνες διάρρηξης, οι οποίες συνδέονται με φλέβες που βρέθηκαν κατά μήκος μιας ζώνης που τείνει βορειοανατολικά. Αυτές οι φλέβες προέρχονταν από το Ολιγόκαινο και το Μειόκαινο, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια μαγματισμού σε ένα οπισθοτόξιο τόξο (Siron et al. 2018). Ακόμη, η εκτεταμένη τεκτονική η οποία ξεκίνησε στη μέση του Ηωκαίνου και συνεχίστηκε μέχρι το Νεογενές δημιούργησε ή επανενεργοποίησε τις ζώνες των ρηγμάτων αποκόλλησης.

Λόγω της παρουσίας πολύτιμων μετάλλων, τα κοιτάσματα που βρίσκονται στην ενότητα των Κερδυλλίων κατά μήκος της ζώνης του ρήματος του Στρατωνίου, είναι ιδιαίτερα σημαντικά. Παράλληλα, στην ενότητα των Κερδυλλίων παρατηρείται μια πτύχωση με σχηματισμό αντικλίνου που έχει διεύθυνση ANA-ΔΒΔ. Στα όρια του αντικλίνου με το ρήγμα του Στρατωνίου σχηματίζεται η ζώνη τύπου skarn.

Ακολούθως, από γεωτεκτονική άποψη, η Ολυμπιάδα, ο Μαντέμ Λάκκος και οι Μαύρες Πέτρες αποτελούν μέρος της ενότητας Κερδυλλίων, ενώ ο χαλκός και το κοίτασμα χρυσού στις Σκουριές είναι μέρος του σχηματισμού Βερτίσκου. Οι ενότητες Βερτίσκου και Κερδυλλίων ενσωμάτωσαν τη Σερβομακεδονική μάζα (Σχ. 2). Επιπλέον, η σημαντική ζώνη μεταλλεύματος Στρατώνι-Βαρβάρα έχει παραμορφωθεί και μετατοπίσει σε μεγάλο βαθμό την επαφή μεταξύ των ενότητων του Κερδυλλίων και του Βερτίσκου, ενώ εξακολουθεί να είναι μερικώς βαθμιαία.



Σχήμα 2: Γεωλογικός χάρτης της χερσονήσου Χαλκιδικής στην Ανατολική Ευρώπη. (Arvanitidis et al. 2012).

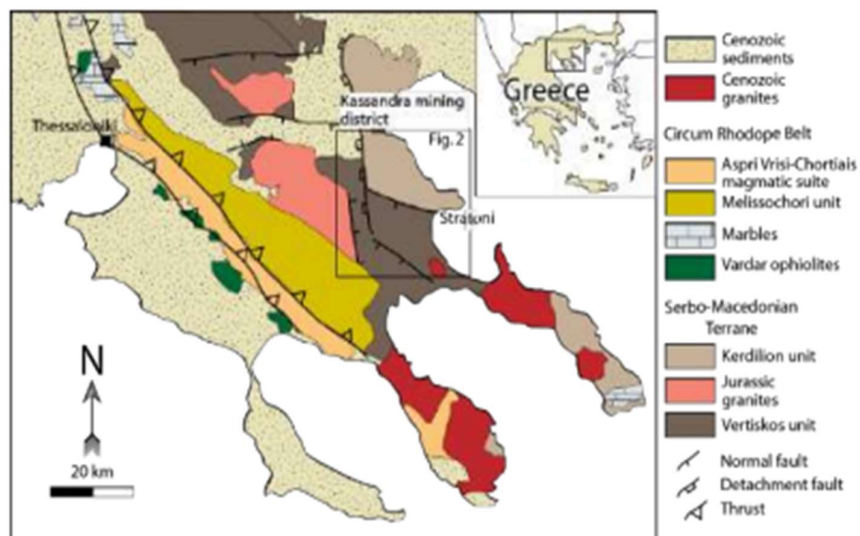
Παρόμοια με την Ολυμπιάδα, ο Μαντέμ Λάκκος και οι Μαύρες Πέτρες είναι περιοχές με κοιτάσματα κερουσίτη. Αυτά τα κοιτάσματα υποστηρίζονται από μάρμαρα του σχηματισμού των Κερδυλλίων. Επιπλέον, η κύρια μετατόπιση του ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας έρχεται σε τεκτονική επαφή με το μάρμαρο του Κερδυλλίων με βιοτιτικό γνεύσιο, και αμφιβολίτη Βερτίσκου.

Τα κοιτάσματα ορυκτών των Σκουριών είναι ένα τμήμα της Σέρβο-μακεδονικής ζώνης πορφυριτικού χαλκού, η οποία κινείται βορειοδυτικά και φθάνει στη Σερβία και τη Ρουμανία μέσω της ΠΓΔΜ. Επιπλέον, μια αλληλουχία ρυολιθικών, διοριτικών, ανδεσιτικών και δακτιτικών σχηματισμών, εισάγονται στα αμφιβολιτικά πετρώματα του Βερτίσκου για να σχηματίσουν τα πορφυριτικού τύπου χαλκού πετρώματα των Σκουριών. Τέλος, οι ζώνες μεταβολής καλίου (K) και αργιλίου (Al), οι οποίες επηρεάζουν κυρίως το σχισμό του μητρικού πετρώματος, είναι αυτά που καθορίζουν το κοιτάσμα (Kalogeropoulos et al 1991).

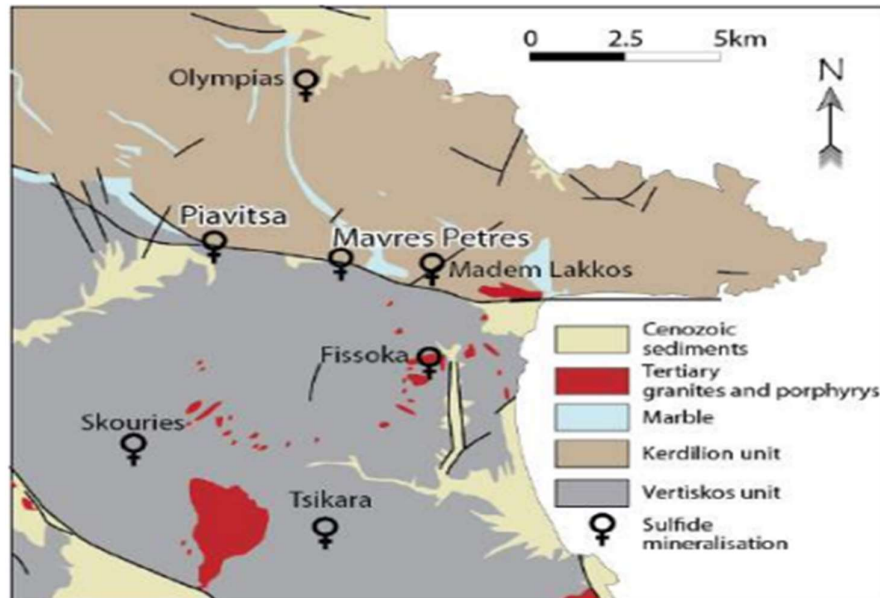
Η Σερβομακεδονική μάζα φιλοξενεί το κοίτασμα Cu-Au των Σκουριών η οποία βρίσκεται στη Χαλκιδική και στη βόρεια Ελλάδα. Αποτελείται από ένα υπόβαθρο το οποίο αποτελείται από ένα σύστημα μεταλλεύματος που βρίσκεται βορειοδυτικά και αποτελείται από τον ανώτερο τμήμα του σχηματισμό Βερτίσκου και την κατώτερη ενότητα Κερδυλλίων και από δύο τεκτονικές μονάδες (Kockel et al. 1977).

Συμπληρωματικά, η Σερβομακεδονική μάζα και η μάζα, Ροδόπης φιλοξενούν ορυκτούς πόρους στην εξορυκτική περιοχή της Κασσάνδρας στη βόρεια Ελλάδα (Σχ. 3,4). Έτσι, η εξόρυξη έχει γίνει σε αυτή την περιοχή για χιλιάδες χρόνια, η παραγωγή και η εύρεση της βάσης και των πολύτιμων μετάλλων εξακολουθούν να είναι σε εξέλιξη (Voudouris et al. 2017).

Όπως φαίνεται στο σχήμα 4, η εξορυκτική περιοχή της Κασσάνδρας μπορεί να βρεθεί στις ενότητες Κερδυλλίων και Βερτίσκου και στη Σερβομακεδονική μάζα. Επιπροσθέτως, τα Ορδοβίσια προς Σιλούρια πετρώματα είναι λευκογρανίτες της ενότητας του Βερτίσκου είναι κατά το Πέρμιο μαγματικό τόξο και τα ανθρακικά που αποτελούν την ενότητα του Κερδυλλίων (Siron et al. 2018). Στο σχηματισμό Κερδυλλίων, η παραμόρφωση των αμφιβολιτικών πετρωμάτων έλαβε χώρα στο μέσο Ηώκαινο.



Σχήμα 3: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής της Χαλκιδικής βόρεια Ελλάδα. Τα αποθέματα Μαύρες πέτρες και Πιάβιστα βρίσκονται κατά μήκος του Στρατωνίου στην εξορυκτική περιοχή της Κασσάνδρας (Melfos και Voudouris 2017 και Siron et al. 2018).



Σχήμα 4: Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της εξορυκτικής περιοχής της Κασσάνδρας. Οι πορφυρίες Cu-Au εμφανίζονται στις Σκούριες, Φισόκα και Τσίκαρα, ενώ οι κοιτάσματα αντικατάστασης ανθρακικού τύπου μάντο αντιπροσωπεύονται από τις μεταλλεύσεις Ag-Pb-Zn στις Μαύρες Πέτρες, Μαντέμ Λάκκος, το κοίτασμα Au-Ag- Pb- Zn Ολυμπιάδας και την προοπτική Πιάβιστα (Siron et al. 2018).

Ακολούθως, τα αποθέματα του ΚΜΔ αποτελούν μέρος της οικονομικά σημαντικής μεταλλουργικής ζώνης της Σερβομακεδονικής μάζας και της μάζας Ροδόπης, η οποία είναι μια τεκτο-μαγματική ζώνη που συνδέει τη Σερβία, την Ελλάδα και τη Βουλγαρία και διασχίζει πολλαπλές τεκτοστρωματογραφικές ενότητες. Ακόμη, με 7,7 moz Au, 68,8 moz Ag, 0,7 Mt Cu, και 1,7 Mt Pb + Zn σε συνολικά αποθέματα που μπορούν να εξορυχθούν, το ΚΜΔ είναι ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα βάσης και πολύτιμων μετάλλων της Ευρώπης (Kilias 2011).

Επίσης, οι τεράστιες κοιτάσματα θειικού Pb-Zn (Ag-Au) γνωστές ως Στρατωνίου (Μαντέμ Λάκκος, Μαύρες Πέτρες) και Ολυμπιάδας είναι κοιτάσματα αντικατάστασης που βρίσκονται στο υπόβαθρο του κοιτάσματος Στρατωνίου-Βαρβάρα. Οι οποίες περιλαμβάνουν τα

απομακρυσμένα τμήματα ενός συστήματος ορυκτών τύπου skarn (Kalogeropoulos et al. 1989, Frei 1995). Επιπλέον παρατηρούμε Cu-Au που βρίσκεται στις Σκουριές, στην ζώνη Στρατωνίου - Βαρβάρας. Επακόλουθα, ο πυρήνας της μάζας Ροδόπης εμφανίστηκε χάρη στην αποκόλληση του γρανίτη, διορίτη και γάββρου, τα οποία τοποθετήθηκαν σε μια μικρή (<10 χλμ) σφήνα (Brun and Sokoutis 2007).

1. Τα κύρια ορυκτά της βορειοανατολικής Χαλκιδικής

Ο χαλκοπυρίτης, ο πυρίτης, ο γαληνίτης, ο σφαλερίτης, ο χρυσός, και τα δευτερεύοντα μέταλλα του χαλκού και του σιδήρου αποτελούν τα ορυκτά της βορειοανατολικής Χαλκιδικής.

Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι τα ορυκτά χρυσού και αργύρου δεν ανακαλύφθηκαν σε συγκεντρώσεις θεικού, δεν υπάρχει οικονομική αξία σε αυτή την παραγωγή μετάλλων. Αυτά τα ορυκτά δεν παρουσιάζουν τεκτονική παραμόρφωση (Shawe, D. R. & Conklin, N. M (1988).

1.1 Χαλκοπυρίτης

Ο χαλκοπυρίτης είναι το σημαντικότερο θεικό ορυκτό. Αυτός μπορεί να βρεθεί ως μικροσκοπικές ενσωματώσεις, και στο σφαλερίτη ως μικρές κηλίδες. Συνήθως βρίσκεται στα κενά μεταξύ των άλλων θεικών, μερικές φορές έχει υπομικροσκοπικά εγκλείσματα ορυκτών του αργύρου. Συχνά μετατρέπεται σε κοβελλίνη και χαλκό (Kassoli-Fournaraki, 1981) (Σχήμα 6).

1.2 Σιδηροπυρίτης

Μεταξύ των κύριων ορυκτών, είναι και ο σιδηροπυρίτης. Εκδηλώνεται ως λεπτά, διασκορπισμένα στρώματα με ζώνες. Έπειτα, το μέγεθος των κόκκων είναι στο εύρος των 3 mm. Εν κατακλείδι, ο σιδηροπυρίτης έχει επίπεδα νικελίου και κοβαλτίου που κυμαίνονται από 0 έως 1,13 τοις εκατό βάρους και 0 έως 2,40 % αντίστοιχα (Sakelariou, D (1989) (Σχήμα 6).



1.3 Σφαλερίτης

Οι κρύσταλλοι του σφαλερίτη, έχουν μέγιστα επίπεδα σιδήρου και μαγγανίου που είναι 2,63 τοις εκατό κατά βάρος. Αντίθετα, οι ορυκτές ζώνες χαλκού στη βόρεια Ελλάδα, οι οποίες είναι πλούσιες σε χρυσό και ασήμι, έχουν 5,60 και 0,10 τοις εκατό κατά βάρος αντίστοιχα από χαλκό (Roedder, J (1984) (Σχήμα 5).

Συνακόλουθος, ένας ή και οι δύο από τους παρακάτω παράγοντες μπορεί να είναι υπεύθυνοι για αυτή τη μείωση του σφαλερίτη : (i) μια πτώση της θερμοκρασίας που συνοδεύεται από μια αύξηση της πτητικότητας του θείου και (ii) μια αλληλεπίδραση μεταξύ των υγρών που φέρουν χαλκό και του σιδήρου από σφαλερίτη (Scott & Barnes 1971, Barton & Toulmin 1966, Scott 1976).

1.4 Γαληνίτης

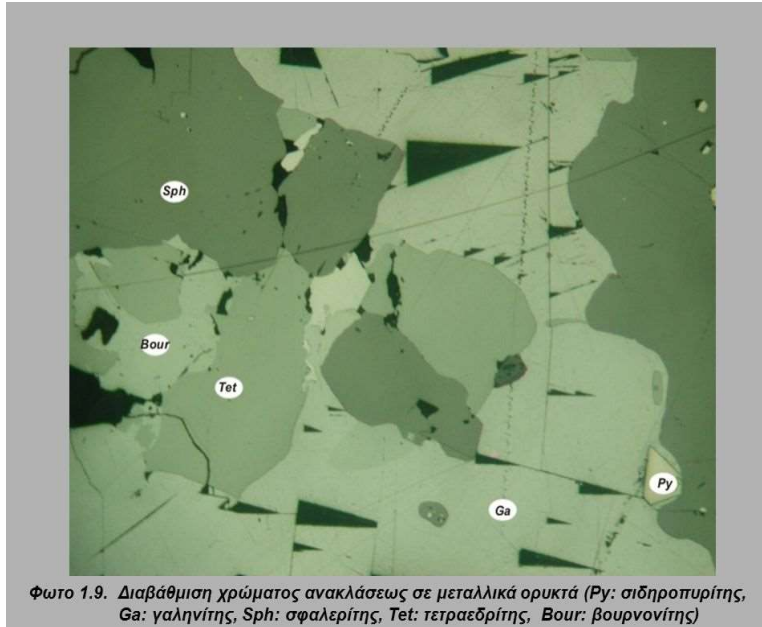
Παρόμοια με το σφαλερίτη, ο γαληνίτης βρίσκεται σε μικρές ποσότητες. Η περιεκτικότητά του σε τελούριο και ασήμι μπορεί περιστασιακά να φτάσει μέχρι το 0,29 τοις εκατό κατά βάρος, το 3,42 τοις εκατό ανά βάρος, και το 0,45 % κατά βάρος αντίστοιχα (Vavelidis, M. ;1994) (Σχήμα 5).

Το τελευταίο βρίσκεται γύρω από τα όρια του (η λεγόμενη "ασθένεια του χαλκοπυρίτη"), σύμφωνα με μια ανάλυση της φασματικής σχέσης μεταξύ χαλκοπυρίτη και σφαλερίτη. Τέλος, η συγκέντρωση σιδήρου των κόκκων σφαλερίτη μειώνεται κατά μήκος επιλεγμένων περιοχών (Scott & Barnes 1971, Barton & Toulmin 1966, Scott 1976).

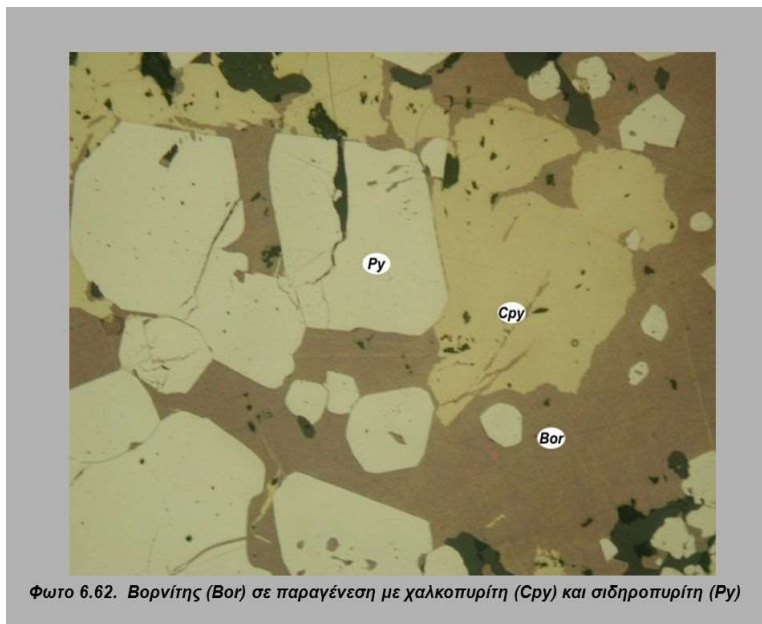
1.5 Χρυσός

Ο λειμονίτης και περιστασιακά ο χαλαζίας είναι οι κύριες πηγές χρυσού. Επιπλέον, το μέγεθος των χρυσών κόκκων κυμαίνεται από 2 έως 100/tm (Mack, E (1964)). Ακόμη, οι συγκεντρώσεις χαλκού του χρυσού κυμαίνονται από 0,04 έως 0,6 τοις εκατό κατά βάρος στις μεταλλεύομενες

ζώνες του χάλυβα της Βόρειας Ελλάδας. Καταληκτικά, τα ποσοστά του χαλκού ήταν 0,85 και 1,10 τοις εκατό κατά βάρος, αντίστοιχα.



Σχήμα 5: Μικροσκοπική απεικόνιση των γαληνίτη (ga), σφαλερίτη (sph), σιδηροπυρίτη (py), τετραεδρίτη (tet) και βουρνονίτη (bour). (<https://slideplayer.gr/>)



Σχήμα 6: Μικροσκοπική απεικόνιση χαλκοπυρίτη (cpy) σιδηροπυρίτη (py) και βουρνίτη (bor). (<https://slideplayer.gr/>)

2. Κοιτάσματα αντικατάστασης

Στην βορειοανατολική Χαλκιδική στην περιοχή της Ολυμπιάδας, στο Στρατώνι, στις Μαύρες Πέτρες, στα Πιάβιστα και στον Μαντέμ Λάκκος συναντάμε τα κυριότερα κοιτάσματα θειούχων Zn-Pb-Ag-Au αντικατάστασης. Πιο συγκεκριμένα η εκμετάλλευση πραγματοποιείται στις Μαύρες Πέτρες και στην Ολυμπιάδα, ενώ μελλοντικά θα πραγματοποιηθούν και στην Πιάβιστα. Επίσης οι περιοχές αυτές είναι μέρος της Σέρβο-μακεδονικής ζώνης και συγκεκριμένα της ενότητας Κερδυλλίων. Ακόμη, από λιθολογικής άποψης περιέχουν μάρμαρα, αμφιβολίτες και γνεύσιους που χρονολογούνται κατά το Παλαιοζωικό .

Συμπληρωματικά, τα ορυκτά κατατίθεται σε βαθύτερες ζώνες παρέχοντας χώρο για την αντικατάσταση τους και το σχηματισμό των πλευρικών μορφών φακών (μάντο). Έτσι, αυτά τα μάντο κατατίθενται συχνά στη ζώνη επαφής μεταξύ των μαρμάρων και των επιφανειακών πετρωμάτων. Επιπρόσθετα, στη Σερβομακεδονική μάζα, λόγω της ύπαρξης ρήγματος αποκόλλησης, διαχωρίστηκαν οι ενότητες των Κερδυλλίων και Βερτίσκου, καθώς και με ένα κανονικό ρήγμα νότια του Στρατωνίου. Εξαιτίας αυτού, παρατηρείται θραυσιγενής παραμόρφωση στα πετρώματα κυρίως στα μάρμαρα. Η διάκριση της θραυσιγενής παραμόρφωσης εμφανίζεται με τα breccias, τα οποία είναι τεκτονικά λατυποπαγή, καθώς και με την έντονη καπόνηση των πετρωμάτων (Kalogeropoulos et al. 1989; Arvanitidis N. 1993)

2.1. Μαντέμ Λάκκος και Μαύρες Πέτρες

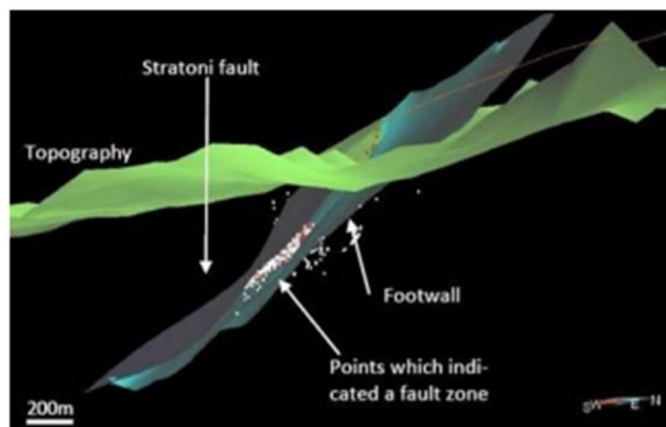
Ο Μαντέμ Λάκκος είναι μία περιοχή με κοιτάσματα κερουσίτη. Αυτές οι κοιτάσματα υποστηρίζονται από μάρμαρα του σχηματισμού Κερδυλλίων. Επιπλέον, η κύρια μετατόπιση του Στρατωνίου- Βαρβάρας έρχεται σε τεκτονική επαφή με το μάρμαρο του Κερδυλλίων με βιοτιτικό γνεύσιο, και με αμφιβολίτη Βερτίσκου.

Το νοτιότερο τμήμα της Σερβομακεδονικής ζώνης είναι μια μάζα μεταμορφωμένων πετρωμάτων που εκτείνεται προς τα βόρεια στη Βουλγαρία και την ανατολική Γιουγκοσλαβία,

βρίσκεται κάτω από την Ανατολική Χαλκιδική στη βόρειο Ελλάδα. Επιπλέον, η Σερβομακεδονική μάζα στην Ελλάδα συνορεύει προς τα δυτικά με τη μεταμορφική ζώνη της Ροδόπης και προς τα ανατολικά με μεσοζωικά ιζήματα της ζώνης Αξιού (Kaufmann et al (1976). Τέλος, η Σερβομακεδονική μάζα χωρίστηκε στην ενότητα Βερτίσκου στα δυτικά και την ενότητα Κερδυλλίων στα ανατολικά (Kaufmann et al (1977).

Οι Dixon and Dimitriadis (1984) πρότειναν ότι η ενότητα του Κερδυλλίων θα μπορούσε να ήταν μια εντελώς ξεχωριστή τεκτονική ενότητα που βρίσκεται τεκτονικά δίπλα στην ενότητα Βερτίσκου κατά τη διάρκεια της τριτογενούς ορογένεσης, που αποδεικνύεται από ισοτοπικές αναλύσεις. Παρόμοια και οι Papanicolaou et al (1984) στην τεκτονική ανασυγκρότησή τους πρότειναν επίσης την ενότητα Κερδυλλίων ως μια ξεχωριστή ενότητα.

Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο (3D) μοντέλο του ορυκτού σώματος από την περιοχή Μαύρες πέτρες, λαμβάνοντας υπόψη τη σύνθετη κατανομή των μετάλλων και το γενικό γεωλογικό περιβάλλον. Μαζί με αυτό, η δημιουργία του ολοκληρωμένου τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου του ορυχείου Μαύρες Πέτρες περιελάμβανε τη σύγκριση και την ενσωμάτωση όλων των προσβάσιμων δεδομένων και πηγών πληροφοριών (Penet 2010) (σχήμα 7).



Σχήμα 7: Η επέκταση ζώνης ρήγματος Στρατονίου – Βαρβάρας και ρηγματικές δομές που υποδεικνύονται από λευκές κουκίδες που αντιστοιχούν σε παρατηρήσεις και περιγραφές των ζωνών μολώνιτη, breccia στις διαθέσιμες πυρήνες γεώτρησης. (Penet 2010).

Στο Στρατώνι εντοπίστηκε το κοιτάσμα Pb-Zn-Ag-Au αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων κατά μήκος του ρήγματος με διεύθυνση στα νότια. Στο όριο μεταξύ των ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων εμφανίζεται αυτή η μεταλλοφορία (Melfos and Voudouris 2017). Επίσης κατά το αρχικό στάδιο τα ρευστά κινήθηκαν προς τις διακλαδώσεις των ρηγμάτων και των μαρμάρινων φακών, με συνέπεια την δημιουργία κοιτάσματος αντικατάστασης συμπαγών θειούχων πετρωμάτων. Ειδικότερα, η μεταλλοφορία αυτή αποτελείται από αρσενοπυρίτη, σιδηροπυρίτη και σε μεγαλύτερες ποσότητες σφαλερίτη και γαληνίτη.

Σύμφωνα με την Eldorado Gold Corporation (2018), η Hellas Gold λειτουργεί τώρα ένα υπόγειο ορυχείο με μετρημένους και δηλωμένους πόρους 0,58 Mt σε 161 g/t Ag, 6,2% Pb. Επιπλέον, ο σιδηροπυρίτης είναι εμφανής ως μικρές ενσωματώσεις σφαλερίτη και γαληνίτη ή εμφανίζεται με τη μορφή διάσπαρτων κρυστάλλων. Ο στερεός σιδηροπυρίτης έχει συνήθως μέγεθος κόκκου μικρότερο από 1 mm και εμφανίζεται σε σφαλερίτη και γαληνίτη, ενώ ο διάσπαρτος σιδηροπυρίτης έχει μέγεθος έως και μερικά εκατοστά. Ακόμη, και οι δύο τύποι σιδηροπυρίτη παρουσιάζουν χωροθέτηση και εμφανίζονται μαζί με λιγότερο θειώδη άλατα. Ακόμη, στον διάσπαρτο σιδηροπυρίτη, η αύξηση του As σχετίζεται στενά με το Au, αυξάνοντας από λίγα ppm του κρυσταλλικού πυρήνα σε περίπου 10 ppm. 20ppm Au. Εξάλλου, ο σιδηροπυρίτης που σχηματίζεται στα αρχικά στάδια είναι ελαφρώς εμπλουτισμένος ώστε να φαίνεται στείρος σε Au.

Λόγω της ύπαρξης του ρήγματος του Στρατωνίου οι θειούχες ενώσεις μειώνονται και φιλοξενούνται από μαρμάρινους φακούς που αποτελούνται από χαλαζία, βιοτιτικό γνεύσιο, σχιστόλιθο και αμφιβολίτες (Kalogeropoulos et al., 1989). Η δομή και η ορυκτολογία των σουλφιδίων είναι παρόμοια με αυτή των κοιτασμάτων Μαντέμ Λάκκο και Ολυμπιάδα. Επιπλέον, η μεταλλική μάζα αποτελείται από πυκνό έως ταινιωτό, χονδρόκοκκο σιδηροπυρίτη-σφαλερίτη-γαληνίτη με ελάχιστο αρσενοπυρίτη και ίχνη χαλκοπυρίτη. Το

δυτικό τμήμα του ορυκτού σώματος περιέχει κυρίως συσσωματώματα σουλφιδίων και σφαλερίτη. Ο σιδηροπυρίτης που απαντάται σε θειούχα ορυκτά πλούσια σε σφαλερίτη αναπτύσσεται τοπικά, παρόμοιος με τον σιδηροπυρίτη που εμφανίζεται στο κοίτασμα της Ολυμπιάδας (Siron et al., 2016). Μεταγενέστερα λατυποπαγή (breccia) που σχετίζονται με την μεταλλοφορία της ζώνης του ρήγματος Στρατωνίου με την θειούχο μεταλλοφορία. Επιπρόσθετα τα breccia με πυρίτιο που περιέχουν ινώδη έως βελονοειδή αρσеноπυρίτη, εμφανίζονται σε σχέση με φλέβες χαλαζία- ροδοχρωσίτη και φλεβικά breccia, που συνήθως παρουσιάζουν μεγάλες ποσότητες Au.

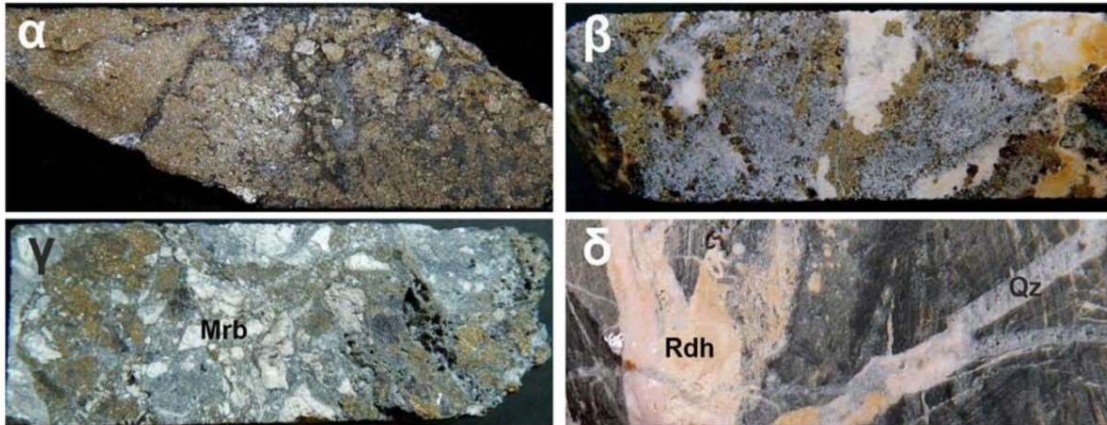
2.2 Πιάβιστα

Η περιοχή Πιάβιστα είναι διάσημη για το μαγγάνιο της, με επιφανειακές εξορύξεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή τη δεκαετία του 1960. Το μήκος του ρήγματος Στρατωνίου φαίνεται να στρέφεται προς τα νότια κατά μήκος της επαφής του γρανιτικού γενέσιου με τον βιοτίτη, σχιστόλιθο και μάρμαρο (Melfos and Voudouris 2017).

Περίπου 5 χιλιόμετρα δυτικά από τις Μαύρες Πέτρες κατά μήκος του Στρατωνίου, βρίσκεται η ζώνη Πιάβιστα. Πρόκειται για ένα κοίτασμα Pb-Zn-Au-Ag από αντικατάσταση του ανθρακικού πυριτίου και του μαγγανίου που συνδέεται με φλέβες Au που είχε προηγουμένως ερευνηθεί και εξορυχθεί μαγγάνιο. Ακόμη, η Gold Hellas (2018) εκτιμά ότι περιέχει 10.54 Mt σε 57 g / t Ag και 5.7 g / T Au. Καταληκτικά, το κοίτασμα στις Μαύρες Πέτρες διέπεται κυρίως από το κοίτασμα Στρατωνίου. Συνακόλουθος, η μαζική μεταλλοποίηση θεικού οξέος βρίσκεται στο κοίτασμα, αντικαθιστώντας το μάρμαρο που ήταν προηγουμένως καλυμμένο από αμφιβολίτη. Στο κοίτασμα αυτό συναντώνται θειούχα, χαλαζιακές φλέβες και ροδοχρωσίτες που έχουν χρυσό (Siron et al. 2016; Melfos and Voudouris 2017).

Τα πλούσια σε χαλαζία και σε μαγγάνιο σώματα αντικατάστασης είναι επιφανειακές εμφανίσεις ασυνεχών θειούχων ζωνών. Αυτά τα σουλφίδια εντοπίζονται κυρίως σε μαρμάρινους φακούς εντός της ζώνης του ρήγματος Στρατωνίου, σε ένα περιβάλλον παρόμοιο

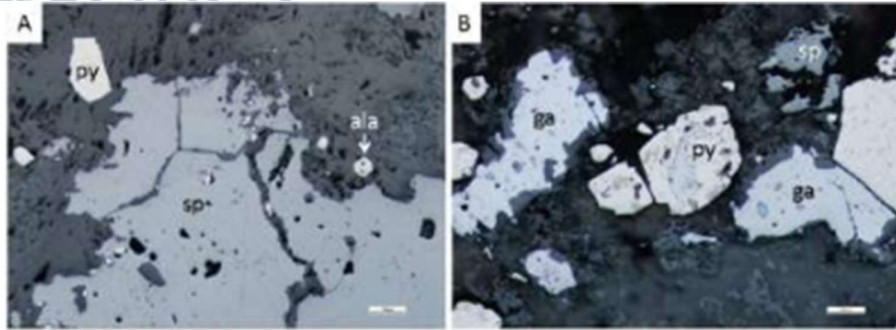
με τα κοιτάσματα στις Μαύρες Πέτρες. Ακόμη, οι φλέβες εμφανίζονται κυρίως σε χαλαζία, μωσχοβίτη, σχιστόλιθο, γνεύσιο και αμφιβολίτη (σχήμα 8). Οι φλέβες χαλαζία και ροδοχρωσίτη είναι παρόμοιες με εκείνες στα ανώτερα τμήματα των κοιτασμάτων Ολυμπιάδας και Μαύρες Πέτρες (Siron et al., 2019).



Σχήμα 8: Μακροσκοπικές εικόνες από το κοιτάσμα στην Πιάβιτσα. α. Συμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη. β. Ημισυμπαγής μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη, γαληνίτη με σύνδρομα ορυκτά χαλαζία και ασβεστίτη. γ. Λατυποπαγές ημισυμπαγούς μεταλλοφορίας με σιδηροπυρίτη, σφαλερίτη. Οι λατύπες αποτελούνται από μάρμαρο. δ. Επιθερμικές φλέβες ροδοχρωσίτη και χαλαζία (Μέλφος και Βουδούρης, 2022).

Εκτός από την οξειδωση, ο σφαλερίτης έχει συχνά σπασίματα γεμάτα με ανθρακικά. Επίσης, ο σιδηροπυρίτης έχει μεγάλη περιεκτικότητα σε γαληνίτη και σφαλερίτη. Βρίσκεται συνήθως σε ανθρακικά, όπου συχνά παίρνει τη μορφή μικρών κρυστάλλων (Σχήμα 9).

Στην συνέχεια, ο σφαλερίτης, ο σιδηροπυρίτης, ο αρσενοπυρίτης και ο γαληνίτης είναι τα κύρια ορυκτά που μελετώνται. Καθώς ενσωματώνονται στα ανθρακικά του μητρικού πετρώματος, οι απομονωμένοι κόκκοι γαληνίτη διαβρώνονται, και συχνά σπάνε, και έχουν ζώνες γύρω τους που μπορεί να περιλαμβάνουν κερουσίτη (Σχήμα 9). Επιπρόσθετα, οι εξεταζόμενοι κόκκοι συχνά περιέχουν ενσωματώσεις φάσεων Pb-Sb-Ag-As και έχουν τιμές Ag περίπου 2000 ppm.



Σχήμα 9: Εικόνες του ορυχείου στην Πιαβίτσα. α. σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη β. Σιδηροπυρίτης με ενσωμάτωση γαληνίτη και σφαλερίτη. py – σιδηροπυρίτη, sp – σφαλερίτης, ga-γαληνίτη.

2.3 Ολυμπιάδα

Η κατάθεση των ορυκτών της Ολυμπιάδας είναι κοίτασμα αντικατάστασης θεικού ορυκτού που είναι πολυμεταλλικό (Pb, Zn, Ag, και Au) και υπέρκειται από μάρμαρα Κερδύλιων. Σύμφωνα με τους Kalogeropoulos et al (1989) και Arvanitidis N (1993), τα ορυκτά υπόκεινται παρέχοντας χώρο για την αντικατάσταση και το σχηματισμό των πλευρικών μάντο. Συμπληρωματικά, η ηλικία του χρονολογείται στο Ολιγόκαινο (22,6 εκατομμύρια χρόνια πριν). Η περιοχή κυριαρχείται από δυο ρήγματα : ΒΔ-ΝΑ, ρήγμα Κασσάνδρας και Β-Ν, ανατολικό ρήγμα, τα οποία είναι αρκετά μεγάλα ρήγματα που εντοπίζονται κυρίως από υπόγειες και ερευνητικές γεωτρήσεις. Μεταξύ αυτών υπάρχει ένα σημείο όπου βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος του ιζήματος.

Ειδικότερα, βρίσκεται σε αμφιβολίτες μεταμορφωμένα πετρώματα της ενότητας Κερδυλλίων, το οποίο θεωρείται από πολλούς γεωλόγους ως το δυτικό τμήμα της Σερβομακεδονικής ζώνης. Αυτή η ακολουθία αντικατοπτρίζει μια μεταμορφωμένη ωκεάνια ιζηματογενή-ηφαιστειακή ακολουθία Μεσοζωικής ηλικίας. Κυριαρχείται από αλληλουχίες βιοτίτη-χαλαζία και περιέχει αρκετές εμφανίσεις μαρμάρου και αμφιβολίτη. Επιπλέον, πολλά ιζήματα εμφανίζονται μεταξύ του ρήγματος της Κασσάνδρας, αλληλοεπιδρούν με το ανατολικό ρήγμα, και ίσως με ένα δευτερεύον ρήγμα με μια νοτιοδυτική κλίση που βρίσκεται στη θέση του φακού της κεντρικής ζώνης, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την υπερκάλυψη των ιζημάτων από breccia.

Αρχικά, όσον αφορά τα βασικά μέταλλα με σιδηροπυρίτη και κυρίαρχους τύπους μεταλλοφορίας, ορίζονται οι παρακάτω διαβαθμισμένες παραλλαγές.

- Τύπος μεταλλοφορίας 1:

Μεταλλοφορία γαληνίτη-σφαλερίτη με σιδηροπυρίτη: Αυτός ο τύπος εμφανίζεται συνήθως ως συμπαγής μεσαίου μεγέθους έως και χονδρόκοκκος σφαλερίτης-γαληνίτης-πυρίτης-αρσενοπυρίτης με μεταβλητή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη. Τα θειούχα ορυκτά είναι τυπικά ογκώδη αλλά μπορεί να είναι ταινιωτά. Αυτός ο τύπος μεταλλοφορίας είναι ευρέως διαδεδομένος και κυρίαρχη πηγή μετάλλων Zn-Pb-Ag στο συγκεκριμένο κοίτασμα.

- Τύπος μεταλλοφορίας 2:

Μεταλλοφορία με κυρίαρχο τον σιδηροπυρίτη: Γενικά περιλαμβάνει σιδηροπυρίτη με παρουσία ασβεστίτη (David Rhys et al 2013). Παρουσιάζονται μεταβλητές ποσότητες αρσενοπυρίτη, γαληνίτη και σφαλερίτη διαμέσου ή διάσπαρτα στον σιδηροπυρίτη. Αυτός ο τύπος μεταλλοφορίας, όπου παρατηρήθηκε, εμφανίζεται γενικά σε χωρική συσχέτιση με τον τύπο μεταλλοφορίας 1. Ο τύπος μεταλλοφορίας 2 δεν βρέθηκε τόσο άφθονος όσο οι τύποι 1 ή 3. Τέλος διαβαθμίζεται στον τύπο μεταλλοφορίας 7 με την αύξηση της περιεκτικότητας σε As.

- Τύπος μεταλλοφορίας 3:

Μίξη σιδηροπυρίτη-σφαλερίτη-γαληνίτη-αρσενοπυρίτη: Τύπος που ορίζεται ως μια μεταβατική ποικιλία μεταξύ των τύπων 1 και 2 με υψηλή περιεκτικότητα σε βασικά μέταλλα και σε σιδηροπυρίτη-αρσενοπυρίτη, συχνά εμφανίζεται σε ζώνες (David Rhys et al 2013). Μπορεί τοπικά να έχει υψηλή περιεκτικότητα σε ασβεστίτη. Οι υπόγειες παρατηρήσεις υποδηλώνουν ότι οι πλούσιες σε σιδηροπυρίτη αρσενοπυρίτη ταινίες αυτού του τύπου μεταλλοφορίας μπορούν να παρατηρηθούν παραπλήσια προς τον τύπο μεταλλοφορίας 7. Έπειτα και όσον αφορά τους τύπους μεταλλοφορίας πλούσιους σε αρσενοπυρίτη και σιδηροπυρίτη ορίζονται οι παρακάτω τύποι.

Συνήθως περιέχουν χαμηλού βαθμού συγκεντρώσεις βασικών μετάλλων ή/και χρυσού, αλλά οι οποίες μπορεί να επεκτείνουν τοπικά τις μεταλλοφορίες, ιδίως στο βόρειο τμήμα του κοιτάσματος. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- Τύπος μεταλλοφορίας 4 και 5: Πυριτική αλλοίωση (τύπος 4) και φλέβες θειούχων ορυκτών (τύπος 5).
- Τύπος μεταλλοφορίας 6: πυριτική μεταλλοφορία, συχνά σε breccia.

Αυτός ο τύπος μεταλλοφορίας περιλαμβάνει συνήθως μια πυριτική μεταλλοφορία που έχει μεταβλητή περιεκτικότητα σε θειούχα ορυκτά, με την περιεκτικότητα σε αυτά συχνά να ποικίλλει έντονα. Μπορεί να ποικίλλει από ταινιωτό πυριτικό και μη σπασμένο έως εκτεταμένα διαστήματα πυριτικού breccia που περιέχει γωνιώδη αλλοιωμένα θραύσματα. Σε ορισμένους τομείς εμφανίζεται πρισματικός χαλαζίας. Τα έντονα θρυμματισμένα διαστήματα είναι συχνά χαμηλής περιεκτικότητας σε θειούχα (David Rhys et al 2013). Ο αρσενοπυρίτης, ο σιδηροπυρίτης με λιγότερο σφαλερίτη και γαληνίτη είναι τα κυρίαρχα θειούχα ορυκτά, ο αρσενοπυρίτης μπορεί να είναι ακανθοειδής. Ίχνη στον τύπο 7 σε πολλές περιοχές.

- Τύπος μεταλλοφορίας 7: Μεταλλοφορία πλούσια σε αρσενοπυρίτη-κύρια πηγή Au. Αποτελείται από συμπαγή και ταινιωτή μεταλλοφορία που κυριαρχείται από μπλοκ ή ακτινωτό αρσενοπυρίτη και σιδηροπυρίτη με χαλαζία κοινό ως άλας. Εντοπίζεται συνήθως σε συνδυασμό με τον τύπο μεταλλοφορίας 6 και μπορεί να έχει ζώνες και ίχνη βασικών μετάλλων. Οι πρόσθετοι τύποι μεταλλοφορίας είναι περιφερειακοί των άλλων τύπων και αντιπροσωπεύουν αλλοίωση ή πλευρικές μεταβάσεις του κοιτάσματος και ο τύπος μεταλλοφορίας 8 που είναι μεταλλοφορία πλούσια σε μαγγάνιο (David Rhys et al 2013).

Το δημιουργημένο 3D μοντέλο απεικονίζει τα σημαντικά μάντο αντικατάστασης μέσα στα μάρμαρα, καθώς και την ελεγχόμενη διάταξη των σωματιδίων μετάλλων. Παρομοίως, υπάρχουν ενδείξεις για μια βαθύτερη επέκταση του δυτικού σώματος μετάλλων, το οποίο θα

μπορούσε να αποτελέσει αντικείμενο περισσότερων υπόγειων μελετών και ανασκαφικών γεωτρήσεων.

2.4 Κοίτασμα Cu-Au στις Σκουριές

Η Σερβομακεδονική μάζα φιλοξενεί το κοίτασμα Cu-Au των Σκουριών η οποία βρίσκεται στη Χαλκιδική και στη βόρεια Ελλάδα. Αποτελείται από ένα υπόβαθρο το οποίο διαιρείται από ένα σύστημα μεταλλεύματος που βρίσκεται βορειοδυτικά και αποτελείται από τον ανώτερο σχηματισμό Βερτίσκου και την κατώτερη ενότητα Κερδυλλίων και από δύο τεκτολιθοστρατογραφικές μονάδες. Σύμφωνα με τους Kockel et al (1977), Tobey et al (1998), η ενότητα του Βερτίσκου αποτελείται από γνεύσιο, αμφιβολίτη, σχιστόλιθο και μάρμαρο, καθώς και από τριτογενείς αποθέσεις οφειολίθου και ηφαιστειακά πετρώματα που συνδέονται με τις κοιτάσματα πορφυριτικού Cu της γύρω περιοχής.

Σύμφωνα με τους Tobey et al (1998), τα προσδιορισμένα αποθέματα είναι περίπου 206 Mt σε 0,54 % Cu και 0,80 ppm Au. Οι Kroll et al.(2002) έχουν περιγράψει τουλάχιστον τέσσερις μονζονιτικούς πορφυρίτες. Ακόμη, τα αρχικά μάγματα χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες με βάση τη μείωση της ηλικίας και τον αυξανόμενο βαθμό κλασματισμού: (1) ροζ μονζονίτη, (2) κύριο μονζονίτη (3) ένδο-μεταλλικό μονζονίτη και (4) πορφυριτικού τύπου. Επίσης, οι κύριες φάσεις του μονζονίτη συνδέονται άμεσα με το ορυκτό υψηλής ποιότητας (Kroll et al. 2002).

Αναμφίβολα, η Σερβομακεδονική μάζα και η μάζα Ροδόπης φιλοξενούν ορυκτούς πόρους στην εξορυκτική περιοχή της Κασσάνδρας στη βόρεια Ελλάδα. Έτσι, η εξόρυξη έχει γίνει σε αυτή την περιοχή για χιλιάδες χρόνια, η παραγωγή και η εύρεση της βάσης και των πολύτιμων μετάλλων εξακολουθούν να είναι σε εξέλιξη (Voudouris et al. 2017).

Τόσο η ενότητα Βερτίσκου όσο και η ενότητα Κερδυλλίων παρουσιάζονται σε ζώνες διάρρηξης, τα οποία συνδέονται με φλέβες που βρέθηκαν κατά μήκος μιας ζώνης που τείνει βορειοανατολικά. Αυτές οι φλέβες προέρχονταν από το Ολιγόκαινο και το Μειόκαινο, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια δύο φάσεων μαγματισμού (Siron et al. 2018). Ακόμη, η

εκτεταμένη τεκτονική η οποία ξεκίνησε στα μέσα του Ηωκαίνου και συνεχίστηκε μέχρι το Νεογενές δημιούργησε ή επανενεργοποίησε τις ζώνες αποκόλλησης. Επιπλέον, οι σημαντικότεροι τύποι μεταλλευμάτων στην εξορυκτική περιφέρεια της Κασσάνδρας είναι οι αποθέσεις (Πιάβιτσα), οι αντικαταστάσεις ανθρακικού τύπου μάντο (Μαύρες Πέτρες, Μαντέμ Λάκκος, Ολυμπιάδα, Πιάβιτσα) και οι αποθήκες πορφυρικού Cu-Au (Σκουριές) (Melfos and Voudouris 2017).

Επιπρόσθετα, το κοίτασμα των πορφυριτών γίνεται σε ηφαιστίτες ή πλουτωνίτες μικρού βάθους που εμφανίζουν συμπαγή μορφή ή είναι ενσωματωμένοι στα περιβάλλοντα τους πετρώματα. Ακόμη, τα μεταλλικά ορυκτά, κυρίως τα θειούχα όπως ο χαλκοπυρίτης ή ο μολυβδαινίτης, αναπτύσσονται συνήθως υπό μορφή φλεβών στον πυρήνα των πορφυριτικών μεταλλοφοριών. Ακόμη, το κοίτασμα σχετίζεται με μια διείσδυση που αποτελείται από πολλές φάσεις πορφυριτικού και χαλαζιακού μονζονίτη που διεισδύουν με διεύθυνση προς τα νότια. Επιπλέον, οι εξορύξεις και οι γεωτρήσεις δημιουργούν ένα διεισδυτικό σώμα με διάμετρο 200 m, με απότομη κλίση, που υπερβαίνει τα 900 m σε βάθος και με πορφυριτικές δομές που προβάλλουν προς τα έξω από το κέντρο της διείσδυσης. Τέλος, οι επαφές του διεισδυτικού υλικού είναι απότομες και ασύμφωνες με τη φολίδωση και είναι τοπικά σπασμένες.

Παράλληλα, το πρωτογενές κοίτασμα Cu και Au αναγνωρίζεται κατά τη διάρκεια των συνολικών φλεβών του "κύριου σταδίου", που συνδέονται με διεισδύσεις συνηνίτη. Υπάρχουν τρία στάδια φλεβών, τα M-3, M-4 και M-5, τα οποία περιέχουν την πλειοψηφία του κοιτάσματος, με χαλαζία και με χαλκοπυρίτη, ενώ κατά μήκος αυτών των κύριων φλεβικών συνόλων παρατηρείται καλιούχος αλλοίωση.

Το γεγονός που καθιστά την περιοχή των Σκουριών σημαντική είναι ο εμπλουτισμός τους σε στοιχεία της ομάδας του λευκόχρυσου (PGE), πιο συγκεκριμένα κυρίως η υψηλή αναλογία Pd προς Pt. Τα ορυκτά Pd παρατηρούνται σε συνδυασμό με τα ορυκτά της καλιούχου αλλοίωσης μέσα στα σύνολα φλεβών του κοιτάσματος. Τα ορυκτά αυτά εμφανίζονται σε μικρούς

σχηματισμούς κοντά στο σημείο μεταξύ θειούχων και πυριτικών ορυκτών, όπως και σε εγκλείσματα εντός υδροθερμικών κρυστάλλων χαλαζία και θειούχων (McFall et al 2018).

Η Χαλκιδική φιλοξενεί το κοίτασμα πορφυριτικού τύπου Cu-Au-Pd-Pt του Μειοκαίνου στις Σκουριές. Σύμφωνα με τους Frisch (1995) και Kroll et al (2002), τα αποθέματα στις Σκουριές είναι περίπου 206 Mt σε 0,54 % Cu και 0,80 ppm Au. Επιπλέον, σύμφωνα με τα πρόσφατα στοιχεία γεώτρησης της TVX Gold Inc. Hellas, το κοίτασμα στις Σκουριές χτίζεται γύρω από δύο συναφή κέντρα πορφυριτικού τύπου σε βάθη μεταξύ 650 και 800 μέτρων (Tobey et al. 1998). Συμπληρωματικά, αναλύθηκε ένα σύνθετο δείγμα γεώτρησης (~15 K) και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι έχει υψηλή περιεκτικότητα σε Pd που κυμαίνεται από 60 έως 200 ppb Pd, με μέσο όρο 110 ppb Pd και μέχρι 5000 ppm Cu (Economou-Eliopoulos 2000).

Καταλήγοντας, η ορυκτολογική σύσταση των μεταλλικών ορυκτών αποτελείται κυρίως από σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, βορνίτη και μαγνητίτη, ελάχιστο γαληνίτη, τετραεδρίτη και σπάνια μολυβδαινίτη. Τέλος, ο χρυσός βρίσκεται σε αυτοφυή μορφή μέσα στον χαλκοπυρίτη.

3. Το ορυχείο στο Μαντέμ Λάκκο

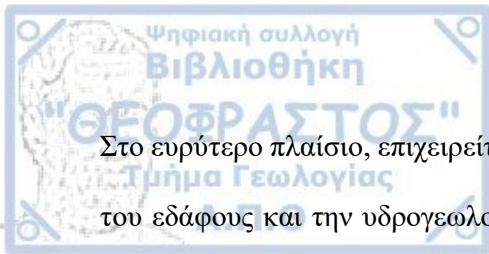
Δεν υπάρχουν πολλές υπόγειες εκθέσεις της ενότητας των Κερδυλλίων, και σπάνια βρίσκονται σε επαφές με μάρμαρο ή ορυκτό. Στην πραγματικότητα, η πλειοψηφία του γνευσίου που μελετήθηκε σε αυτή τη μελέτη ήταν αμφιβολικής φύσης. Αυτός ο γνεύσιος είναι ομοιόμορφος με γκρι-πράσινο χρώμα, και αποτελείται από λεπτά τμήματα πλαγιόκλαστου, ασβεστίτη και ακτινόλιθου. Υπάρχουν επίσης μικρές ποσότητες του χαλαζία, του επιδότου και του ζirkονίου. Το πάχος του μάρμαρου στο ορυχείο Μαντέμ Λάκκος ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό, μέχρι και 300 μέτρα. Επίσης, περιέχει δολομίτη σε λεπτούς κόκκους έως χονδροειδείς. Ακόμη, έχει ίχνη γραφίτη, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο συνεχείς και εξαιρετικά λεπτά υπό-παράλληλα, χαρακτηρίζουν το banding, το οποίο συχνά διπλώνεται τόσο σε μικρές όσο και σε μεγάλες κλίμακες.

4. Επιπτώσεις από την εξορυκτική δραστηριότητα

Η εφαρμογή της προστασίας του περιβάλλοντος, η οποία αποτελεί ουσιαστική πτυχή τόσο των πολιτιστικών όσο και των αναπτυξιακών διαδικασιών και πολιτικών, βασίζεται κυρίως στον δημοκρατικό προγραμματισμό. Οι επιχειρήσεις πρέπει να τηρούν πολυάριθμους νόμους προκειμένου να διασφαλιστεί η συμμόρφωση. Για να συμμετάσχουν ενεργά στη βιομηχανία εξόρυξης, είναι ζωτικής σημασίας για τις εταιρείες να δώσουν προτεραιότητα στην Περιβαλλοντική Διαχείριση και να προσπαθούν για συνεχείς βελτιώσεις. Αυτό περιλαμβάνει την τήρηση της νομοθεσίας σχετικά με τη βιομηχανική ρύπανση και την επέκταση της προστασίας στις πηγές αέρα και νερού.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 69269/5387/90 (ΦΕΚ 678/Β), η μεταλλευτική εταιρεία υποχρεούται να υποβάλει ολοκληρωμένη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Χωροταξίας Δημοσίων Έργων πριν από την έναρξη λειτουργίας (TVX Hellas, ΜΠΕ έργου Ολυμπιάδας, 1993,1999). Αυτή η μελέτη θα παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Το έργο δεν περιλαμβάνει μόνο την αναγνώριση του ζητήματος, αλλά περιλαμβάνει και προτάσεις για την πρόληψη και την αντιμετώπισή του. Κατόπιν τούτου, οι περιβαλλοντικοί όροι εργασίας του ορυχείου ΚΥΑ επικυρώνονται επίσημα με το έγγραφο 11014/703/Φ104/2003 (ΦΕΚ 332/Β).

Οι επιχειρησιακές κατευθυντήριες γραμμές για τα ορυχεία περιλαμβάνουν διάφορους περιβαλλοντικούς όρους, όπως τη διεξαγωγή λεπτομερών τεχνικών μελετών για τον καθορισμό των κατάλληλων μεθόδων αποκατάστασης των τελικών επιφανειών των ορυχείων, που μπορεί να περιλαμβάνουν δραστηριότητες όπως δενδροφύτευση, καλλιέργεια γεωργικών καλλιεργειών και δημιουργία λιμνών. και τα λοιπά (Χατζηστάθης, Α. ,1989).



Στο ευρύτερο πλαίσιο, επιχειρείται η δημιουργία εξειδικευμένων μελετών για τη σταθερότητα του εδάφους και την υδρογεωλογία (συμπεριλαμβανομένης της υδρολογικής ισορροπίας και της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων).

Εφαρμογή στρατηγικών για την ελαχιστοποίηση των διαταραχών στις γύρω περιοχές (δημιουργία περιοχών βλάστησης) στην περιοχή της εξόρυξης. Οι μετρήσεις του θορύβου, των κραδασμών και των εκπομπών σκόνης πραγματοποιούνται στην περίμετρο των κατοικημένων περιοχών για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τα καθορισμένα όρια

- Διαχείριση και διάθεση υγρών αποβλήτων.
- Διεξαγωγή ολοκληρωμένης παρακολούθησης της ποιότητας του περιβάλλοντος στη γύρω περιοχή εξόρυξης.
- Δίκτυα παρακολούθησης που είναι αφιερωμένα στην αξιολόγηση και τη διατήρηση της ποιότητας του αέρα.
- Ολοκληρωμένη διαχείριση και διάθεση των παραπροϊόντων (παλαιός εξοπλισμός, παλαιά ελαστικά, συσσωρευτές, έλαια-λιπαντικά, κ.λπ.).
- Λήψη μέτρων πυροπροστασίας για αποφυγή αυτανάφλεξης του λιγνίτη.
- Τήρηση ημερολογίων και αρχείων περιβαλλοντικών παραμέτρων.
- Περιοδική ενημέρωση των αρμόδιων υπηρεσιών και υποβολή ετήσιας έκθεσης

5. Συμπέρασμα

Η βορειοανατολική Χαλκιδική είναι μια πολύ σημαντική περιοχή λόγω των κοιτασμάτων που περιέχονται σε αυτήν. Πρώτα απ' όλα, από ορυκτολογική άποψη, τα ορυχεία αυτής της περιοχής χαρακτηρίζονται από έναν μοναδικό πλούτο χαλκού, χρυσού, μόλυβδου, αργύρου, πλατίνας και άλλων μετάλλων. Αυτό συμβάλλει σημαντικά στην εθνική οικονομία, καθώς η εξαγωγή και η επεξεργασία αυτών των μετάλλων αποτελεί πηγή εισοδήματος.

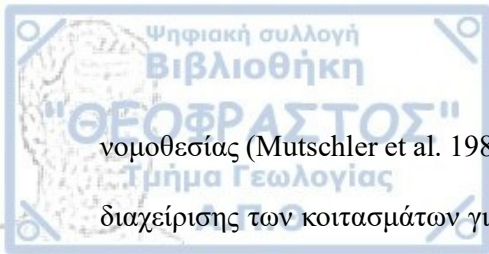


Στα προηγούμενα πρέπει να προσθέσουμε ότι, τα ποσοστά ανάκτησης των πολύτιμων μετάλλων έχουν επηρεαστεί θετικά από την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου. Ακόμη, έχουν επιτευχθεί εξαιρετικά ποσοστά ανάκτησης, και αυτή η τεχνική μπορεί να είναι φιλική προς το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, με την αραίωση των εκπομπών SO₂ στο νερό, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή διαλύματος H₂SO₄. Εν κατακλείδι, προτείνεται έντονα ότι αυτά τα μέταλλα μεταφέρονται μέσω υδροθερμικών διεργασιών με την εμφάνιση σημαντικών συγκεντρώσεων Pd-Pt (πάνω από 5 ppm) σε ορισμένα πορφυριτικά κοιτάσματα Cu-Au (Mutschler et al. 1984, Tarkian and Stribny 1999, Economou Elioroulos and Elioroulos 2000).

Συμπληρωματικά, για το PGE αυτού του είδους, τα συστήματα πορφυριτικού Cu που συνδέονται με υψηλό αλκαλικό μαγματισμό φαίνεται να είναι η πιο ελπιδοφόρα πηγή. Υπό την προϋπόθεση, λοιπόν, ότι τα υδροθερμικά συστήματα στο περιβάλλον του πορφυριτικού Cu προσφέρουν σημαντικές πιθανότητες ρύθμισης της Pd και Pt (Xiong et al. 2000), η καταλληλότητα της τεχνικής ανάκτησης μπορεί, σε γενικές γραμμές, να μειώσει σημαντικά το λειτουργικό κόστος για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων από τα αποθέματα πορφυριτικού Cu-Au Pd-Pt.

Συνοψίζοντας, η μακροπρόθεσμη εξόρυξη ορυκτών από το κοιτάσμα στις Σκουριές απαιτεί μια πιο εμπεριστατωμένη διερεύνηση των επιπτώσεων των κρίσιμων διαδικασιών που περιλαμβάνουν την κατανάλωση οξέων, την ανάκτηση των πολύτιμων μετάλλων για το διάλυμα, και τη διαχείριση των στερεών αποβλήτων και των απορριμμάτων.

Όμως, δεν πρέπει να αγνοούμε τις περιβαλλοντικές προκλήσεις που συνδέονται με τις εξορυκτικές δραστηριότητες. Πιο συγκεκριμένα, η υπόγεια εξόρυξη μπορεί να έχει σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, κυρίως στην ρύπανση των υδάτων και η αποψίλωση των δασών. Συνεπώς, για να συνεχιστεί η ισορροπία μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης και προστασίας του περιβάλλοντος, πρέπει να λάβουμε υπόψη τα περιβαλλοντικά μέτρα και την τήρηση της



νομοθεσίας (Mutschler et al. 1984). Τέλος, Είναι, είναι απαραίτητη η διατήρηση της βιώσιμης διαχείρισης των κοιτασμάτων για να συνεχιστεί μακροπρόθεσμα η αειφόρος ανάπτυξη αυτής της περιοχής.



Arvanitidis N (1993) Regional ore geologic studies setting controls and distribution of Metallic ore deposit types in the Serbo-Macedonian and Western Rhodope zone, I.G.M.E. technical report.

Arvanitidis N (2010) New metallogenic concepts and sustainability perspectives for non-energy metallic minerals in Greece. 12th International Congress of The Geological Society Of Greece Bulletin Of The Geological Society Of Greece Volume XLIII. No 5. 2010.

Dimitriadis, S., 1974, Petrological study of the migmatitic gneisses and amphibolites of Rentina-Asprovalta-Stavros-Olympias: Unpub. Ph.D. thesis, Univ. Thessaloniki, 168 p (in Greek with English abs.

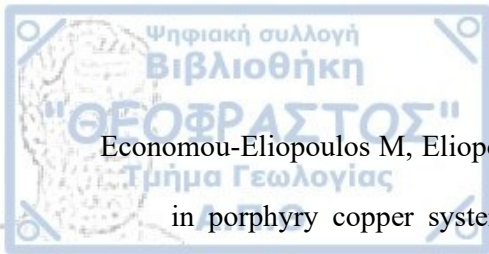
Dixon, J. E., and Dimitriadis, S., 1984, Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbo-Macedonian massif, near Lake Volvi, north.

Economou-Eliopoulos M, Eliopoulos DG, Perantonis G (2001) Factors controlling the Pd and Pt potential of the Skouries porphyry Cu deposit, Chalkidiki Peninsula, N. Greece. In: 6th Biennial SGASEG Meeting, Krakow, Mayer (ed), Balkema, Rotterdam 579-582.

Eleftheriadis G., Frank W., Petrakakis K (1999). $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Pangeon granitoids, Rhodope unit, northern Greece. European Journal of Mineralogy, 11, 62–67.

Eldorado Gold Corporation, 2018. Reserves as 30th of September 2018, www.eldorado-gold.com/assets/resources-and-reserves/.

Eliopoulos DG, Economou-Eliopoulos M, Strashimirov St, Kovachev V, Zhelyaskova-Panayotova M (1995) Gold, platinum and palladium content in porphyry Cu deposits from Bulgaria: a study in progress. Geological Society of Greece 5: 712–716.



Economou-Eliopoulos M, Eliopoulos GD (2000) Palladium, platinum and gold concentration in porphyry copper systems of Greece and their genetic significance. Ore Geology Reviews 16: 59–70.

Frei R (1992) Isotope (Pb, Rb - Sr, S, O, C, U- Pb) geochemical investigation on Tertiary intrusive and related mineralizations in the Serbomacedonian Pb-Zn, Sb+Cu-Mo metallogenetic province in N. Greece - Ph D Thesis. Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland. 231 pp.

FOORD, E. E., SHAW, D. R. & CONKLIN, N. M (1988): Coexisting galena, PbS and sulfosalts: Evidence for multiple episodes of mineralization in the Round Mountain and Manhattan gold districts, Nevada. - Can. Mineral. 26, 355-376.

George L, Cook NJ, Ciobanu CL, Wade BP (2015) Trace and minor element in galena: A reconnaissance LA-ICP-MS study. Am. Min. 100:548-569.

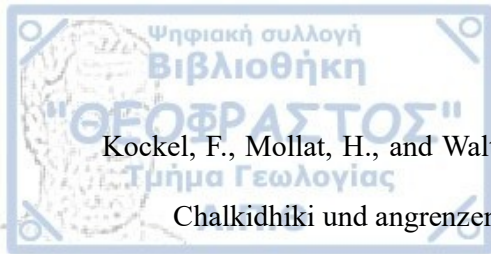
Hellenides (northern Greece): Soc. Geol. France Bull., v. 18, p. 225-230.

Kalogeropoulos SI, Economou GS, Gerouki F, Karamanou E, Kougoulis C, Perlikos P (1991) The mineralogy and geochemistry of the Stratoni granodiorite and its metallogenic significance - Geological Society of Greece. Bulletin, v. 25. P. 225 – 243.

Kauffmann, G., Kockel, F. and Mollat, H., 1976. Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula formation in the innermost zones of the Hellenides (Northern Greece). Bull. Soc. Geol. Fr (7), 18: 225-230.

Kauffmann, G., Kockel, F., and Mollat, H., 1976, Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Inner-most zone of the

KASSOLI-FOURNARAKI, A (1981): Contribution to the mineralogical and petrological study of amphibolitic rocks of Serbomacedonian mass. — Doct. thesis, Univ. Thessaloniki, 132 p (in Greek).



Kockel, F., Mollat, H., and Walther, H. W., 1977, ErlSuterungen zur geologischen Karte der Chalkidhiki und angrenzender Gebiete 1:100 000 (Nord-Griechenland): Hannover,

Kougoulis, C., Dambitziyas, S. and Papadopoulos, C., 1989. Geological and mining study of the amphibolites and serpentinites of the SMM (Northern Greece). IGME Intern. Rep. Thessaloniki, Jan. 1989.

Manzos, L. A., 1989, Geology and lithogeochemistry of the Olympias carbonate-hosted, Pb-Zn sulphide deposit, Halkidiki, Greece: Unpub. Ph.D. thesis, Imperial College, Univ. London, 404 p.

Melfos M, Voudouris P (2017) Cenozoic metallogeny of Greece and potential for precious, critical and rare metal exploration. Ore Geol. Rev. 89:1030-1057.

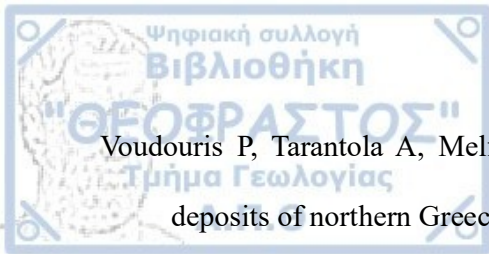
Pe-Piper G, Piper DJW (2006) Unique features of the Cenozoic igneous rocks of Greece. Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 409:259- 281.

Papanikolaou, D. J., 1984, The three metamorphic belts of the Hellenides: A review and a kinematic interpretation: Geol. Soc. London Spec. Pub. 17, p. 551-561.

Siron CR, Rhys D, Thompson JFH, Veligrakis T, Camacho A, Dalampiras L (2018) Structural control on porphyry Au-Cu and Au-rich polymetallic carbonated-hosted depositis of the Kassandra mining district, Northern Greece. Econ. Geol. 113:309-345.

Tarkian M, Koopmann G (1995) Platinum-group minerals in the Santo Tomas II Philex porphyry copper–gold deposit, Luzon Island, Philippines. Mineralium Deposita 30: 39–47

Tobey E, Schneider A, Alegria A., Olcay L, Perantonis, G, Quiroga J (1998) Skouries porphyry copper-gold deposit, Chalkidiki, Greece. In; Porter TM (ed) Porphyry hydrothermal Cu-Au deposits. A global perspective Aus-tralian Mineral Foundation Conference Proceedings. Glenside, South Australia:159-168.



Voudouris P, Tarantola A, Melfos V (2017) Field guide to the Tertiary hydrothermal ore deposits of northern Greece, 8-15 April 2017 54 pp.

Xiong Y, Wood SA (2000) Experimental quantification of hydrothermal solubility of platinum-group elements with special reference to porphyry copper environments. *Mineralogy and Petrology* 68: 1-2

