



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ – ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ – ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Μ. ΜΥΛΩΝΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ-ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΥ
ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ +53,
ΣΤΡΑΤΩΝΙ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ',
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'*

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Μ. ΜΥΛΩΝΑΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ-ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ +53, ΣΤΡΑΤΩΝΙ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών 'Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία', Κατεύθυνση 'Ορυκτοί Πόροι - Περιβάλλον'

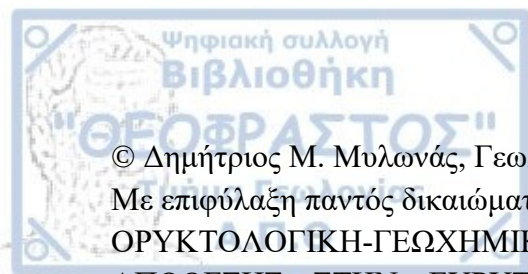
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 11/01/2018

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Βαβελίδης Μιχαήλ, Επιβλέπων

Καθηγητής Αλιφραγκής Δημήτριος, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Επίκουρος Καθηγητής Καντηράνης Νικόλαος, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Δημήτριος Μ. Μυλωνάς, Γεωλόγος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ-ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΠΑΛΑΙΟΥ ΧΩΡΟΥ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ +53, ΣΤΡΑΤΩΝΙ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

© Dimitrios M. Mylonas, Geologist, 2018

All rights reserved.

MINERALOGICAL - GEOCHEMICAL RESEARCH OF MATERIALS FROM OLD DISPOSAL AREA +53, STRATONI DISTRICT CHALKIDIKI – *Master Thesis*

Citation:

Μυλωνάς Δ. Μ., 2018. – Ορυκτολογική-Γεωχημική μελέτη των υλικών του παλαιού χώρου απόθεσης στην ευρύτερη περιοχή της πλατείας +53, Στρατώνι Χαλκιδικής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 90 σελ.

Mylonas D. M., 2018. – Mineralogical - Geochemical research of materials from old disposal area +53, Stratoni district Chalkidiki. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 90 pp.

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.



Όλη αυτή την προσπάθεια την αφιερώνω στην Μητέρα μου Όλγα, στον Πατέρα μου Μιχάλη, στον αδερφό μου Θωμά, που χωρίς αυτούς δεν θα έφτανα ποτέ έως εδώ.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	1
1.2	ΧΩΡΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ	4
1.3	ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	6
2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΥΛΙΚΑ.....	15
2.1	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	15
2.1.1	Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	15
2.1.2	Γεωλογία της βορειοανατολικής Χαλκιδικής.....	16
2.1.3	Μαγματισμός της περιοχής μελέτης.....	20
2.2	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	22
2.2.1	Τυχαία δειγματοληψία υλικών.....	22
2.3	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	32
2.4	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ...	32
3	ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗ ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ	34
3.1	ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑΣ.....	35
3.2	ΤΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΥΡΩΝ ΠΕΤΡΩΝ – ΜΑΝΤΕΜ ΛΑΚΚΟΥ	36
3.3	ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΠΙΑΒΙΤΣΑΣ.....	39
3.4	ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΣΚΟΥΡΙΩΝ.....	40
4	ΟΙ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΕΙΑ +53	42
4.1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	42
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	43
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	65
	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	66
	ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	68
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία μελετάται ορυκτολογικά και γεωχημικά το συμπύκνωμα σιδηροπυρίτη που παρήχθη από το εργοστάσιο εμπλουτισμού Στρατωνίου Χαλκιδικής, όπως επίσης τα εδάφη του παλαιού χώρου απόθεσης σιδηροπυρίτη της πλατείας +53. Το συμπύκνωμα αυτό προήλθε από την εκμετάλλευση του πολυμεταλλικού κοιτάσματος Pb-Zn-Ag του Μαντέμ Λάκκου και αποτελεί το προϊόν που παρήχθη από το εργοστάσιο εμπλουτισμού Στρατωνίου και εναποτέθηκε στην περιοχή από το 1970 έως το 1990.

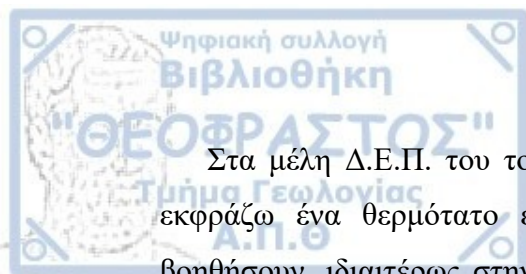
Αντικείμενο της μελέτης είναι ο προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων, και των χημικών χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος και των εδαφών του χώρου απόθεσης της πλατείας +53 στο πλαίσιο εξυγίανσης και αποκατάστασης της περιοχής.

Η εργασία αυτή αποτελεί μέρος ευρύτερου επιστημονικού προγράμματος με τίτλο «Αποκατάσταση διαταραγμένων εδαφών στην ευρύτερη περιοχή των μεταλλείων Κασσάνδρας» του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω όλους όσους μου παρείχανε την αμέριστη βοήθεια τους και έγιναν οι συντελεστές για την εκπόνηση της Διατριβής μου.

Ευχαριστώ ολόψυχα τον επιβλέποντα Καθηγητή μου Μιχαήλ Βαβελίδη για την ανάθεση του θέματος, την συνεχή βοήθεια και παροχή πολύτιμων συμβουλών, την άψογη συνεργασία μας και την διακριτική του καθοδήγηση. Τις βαθύτερες ευχαριστίες από τα μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής, εκφράζω στον Καθηγητή Δημήτριο Αλιφραγκή για τις καθοριστικές συμβουλές του κατά την πολύμηνη συνεργασία μας σε άριστο επιστημονικό και εργασιακό επίπεδο, καθώς και για την εισαγωγή με τον μοναδικό του τρόπο στην επιστήμη της εδαφολογίας και αποκατάστασης ρυπασμένων εδαφών τόσο κατά τη διάρκεια της υπαίθριας έρευνας όσο και στον εργαστηριακό Τομέα. Ευχαριστώ επίσης τον Επίκουρο Καθηγητή Νικόλαο Καντηράνη (τρίτο μέλος της Επιτροπής), για τη σημαντικότερη βοήθεια και καθοδήγησή του τόσο στη διάρκεια των σπουδών μου όσο και σε εργαστηριακό επίπεδο σε θέματα που αφορούν την περιθλασιμετρία ακτίνων – Χ.



Στα μέλη Δ.Ε.Π. του τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας εκφράζω ένα θερμότατο ευχαριστώ για την εξαιρετική προθυμία τους να με βοηθήσουν, ιδιαίτερος στην Επίκουρη Καθηγήτρια Λαμπρινή Παπαδοπούλου, που χωρίς αυτήν δεν θα γινόταν ο προσδιορισμός και η μελέτη της χημικής σύστασης των ορυκτών φάσεων κάτω από το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM). Ευχαριστώ επίσης τον Αναπληρωτή Καθηγητή Τριαντάφυλλο Σολδάτο, τον Καθηγητή Ανέστη Φιλιππίδη και τον Επίκουρο Καθηγητή Βασίλειο Μέλφο για τη βοήθεια τους.

Τους συμφοιτητές και φίλους μου Χρήστο Στεργίου, Ευάγγελο Στεφάνου, Εμμανουήλ Ιωαννίδη, Μαρία Συροπούλου, Στυλιανή Θεοδωρίδου, Αλεξάνδρα Πατσιούρη και Βιλελμίνη Καρρά, τους ευχαριστώ θερμά για όλες τις ωραίες στιγμές του μεταπτυχιακού προγράμματος που μοιραστήκαμε. Τέλος, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στην εταιρία «Ελληνικός Χρυσός Ανώνυμη Εταιρία Μεταλλείων και Βιομηχανίας Χρυσού» για την οικονομική και υλική στήριξη που μου προσέφερε. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στην Δρ. Βηθλεέμ Γαζέα, Διευθύντρια Περιβάλλοντος καθώς επίσης στον Δρ. Εμμανουήλ Δάφτση για την βοήθεια και τον προσδιορισμό στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της εταιρίας της χημικές συστάσεις. Ένα θερμό ευχαριστώ σε όλους τους συναδέλφους του τμήματος Περιβάλλοντος Γεώργιο Μπρόκο, Ιωάννη Ζαμπόκα, Αθηνά Αγαλή, Βασίλειο Κυπαρίσση και Αναστασία Γαλατσιάνου, Δημήτριο Μπάλλα για την άψογη συνεργασία που είχαμε. Τέλος ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να δώσω στον Γεωπιστήμονα Αλέξανδρο Δριβέλα για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχε σε θέματα γεωχημικών χαρτογραφήσεων και μηχανικής περιβάλλοντος.

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2018

Δ. Μυλωνάς.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντοπίζεται στη βορειοανατολική Χαλκιδική και συγκεκριμένα στο παραλιακό, ΒΑ τμήμα του Δήμου Αριστοτέλη (Εικ. 1.1). Σύμφωνα με το υπουργείο Εσωτερικών ο Δήμος Αριστοτέλη Χαλκιδικής ανήκει στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, δημιουργήθηκε με την εφαρμογή του προγράμματος Καλλικράτη και προέκυψε από την συνένωση των δήμων Αρναίας, Παναγίας και Σταγείρων- Ακάνθου (Υπουργείο εσωτερικών, 2010). Η έκταση του νέου δήμου είναι 739.87 τ.χλμ και ο πληθυσμός του είναι 18.294 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ενώ έδρα του νέου δήμου ορίστηκε η Ιερισσός (ΕΛΣΤΑΤ, 2012).

Ο χώρος της πλατείας +53 βρίσκεται Δυτικά της κοινότητας Στρατωνίου (Εικ. 1.2). Σύμφωνα με τους Μηλιούδης κ.ά. (1988), η επιφάνεια της πλατείας, χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα ως χώρος αποθήκευσης συμπυκνωμάτων σιδηροπυρίτη καθώς και ως σημείο φόρτωσης των μεταλλευμάτων.

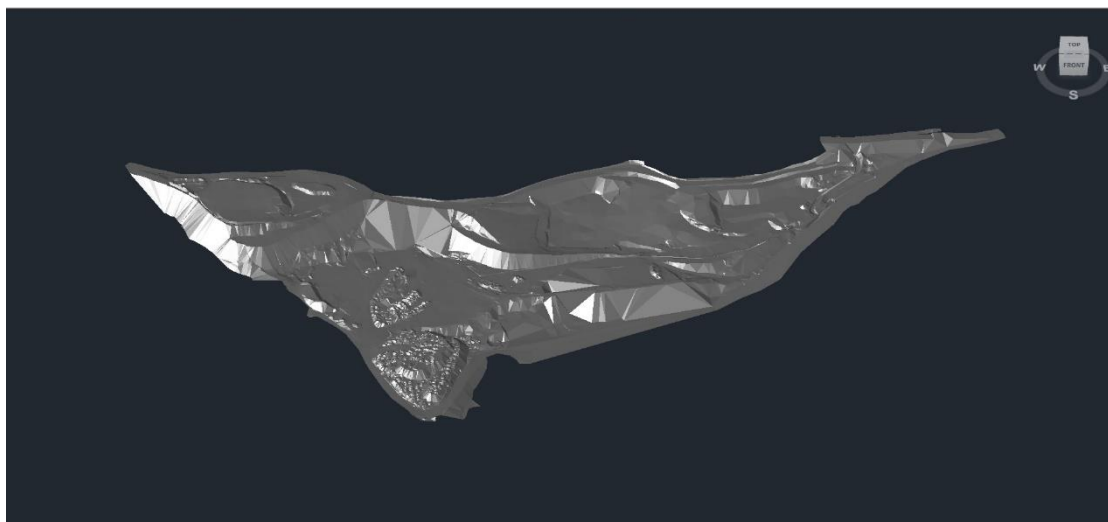


Εικόνα 1.1. Θέση της περιοχής έρευνας Στρατωνίου και γεωγραφικά όρια του Δήμου Αριστοτέλη Χαλκιδικής (Τροποποιημένο από Υπουργείο Εσωτερικών, 2010).

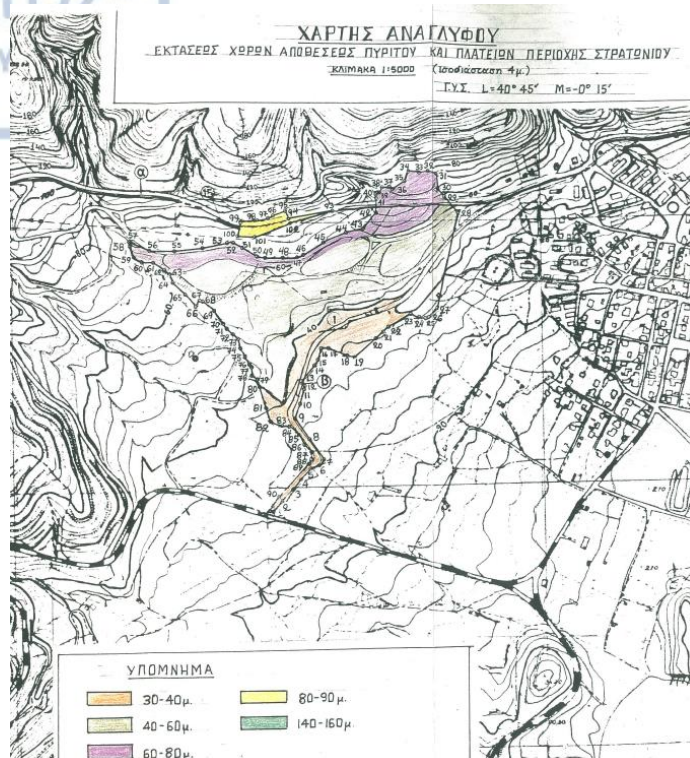
Σύμφωνα με τους ίδιους η μελετώμενη περιοχή της πλατείας +53 χαρακτηρίζεται ως μη δασική και βρίσκεται στην νοτιοανατολική πλευρά του Στρατωνικού όρους. Το υψόμετρο που βρίσκεται είναι χαμηλό (Εικ. 1.4) μεταξύ των ισοϋψών 30 – 160m, με ήπιες κλίσεις όπου η κυριαρχούσα είναι 0 - 20% ενώ σε λίγα σημεία η κλίση είναι 60% (Εικ. 1.3 και 1.5).



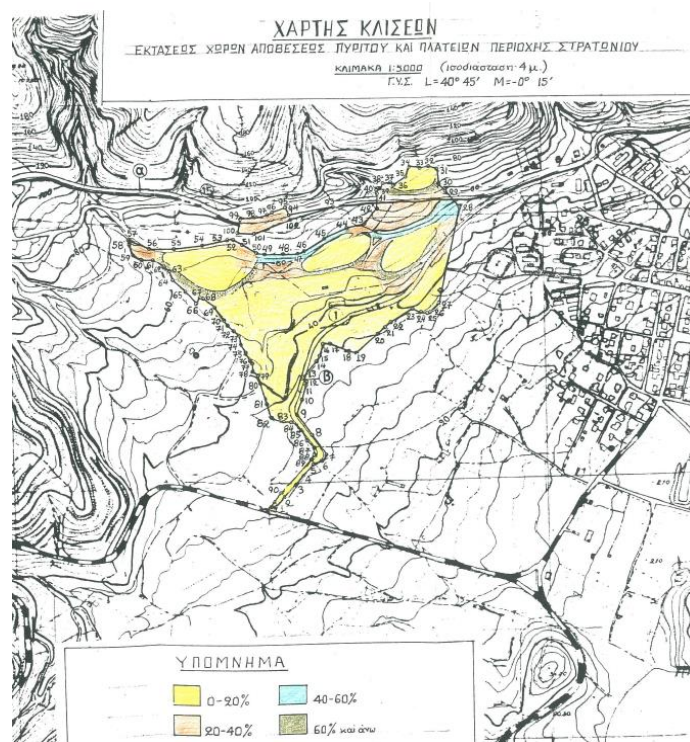
Εικόνα 1.2. Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης (Google Earth, 2015).



Εικόνα 1.3. Τρισδιάστατο μοντέλο της πλατείας +53 Στρατωνίου.



Εικόνα 1.4. Χάρτης αναγλύφου της περιοχής (Μηλιούδης κ.ά. 1988).



Εικόνα 1.5. Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής (Μηλιούδης κ.ά. 1988).

1.2 ΧΩΡΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

Η μεταλλευτική δραστηριότητα συνοδεύει τον άνθρωπο εδώ και χιλιάδες χρόνια.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τις ολοένα αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας για ορυκτές πρώτες ύλες η δραστηριότητα αυτή θα συνεχιστεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα ακόμα. Η δραστηριότητα αυτή είναι ταυτόχρονα άρρηκτα συνδεδεμένη και με την παραγωγή αποβλήτων τα οποία όπως σημειώνει ο Lottermoser (2010), αποτίθενται στην επιφάνεια της γης. Τα αποθέματα των στερεών, υγρών και αέριων αποβλήτων από την εξόρυξη, τον εμπλουτισμό και τη μεταλλουργία που προστίθενται ετησίως είναι της τάξης των 20.000 – 25.000 Mt., ποσότητα που εάν συγκριθεί με τις ποσότητες υλικού που παράγονται από φυσικές διεργασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης είναι της ίδιας κλίμακας (Fyfe 1981, Förstner 1999).

Συνδεδεμένη με τα μεταλλουργικά απόβλητα σουλφιδίων είναι και η όξινη απορροή που προκαλείται από την ενυδάτωση και οξείδωσή τους, διαχέοντας στο φυσικό περιβάλλον ύδατα με ιδιαίτερα υψηλή τοξικότητα ($\text{pH} < 2.5$) και αυξημένη περιεκτικότητα σε H_2SO_4 και ιόντα μετάλλων και μεταλλοειδών (As^{3+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}). Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού από τις μεταλλευτικές βιομηχανίες θεωρείται από πολλούς ερευνητές, μία από τις κυριότερες περιβαλλοντικές προκλήσεις (Furniss et al. 1999, Eppinger et al. 2007, Graham & Kelly 2009, Kwong et al. 2009, Jamieson 2011). Η επιβάρυνση αυτή του φυσικού περιβάλλοντος από την όξινη απορροή χρονολογείται εδώ και χιλιάδες χρόνια πριν. Ένα καλό παράδειγμα αποτελεί η μεταλλευτική περιοχή Rio Tinto στην Ανδαλουσία της Ισπανίας που από την αρχαιότητα γνώρισε περιόδους έντονης μεταλλευτικής δραστηριότητας και σχετίστηκε με την πολύ μεγάλη παραγωγή αποβλήτων πλούσιων σε σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη .επιβαρύνοντας τα νερά και τα ιζήματα του ομώνυμου ποταμού σε μη αναστρέψιμο βαθμό. Αξίζει όμως να σημειωθεί πως το φαινόμενο αυτό μπορεί να είναι ανεξάρτητο της μεταλλευτικής δραστηριότητας. Οι φυσικές διεργασίες της αποσάθρωσης, διάλυσης και οξείδωσης σε συνδυασμό με την τεκτονική μιας περιοχής πλούσιας σε μεταλλεύματα σουλφιδίων μπορούν σε ένα έντονα οξειδωτικό και ασταθές περιβάλλον να προκαλέσουν σημαντική επιβάρυνση στο περιβάλλον (Posey et al. 2000, Munk et al. 2002, Verplanck et al. 2009).

Η παραγωγή εξορυκτικών αποβλήτων και οι ειδικά διαμορφωμένοι χώροι απόθεσης αυτών σε μια μεταλλευτική μονάδα, είναι τόσο αναγκαίο και αναπόφευκτο συμπλήρωμα, όσο οι κάδοι απορριμμάτων και οι αποχετευτικοί αγωγοί σε μία

κατοικία (Lottermoser 2010). Ένα ενδιαφέρον ζήτημα που παρουσιάζεται σε τέτοιους χώρους απόθεσης μεταλλευτικών αποβλήτων είναι η ορυκτολογική και χημική σύσταση των αποθέσεων αυτών. Η ορυκτολογική σύσταση των μεταλλευτικών αποβλήτων κατά τον Jambor (1994) διακρίνεται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Η πρωτογενής περιλαμβάνει υπολείμματα μεταλλεύματος και τα στεία υλικά εξόρυξης. Η δευτερογενής περιλαμβάνει ορυκτά που αποτελούν τα προϊόντα οξείδωσης των πρωτογενών. Αυτή η γνώση όπως σημειώνουν οι Karpenko & Norris (2002), της οξείδωσης των θειούχων μεταλλευμάτων και αποβλήτων στην επιφάνεια της Γης και της παραγωγής δευτερογενών ορυκτών καθώς και H_2SO_4 δεν είναι νέα στην σύγχρονη επιστήμη. Οι ίδιοι ερευνητές αναφέρουν ότι ήδη από αρχαιοτάτων χρόνων λαοί όπως οι Σουμέριοι, οι Αιγύπτιοι, οι Ασσύριοι, ήταν εξοικειωμένοι με τα δευτερογενή άλατα που προέκυπταν από τη διάλυση-οξείδωση του σιδηροπυρίτη. Οι πρώτες καταγραφές που αναγνωρίζουν αυτές τις φάσεις ήταν από τον αρχαίο Έλληνα φιλόσοφο Θεόφραστο (370 – 285 π.Χ.). Ο αρχαίος φυσικός Διοσκουρίδης ο Πεδάνιος (40 - 90 μ.Χ.) μαζί με τον Ρωμαίο φυσιοδίφη Πλίνιο τον Πρεσβύτερο (23 – 79 μ.Χ.) κατέγραψαν την ύπαρξη θειοαλάτων κοντά σε περιοχές εκμετάλλευσης, ο πρώτος με τον χαρακτηρισμό «πράσινο βιτριόλι», δηλαδή την ύπαρξη μελαντερίτη ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), ενώ ο δεύτερος με τον χαρακτηρισμό «μπλε βιτριόλι», δηλαδή την ύπαρξη χαλκανθίτη ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Οι αντιδράσεις οξείδωσης που λαμβάνουν χώρα σε περιοχές απόθεσης όπου εκτίθεται σουλφίδια και ειδικά σιδηροπυρίτης υπό επιφανειακές συνθήκες καθώς και η δημιουργία νέων ορυκτών, είναι ένα φαινόμενο το οποίο ελέγχεται από πολλούς παράγοντες και έχει μελετηθεί διεξοδικά από όλες τις επιστημονικές πλευρές (Evangelou 1995, 1998, Liu et al. 2008, Verplanck et al. 2009). Το νερό το οποίο θα κινηθεί μέσα στους πόρους των αποβλήτων σουλφιδίων αντιδρά έντονα με τα υπολείμματα μεταλλεύματος και τα στεία, έχει ως αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του σε διαλυμένα ιόντα και ενώσεις και χαρακτηρίζεται ως υψηλής αλατότητας (Dinelli & Tateo 2001). Έτσι έχουμε σχηματισμό όξινης αντίδρασης νερών λόγω οξείδωσης και διάλυσης σουλφιδίων. Τα ιόντα υδρογόνου στη συνέχεια αντιδρούν με τα ορυκτά των αδρανών εξόρυξης ρυθμίζοντας το pH σε ουδέτερο και είναι γνωστά στη βιβλιογραφία ως «acid buffering minerals». Ορισμένα ιόντα που αντιδρούν με το διάλυμα της χημικής αποσάθρωσης και φτάνουν στο επίπεδο κορεσμού καθιζάνουν ως δευτερογενή ορυκτά. Αυτά θα καταβυθιστούν είτε στον ίδιο τον σωρό αποβλήτων, είτε πλησίον του σε περιοχές διήθησης του νερού και κοντινά ρέματα σε φτωχά

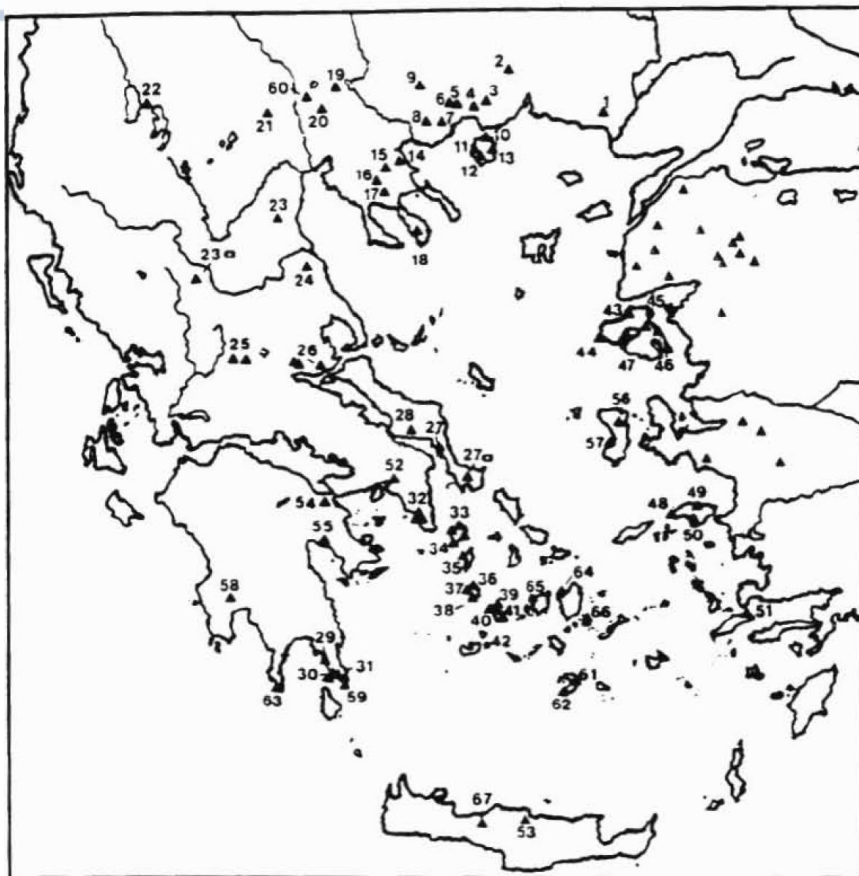
κρυσταλλωμένες κρούστες, βοτρυοειδή συσσωματώματα ή άμορφες μάζες, γνωστά με τον όρο «επανθίσματα» (Campbell & Lueth 2008). Τέλος οι Murad et al. (1994) και Nordstrom & Alper (1999) σημειώνουν ότι η εξάτμιση είναι ο κυρίαρχος παράγοντας στον σχηματισμό τέτοιων επανθισμάτων. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε που σε τέτοιους χώρους απόθεσης λαμβάνει χώρα έξαρση κρυστάλλωσης τέτοιων ορυκτών, ειδικά όταν υπάρχει έντονη εξάτμιση.

Η σύγχρονη μεταλλευτική βιομηχανία παίζει σήμερα ηγετικό ρόλο στη διαχείριση αποβλήτων. Κατά τον Lottermoser (2010), στις σύγχρονες κοινωνίες έχει γίνει ήδη αντιληπτό ότι ολοένα και περισσότερες είναι οι απαιτήσεις για αύξηση της παραγωγής μετάλλων τα οποία χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύτατο φάσμα. Το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα την ολοένα και περισσότερο μείωση του ορίου εκμεταλλευσιμότητας και ταυτόχρονα τον υπερδιπλασιασμό των ποσοτήτων αποβλήτων. Οι σύγχρονες μεταλλευτικές βιομηχανίες έχουν ενστερνιστεί μία φιλοσοφία, η οποία δεν εφαρμόζεται ακόμα σε πολλούς τομείς, και είναι η ανακύκλωση ή η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων τους. Επίσης ο Lottermoser (2010) αναφέρει παραδείγματα όπως η χρήση μεταλλουργικών σκωριών στην παραγωγή τσιμέντου, η επανεπεξεργασία και εξαγωγή μετάλλων από τέλματα εμπλουτισμού, η χρήση αδρομερούς τέλματος ως υλικό λιθογόμωσης υπογείων στοών. Η εφαρμογή καινούργιας γνώσης για τον περιορισμό αποβλήτων με state-of-the-art τεχνολογίες, είναι η απάντηση των μοντέρνων βιομηχανιών για μία σύγχρονη διαχείριση αποβλήτων αλλά και για την μέγιστη ευθύνη που έχουν απέναντι στην υγεία του ανθρώπου και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι Alifragkis et al. (2013) και Αλιφραγκής κ.ά. (2015) αναφέρουν χρήση αποβλήτων πλούσιων σε MnO_2 στη μείωση της τοξικότητας As και άλλων βαρέων μετάλλων σε χώρους απόθεσης μεταλλευτικών αποβλήτων.

1.3 ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σύμφωνα με τον Bassiakos (1992), η ηπειρωτική Ελλάδα και τα νησιά του Αιγαίου είναι περιοχές στις οποίες εντοπίζονται κατάσπαρτα εκατοντάδες αψευδείς μαρτυρίες μεταλλευτικής δραστηριότητας (Εικ. 1.6) και βιομηχανικής καθετοποίησης της παραγωγής κατά την Ελληνική Αρχαιότητα, με ευρήματα όπως μεταλλουργικές

σκωρίες, αρχαίες μεταλλευτικές στοές, φρεάτια, υπολείμματα από κλιβάνους μεταλλουργίας, μεταλλευτικά, καθώς και μεταλλουργικά εργαλεία και πολλά άλλα.



Εικόνα 1.6. Περιοχές αρχαιομεταλλευτικού – αρχαιομεταλλουργικού ενδιαφέροντος στην ηπειρωτική και νησιωτική Ελλάδα. (Gentner et al. 1980, Pernicka et al. 1984, Pernicka, 1987).

Στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής, έκτασης 200 km² μεταξύ Ολυμπίδας, Στανού, Μεγάλης Παναγίας και Ιερισσού εντοπίζεται η αρχαία μεταλλευτική περιοχή των μεταλλείων Κασσάνδρας, όπου σύμφωνα με τους Vavelidis et al. (1983), Wagner et al. (1986), Βαβελίδη (2009), Βαβελίδη και Μέλφο (2012) και Ζαφείρη κ.ά. (2001) απαντάται σήμερα πληθώρα αρχαίων μεταλλευτικών έργων όπως φρεάτια, στοές, σωροί μεταλλουργικών σκωριών που προέρχονται από την εκμετάλλευση κοιτασμάτων της περιοχής.

Σύμφωνα και με τα προαναφερθέντα, δεν τίθεται θέμα αμφισβήτησης ότι και στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε τουλάχιστον από την Αρχαϊκή εποχή σύμφωνα με τους Vavelidis et al. (1983), Vavelidis et al. (1997) μετά από ανασκαφές και έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην γενέτειρα του

Αριστοτέλη, τα Αρχαία Στάγειρα (σημερινή Ολυμπιάδα) και σε αρχαίες μεταλλευτικές στοές διαμέτρου 1m σε Ολυμπιάδα και Μεταγγίτσι.



Εικόνα 1.7. Σωροί από σκωρίες και υπολείμματα φούρνων στην περιοχή Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας (Φωτογραφία από Βαβελίδης και Μέλφος 2012).

Νεότερες έρευνες από τους Βαβελίδη κ.ά. (2001), Βαβελίδη και Μέλφο (2012) στον αρχαιολογικό χώρο των αρχαίων Σταγείρων και σε σωρούς μεταλλουργικών σκωριών στην τοποθεσία Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας (Εικ. 1.7) έδειξε πως, ήδη από την Αρχαϊκή εποχή έχουμε εξόρυξη και παραγωγή Pb και Ag από το κοίτασμα Pb-Zn-Au-Ag της Ολυμπιάδας. Στις περιοχές Μεταγγίτσι, Μάυρες Πέτρες, Αρχαία Στάγειρα ο Βαβελίδης (2009) αναφέρει πως έχουμε ίχνη των αρχαιότερων εκμεταλλεύσεων Au στη Χαλκιδική οι οποίες χρονολογούνται πιθανώς από την Προϊστορική εποχή. Εκμετάλλευση προσχωματικού Au από χειμάρρους της Χαλκιδικής όπως Χαβρία, Κοκκινόλακκα και Ασπρόλακκα έχουμε σύμφωνα με τους Vavelidis et al. (1983), Vavelidis (1989), Wagner et al. (1986).

Ο Davies (1932) αναφέρουν πως υπήρξε εκμετάλλευση τόσο από τον Φίλιππο Β' όσο και από τον Μέγα Αλέξανδρο τον 4ο αιώνα στα βαθύτερα τμήματα αρχαίας στοάς της Ολυμπιάδας. Τα μεγάλα μεταλλεία χρυσού, αργύρου και μόλυβδου σε Παγγαίο, Θάσο, και κυρίως τα μεταλλεία Κασσάνδρας γίνονται ένας από τους κύριους χορηγούς ανάπτυξης, ευημερίας και των εκστρατειών του Φιλίππου Β' και

στη συνέχεια του Μεγάλου Αλεξάνδρου (Βαβελίδης 2009, Ζαφείρης κ.ά. 2001, Κονοφάγος 1980).

Κατά τους Wagner et al. (1986) ο Στράβωνας (1^{ος} Αιώνας μ.Χ.), αναφέρει ότι η μεταλλευτική δραστηριότητα συνεχίστηκε και κατά τη ρωμαϊκή περίοδο.

Η επαναδραστηριοποίηση των μεταλλείων λαμβάνει χώρα κατά τους Βυζαντινούς χρόνους. Οι πρώτες αναφορές μετά τον μαρασμό γίνονται από τους Vavelidis et al. (1983), Wagner et al. (1986) και Παπάγγελο (1991), όπου σύμφωνα με αυτούς, υπάρχει μία μεταλλευτική περιοχή Βόρεια από τον Ίσβορο (σημερινή Στρατονίκη) που ήταν το μεταλλευτικό κέντρο, με το όνομα Σιδηροκαύσια. Ο Βαβελίδης κ.ά. (2001) σημειώνει πως ευρήματα αδιατάρακτων σκωρίων που βρέθηκαν στην περιοχή των Μαύρων Πετρών (πλησίον των Σιδηροκαυσίων) και χρονολογήθηκαν έδωσαν ηλικίες περίπου 1270-1290 μ.Χ. δηλαδή Βυζαντινής περιόδου, ενώ παρόμοια δείγματα άνθρακα από τα Αρχαία Στάγειρα και Κηπουρίστρα Λάκκος που έγιναν χρονολογήσεις δώσανε αποτελέσματα που δείχνουν ότι η μεταλλευτική δραστηριότητα στα Σιδηροκαύσια έλαβε χώρα το 1431-1656, δηλαδή μέχρι και τους Υστεροβυζαντινούς χρόνους ενώ πρωτεύουσα της Χαλκιδικής γίνεται μία πόλη με το όνομα Σιδηροκαύσια (Vakalopoulos 1973).

Ο 15ος αιώνας θα αποτελέσει ένα νέο ξεκίνημα ακμής των μεταλλείων, καθώς αυτά παρόλο που κατέρχονται στην Οθωμανική κατοχή λειτουργούν αυτόνομα από τους εντόπιους κατοίκους. Οι πρώτοι σουλτάνοι ενίσχυσαν με πολλά προνόμια τον ομώνυμο οικισμό και κατ' επέκταση ολόκληρη την περιοχή της βόρειας Χαλκιδικής. Οι Wagner et. al. (1986), Ζαφείρης κ.ά. (2001), σημειώνουν ότι σύμφωνα με τον Γάλλο περιηγητή Belon (1555) στην περιοχή λειτουργούσαν 500 - 600 καμίνια, για τη για την εκμετάλλευση των μεικτών θειούχων μεταλλευμάτων, ενώ στην ευρύτερη περιοχή εργαζόντουσαν πάνω από 6.000 εργάτες όπως Αλβανοί, Έλληνες, Εβραίοι, Βλάχοι, Κιρκάσιοι, Σέρβοι και Τούρκοι. Την ίδια εποχή πρέπει να λειτούργησε και το πρώτο νομισματοκοπείο, ενός από τα σημαντικότερα της οθωμανικής αυτοκρατορίας με ζωή μέχρι τουλάχιστον τις αρχές του 17ου αιώνα, το οποίο σύμφωνα με τον Βακαλόπουλο (1964) έκλεισε στα μέσα του 17ου αιώνα, ενώ από τα τέλη του ίδιου αιώνα και εξής είναι φανερό η βαθμιαία παρακμή των μεταλλείων της Χαλκιδικής.

Από φερμάνι του 1475, είναι γνωστό ότι οι μεταλλωρύχοι των Σιδηροκαυσίων έπρεπε να παραδίδουν ως φόρο στον Σουλτάνο το 1 στα 12 δράμια αργύρου της παραγωγής τους (Βακαλόπουλος 1964, Ζαφείρης κ.ά. 2001). Στα τέλη του 18ου αιώνα και συγκεκριμένα το 1705 μ.Χ. στην ΒΑ Χαλκιδική ιδρύεται και

αναπτύσσεται ένα είδος μεταλλευτικού συνεταιρισμού γνωστού και ως «Μαντεμοχώρια» στον οποίο μετέχουν 12 χωριά-κώμες της περιοχής (Βακαλόπουλος 1973, 1989, Παπάγγελος 1991). Ο κύριος τόπος εξαγωγής του αργύρου παραμένει βέβαια το χωριό Σιδηροκάυσια. Η μόνη τους υποχρέωση απέναντι στην Μεγάλη Πύλη είναι η παράδοση ενός φόρου ύψους 550 λιβρών αργύρου το χρόνο. Η μεταλλευτική δραστηριότητα στη ΒΑ Χαλκιδική συνεχίζεται και το 1475 κατά την Οθωμανική περίοδο της Τουρκοκρατίας με εναλλασσόμενες περιόδους ακμής και παρακμής και επιβεβαιώνεται από πλήθος εγγράφων και αναφορών καθώς και από αρχαιομετρικές μετρήσεις θερμοφωταύγειας και γεωχρονολογήσεις ^{14}C (Wagner et al. 1986, Βαβελίδης κ.ά. 2001, Vavelidis 1983).

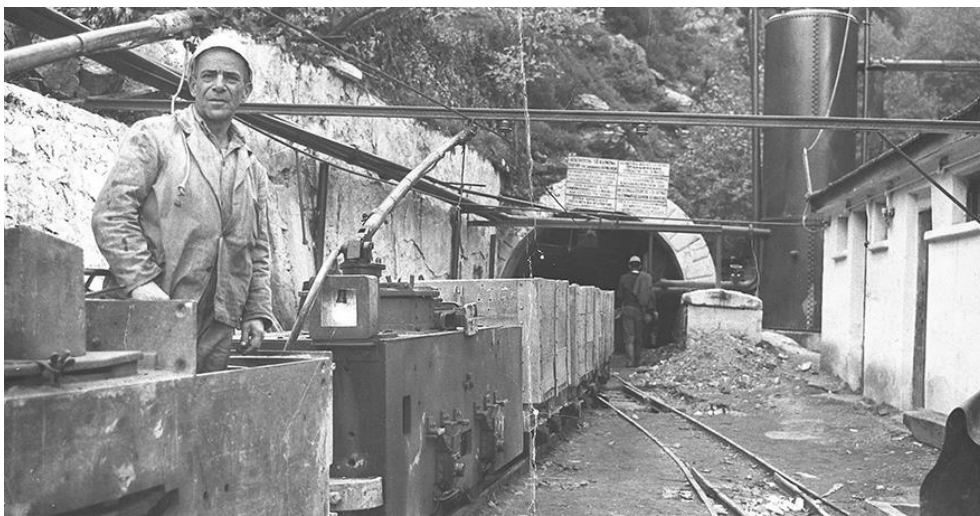
Το 1821, το «Κοινόν του Μαντεμίου» συμμετείχε στην Ελληνική Επανάσταση ως νομικό πρόσωπο, ενώ κατά τους Χιονίδης (1977), Παπάγγελος (1991) τον Αύγουστο του 1821 επέρχεται η καταστροφή των Μαντεμοχωρίων από τον Τουρκικό ζυγό με αποτέλεσμα να προκληθεί μετανάστευση των κατοίκων στο Άγιο Όρος και στα Ελληνικά νησιά.

Μετά την αποτυχία της επανάστασης του 1822, τα Μαντεμοχώρια χάνουν την αυτονομία τους ενώ το 1893, συναντάτε για πρώτη φορά η επωνυμία Μεταλλεία Κασσάνδρας κατά την παραχώρηση των μεταλλευτικών δικαιωμάτων από την Οθωμανική Αυτοκρατορία στη Γάλλο-Οθωμανική Α.Ε., με έδρα το Παρίσι και κύριους επενδυτές-κατόχους τους Ερρίκο Μισραχή και Νικόλαο Ψυχάρη με ποσοστά κατοχής 70% και 20% αντίστοιχα, η οποία κατά τους Βαβελίδη και Μέλφο (2012) ξεκινάει επιφανειακή εκμετάλλευση των μαγγανιούχων μεταλλευμάτων στις Μαύρες Πέτρες και την Πιάβιτσα. Έως το 1900 εξορύσσονται και περνούν από μεταλλουργική κατεργασία περίπου 72.000t μεταλλεύματος ενώ το 1901 η εταιρεία αρχίζει παράλληλα την επιφανειακή εκμετάλλευση του κοιτάσματος σιδηροπυρίτη στο μεταλλείο του Μαντέμ Λάκκου κοντά στη Στρατονίκη (Ζαφείρης κ.ά. 2001).

Ακολουθεί ένα μεσοδιάστημα διακοπής δραστηριοτήτων μιας και στον Ελλαδικό χώρο λαμβάνουν χώρα οι Βαλκανικοί Πόλεμοι (1912), Α' Παγκόσμιος Πόλεμος (1918) και η Μικρασιατική Καταστροφή (1922) όπου περνάμε πλέον στην Σύγχρονη μεταλλευτική ιστορία. Το έργο της εκμετάλλευσης κοιτασμάτων της Χαλκιδικής, θα αναλάβει μερικά χρόνια αργότερα η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων & Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠ&Λ)» (Ζαφείρης κ.ά. 2001) το 1927 με έγκριση του υπουργού Εθνικής Οικονομίας. Από τότε μέχρι το 1976 η εταιρία αυτή θα

διεκδικήσει την κυριότητά της ως μεταλλειοκτήτρια εταιρία, επεκτείνοντας τα μεταλλευτικά της δικαιώματα όλο και περισσότερο στην περιοχή.

Η εταιρία ξεκινάει με την εξόρυξη σιδηροπυρίτη στην θέση Chevallier όπου εντοπίζεται συμπαγής σιδηροπυρίτης. Ο σιδηροπυρίτης αποτελεί πρώτη ύλη για παραγωγή θειϊκού οξέος, όπου μετά από υδρομηχανικό εμπλουτισμό και φρύξη που λάμβανε χώρα στο Στρατώνι (Παπαρηγορίου κ.ά. 2010). Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο η πλειοψηφία των μετοχών της ΑΕΕΧΠ&Λ περιέρχεται στην ιδιοκτησία του Μποδοσάκη Αθανασιάδη, ο οποίος με την δραστηριότητά του δίνει ιδιαίτερη ώθηση στα μεταλλεία.



Εικόνα 1.8. Βαγονέτα μεταφοράς μεταλλεύματος της περιόδου μεταλλειοκτησίας ΑΕΕΧΠ&Λ (Δασκαλάκης 2002).

Το 1953 ξεκινά η λειτουργία του μεταλλείου Μαντέμ Λάκκου και το 1957 των Μαύρων Πετρών (Εικ. 1.8) με παράλληλη κατασκευή εργοστασίου εμπλουτισμού διαφορετικής επίπλευσης για παραγωγή συμπυκνωμάτων Pb, Zn και σιδηροπυρίτη. Το 1971 και 1974 εγκαθίστανται δύο νέα εργοστάσια εμπλουτισμού σε Στρατώνι και Ολυμπιάδα, δυναμικότητας 50 t/h το καθένα (Παπαρηγορίου κ.ά. 2010). Το 1972 ξεκινάει δοκιμαστικά η εκμετάλλευση του πολυμεταλλικού κοιτάσματος Ολυμπιάδας, όπου μέχρι το 1976 ο εμπλουτισμός λαμβάνει χώρα στο Στρατώνι, ενώ από εκεί και πέρα στο εργοστάσιο Ολυμπιάδας. Το 1978 σημειώνεται η πρώτη φιλική ως προς την περιβαλλοντική εκμετάλλευση ενέργεια. Διακόπτεται η ρίψη αδρομερούς κλάσματος, αποβλήτων εμπλουτισμού το 1978 στο Στρατώνι ενώ το 1983 διακόπτεται και η ρίψη λεπτομερούς κλάσματος, στον όρμο του Στρατωνίου και αποτίθεται στην σημερινή θέση Chevalier μεταλλείου του Μαντέμ Λάκκου. Οι

Παπαγρηγορίου κ.ά. (2010) σημειώνουν επίσης πως το 1987 ξεκινάει και καταργείται σταδιακά η μέθοδος υπόγειας εξόρυξης με κατακρήμνιση οροφής κατά διαδοχικούς ορόφους και εφαρμόζεται η μέθοδος λιθογόμωσης με χρήση αδρομερούς τέλματος αναμεμιγμένου με τσιμέντο.

Σύμφωνα με τους Forward et al. (2011a), στα μέσα της δεκαετίας του 1980 η ΑΕΕΧΠ&Λ περνάει σταδιακά στον έλεγχο της κρατικής ΜΕΤΒΑ, γεγονός που το 1992, με την απόφαση Νο. 4299/1992 του πρωτοδικείου Αθηνών θα οδηγήσει την ιδιοκτήτρια εταιρία σε ειδική εκκαθάριση επί τη βάσει των προβλέψεων 46α. του Ν.1892/1990 με εκκαθαρίστρια εταιρία την «Εθνική Κεφαλαίου Α.Ε. Διαχείρισης Ενεργού και Παθητικού». Στα πλαίσια αυτής της εκκαθάρισης, κηρύττεται διεθνής πλειοδοτικός διαγωνισμός, από την εκκαθαρίστρια εταιρία και το κεφάλαιο των Μεταλλείων Κασσάνδρας μεταβαίνει στις 21 Δεκεμβρίου 1995 στην ιδιοκτησία της TVX Hellas A.E. θυγατρική της TVX Gold Incorporation Καναδικών συμφερόντων, ύστερα από την επικύρωση του Ελληνικού Κοινοβουλίου με τον Ν.2436/1996.

Το επενδυτικό σχέδιο της TVX, σύμφωνα με τους Forward et al. (2011a), περιελάμβανε ένα εκτεταμένο πρόγραμμα έρευνας στα κοιτάσματα της ΒΑ Χαλκιδικής όπου υπολογίζονται τα αποθέματα σε ορισμένα από αυτά και πραγματοποιούνται επενδύσεις στην περιοχή με σκοπό την δημιουργία μεταλλουργίας Au στην Ολυμπιάδα. Λόγω της ιδιαιτερότητας του Ελληνικού γραφειοκρατικού συστήματος, οι άδειες θα καθυστερήσουν 7 χρόνια, και το σχέδιο της TVX Hellas A.E. δεν κατέστη δυνατό να υλοποιηθεί εντός του χρονοδιαγράμματος που είχε ορίσει η ίδια (Ζαφείρης κ.ά. 2001). Αποτέλεσμα αυτών των πράξεων ήταν, τον Ιανουάριο του 2003 οι εργαζόμενοι των μεταλλείων Κασσάνδρας να τεθούν σε διαθεσιμότητα. Η εταιρεία και ολόκληρη η περιοχή περιέρχονται σε δυσχερή οικονομική κατάσταση, ενώ 480 εργαζόμενοι κατέληξαν να χάσουν τις δουλειές τους. Τα χωριά της περιοχής, υπέστησαν οικονομικό και πληθυσμιακό μαρασμό (Ζαφείρης κ.ά. 2001). Για την αποφυγή κοινωνικών εκρήξεων η κυβέρνηση του Κωσταντίνου Σημίτη, καταρτίζει ειδικό κοινωνικό πρόγραμμα στήριξης των πρώην εργαζομένων των Μεταλλείων Κασσάνδρας. Στις 12 Δεκεμβρίου 2003, υπογράφεται μεταξύ της TVX Hellas A.E. και του Ελληνικού Δημοσίου, σύμβαση εξωδικαστικού συμβιβασμού κατά το άρθρο 22137/2003 με βάση την οποία το σύνολο της κυριότητας των Μεταλλείων Κασσάνδρας επιστρέφει στο Ελληνικό Δημόσιο (Ζαφείρης κ.ά. 2001).

Στο μεταίχμιο 2003-2004 ο Δημήτριος Κούτρας, Μεταλλειολόγος Μηχανικός και τότε μέλος του Δ.Σ. των νέο-συγχωνευμένων εταιριών Ελληνικής Τεχνοδομικής –

ΤΕΒ σε όμιλο ΕΛΛΑΚΤΩΡ και πρόεδρος της REDS A.E. (Real Estate Development and Services), μαζί με την μεταλλευτική εταιρία Ελληνικά Μεταλλεία Α.Ε. του ομίλου ΑΚΤΩΡ ιδρύουν την εταιρία «Ελληνικός Χρυσός Ανώνυμη Εταιρία Μεταλλείων και Βιομηχανία Χρυσού» (Ελληνική Τεχνοδομική – ΤΕΒ 2006). Τον Ιανουάριο του 2004 με τον Νόμο 3220/18.01.2004 (ΦΕΚ 15Α/2004) το Ελληνικό Κράτος παραχωρεί τα μεταλλευτικά δικαιώματα στα Μεταλλεία της Κασσάνδρας στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. με ειδικό νόμο που επικυρώνεται από τη Βουλή (ΑΚΤΩΡ Α.Ε. 2015). Το μετοχικό κεφάλαιο της εταιρίας αποτελούνταν από τους δύο επενδυτές. Οι ίδιοι έγκαιρα αντιλήφθηκαν ότι το μετοχικό σχήμα πρέπει να αλλάξει με σκοπό η εταιρεία να αποκτήσει, διεθνείς μετόχους για να διεκδικήσει τη θέση μιας διεθνούς χρηματιστηριακής αγοράς. Έτσι σύμφωνα με τις αναφορές των European Goldfields Limited (2004a,b) τον Φεβρουάριο του 2004 λαμβάνεται από την Καναδική εταιρία European Goldfields Limited το 30% του μετοχικού κεφαλαίου της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. Τον Νοέμβριο του 2004 αποκτά και άλλο 35% της ίδιας εταιρίας η οποία μέσα σε μια τριετία και συγκεκριμένα στις 5 Ιουνίου 2007 αποκτά το 95% της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. (European Goldfields Limited. 2005a). Το 2005, γίνεται για το μεταλλείο Μαύρων Πετρών ο οικονομοτεχνικός σχεδιασμός για επαναλειτουργία του αργούντος μεταλλείου Ολυμπιάδας και του νέου μεταλλείου των Σκουριών (Forward & Francis 2009, Forward et al. 2011a,b). Η Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. προχωρά αμέσως στη σύνταξη Προμελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την επαναλειτουργία του Μεταλλείου των Μαύρων Πετρών. Το μεταλλείο ξεκινά και πάλι την λειτουργία του τον Οκτώβριο του 2005 με την παραγωγή συμπτκνωμάτων μόλυβδου και ψευδαργύρου (Παπαγρηγορίου κ.ά. 2009).

Η Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. υποβάλλει τον Ιανουάριο του 2006 στο Ελληνικό Δημόσιο ένα επενδυτικό σχέδιο ανάπτυξης για τα Μεταλλεία Κασσάνδρας στην Ανατολική Χαλκιδική στην περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας για το οποίο έχει λάβει θετική έγκριση για την υλοποίησή του (ΥΠΑΝ/Γεν./Δ.νση Φυσικού Πλούτου//Δ.νση μεταλλευτικών και βιομηχανικών ορυκτών/Τμήμα Β', α.π. /8-Α/Φ7.49.13/οικ.6837/1477/27-3-2006) για την παράλληλη ανάπτυξη και εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της Ολυμπιάδας και των Σκουριών. Το σχέδιο αυτό προβλέπει τη δημιουργία μεταλλουργίας χρυσού στην περιοχή του ξοφλημένου μεταλλείου του Μαντέμ Λάκκου. Μετά την αποδοχή του επιχειρηματικού σχεδίου από την κυβέρνηση, η εταιρία Ελληνικός Χρυσός καταθέτει την Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ) από την οποία θα λάβει γνωμοδότηση το 2009

ύστερα από τη διαδικασία της Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης. Η απόφαση είχε την γνωμοδότηση από πέντε υπουργεία των 5 συναρμοδίων υπουργείων (Παπαρηγορίου κ.ά. 2009, 2010, Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων 2012).

Τον Αύγουστο του 2010, κατατίθεται η τελική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), η οποία περιλαμβάνει πλήρη ανάπτυξη των προαναφερθέντων έργων στα μεταλλεία Κασσάνδρας. Παράλληλα εκκινούν τα έργα καθαρισμού και αποκατάστασης του περιβάλλοντος κατά προτεραιότητα σε περιοχές που είχαν διαταραχθεί από την προγενέστερη μακροχρόνια μεταλλευτική δραστηριότητα. Επίσης οι στοές των παλαιών μεταλλείων Μαντέμ Λάκκος, Μαύρες Πέτρες, Ολυμπιάδα είναι και αυτές στο σχέδιο αποκατάστασης. Στα πλαίσια αυτά η Ελληνικός Χρυσός και η ΕΛΛΑΚΤΩΡ, από κοινού ιδρύουν την εταιρεία ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΦΥΤΩΡΙΑ Α.Ε. και το 2008 κατασκευάστηκε το φυτώριο στην Ολυμπιάδα, με σκοπό τη διαφύλαξη της αποκατάστασης του τοπίου, παράλληλα με τη μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή (Ελληνικά Φυτώρια Α.Ε. 2013, Παπαρηγορίου κ.ά. 2010).

Σύμφωνα με τον Σύνδεσμο Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων (2012), τον Ιούλιο του 2011, υπογράφεται με Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) από τον υπουργό Περιβάλλοντος Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, η Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων του έργου των Μεταλλευτικών Μεταλλουργικών Εγκαταστάσεων Μεταλλείων Κασσάνδρας Χαλκιδικής της εταιρείας Ελληνικός Χρυσός, ύστερα από μακρά διαβούλευση με την τοπική κοινωνία και φορείς της περιοχής καθώς και τις συναρμόδιες υπηρεσίες άλλων υπουργείων.

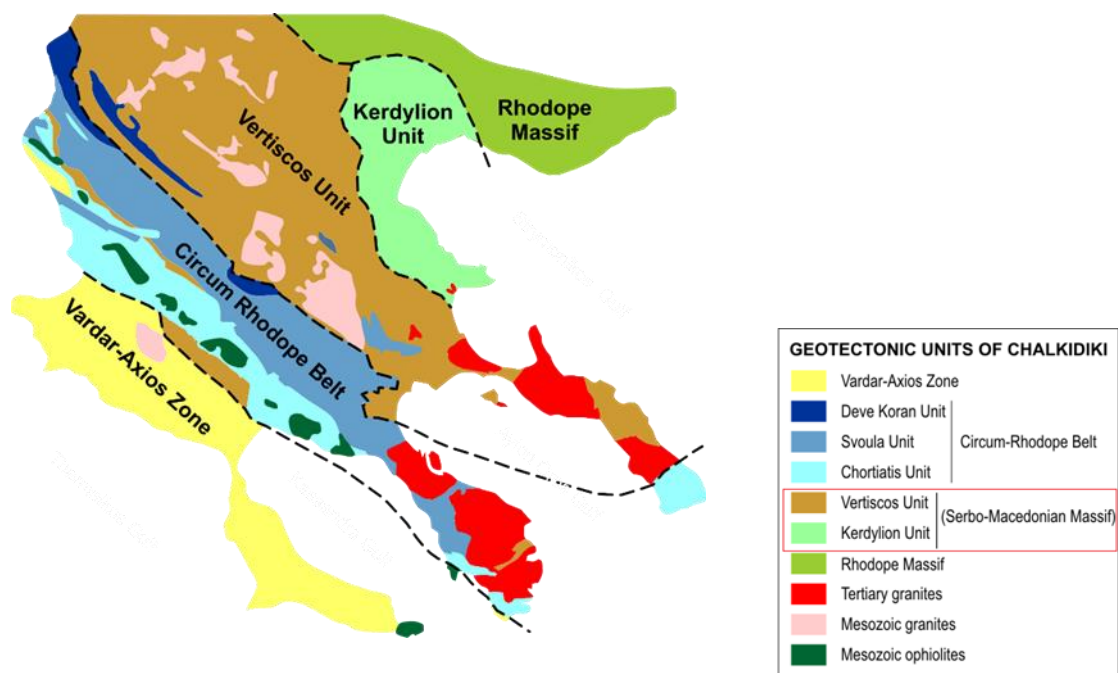
Τέλος τον Φεβρουάριο του 2012 ολοκληρώνεται και εγκρίνεται το προτελευταίο βήμα για την τεχνική μελέτη των εργοταξίων στις μεταλλευτικές περιοχές Σκουριών, Ολυμπιάδας, Μαύρων Πετρών-Στρατωνίου από το Συμβούλιο της Επικρατείας (Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ΥΠΕΚΑ 2011), ενώ ορόσημο στην ιστορία των Μεταλλείων Κασσάνδρας, θα αποτελέσει η 17η Απριλίου 2013 όπου επίσης το ΣτΕ με απόφαση του , επισφραγίζει την νομιμότητα των οικονομικών κοινωνικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων της επένδυσης. Οι εργαζόμενοι του μεταλλείου σήμερα είναι 2000 και το κόστος επένδυσης σύμφωνα με το επενδυτικό σχέδιο θα φτάσει τα 2 δισεκατομμύρια Ευρώ σε βάθος 25 ετών (Hellas Gold S.A. 2015).

2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΥΛΙΚΑ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

2.1.1 Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

Όπως αναφέρθηκε η περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής Μακεδονίας. Αυτή γεωτεκτονικά τοποθετείται σύμφωνα με την εξέλιξη του Αλπικού ορογενούς κατά τους Kockel et al. (1971) και Μουντράκη (1983, 1994) στην Ελληνική Ενδοχώρα και στις Εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες (Εικ. 2.1). Η πρώτη αποτελείται από την Σερβομακεδονική Μάζα (Serbo-Macedonian Massif), την Μάζα της Ροδόπης (Rhodope massif), ενώ οι δεύτερες χωρίζονται στις: Περιροδοπική ζώνη (Circum Rhodope Belt), τη Ζώνη Αξιού (Vardar – Axios Zone), την Πελαγονική ζώνη (Pelagonian Zone) και την Υποπελαγονική ζώνη (Sub-pelagonian Zone), όπως φαίνεται στο παρακάτω απλοποιημένο σχήμα (Μουντράκης 1983, 1994).



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών της χερσονήσου της Χαλκιδικής (τροποποιημένο κατά Σολδάτος από Μουντράκης 1983, 1994) (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Ορυκτολογία-Εικονικό εργαστήριο, 2015).

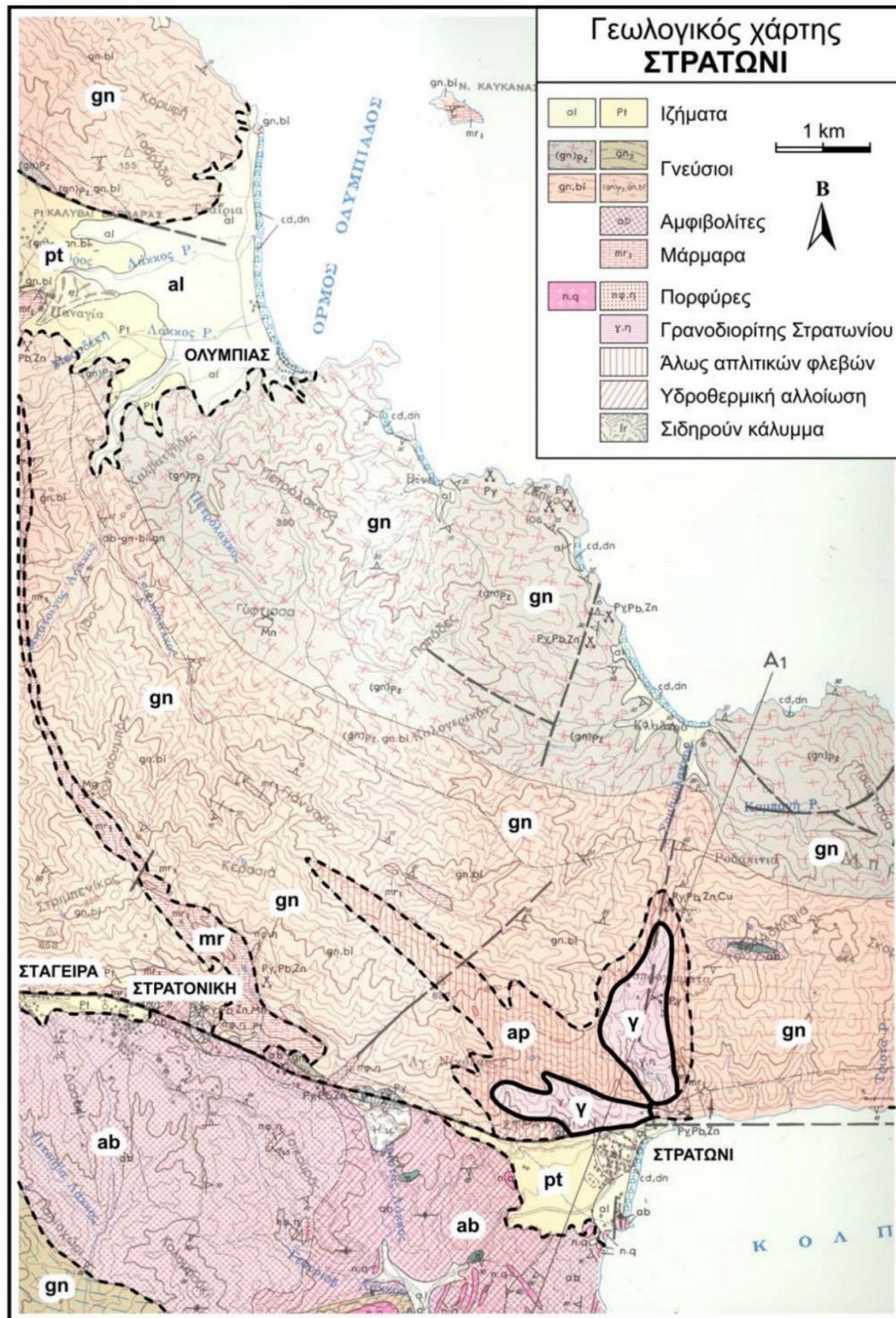
Η Χαλκιδική σύμφωνα με τους Kockel et al. (1971) και Μουντράκης (1983), (1994) είναι η μοναδική χερσόνησος της βορείου Ελλάδος και τοποθετείται κατά το

ήμισυ στην Ενδοχώρα και συγκεκριμένα στην Σερβομακεδονική Μάζα, ενώ η υπόλοιπη έκτασή της μοιράζεται στις Εσωτερικές Ελληνίδες και συγκεκριμένα σε δύο λεπτές επιμήκεις λωρίδες (Περιοδοπική ζώνη και Ζώνη Αξιού), πάχους περίπου 18-22 Km και ΒΔ – ΝΑ κατεύθυνσης. Ο Dinter (1998) στην έρευνα του για το για το Αλπικό ορογενές, αναφέρει πως το δυτικό όριο της Χαλκιδικής εντοπίζεται κάτω από τα θαλάσσια και χερσαία ιζήματα του Μειοκαίνου – Πλειστοκαίνου του τεκτονικού ορίου του ποταμού Στρυμόνα όπου η Σερβομακεδονική συναντά την Μάζα της Ροδόπης.

2.1.2 Γεωλογία της βορειοανατολικής Χαλκιδικής

Η βορειοανατολική Χαλκιδική ανήκει γεωτεκτονικά στην Σερβομακεδονική μάζα και η οποία σύμφωνα με τους Dimitrijevic & Ciric (1967), Kockel & Walther (1965, 1968), Kockel et al. (1971) διακρίνεται από τα δυτικά προς ανατολικά σε δύο λιθοστρωματογραφικές ενότητες: την κατώτερη ενότητα Κερδυλλίων και την ανώτερη ενότητα Βερτίσκου αντίστοιχα. Σύμφωνα με τους Himmerkus et al. (2006) το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο χρονολογείται στα 555 – 587Ma, δηλαδή Α. Προτεροζωικής ηλικίας.

Η ενότητα των Κερδυλλίων κατά των Σακελλαρίου (1989) είναι Προκάμβριας ηλικίας αποτελούμενη από τρεις ορίζοντες. Αυτοί αποτελούνται από βιοτιτικούς, μιγματιτικούς, κεροστιλβικούς, γρανατούχους και αμφιβολιτιωμένους εκλογίτες στους οποίους όπως, σημειώνουν οι Kockel και Walther (1968), παρεμβάλλονται άλλοι τρεις ορίζοντες. Οι ορίζοντες αυτοί αποτελούνται από μάρμαρο λευκό έως τεφρό μεγάλου πάχους όπου φτάνουν αθροιστικά τα 3.000m και αποτελούν στρωματογραφικά την βαθύτερη ενότητα των γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδος. Ο σημαντικότερος από αυτούς τους ορίζοντες είναι ο κατώτερος ορίζοντας μαρμάρου, πάχους περίπου 150m και φιλοξενεί την μετασωματική – υδροθερμική μεταλλοφορία σουλφιδίων Pb-Zn-Au-Ag του Μάντεμ Λάκκου, Μάυρων Πετρών και της Ολυμπιάδας. Αποτελείται από δολομίτη, ροδοχρωσίτη, γραφίτη, χαλαζία, μοσχοβίτη και χλωρίτη. Τέμνεται από τον γρανοδιορίτη του Στρατωνίου στην περιοχή του Μάντεμ Λάκκου και παρουσιάζει πολυάριθμες πηγματιτικές - απλιτικές φλέβες (νεότερες της μεταλλοφορίας) και άλω θερμομεταμόρφωσης με ορυκτά skarn (Εικ. 2.2) (Frei 1992, Kalogeropoulos et al. 1989a,b).



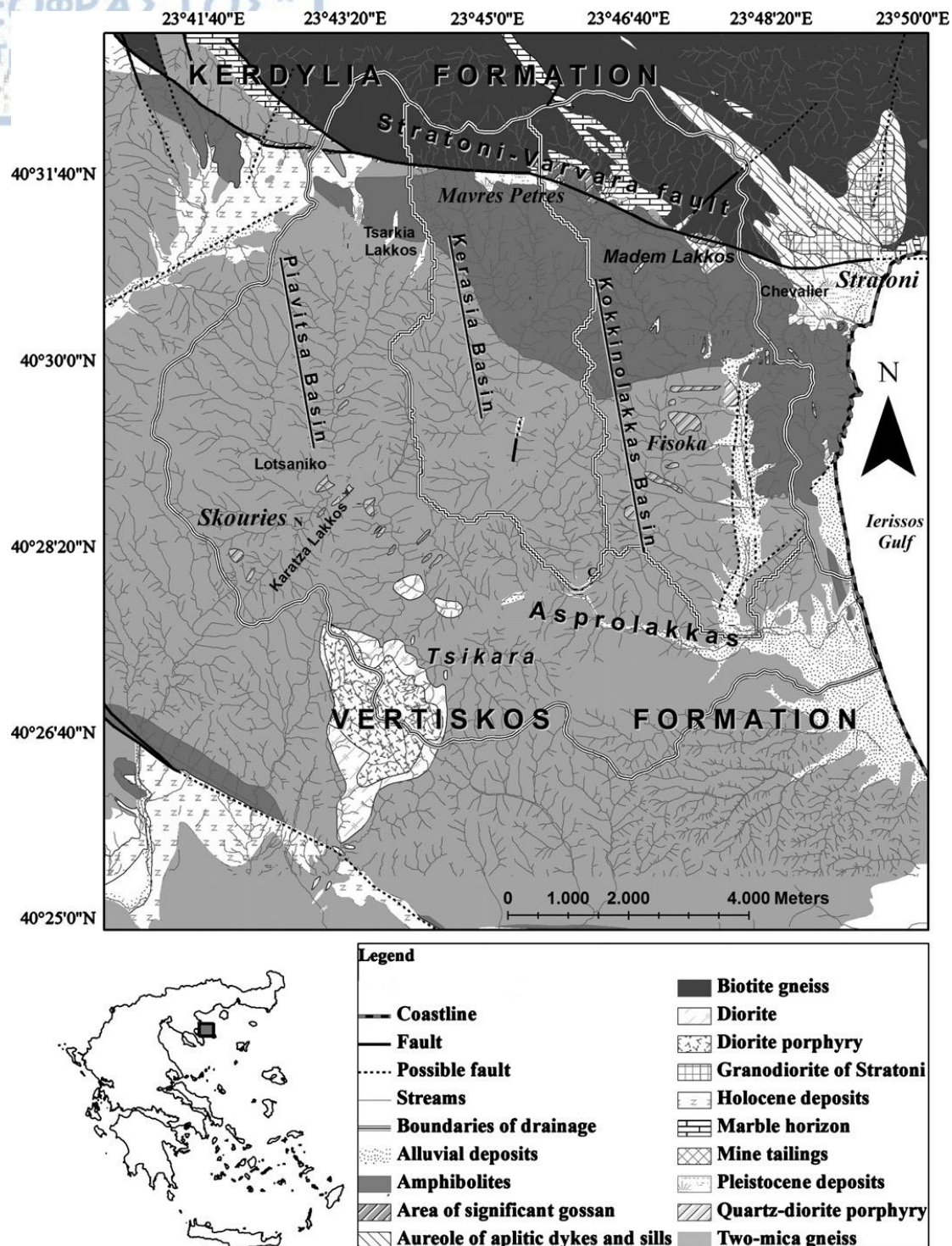
Εικόνα 2.2. Γεωλογικός χάρτης Στρατωνίου – Μαντέμ Λάκκου φύλλο: Στρατονίκη, Ι.Γ.Μ.Ε., (Kockel et al. 1978).

Πρέπει να σημειωθεί πως ορυκτά skarn δεν βρέθηκαν στην Ολυμπιάδα. Ο ανώτερος ορίζοντας του γαλάζιου έως λευκού παχυστρωματώδους μαρμάρου της περιοχής μελέτης παρουσιάζει ενστρώσεις βιοτιτικού γνευσίου, κεροστιλβικού σχιστόλιθου και αμφιβολιτών. Αυτός εκτείνεται κατά μήκος της επαφής της ενότητας Κερδυλίων με την ενότητα Βερτίσκου σε μία τεκτονική γραμμή γνωστή ως το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας. Τα τεκτονικά στοιχεία του ρήγματος αυτού είναι ΑΝΑ-ΔΒΔ παράταξης, γωνίας κλίσης 30ο προς Ν το οποίο κατά τον Neubauer (1957), έδωσε τον μεγάλο σεισμό του 1932. Σημαντικά κοιτάσματα Μπ και Αu εντοπίζονται στις περιοχές Πιάβιτσα και Γκαβάζι και οφείλουν την παρουσία τους στην τεκτονική αυτή γραμμή Στρατωνίου - Βαρβάρας (Frei 1992).

Όσο αφορά τους γνευσίους αυτής της ενότητας, μελετήθηκαν από αρκετούς επιστήμονες κατά το παρελθόν. Κατά τον Δημητριάδη (1974) ορισμένοι βιοτιτικοί γνεύσιοι προήλθαν από μεταμόρφωση παλαιότερων ιζημάτων ασβεσταλκαλικής σύστασης και θεωρούνται παρα-γνεύσιοι, ενώ οι υπόλοιποι έχουν πυριγενή προέλευση από τους γρανίτες που διείσδυσαν κατά το Σιλούριο (428 – 433 Ma) (Himmerkus et al. 2006). και θεωρούνται όρθο-γνεύσιοι (Kalogeropoulos et al. 1989b).

Τέλος όσο αφορά τους αμφιβολίτες της ενότητας των Κερδυλλίων οι Κασώλη-Φουρναράκη (1981) και οι Kalogeropoulos et al. (1989b), υποστήριξαν την μαγματική προέλευση αυτών των αμφιβολιτών, αντικείμενο το οποίο στο παρελθόν είχε τεθεί υπο αμφισβήτηση, καθώς παλαιότερα θεωρούνταν κατά τους Δημητριάδης (1974) και Kockel et al. (1977) ιζηματογενούς προέλευσης και συγκεκριμένα από την μεταμόρφωση μαργαϊκών πρωτολίθων.

Η ενότητα Βερτίσκου (Εικ. 2.3) παρουσιάζει αρκετά μεγάλη ποικιλία λιθολογικών σχηματισμών και αποτελείται από διμαρμαρυγιακούς, μιγματιτικούς, μοσχοβιτικούς, βιοτιτικούς, κεροστιλβικούς γνεύσιους, ορθογνεύσιους, οφθαλμογνεύσιους, με παρεμβολές από φακούς αμφιβολιτών και μεταμορφωμένων οφιολιθικών πετρωμάτων άγνωστης ηλικίας (Kockel et al. 1977, Frei 1992, Σακελλαρίου 1989).



Εικόνα 2.3. Γεωλογικός χάρτης της ενότητας του Βερτίσκου πάνω στην ενότητα των Κερδυλλίων κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας. (Τροποποιημένο κατά Kelepertzis et al. 2012 από τον απλοποιημένο χάρτη των Kockel et al. 1977).

Σημειώνεται από τους Osswald (1938), Kockel et al. (1971), Δημητριάδης (1974) πως τα γνευσιακά πετρώματα διατέμνονται από πυκνό δίκτυο πηγματιτικών φλεβών σε όλη τους την έκταση ενώ η ηλικία των γνευσιακών πετρωμάτων θεωρείται Κ.

Παλαιοζωική – Προκάμβρια. Ο κυρίαρχος σχηματισμός της ενότητας είναι οι διμαρμαρυγικοί γνεύσιοι που βρίσκονται σε εναλλαγές με μοσχοβιτικούς γνευσίους ενώ, η έντονη παρουσία σταυρόλιθου υποδεικνύει και την περίσσεια Al η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα μεταμόρφωσης αργιλικών ιζημάτων. Οι αμφιβολίτες κατά ορισμένους ερευνητές (Κασώλη-Φουρναράκη 1981, Sapountzis et al. 1990) εμφανίζονται μέσα στους γνευσίους ως ενστρώσεις μερικών δεκάδων μέτρων όπου παρουσιάζονται ως σχιστοποιημένοι και έχουν όρθο-προέλευση, ενώ κατά τον Σακελλαρίου (1989) οι οφθαλμογενέσιοι που παρουσιάζουν μυλονιτικό ιστό έχουν πάρα-προέλευση και προέρχονται από την μεταμόρφωση γραουβακών πιθανόν μαργαϊκού χαρακτήρα.

2.1.3 Μαγματισμός της περιοχής μελέτης

Σημαντικές για την δημιουργία των κοιτασμάτων στην περιοχή είναι οι πολυάριθμες πυριγενείς διεισδύσεις που διακόπτουν τη συνέχεια των μεταμορφωμένων πετρωμάτων, της Σερβομακεδονικής μάζας. Αυτές κατατάσσονται σε τέσσερις φάσεις μαγματισμού (Nicolaou 1960, Frei 1992 και Gilg & Frei 1994).

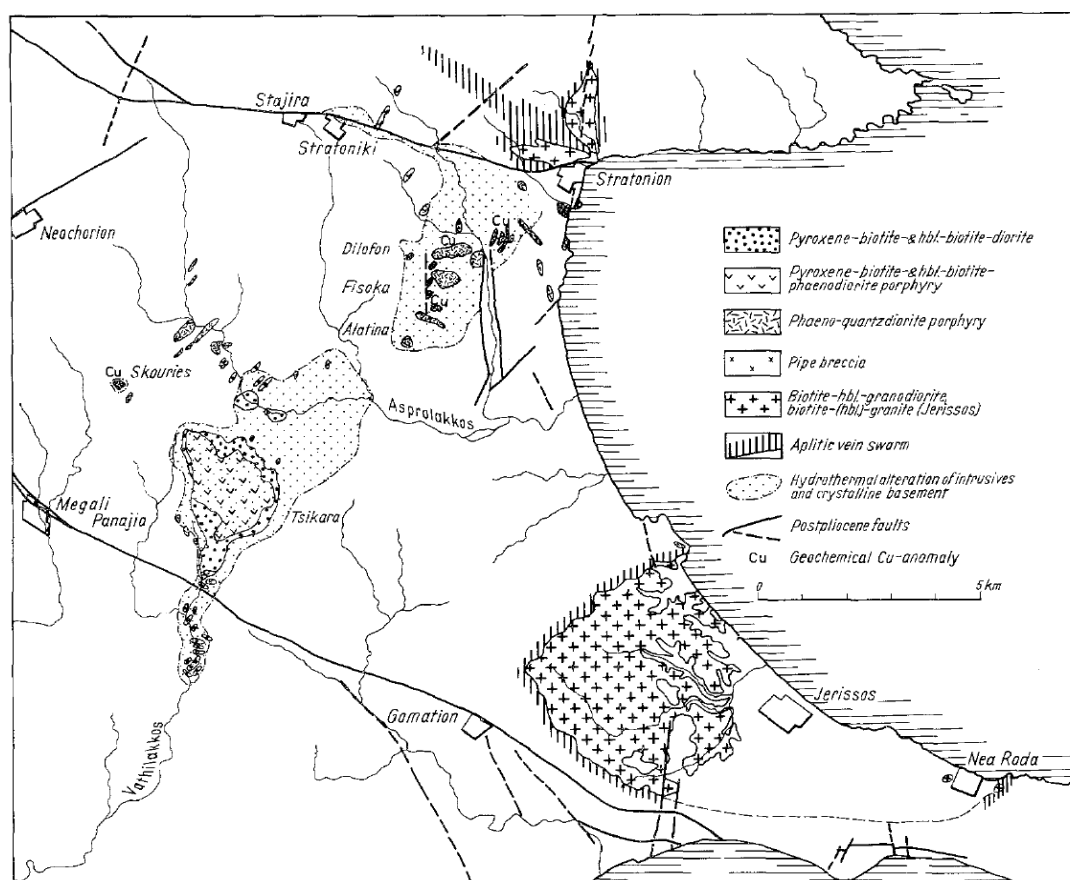
Σύμφωνα με τους Nicolaou (1960), Frei (1992) και Gilg & Frei (1994) η πρώτη φάση μαγματισμού είναι βασικής - υπερβασικής σύστασης προαλπικής ηλικίας και εντοπίζεται στο χώρο επαφής των δύο ενοτήτων Βερτίσκου και Κερδυλλίων βόρεια της λίμνης Βόλβης. Τα πυριγενή πετρώματα που απαρτίζουν αυτή τη φάση μαγματισμού είναι: μεταβασίτες, ορθο-αμφιβολίτες, μεταγάββροι, και μεταδιαβάσες (4.6.).

Η δεύτερη φάση μαγματισμού (Εικ. 2.4) στην οποία αναφερθήκαμε και προηγουμένως, μελετήθηκε από τους Himmerkus et al. (2006), Nicolaou (1960), Frei (1992) και Gilg & Frei (1994), είναι γρανιτικής σύστασης, Άνω-Μέσο Παλαιοζωικής ηλικίας (428 – 433 Ma) συνδεδεμένη με την Ερκύνια ορογένεση και αντιπροσωπεύεται από τους πλαγιокλαστικούς – μικροκλινικούς ορθογνευσίους των περιοχών Κερδυλλίων, Ολυμπιάδας, Βερτίσκου, οι οποίοι θεωρούνται παλιοί γρανίτες.

Η τρίτη φάση μαγματισμού αναφέρουν οι De Wet et al. (1989) είναι Μεσοζωικής ηλικίας και δημιούργησε κυρίως τους μεγάλους γρανιτικούς όγκους της Αρναίας του Μονοπήγαδου, του Λαχανά, τον χαλαζιακό Διορίτη του Υλαμουρίου στο όρος Βερτίσκος σε ένα χρονολογικό πλαίσιο περί των 212 - 135 Ma. Ο γρανίτης της Αρναίας, χρονολογείται στα 155Ma και είναι ένας μεγάλος πυριγενής όγκος με

μεγάλη επιφανειακή έκταση. Είναι μεσοκοκκώδης μοσχοβιτικός - βιοτιτικός - λευκογρανίτης και βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με τους γνευσίους του Βερτίσκου. Οι πλουτωνίτες αυτοί θεωρούνται συντεκτονικοί της Αλπικής πύκνωσης του Μεσοζωικού.

Η σημαντικότερη φάση μαγματισμού, όμως εντοπίζεται στην Τριτογενή περίοδο όπου μερικώς πορφυρικοί ασβεσταλκαλικοί έως σωσσονιτικοί πυριγενείς όγκοι διείσδυσαν στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής και σχετίζονται με τις μεταλλοφορίες στις περιοχές Κιλκίς (Γερακαριό, Βάθη, Ποντοκερασιά), Μαντέμ Λάκκου, Μαύρων Πετρών, Στανού, Πιάβιτσας, Ολυμπιάδας, Σκουριών, Τσικάρας, Φισώκας, Αλατίνας (Kockel et al. 1975, 1977, Tomproulouglou et al. 1986, Fytikas et al. 1984, Nicolaou 1960, Frei 1992 και Gilg & Frei 1994). Συνεπώς στην περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής έχουμε ήδη από το Α. Ολιγόκαινο την γένεση ενός σύνθετου «Πορφυρικού συστήματος» που αναπτύχθηκε από συνεχόμενες διεισδύσεις.



Εικόνα 2.4. Χάρτης με τις πυριγενείς - πορφυρικές διεισδύσεις στο υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής μάζας (Kockel et al. 1975).

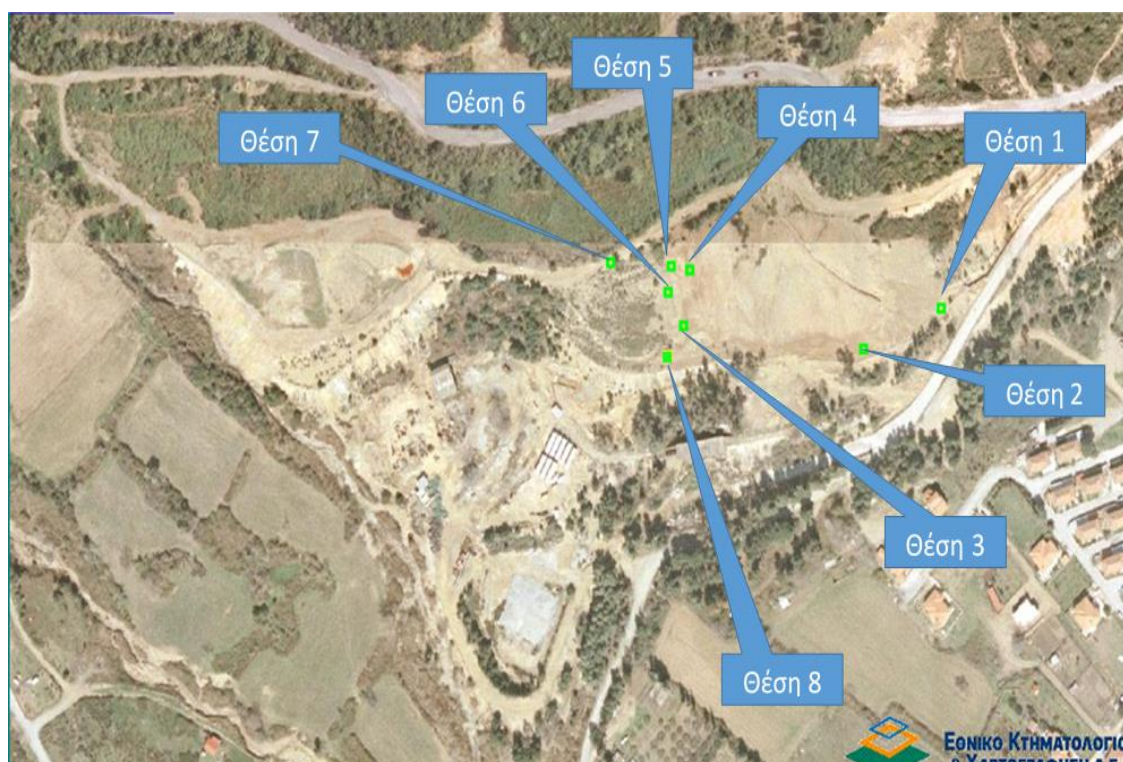
Η δειγματοληψία στην παρούσα Διατριβή Ειδίκευσης, περιλαμβάνει την τυχαία δειγματοληψία υλικών στο χώρο απόθεσης για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης καθώς των εδαφών και του συμπυκνώματος.

2.2.1 Τυχαία δειγματοληψία υλικών

Για τη δειγματοληψία των εδαφών και των συμπυκνωμάτων εφαρμόστηκε η μέθοδος της τυχαίας δειγματοληψίας. Η τυχαία δειγματοληψία εδαφών και συμπυκνώματος στην πλατεία +53, πραγματοποιήθηκε στις 23/04/2014 και 27/04/2016, σε επτά (7) θέσεις εντός της λεκάνης απόθεσης και μία (1) εκτός. Συνολικά από όλες τις θέσεις συλλέχθηκαν είκοσι (20) δείγματα. Συλλέχθηκαν δείγματα από την επιφάνεια της πλατείας «grab samples» (Θέσεις 1, 3, 4, 5, 6) (Εικ. 2.6, 2.8, 2.9), αλλά και σε τρεις θέσεις που υπήρχε δυνατότητα εκτέλεσης εγκάρσιας τομής με τη βοήθεια εκσκαφέα τύπου JCB με κωδικούς: Θέση 2, Θέση 7, 8 (Εικ. 2.7, 2.11, 2.12). Όπως φαίνεται στην Εικ. 2.5 οι θέσεις με κωδικούς Θέση 1-6 και Θέση 8 είναι εντός της πλατείας ενώ η θέση με κωδικό Θέση 7 είναι εκτός της πλατείας. Τα βάθη στα οποία έφτασαν οι εδαφοτομές είναι ενάμιση (1.5) μέτρο για την εδαφοτομή με κωδικό Θέση 2, δύο (2) μέτρα για την εδαφοτομή με κωδικό 7, και 3.5 μέτρα για την εδαφοτομή με κωδικό Θέση 8 (Εικ. 2.7, 2.11, 2.12). Οι εδαφοτομές με κωδικούς Θέση 2 και Θέση 8 πραγματοποιήθηκαν εντός των αποθέσεων. Από την Θέση 2 λήφθηκαν συνολικά επτά (7) δείγματα (2Α, 2Β, 2Γ1, 2Γ2, 2Δ1, 2Δ2, 2Δ3), από την με κωδικό Θέση 7 ελήφθησαν συνολικά τέσσερα (4) δείγματα (7Α, 7Β, 7Γ, 7Δ) ενώ από την Θέση 8 ελήφθησαν δύο (2) δείγματα. ((Εικ. 2.7, 2.11, 2.12). Στην Εικ. 2.12 αναλύονται τα πάχη των οριζόντων για την εδαφοτομή με κωδικό Θέση 7. Στον Πίν. 2.1 καταγράφονται αναλυτικά το βάθος, το πάχος του ορίζοντα καθώς και η περιγραφή του δείγματος που συλλέχθηκε από τις τρεις αυτές εδαφοτομές. Επίσης στον ίδιο πίνακα παρουσιάζονται τα ίδια στοιχεία και για την επιφανειακή δειγματοληψία.

Το δείγμα του εδάφους ή του συμπυκνώματος ήταν 500gr (Πίν. 1.1). Κάθε θέση δειγματοληψίας συνοδεύεται από συντεταγμένες σε γεωγραφικό σύστημα ΕΓΣΑ87 οι οποίες πάρθηκαν με GPS τύπου Garmin και φωτογραφική τεκμηρίωση υπαίθρου με κλίμακα. Σε κάθε θέση για να εξασφαλιστεί η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος, η δειγματοληψία δεν έγινε σημειακά αλλά από μία περιοχή διαφόρων σημείων

έκτασης 1x1m και το δείγμα σφραγίστηκε στεγανά σε polybag σακουλάκια για καλύτερη προστασία και αριθμήθηκε, για να μεταφερθεί στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. για προετοιμασία μετρήσεων pH (μέθοδος paste pH), αγωγιμότητας και χημικών αναλύσεων καθώς και στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας για τον προσδιορισμό των ορυκτών φάσεων. Στον παρακάτω χάρτη φαίνονται οι θέσεις δειγματοληψίας καθώς και εδαφοτομών.

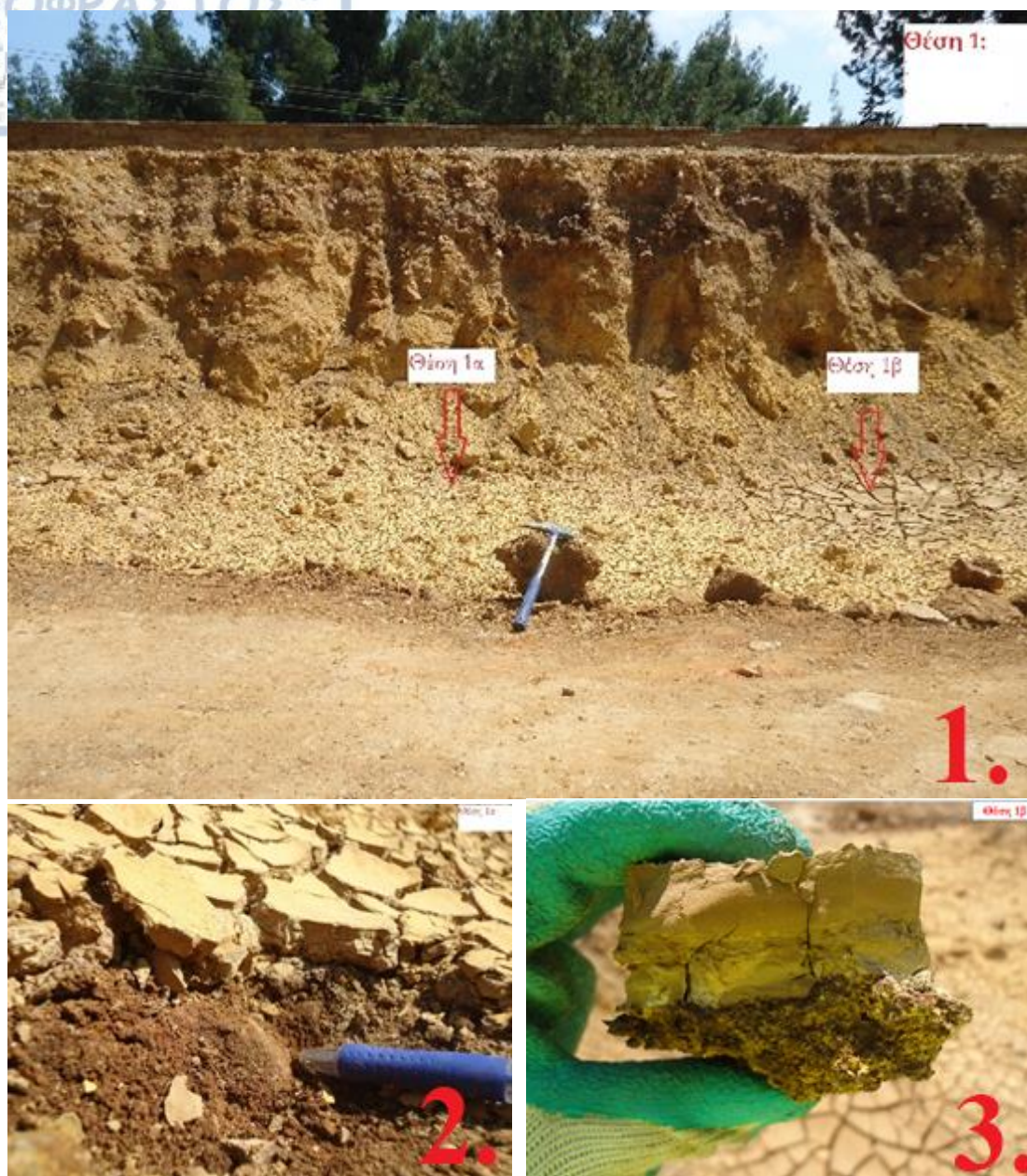


Εικόνα 2.5. Χάρτης με τους κωδικούς των θέσεων δειγματοληψίας εδαφών και συμπυκνωμάτων σιδηροπυρίτη στην πλατεία +53. Οι κωδικοί Θέση 1, 3, 4, 5, 6 αντιπροσωπεύουν επιφανειακά δείγματα ενώ οι κωδικοί Θέση 2, 7, 8 αντιπροσωπεύουν τα δείγματα εδαφών και συμπυκνωμάτων από τις εδαφοτομές που έγιναν. Δορυφορική εικόνα από Εθνικό Κτηματολόγιο & Χαρτογράφηση (2007).

Πίνακας 2.1. Στοιχεία δειγματοληψίας από τις αποθέσεις της Πλατείας +53 Στρατωνίου.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΘΕΣΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΤΙΓΜΑ (X, Y)	ΒΑΘΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (CM)
1A	Εδαφικό δείγμα (αργιλικό)	Αποθέσεις πλατείας +53	484570, 4484677	-
1B	Εδαφικό δείγμα (αργιλοαμμώδες)	Αποθέσεις πλατείας +53	484570, 4484677	-
2α	Εδαφικό δείγμα	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	0 - 25
2β1	Εδαφικό δείγμα (αμμώδες με κροκάλες)	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	25 - 35
2β2	Οξειδωμένο εδαφικό δείγμα (αμμώδες)	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	25 - 35
2γ1	Αποθέσεις εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη (ελαφρώς οξειδωμένο κατά τύπους)	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	35 - 90
2γ2	Οξειδωμένες αποθέσεις εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	35 - 90
2δ1	Εδαφικό δείγμα (Άμμοι - χαλίκια)	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	90 - 110
2δ2	Εδαφικό δείγμα (Άμμοι - χαλίκια με παρουσία οργανικού υλικού)	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	110 - 180
2δ3	Εδαφικό δείγμα (Άμμοι - χαλίκια με παρουσία οργανικού υλικού)	Εγκάρσια τομή Θέση 2	484520, 4484656	180 - 230
3	Εδαφικό δείγμα (παρουσία επιφλοίωσης από MnO ₂)	Αποθέσεις πλατείας +53	484404, 4484669	-
4	Επανθίσματα	Αποθέσεις πλατείας +53	484408, 4484698	-
5	Εδαφικό δείγμα (αργιλοαμμώδες)	Αποθέσεις πλατείας +53	484396, 4484700	-
6	Δείγμα πετρώματος έντονα εξαλλοιωμένο με επανθίσματα	Αποθέσεις πλατείας +53	484399, 4484689	-

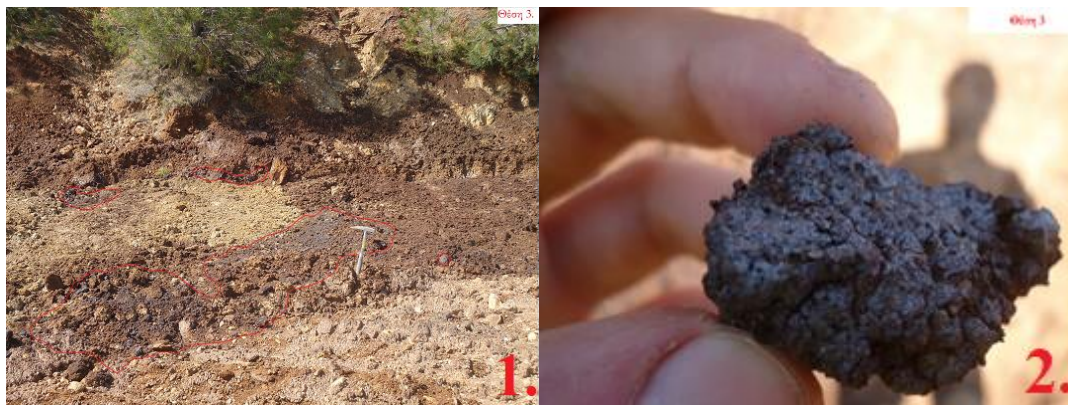
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΘΕΣΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΤΙΓΜΑ (X, Y)	ΒΑΘΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (CM)
7α	Εδαφικό δείγμα (Άμμοι - χαλίκια)	Εγκάρσια τομή Θέση 7	484340, 4484694	0 - 60
7β	Έντονα οξειδωμένοεδαφικό δείγμα	Εγκάρσια τομή Θέση 7	484340, 4484694	60 - 90
7γ	Αποθέσεις εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη	Εγκάρσια τομή Θέση 7	484340, 4484694	90 - 150
7δ	Εδαφικό δείγμα (αμμώδεις)	Εγκάρσια τομή Θέση 7	484340, 4484694	150 - 200
8α	Αποθέσεις εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη	Εγκάρσια τομή Θέση 8	484401, 4484661	100 - 220
8β	Αποθέσεις εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη	Εγκάρσια τομή Θέση 8	484401, 4484661	100 - 220



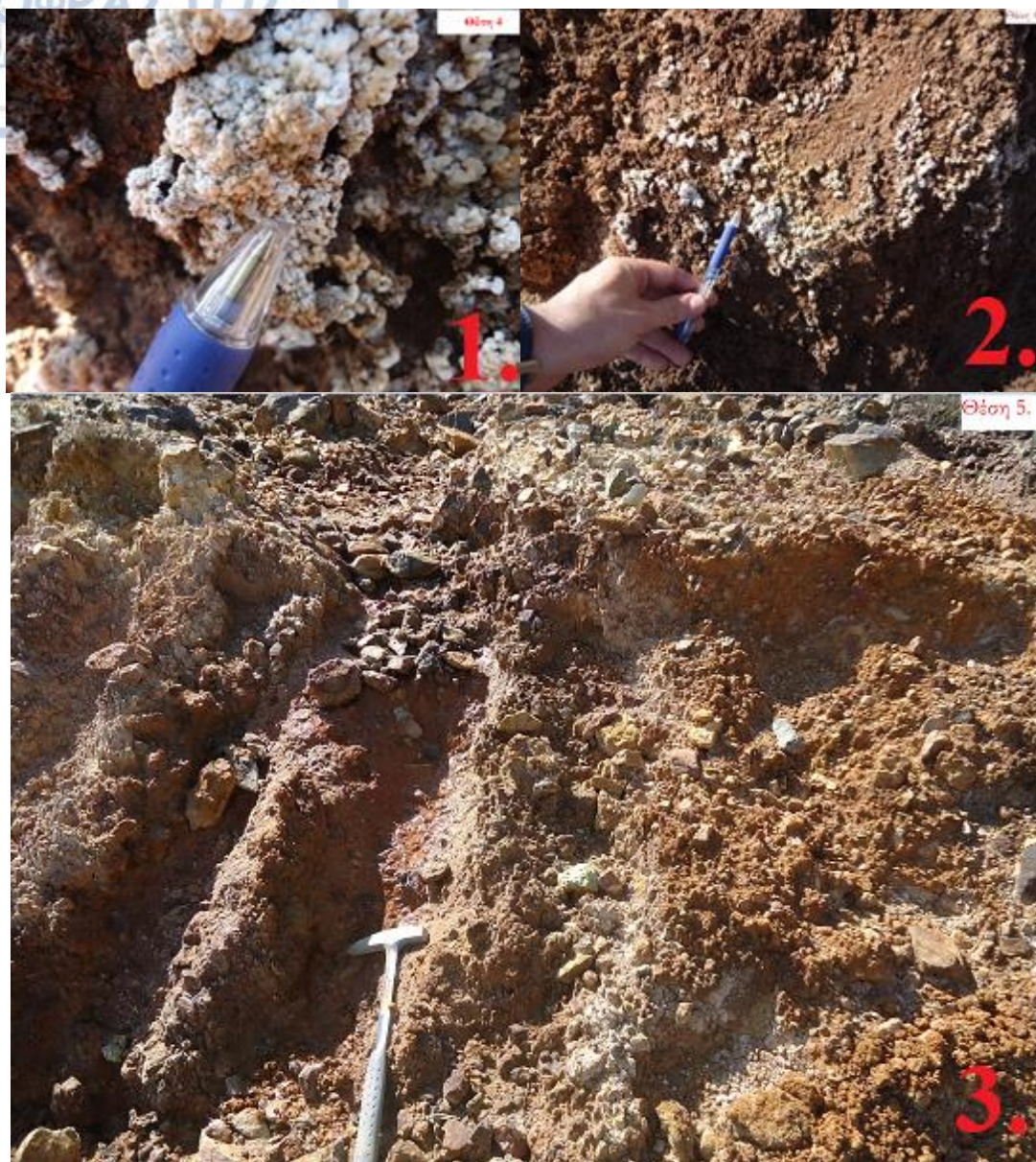
Εικόνα 2.6. Θέσεις δειγματοληψίας εδαφών «Θέση 1». 1.) Εικόνα με την περιοχή από την οποία ελήφθησαν τα δείγματα με κωδικούς 1α, 1β, 2.) Δείγμα «Θέση 1α», 3.) Δείγμα «Θέση 1β».



Εικόνα 2.7. Θέσεις δειγματοληψίας και εκσκαφών της τομής με κωδικό «Θέση 2». 1.) Η εκσκαφή της εδαφοτομής, 2.) Εικόνα υπαίθρου εδαφοτομής αμέσως μετά την εκσκαφή όπου διακρίνεται ο ορίζοντας αποθέσεων εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη, 3.) Οξειδωμένος ορίζοντας συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη.



Εικόνα 2.8. Θέση δειγματοληψίας με κωδικό «Θέση 3». 1.) Εικόνα υπαίθρου. Η μαρκαρισμένη περιοχή με κόκκινο χρώμα δείχνει την έκταση των εδαφών με τις κρούστες οξειδίων Mn. 2.) Δείγμα εδάφους με οξείδια Mn.



Εικόνα 2.9. Θέσεις δειγματοληψίας με κωδικούς «Θέση 4, 5». 1.) Δείγματα επανθισμάτων όπως αυτά φαίνονται στην πλατεία +53 με κωδικό Θέση 4, 2.) Δείγματα επανθισμάτων όπως αυτά φαίνονται στην πλατεία +53 με κωδικό Θέση 4, 3.) Εικόνα υπαίθρου δείγματος με κωδικό Θέση 5.



Εικόνα 2.10. Θέση δειγματοληψίας με κωδικό «Θέση 6». Σε όλες τις φωτογραφίες απεικονίζεται το οξειδωμένο δείγμα πετρώματος το οποίο επιφανειακά παρουσιάζει λευκά επανθίσματα.



Εικόνα 2.11. Θέση δειγματοληψίας εδαφοτομής με κωδικό «Θέση 8», όπου απεικονίζεται ο ορίζοντας εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη αμέσως μετά την εκσκαφή πάχους 1.5 μέτρου.



Εικόνα 2.12. Θέση δειγματοληψίας εδαφοτομής με κωδικό «Θέση 7». **7α)** Δείγμα με κωδικό Θέση 7α και πάχος ορίζοντα 60 εκατοστά, **7β)** Οξειδωμένο δείγμα με κωδικό Θέση 7β, πάχους 30 εκατοστών, **7γ)** Αποθέσεις εμπλουτίσματος σιδηροπυρίτη πάχους 60 εκατοστών με κωδικό Θέση 7γ.

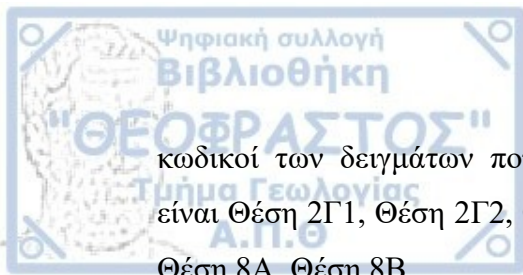
2.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η προετοιμασία των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. και περιελάμβανε τα εξής στάδια: ξήρανση, ομογενοποίηση, κοσκίνιση, λειοτριβίση, και τεταρτοτόμηση για λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος.

Τα δείγματα που ελήφθησαν από την ύπαιθρο και προστατεύτηκαν κατάλληλα και στεγανά όπως προαναφέρθηκε, επιδέχτηκαν την ίδια μέθοδο προετοιμασίας. Τα δείγματα ξηράθηκαν στους 80° C για 48h, θραύτηκαν ελαφριά με σκοπό την αποσυσσωμάτωσή τους σε κατάλληλου τύπου ιγδίο. Ακολούθως τα δείγματα κοσκίνιστηκαν, έγινε λειοτριβίση και τέλος με τεταρτοτόμηση λάβαμε αντιπροσωπευτικό δείγμα για την χημική ανάλυση.

2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

Για να προσδιοριστεί η ορυκτολογική σύσταση του συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη αλλά και των εδαφικών υλικών της πλατείας μελετήθηκαν 5 δείγματα υλικών. Τα δύο αντιπροσωπεύουν το συμπύκνωμα (ένα καθαρό και ένα οξειδωμένο δείγμα από την εδαφοτομή με κωδικό Θέση 2Γ1 και Θέση 2Γ2, (Εικ. 2.3, 7.1, 7.2) και δύο αντιπροσωπευτικά του χώρου που φιλοξένησε κατά το παρελθόν το συμπύκνωμα με κωδικό Θέση 8Α, Θέση 8Β (Εικ. 2.7, 7.5-7.7). Το τελευταίο είναι ένα δείγμα από θέση εκτός της πλατείας +53 στην εδαφοτομή με κωδικό Θέση 7Γ (Εικ. 2.8, 7.3, 7.4). Η ακτινογραφική μελέτη έγινε με περιθλασίμετρο ακτίνων Χ (XRD) και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός έγινε με την μέθοδο Klug & Alexander (1974). Οι κωδικοί των δειγμάτων που μελετήθηκαν με ακτινογράμματα είναι οι Θέση 1Α, Θέση 2Γ1, Θέση 2Γ2 και Θέση 4. Αξίζει να σημειωθεί πως το δείγμα με κωδικό Θέση 1Α είναι αργιλικό δείγμα που συλλέχθηκε από μέρος που δεχόταν σε καθημερινή βάση όξινες απορροές (Εικ. 2.2). Στα δύο δείγματα συμπυκνώματος για τα οποία πραγματοποιήθηκε ακτινογραφική μελέτη (κωδικοί: Θέση 2Γ1, Θέση 2Γ2), κατασκευάστηκαν επίσης δύο στιλπνές τομές οι οποίες όπως αναφέρθηκε μελετήθηκαν με τη χρήση μεταλλογραφικού μικροσκοπίου. Επίσης ορισμένα δείγματα εξετάστηκαν με την μέθοδο ηλεκτρονικού μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Οι



κωδικοί των δειγμάτων που μελετήθηκαν με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι Θέση 2Γ1, Θέση 2Γ2, Θέση 2Δ1, Θέση 3, Θέση 4, Θέση 6, Θέση 7B, Θέση 7Γ, Θέση 8A, Θέση 8B.

Η μελέτη με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων – Χ έγινε σε περιθλασίμετρο τύπου Philips PW1710, που διαθέτει ο τομέας Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας (Ο-Π-Κ) του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.

Για τη μελέτη των μεταλλικών ορυκτών παρασκευάστηκαν 5 στιλπνές τομές στο εργαστήριο του Ο-Π-Κ και μελετήθηκαν με τη χρήση μεταλλογραφικού μικροσκοπίου ανακλώμενου φωτός, τύπου Leitz.

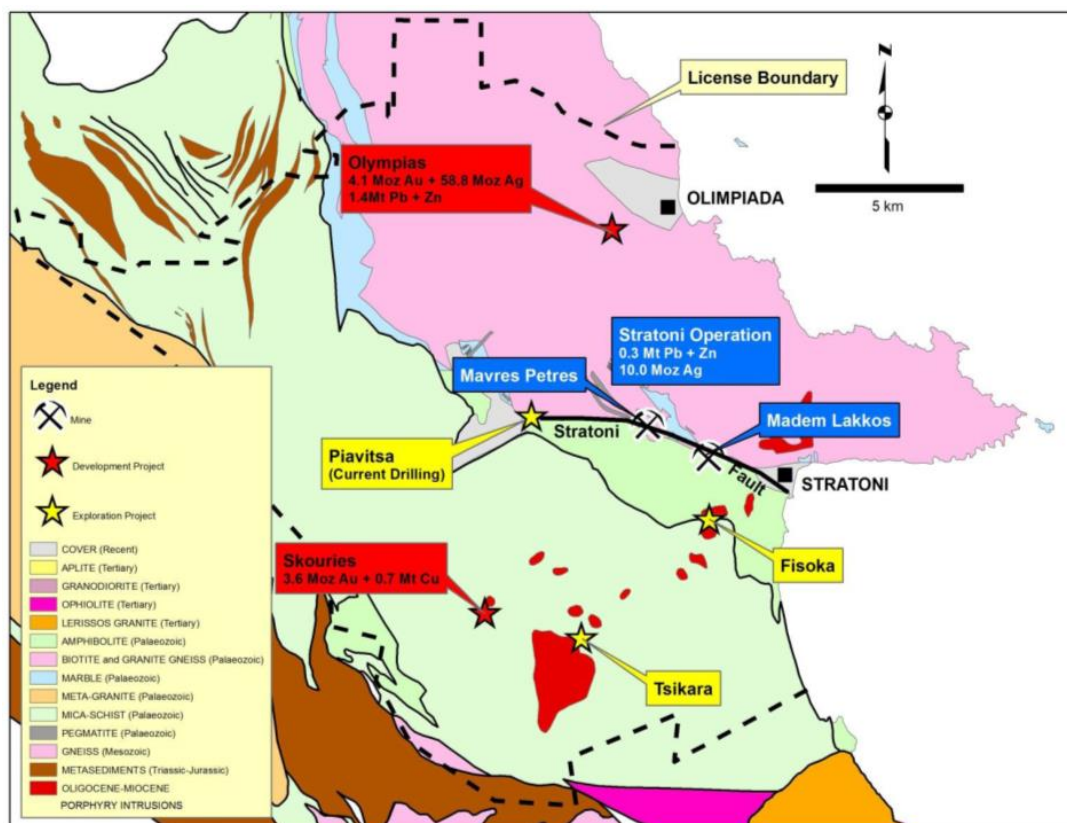
Ο προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων και η χημική τους σύσταση έγινε με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) τύπου JEOL (840A) με αναλυτικό σύστημα EDS Link AN10000 στο διατμηματικό εργαστήριο της Σχολής Θετικών Επιστημών του Α.Π.Θ.

Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για όλα τα δείγματα του Πίν. 2.1. Οι περιεκτικότητες των στοιχείων Ni, Cu, Mn, Be, Ba, Cr, Cd, Al, Bi, B, Ca, Co, Li, Mg, Mo, K, Na, Sr, Tl, Ti, V, Sb, Se προσδιορίστηκαν με τη χρήση της μεθόδου της Ατομικής Εκπομπής με Επαγωγικά Συζευγμένο Πλάσμα (ICP – AES) μετά από διαλυτοποίηση των δειγμάτων σε βασιλικό νερό (Aqua Regia) (95°C). Τα στοιχεία Pb, Zn, Fe, και As μετρήθηκαν με την μέθοδο της Φασματοσκοπίας Ατομικής Απορρόφησης (AAS), ενώ ο Au και ο Ag προσδιορίστηκαν με την μέθοδο Fire Assay. Τέλος όπως αναφέρθηκε η μέτρηση του pH έγινε σύμφωνα με το πρωτόκολλο paste pH (Μέθοδος 9045C, U.S. EPA SW-846) σε όλα τα δείγματα.

3 ΤΥΠΟΙ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗ ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

Η μεταλλοφορία της ΒΑ Χαλκιδικής έχει μελετηθεί εκτενώς από πολλούς μελετητές. Ο λόγος είναι ότι στο υπέδαφος της εντοπίζονται μία σειρά από υψηλής οικονομικής αξίας κοιτάσματα. Οι τύποι μεταλλοφορίας είναι μεικτά θειούχα Pb-Zn-Au-Ag-Cu, πορφυρικά Cu-Au, skarn, μεταλλεύματα Mn-Au και χαλαζιακές φλέβες Au (Neubauer 1957, Nicolaou 1960, 1964, Kalogeropoulos et al. 1989b, Forward & Francis 2009).

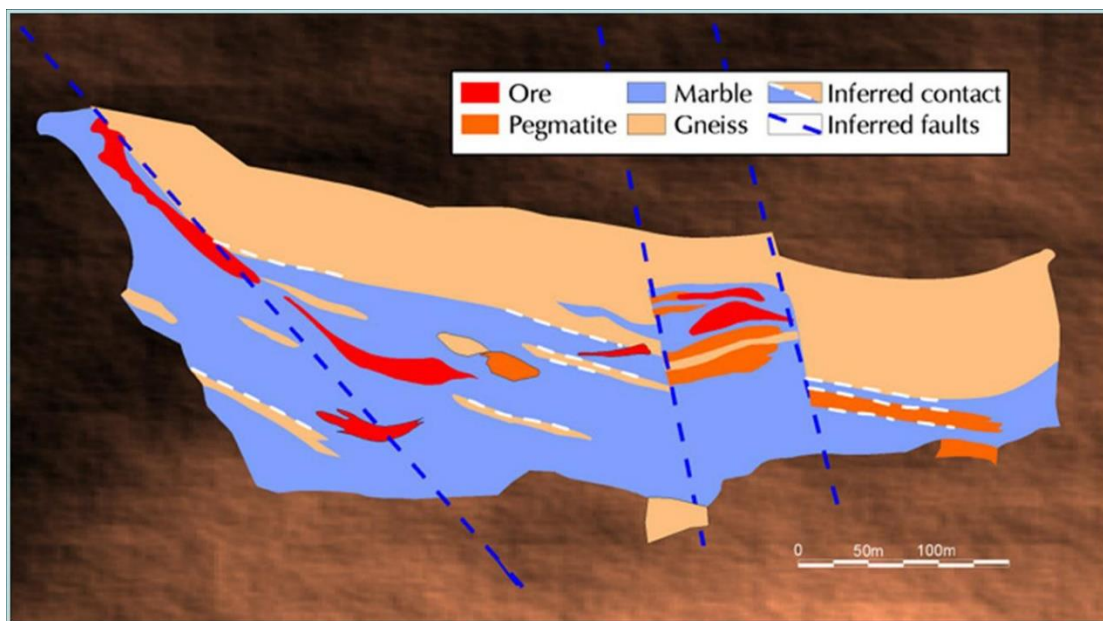
Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της Eldorado Gold Corporation για το 2012, τα σημαντικότερα από οικονομικής αξίας κοιτάσματα (Εικ. 3.1) εντοπίζονται στην περιοχή της Ολυμπιάδας (στρωματέγκληστη μεταλλοφορία Pb-Zn-Au-Ag), στην περιοχή των Σκουριών (μεταλλοφορία πορφυρικού Cu-Au) και στην περιοχή Μαντέμ Λάκκου - Μαύρων Πετρών (στρωματέγκληστη μεταλλοφορία Pb-Zn-Ag) (Forward & Francis 2009, Forward et al. 2011a,b). Άλλες σημαντικές θέσεις είναι στην Πιάβιτσα (μεταλλοφορία οξειδίων Mn) και τα πορφυρικά συστήματα Cu Φισώκας και Τσικάρας (Forward & Francis 2009).



Εικόνα 3.1. Οι μεταλλοφορίες της Χαλκιδικής σε γεωλογικό χάρτη (Eldorado Gold Corp. 2012, European Goldfields Ltd. 2005b).

3.1 ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑΣ

Το κοιτάσμα της Ολυμπιάδας είναι ένα «Distal» πολυμεταλλικό κοιτάσμα Pb-Zb-Au-Ag αντικατάστασης σε ανθρακικά πετρώματα - Carbonate replacement (Forward et al. 2011a). Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της European Goldfields Ltd (Forward et al. 2011a) πρόκειται για στρωματέγκλειστη (Stratabound) μεταλλοφορία, και φιλοξενείται μέσα στον κατώτερο ορίζοντα μαρμάρων στην επαφή με τους βιοτιτικούς γνευσίους της ενότητας των Κερδυλλίων (Kalogeropoulos et al. 1989b). Η κατανομή του κοιτάσματος φαίνεται σε εγκάρσια τομή (Εικ. 3.2).



Εικόνα 3.2. Εγκάρσια τομή στο κοιτάσμα Pb-Zn-Au-Ag της Ολυμπιάδος (Forward et al. 2011α).

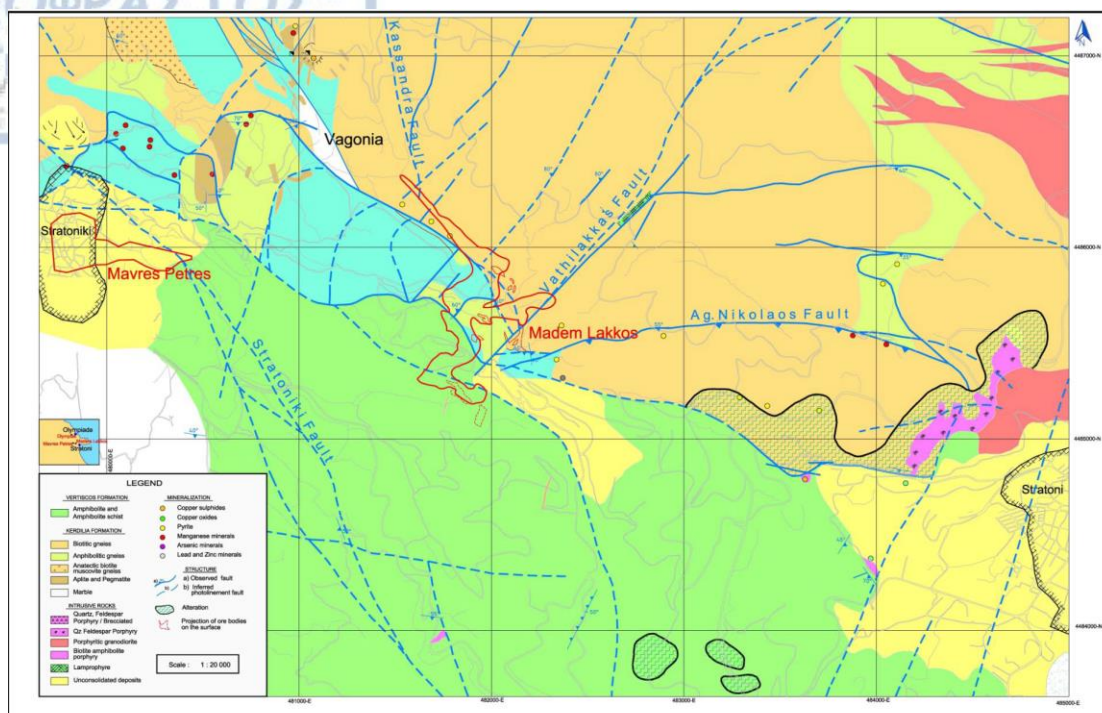
Οι Nicolaou & Kokonis (1980) δίνουν την κατανομή του κοιτάσματος στον χώρο. Σύμφωνα με αυτούς το κοιτάσμα αποτελείται από δύο μεταλλοφόρα σώματα, το Δυτικό και το Ανατολικό. Οι Forward et al. 2011a θεωρούν πως ενδέχεται να αποτελούν το ίδιο κοιτάσμα μετατοπισμένο από ρήγμα. Και τα δύο κοιτάσματα έχουν μεταβαλλόμενη κλίση από κατακόρυφη έως οριζόντια, ακολουθώντας την επαφή μαρμάρου-γνευσίου. Σύμφωνα με τους Οι Nicolaou & Kokonis (1980) το δυτικό κοιτάσμα είναι πλάτους περίπου 250m και βυθίζεται κατά 1200m προς τα ΝΔ. Έχει διαπιστωθεί μέχρι και σε βάθος 500m από την επιφάνεια και είναι ανοιχτό προς τα κάτω.

Οι ίδιοι αναφέρουν πως το πάχος του κυμαίνεται 5-15 m, με κλίση 30°-35° προς Α. Επίσης το ανατολικό κοίτασμα βρίσκεται 150m ανατολικά του δυτικού και έχει δομή αντικλίνου. Η κλίση του είναι 30° προς Ανατολή. Το πλάτος του είναι 75m και το μέσο πάχος 7m (Βεράνης 1994, Μάρατος 1955).

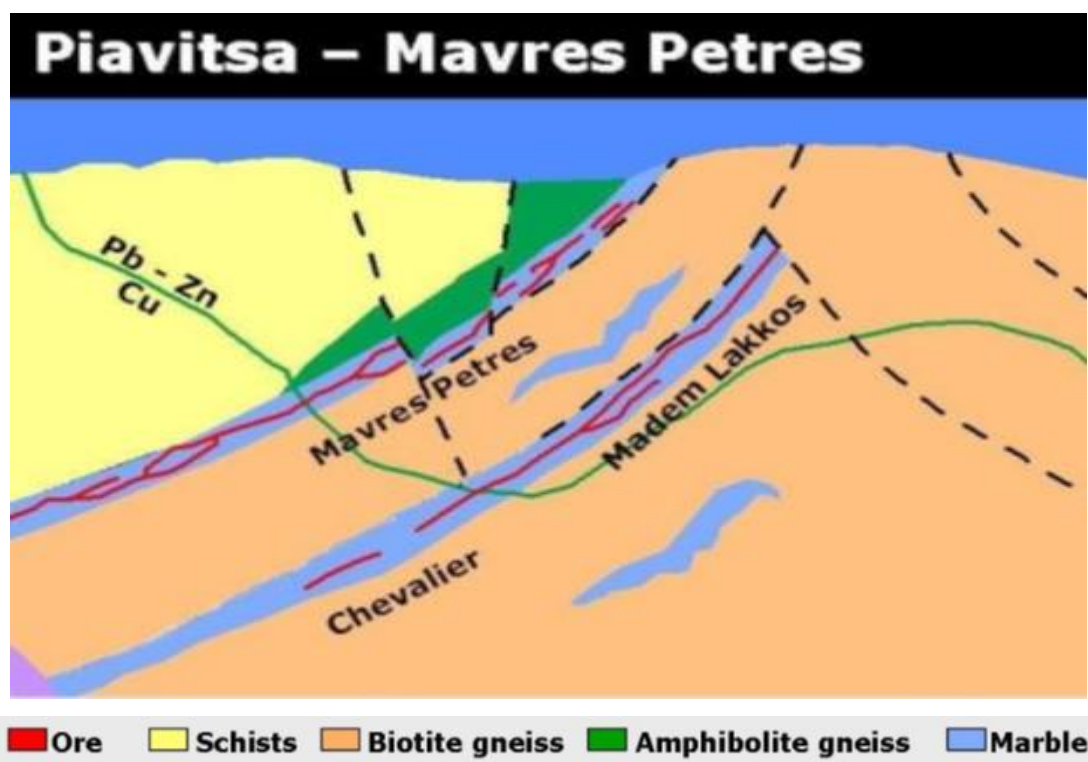
Ορυκτολογικά το κοίτασμα αποτελείται από σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη, αρσеноπυρίτη, βουλανζερίτη, τετραεδρίτη (Kalogeropoulos et al. 1989b). Σύμφωνα με τους Forward et al. (2011a), Eldorado Gold Corp. (2012) το μετάλλευμα αποτελείται από 4,6% μόλυβδο (Pb), 6,09% ψευδάργυρο (Zn), 9 g/t Χρυσό (Au) και 180 g/t άργυρο (Ag). Συνολικά αναμένεται να εξορυχθούν 11,5 Mt μεταλλεύματος (μεταλλευτικά αποθέματα). Τα γεωλογικά αποθέματα (βέβαια +πιθανά) είναι 12,075 Mt και με βάση αυτά τα μεταλλευτικά αποθέματα, η σχεδιαζόμενη εκμετάλλευση υπερβαίνει τα 25 έτη. Η ανάπτυξη και εκμετάλλευση του μεταλλείου θα γίνει αποκλειστικά υπόγεια.

3.2 ΤΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΜΑΥΡΩΝ ΠΕΤΡΩΝ – ΜΑΝΤΕΜ ΛΑΚΚΟΥ

Τα κοιτάσματα των Μαντέμ Λάκκου – Μαύρων Πετρών κατά τους Forward & Francis (2009) ανήκουν γενετικά στην κατηγορία των «πολυμεταλλικών κοιτασμάτων Pb-Zn-Ag αντικατάστασης από ανθρακικά, “distal” και μεσοθερμικού τύπου». Γενικά τα μεταλλοφόρα σώματα είναι στρωματέγκλειστα και απαντώνται στον κατώτερο ορίζοντα μαρμάρου κοντά στην επαφή του με τον υπερκείμενο βιοτιτικό γνεύσιο των Κερδυλλίων. Η μεταλλοφορία του Μάντεμ Λάκκου εντοπίζεται στον στρωματογραφικά κατώτερο φακό του εν λόγω ορίζοντα μαρμάρου, ενώ στον αμέσως ανώτερό του, εκείνη των Μαύρων Πετρών όπως φαίνεται στη παρακάτω γεωλογική τομή (βλ. Εικ. 3.3-3.5).

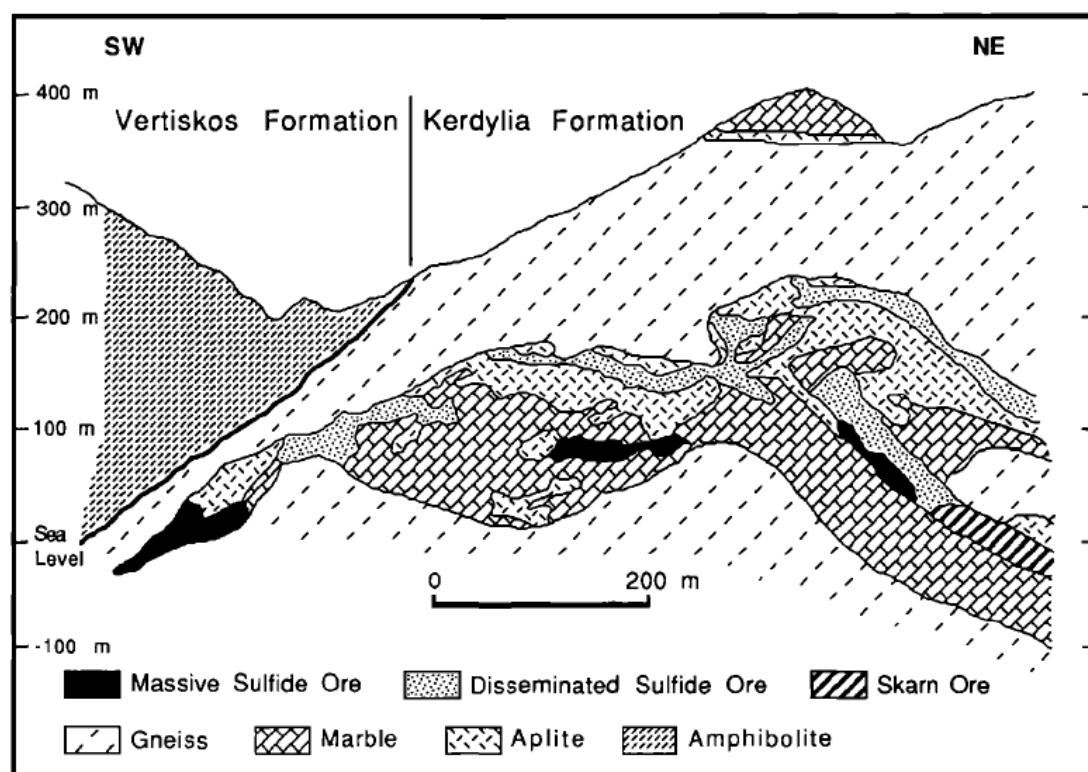


Εικόνα 3.3. Γεωλογικός Χάρτης στην μεταλλευτική περιοχή κοιτασμάτων Μαντέμ Λάκκου – Μαύρων Πετρών. Οι κόκκινες καμπύλες αναπαριστούν την οριζόντια προβολή των μεταλλοφόρων σωμάτων (Forward & Francis 2009).



Εικόνα 3.4. Γεωλογική τομή του κοιτάσματος των Μαύρων Πετρών και Μαντέμ Λάκκου (Eldorado Gold Corp 2012).

Οι Nebel et al. (1991) αναφέρουν πως η μεταλλοφορία στην περιοχή των δύο μεταλλείων εξελίσσεται από τα ανώτερα προς τα κατώτερα επίπεδα από μεταλλοφορία μαγγανιούχων οξειδίων (κυρίως στις Μαύρες Πέτρες που πραγματοποιήθηκε στο παρελθόν εξόρυξη Mn), σε μεταλλοφορία μικτών θειούχων μεταλλευμάτων Pb-Zn-Ag (ενδιάμεσα επίπεδα περιοχής Μαύρων Πετρών και Μάντεμ Λάκκου) όπως στο κοίτασμα της Πιάβιτσας μόνο που εδώ έχουμε απουσία εκμεταλλεύσιμου Au επίσης σε skarn μεταλλοφορία μεταμόρφωσης εξ επαφής με θειούχα μεταλλεύματα P.B.G. (σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη) (κυρίως στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου).



Εικόνα 3.5. Χαρακτηριστική τομή του κοιτάσματος του Μαντέμ Λάκκου στην οποία παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι μεταλλοφορίας (Nebel et al. 1991).

Οι τύποι μεταλλοφορίας που σύμφωνα με τον Kalogeropoulos (1989b) απαντώνται στην περιοχή, είναι 1) η συμπαγής (σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη), 2) η διάσπαρτη, της μορφής πλήρωσης ανοιχτών εγκοίλων (σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη), 3) τύπου breccia (δηλ. λατύπες μεταλλεύματος γαληνίτη, σφαλερίτη, σιδηροπυρίτη και εξαλλοιωμένου απλίτη ή μαρμάρου, προερχόμενη από ρηξιγενή τεκτονική δραστηριότητα ή/και φαινόμενα καρστικοποίησης) και 4) μεταλλοφορία

μεταμόρφωσης επαφής (τύπου skarn με γρανάτη και επίδοτο). Στις Μαύρες Πέτρες εντοπίζεται μόνο συμπαγής μεταλλοφορία (Εικ. 3.4). Στην Εικ. 3.5 παρουσιάζεται σε γεωλογική τομή, η χωρική κατανομή αυτών των τύπων μεταλλευμάτων.

Η μικτή θειούχα μεταλλοφορία των Μεταλλείων Μάντεμ Λάκκου και Μαύρων Πετρών συνίσταται κυρίως από σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη και λιγότερο από αρσеноπυρίτη, τετραεδρίτη, χαλκοπυρίτη, βουρνοτίτη, βουλανζερίτη, μαρκασίτη, πυρροτίτη, εναργίτη. Τα στείρα ορυκτά της παραγένεσης είναι ασβεστίτης, σερίκίτης, χαλαζίας και ροδοχρωσίτης (Παπαγρηγορίου κ.ά 2010). Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το κοίτασμα των Μεταλλείων Μαντέμ Λάκκου έχει εξαντληθεί μιας και η παραγωγή σταμάτησε το 2002. Τα ιστορικά στοιχεία αναφέρουν πως, η συνολική ποσότητα μεταλλεύματος που έχει εξορυχθεί από την περιοχή από τις δύο προηγούμενες μεταλλειοκτήτριες εταιρείες Α.Ε.Ε.Χ.Π.&Λ και TVX Hellas Α.Ε. ανέρχεται σε περίπου 24 Mt. Από αυτά, οι 15,5 Mt προήλθαν από τα υπόγεια Μεταλλεία των Μαύρων Πετρών και Μαντέμ Λάκκου ενώ οι υπόλοιποι 8,5 Mt από την παλαιά επιφανειακή εκμετάλλευση στην περιοχή Σεβαλιέ (Eldorado Gold Corp. 2012). Η μέση σύσταση του κοιτάσματος είναι 8,3% Zn, 6,0% Pb, 170 g/t Ag με συνολικά μετρημένα και ενδεικτικά αποθέματα στα 1.000.000 t μεταλλεύματος (Forward & Francis 2009).

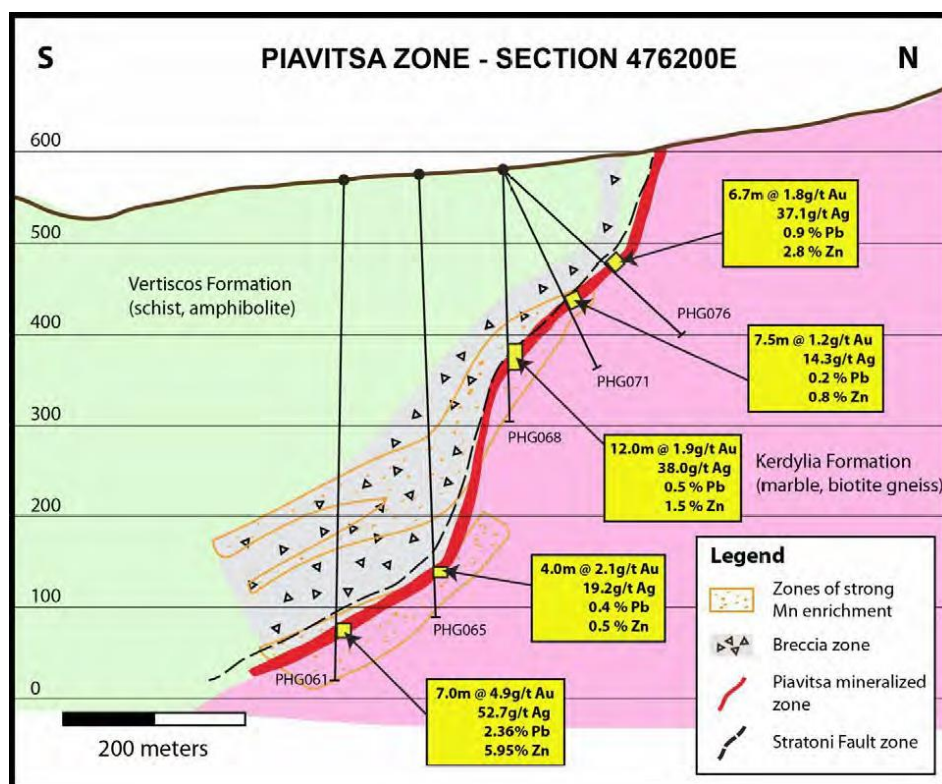
3.3 ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΠΙΑΒΙΤΣΑΣ

Το κοίτασμα της Πιάβιτσας (Εικ. 3.6) εντοπίζεται Δυτικά του Στρατωνίου 4km δυτικά του κοιτάσματος των Μαύρων Πετρών. Η μεταλλοφορία όπως φαίνεται και στην εικόνα είναι επιμήκης και εντοπίζεται κατά μήκος της διεύθυνσης του ρήγματος Στρατωνίου – Βαρβάρας (Frei 1992, Eldorado Gold Corp 2012).

Σύμφωνα με τα δεδομένα γεωτρήσεων που έχουν γίνει από τις εταιρίες Α.Ε.Ε.Χ.Π.&Λ., TVX, Eldorado Gold Corp. πρόκειται για ένα distal πολυμεταλλικό κοίτασμα αντικατάστασης βασικών μετάλλων με 36% Mn κατάλληλο για την παραγωγή ξηρών ηλεκτρικών στοιχείων (Eldorado Gold Corp. 2012, Pena 1977, Δήμου κ.ά. 1986, Γαλανόπουλος & Θεοδορούδης 1993, Θεοδορούδης & Γαλανόπουλος 1994, Forward & Francis 2009).

Σύμφωνα με τους Δήμου κ.ά. (1986), η οξειδωμένη μεταλλοφορία Mn είναι παρόμοια με αυτή της Βαρβάρας και Μαύρων Πετρών που στο παρελθόν έχει γίνει

εκμετάλλευση Mn και στις τρεις περιοχές. Σε συνδυασμό με καινούργια δεδομένα βρέθηκε ότι τα μέταλλα στο κοίτασμα έχουν περιεκτικότητες 8.7 g/t Au, 132 g/t Ag, 4.4% Pb, 5.9% Zn ενώ τα γεωλογικά αποθέματα ως τώρα υπολογίζονται στα 13.6 Mt.



Εικόνα 3.6. Εγκάρσια τομή N-S των μεταλλοφοριών κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου, με τις περιεκτικότητες των μετάλλων (Eldorado Gold Corp. 2012).

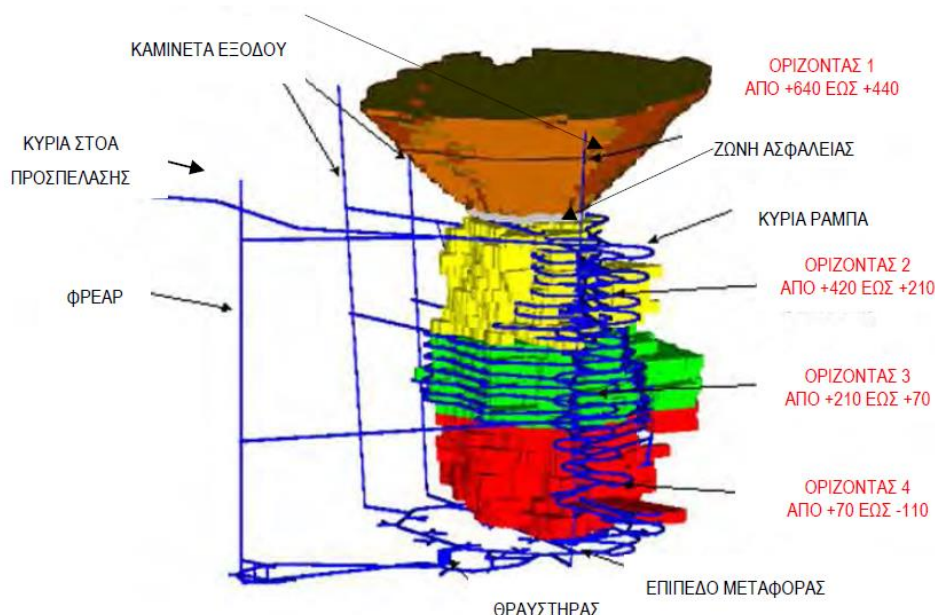
3.4 ΤΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΣΚΟΥΡΙΩΝ

Το κοίτασμα των Σκουριών εντοπίζεται μεταξύ των χωριών Μεγάλη Παναγία, Παλαιοχώρι, Νεοχώρι. Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της European Goldfields Limited (Forward et al. 2011b), ο μεταλλοφόρος συνηθισμένος πορφύρης, γνωστός και ως κεντρική ζώνη μεταλλοφορίας, εμφανίζεται στην επιφάνεια με διάμετρο περίπου 200m. Η κεντρική ζώνη περιλαμβάνει δύο περιοχές με ψηλή περιεκτικότητα, μια κοντά στην επιφάνεια και μια δεύτερη στα 350m κάτω από την επιφάνεια (Εικ. 3.7).

Σύμφωνα με τους Economou-Eliopoulos και Eliopoulos (2000) οι πορφυρικές διεισδύσεις της Φισώκας και των Σκουριών έχουν αρκετά κοινά γεωχημικά χαρακτηριστικά και κοινή γένεση. Η διαφορά εντοπίζεται κυρίως στο ότι το κοιτάσμα της Φισώκας έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε Cu και Pd. Οι Forward et al.

(2011b) σημειώνουν πως ορυκτολογικά και μέχρι βάθους 30-50m από την επιφάνεια τους κοιτάσματος παρατηρείται ένα οξειδωμένο κάλυμμα από μαλαχίτη, αζουρίτη, κυπρίτη, αυτοφυή χαλκό, οξείδια του σιδήρου και λίγο χαλκοκυρίτη, σιδηροκυρίτη και χαλκοσίνη. Στη συνέχεια η μεταλλοφορία αποτελείται από πλέγματα φλεβιδίων χαλκοκυρίτη και από λεπτόκοκκο διάσπαρτο χαλκοκυρίτη με λίγο βορνίτη και ακόμη λιγότερο κοβελίνη, χαλκοσίνη, μολυβδενίτη και σιδηροκυρίτη. Στην παραγένεση έχουμε και την συμμετοχή του μαγνητίτη. Ο χρυσός απαντάται με την μορφή εγκλεισμάτων εντός του χαλκοκυρίτη, ενώ οι περιεκτικότητες είναι: 0.49% Cu, 0.67 ppm Au, και τα αποθέματα 5.346.000 ουγγιές Au και 1.205.000t Cu. Τα βέβαια αποθέματα υπολογίστηκαν στους 246.350.000t μεταλλεύματος (Forward et al. 2011b).

Η εταιρία Eldorado Gold Corp. έχει αναπτύξει ένα πλήρες σχέδιο εκμετάλλευσης (Εικ. 3.7), όπου η πρώτη φάση θα είναι επιφανειακή και θα έχει διάρκεια 7 χρόνια. Το επιφανειακό όρυγμα (open pit) θα είναι μέγιστης διαμέτρου 700m, μέγιστου βάθους 220m και μέγιστης συνολικής επιφάνειας 390 στρεμμάτων. Η δεύτερη φάση θα είναι υπόγεια και κατά τη διάρκεια της θα γίνει η απόληψη του μεγαλύτερου μέρους του κοιτάσματος (των 2/3), η οποία θα διαρκέσει 21 χρόνια (Forward et al. 2011b).



Εικόνα 3.7. Μοντελοποίηση της υπόγειας και επιφανειακής εκμετάλλευσης του κοιτάσματος των Σκουριών σε πλήρη ανάπτυξη 25 ετών (Παπαγρηγορίου κ.ά. 2010, European Goldfields Ltd. 2005b).

4 ΟΙ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΕΙΑ +53

4.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή εντάσσεται μέσα στη ευρύτερη μεταλλευτική ζώνη της βορειανατολικής Χαλκιδικής (Nebel et al. 1991).

Σύμφωνα με την μελέτη των Μηλιούδη κ.ά. (1988) οι λιθολογικοί τύποι που βρίσκονται στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής αποτελούνται από τον πυριτωμένο αμφιβολίτη του Βερτίσκου και τους βιοτιτικούς γνευσίους των Κερδυλλίων. Οι πυριγενείς διεισδύσεις αποτελούνται από τον γρανοδιοριτικό πορφύρη του Στρατωνίου καθώς και απλιτικές διεισδύσεις, ενώ μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα που είναι κοντά στους πορφύρες τέμνονται από ρηξιγενείς ζώνες και εμφανίζουν έντονα φαινόμενα εξαλλοίωσης (καολινίωση, σερικιτίωση, πυριτίωση, λειμωνιτίωση). Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι οι εξαλλοιώσεις αυτές οφείλονται πιθανώς στην επίδραση των υδροθερμικών διαλυμάτων. Η λεκάνη του Στρατωνίου έχει πάχος 20 – 40m και αποτελείται από τα τεταρτογενή ιζήματα που είναι αλλουβιακές προσχώσεις από τα υπερκείμενα ρέματα της λεκάνης απορροής (κροκάλες, χαλίκια, άμμοι, άργιλοι) και μεταλλευτικά απορρίμματα όπως σωροί πυριτών, αποφρύγματα σιδηροπυρίτη και σκωρίες Fe, Mn από την υπερκείμενη οξειδωμένη μεταλλοφορία Fe, Mn στο χωρίο Στρατονίκη (Μηλιούδης κ.ά. 1988).

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στα δείγματα που μελετήθηκαν με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης παρατίθενται στους Πίν. 5.1 και 5.2. Στον Πίν. 5.3 παρατίθενται τα αποτελέσματα του ημιποσοτικού προσδιορισμού.

Κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι οι αποθέσεις συμπυκνώματος αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μεταλλικά ορυκτά, δηλαδή σουλφίδια της πρωτογενούς μεταλλοφορίας και σύνδρομα πυριτικά ορυκτά, καθώς επίσης δευτερογενή ορυκτά θεικών αλάτων και οξείδια-υδροξείδια του Fe και Mn. Σε μικρότερες ποσότητες εμφανίζονται ανθρακικά ορυκτά καθώς επίσης γιαιοσίτης, εξαϋδρίτης και σκοροδίτης.

Ο γιαιοσίτης αποτελεί κύριο ορυκτό του συμπυκνώματος καθώς και των επιφανειακών δειγμάτων από τα εδάφη της πλατείας +53. Στην ορυκτολογική σύνθεση των εδαφών ως μορφή επανθισμάτων συγκαταλέγεται και το σπάνιο ορυκτό ιαγκουνίτης ($Mn_{5-x}(Mn,Fe)_{1+x}O_8(OH)_6$). Αυτό προκύπτει ως περίσσεια Mn (βλ. Πίν. 5.2, κωδικός δείγματος: Θέση 4) στα εδάφη της περιοχής και σχετίζεται γεωχημικά και γενετικά με τις αποθέσεις μεταλλουργικών μαγγανιούχων σκωριών (Kim 1977).

Τα δευτερογενή ορυκτά όπως αναφέρθηκε, εμφανίζονται στις αποθέσεις περιμετρικά της πρωτογενούς μεταλλοφορίας σε κόκκους ή κρυσταλλωμένες κρούστες. Σε επιφανειακές συνθήκες, αυτά εμφανίζονται σε βοτρυοειδή συσσωματώματα με την μορφή επανθισμάτων και αποτελούν προϊόντα οξείδωσης των πρωτογενών ορυκτών (Alpers et al. 1994). Ο Nordstrom (2011) αναφέρει πως ο σχηματισμός τους σχετίζεται με την αποξήρανση των αποθέσεων ύστερα από υγρές περιόδους.

Από τις αναλύσεις των δειγμάτων εδάφους της πλατείας +53 με κωδικό Θέση 3, 4, 2Δ1, 7B, φαίνεται πως οι αποθέσεις του χώρου αποτελούνται κυρίως από πυριτικά ορυκτά και δευτερογενή θειοάλατα (Εικ. 2.3-2.5, 2.8).

Τα πυριτικά ορυκτά που εντοπίστηκαν στα εδάφη της πλατείας +53 καθώς και στο συμπύκνωμα είναι κυρίως χαλαζίας, μικροκλινής, βιοτίτης, χλωρίτης, αμφίβολοι και λιγότερο αλβίτης, καολίνης, μοσχοβίτης και πυρόξενος. Στην κατηγορία των μεταλλικών ορυκτών, από τα σουλφίδια εντοπίστηκε σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, σφαλερίτης και ίχνη αρσеноπυρίτη. Από τα οξείδια του Fe ταυτοποιήθηκαν

μαγνητίτης, γκαιτίτης, από υδροξείδια του Μn ιαγκουνίτης καθώς και άμορφα υδροξείδια Fe, Μn. Τα δευτερογενή άλατα αποτελούνται από γιαροσίτη, σκοροδίτη, γύψο, εξαϋδρίτη, μελαντερίτη, κοπιαπίτη ιαγκουνίτη, ενώ από την ομάδα των ανθρακικών ορυκτών είναι ο ασβεστίτης και κυρίως ο δολομίτης (Πίν. 5.3).

Εντοπίστηκαν επίσης συμφύσεις γκαιτίτη με σύνδρομα, σφαλερίτης που εγκλείει σιδηροπυρίτη, σιδηροπυρίτης που εγκλείει γαληνίτη, γαληνίτης που εγκλείει σφαλερίτη, σιδηροπυρίτης που εγκλείει γαληνίτη και σφαλερίτη (Εικ. 5.6, 5.7).

Η θέση δειγματοληψίας με την εδαφοτομή (Θέση 2) φαίνεται στην Εικ. 2.3 όπου ελήφθη στο οξειδωμένο δείγμα με κωδικό Θέση 2Γ1 συμπύκνωμα με πυριτικά ορυκτά καθώς και έντονα οξειδωμένο δείγμα συμπυκνώματος κίτρινου χρώματος με μικρές κροκάλες καολίνη το οποίο έχει κωδικό 2Γ2 (βλ. Εικ. 2.7) και είναι από τον ίδιο ορίζοντα συμπυκνώματος (Εικ. 5.1, 5.2).

Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός για το δείγμα 2Γ1 έδωσε σιδηροπυρίτη (32%), χαλαζία (16%), χλωρίτη (10%), μαγνητίτη (5%), σκοροδίτη (5%), αμφίβολο (2%), γαληνίτη (2%), ίχνη ασβεστίτη και γιαροσίτη (21%).

Πίνακας 5.1. Χημικές αναλύσεις σε δείγματα από τις αποθέσεις πλατείας +53.

	1A	1B	2A	2B1	2B2	2Γ1	2Γ2	2Δ1	2Δ2	2Δ3
pH	3.3	4.4	3.2	3.5	2.7	1.7	1.8	2.9	3.4	3.2
wt. %										
Al	1.026	1.184	0.600	0.603	0.349	0.221	0.261	0.556	0.650	0.766
Fe	9.200	8.750	10.300	6.550	7.720	20.000	14.950	4.890	5.170	5.260
Mg	0.718	0.876	0.332	0.351	0.159	0.145	0.039	0.446	0.360	0.473
Ca	0.134	0.380	0.037	0.093	0.116	0.745	0.626	0.244	0.177	0.169
Na	0.059	0.053	0.087	0.017	0.050	0.054	0.111	0.019	0.022	0.018
K	0.265	0.263	0.217	0.121	0.159	0.191	0.408	0.143	0.139	0.163
Mn	0.062	0.123	0.038	0.011	0.009	0.009	0.013	0.015	0.013	0.020
Ti	0.051	0.054	0.045	0.028	0.029	0.016	0.022	0.029	0.030	0.030
S total	1.21	1.21	1.58	0.366	0.965	4.59	6.17	0.536	0.748	0.387
ppm										
Au	0.55	0.53	0.26	0.04	0.29	3.88	7.1	0.01	0.08	0.04
Ag	8	7	4	4	3	42	68	2	2	3
Cu	189.9	234	140.1	111.6	100.1	333.2	621.9	117.8	98.9	122.7
Zn	740.1	1096	246.3	166.2	113.4	842.7	1456	208.4	180	181.8
Pb	1332	1419	808.7	288.8	583.8	21340	28800	551.7	395.2	265.4
As	1610	1385	782.7	261.6	737.3	21260	56190	273.2	52.4	46.01

	1A	1B	2A	2B1	2B2	2Γ1	2Γ2	2Δ1	2Δ2	2Δ3
Sb	18.6	15.4	15.9	N/D	12.6	141.1	254.1	14.7	11.3	N/D
Cd	20.05	20.87	21.6	N/D	12.96	44.76	35.47	N/D	N/D	N/D
Co	15.9	26.3	13.1	N/D	N/D	19.5	12	N/D	N/D	N/D
Mo	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Ni	93.4	110.1	52.5	39.5	19.3	17.2	15.7	42.7	33.3	36.2
Cr	232.7	229.1	222.8	152.5	117	130.3	121.6	184.1	109	116.4
Bi	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	231.9	509.9	N/D	N/D	N/D
Li	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Sr	26.9	30.8	27.2	14.4	20.1	30.4	35.9	14.2	17.7	13.9
B	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Ba	101.8	98.8	78	50	51.8	103.8	125.4	78.6	48	74.9
Se	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
V	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Be	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Tl	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε

N/V: Δεν αναλύθηκε

Πίνακας 5.2 Χημικές αναλύσεις σε δείγματα από τις αποθέσεις πλατείας +53.

	3	4	5	6	7A	7B	7Γ	7Δ	8A	8B
pH	5	2.7	2.8	6	4	2.9	2	2.5	2.5	2.2
wt. %										
Al	0.980	1.156	0.481	1.831	0.376	0.257	0.071	0.472	0.037	0.040
Fe	7.800	8.450	10.000	12.150	8.270	5.790	0.300	13.500	44.250	42.950
Mg	0.471	1.794	0.375	0.127	0.207	2.543	0.014	0.285	0.003	0.004
Ca	0.194	0.389	0.135	0.219	1.013	10.085	0.607	0.222	0.082	0.190
Na	0.012	0.210	0.011	0.051	0.028	0.027	0.010	0.049	N/D	N/D
K	0.183	0.144	0.095	0.100	0.110	0.062	0.048	0.191	0.019	0.021
Mn	0.420	1.579	0.079	0.410	0.252	0.140	0.006	0.105	0.003	0.004
Ti	0.043	0.023	0.019	0.004	0.022	0.012	0.004	0.036	0.002	0.002
S total	0.145	4.91	0.31	0.28	1.68	4.5	47.93	2.02	52.71	51.96
ppm										
Au	0.07	0.07	0.01	0.03	0.22	0.16	0.61	0.05	1.73	1.73
Ag	3	3	6	3	5	4	9	2	N/V	N/V
Cu	109.6	178.9	171.7	546.9	131.1	133.1	74.1	116.4	65.6	75.2
Zn	317.2	1622	430.8	498.1	315.9	1652	604.9	531.3	123.35	280.95
Pb	230.7	216.4	698.2	305	771.6	1240	1354	164.5	733	896
As	85.17	295.6	74.1	91.97	569.8	967.9	2685	1477	1612	1735.5

	3	4	5	6	7A	7B	7Γ	7Δ	8A	8B
Sb	N/D	N/D	20	N/D	29	20.9	27.1	N/D	14.8	14.8
Cd	13.47	25.43	N/D	N/D	12.99	20.75	93.34	26.49	54.55	54.5
Co	64.1	111.7	89.1	151.6	19.9	N/D	34.2	21.2	18.65	17.8
Mo	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Ni	174.3	623.6	144.4	259.2	49.9	16.8	19.1	73.8	N/D	N/D
Cr	166.6	167.6	221.8	107.3	101.3	54.4	237.9	185.6	140.2	139
Bi	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	24.1	N/D	12.7	12.25
Li	10.1	N/D	N/D	11.8	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Sr	20	48.4	N/D	29.3	21	53.8	N/D	29.4	N/D	N/D
B	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Ba	118	121.9	14.1	38.2	63.5	24.3	46.3	162.1	N/D	N/D
Se	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
V	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Be	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Tl	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε

N/V: Δεν αναλύθηκε

Πίνακας 5.3. Ημιοσοτικός (wt.%) προσδιορισμός των ορυκτών φάσεων των μη οξειδωμένων δειγμάτων που μελετήθηκαν με την μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD).

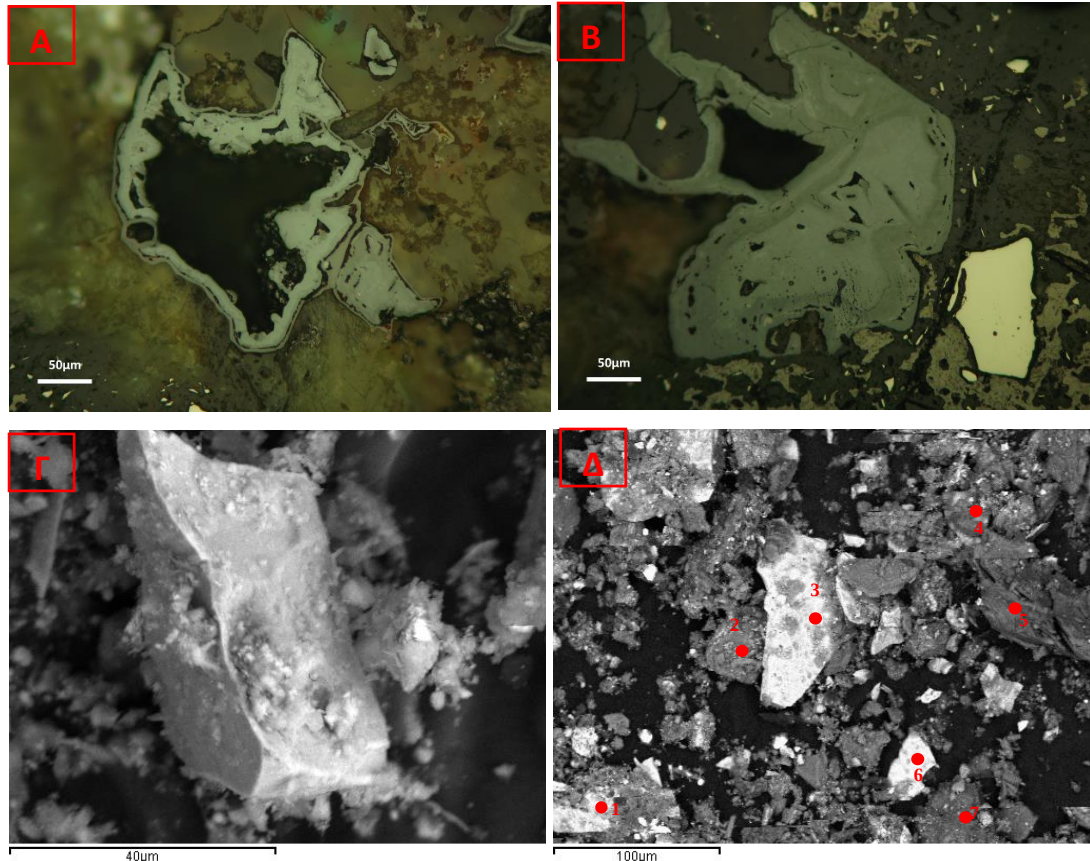
	JCPDS PDF no. ¹	Χημικός τύπος ²	1A	2Γ1	2Γ2	4
Χαλαζίας (Qz)	33-1161	SiO ₂	28	16	18	32
Χλωρίτης (Chl)	12-242	(Mg,Fe) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · (Mg,Fe) ₃ (OH) ₆	30	10	6	12
Καολινής (Kaol)	29-1488	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	ίχνη	N/D	ίχνη	N/D
Μοσχοβίτης (Mu)	34-175	(K,Na)Al ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	ίχνη	N/D	N/D	ίχνη
Αλβίτης (Alb)	20-548	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈	6	N/D	ίχνη	ίχνη
Αμφίβολος (Amph)	11-493	(Na,K)(A) ₂ (B) ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH,F) ₂	3	2	4	6
Δολομίτης (Dol)	11-78	CaMg(CO ₃) ₂	ίχνη	N/D	N/D	3
Ασβεστίτης (Cc)	24-27	CaCO ₃	ίχνη	ίχνη	N/D	N/D
Σιδηροπυρίτης (Py)	6-710	FeS ₂	N/D	32	2	20
Γαληνίτης (Ga)	5-592	PbS	N/D	2	2	N/D
Μαγνητίτης (Mt)	29-382	Fe ³⁺ 2Fe ²⁺ O ₄	6	7	14	5
Γιαροσίτης (Jar)	22-827	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	27	20	24	13
Εξαϋδρίτης (Hex)	24-719	MgSO ₄ (H ₂ O) ₆	N/D	N/D	N/D	7
Ιανγκουνίτης (Jag)	13-Oct	Mn _{5-x} (Mn,Fe) _{1+x} O ₈ (OH) ₆	N/D	N/D	N/D	2
Σκοροδίτης (Scor)	37-468	FeAsO ₄ · 2H ₂ O	N/D	7	14	N/D
Σύνολο			100	100	100	100

¹ JSPDS International Centre for Diffraction Data

² Ο χημικός τύπος ορυκτών που ταυτοποιήθηκαν

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε, A= Na,Ca,Fe⁺²,Li,Mn⁺²,Al,[Zn,Ni,Co], B= Fe⁺³,Mn⁺³,Cr,Al,Ti⁺⁴,Fe⁺²,Li,Mn⁺²)

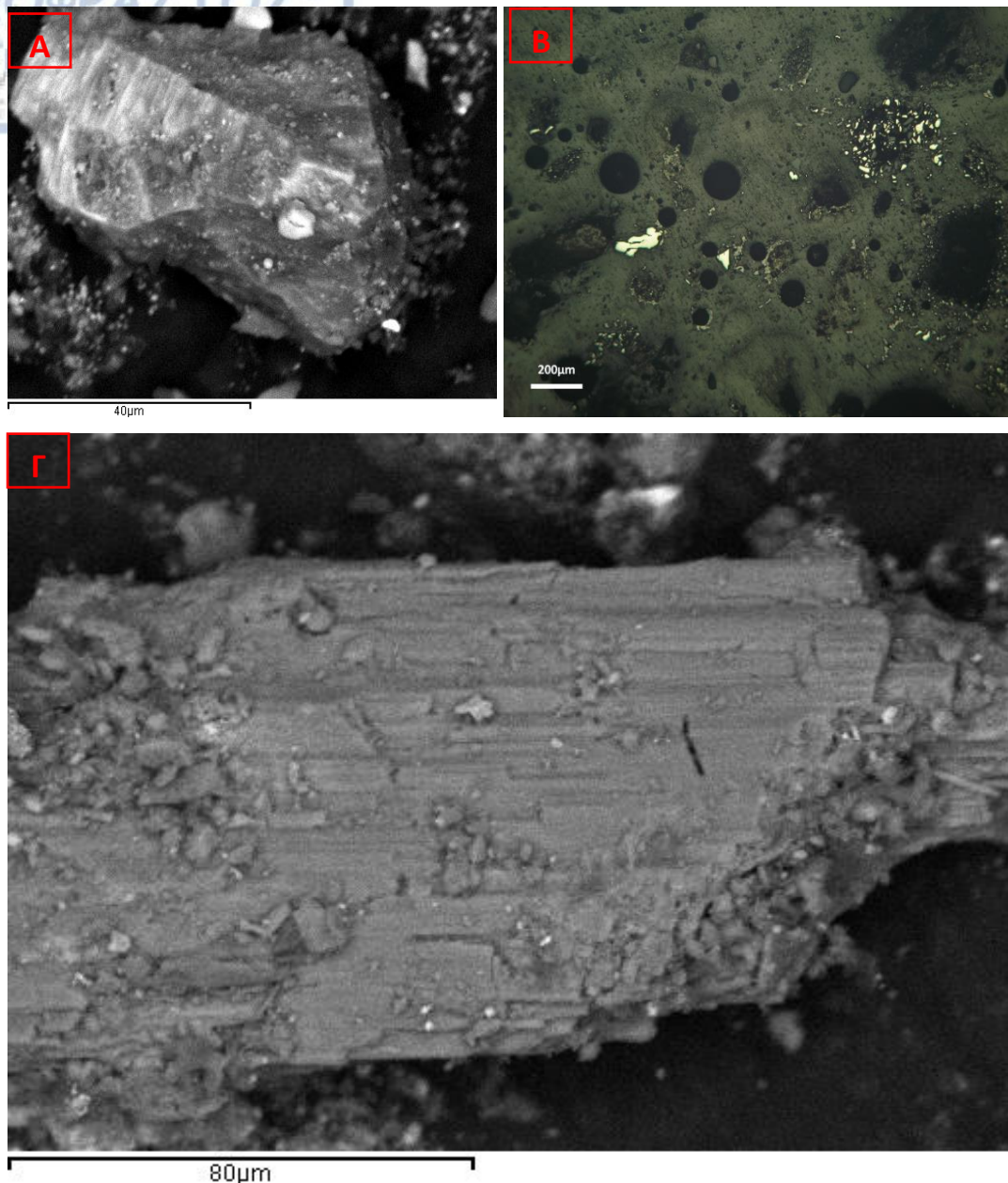
Επιπλέον τα ορυκτά που εντοπίστηκαν σε πολύ μικρές ποσότητες με το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) αναφέρονται στην Εικ. 5.1.



Εικόνα 5.1. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 2Γ1. Α) Σύνδρομο πυριτικό με επιφλοιώση από γκαιτίτη στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (N//). Β) Γκαιτίτης με σιδηροπυρίτη στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (N//). Γ) Κόκκος σιδηροπυρίτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM). Δ) Γενική εικόνα ορυκτών στο δείγμα. Οι αριθμοί με τα κόκκινα σημάδια υποδεικνύουν τα ορυκτά: 1. Αρσеноπυρίτης, 2. Βιοτίτης, 3. και 6. As - Σιδηροπυρίτης, 4. Μικροκλινής, 5. Και 7. Χλωρίτης.

Αξίζει να αναφερθεί πως στα περισσότερα δείγματα σιδηροπυρίτη έχουμε υψηλές περιεκτικότητες As (βλ. Πίν. 5.1, 5.2).

Το δείγμα με κωδικό Θέση 2Γ2 αφορά, όπως αναφέρθηκε, ένα έντονα εξαλλοιωμένο δείγμα συμπυκνώματος από τον ίδιο ορίζοντα με την Θέση 2Γ1. Στον αντίποδα το δείγμα έχει εμπλουτιστεί δευτερογενώς με αρκετό σκοροδίτη, γιαροσίτη, γκαιτίτη και αρκετό χρυσό της τάξης των 7g/t (βλ. Πίν. 5.1).



Εικόνα 5.2. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 2Γ2. Α) Κόκκος σιδηροπυρίτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), Β) Εικόνα σύνδρομων ορυκτών και σιδηροπυρίτη στο έντονα οξειδωμένο δείγμα, στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (N//) Γ) Κρύσταλλος πυροξένου που προσδιορίστηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM).

Όπως προέκυψε από την ακτινογραφική ημιποσοτική ανάλυση του δείγματος με κωδικός Θέση 2Γ2 η ορυκτολογική σύσταση είναι γιαιοσίτης (24%), χαλαζίας (18%), αμφίβολος (4%), μαγνητίτης (15%), σκοροδίτης (14%), σιδηροπυρίτης (14%), χλωρίτης (6%), γαληνίτης (2%) και ίχνη από καολίνη και αλβίτη (Πίν. 5.3).

Πίνακας 5.4. Χημικές μικροανλύσεις για τα ορυκτά χλωρίτης (Chl), βιοτίτης (Bi), μικροκλινής (Mic) όπως προκύψανε από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM EDS).

Wt. %	Chl	Bi	Mic
MgO	11,09	1,88	N/D
Al ₂ O ₃	11,6	32,57	24,27
SiO ₂	25,16	53,91	66,25
K ₂ O	N/D	7,14	9,47
FeO	52,15	4,51	N/D
Σύνολο	100	100	100

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε

Πίνακας 5.5. Χημικές αναλύσεις ορυκτών σιδηροπυρίτη (Py) , αρσеноπυρίτη (Apy) όπως προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM EDS).

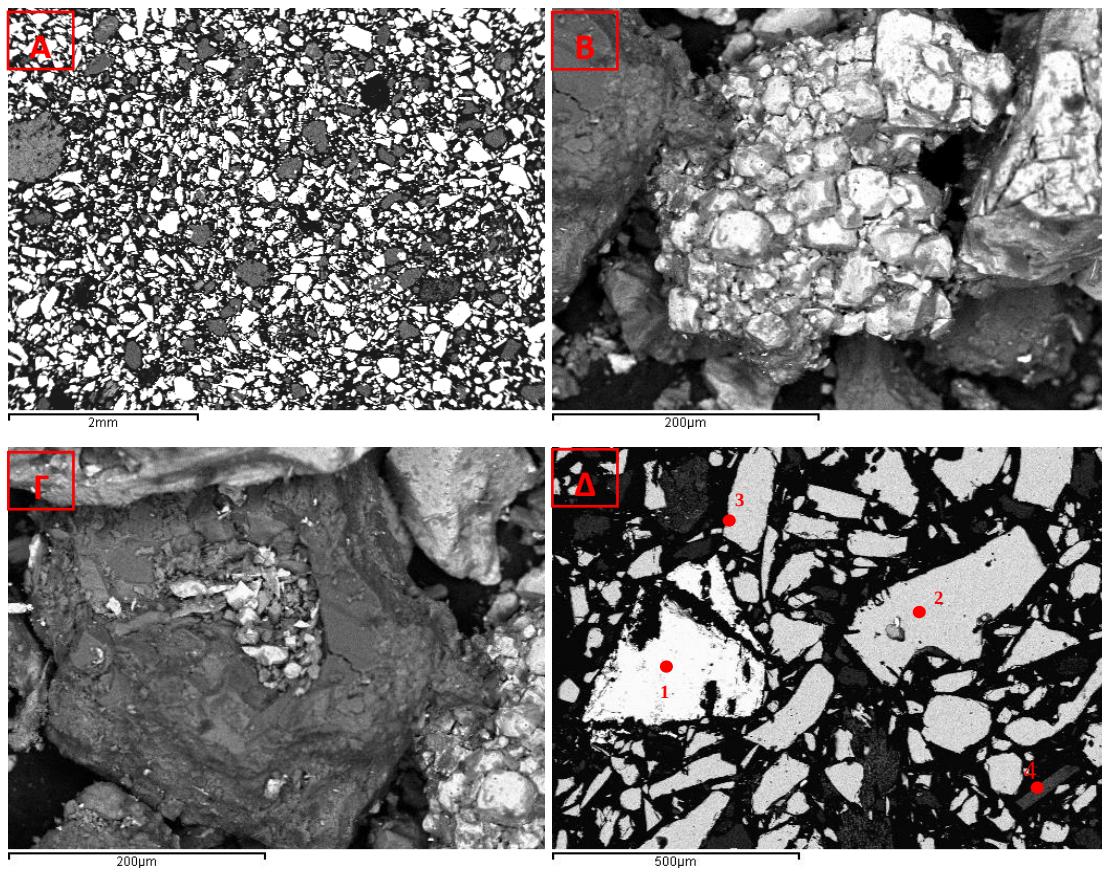
Wt. %	Py	Apy
S	26,77	26,57
Fe	64,43	45,69
As	8,8	27,74
Σύνολο	100	100

Πίνακας 5.6. Χημικές αναλύσεις ορυκτών πυροξένου (Cpy) και σιδηροπυρίτη (Py) όπως προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM EDS).

Wt. %	Cpy	Wt. %	Py
MgO	19,34	S	70,39
Al ₂ O ₃	11,6	Fe	29,61
SiO ₂	60,99		
CaO	15,37		
FeO	4,31		

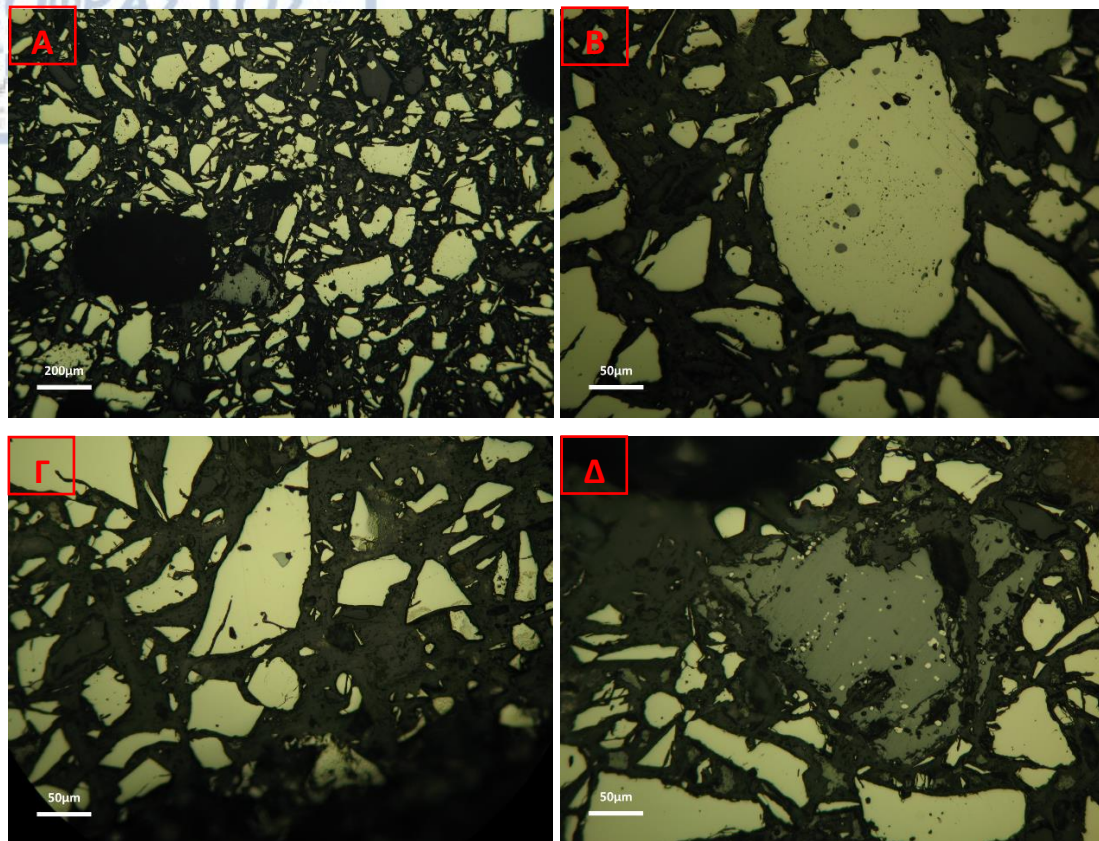
Δεύτερη θέση δειγματοληψίας από συμπύκνωμα είναι σε έναν ορίζοντα σιδηροπυρίτη ο οποίος είναι εκτεθειμένος στην επιφάνεια και παρουσιάζεται πιο λίγο καθαρός από τον προηγούμενο. Οι εικόνες στο μεταλλογραφικό καθώς και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δείχνουν τον σιδηροπυρίτη σε πιο καθαρή μορφή (Εικ. 5.3). Ωστόσο η παρουσία γκαιτίτη είναι αισθητή στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, ενώ παρουσιάζεται και ο χαλαζίας από τα πυριτικά ορυκτά και η γύψος από τα

δευτερογενή θειικά άλατα. Εντοπίζονται επίσης ορισμένες συμφύσεις μεταλλικών ορυκτών όπως ο σιδηροπυρίτης, ο σφαλερίτης και ο γαληνίτης.



Εικόνα 5.3. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 7Γ στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) ύστερα από χημικές αναλύσεις (SEM-EDS). Α) Γενική εικόνα συμπυκνώματος. Τα λευκά ορυκτά είναι τα μεταλλικά ορυκτά, Β) Κόκκοι σιδηροπυρίτης, Γ) Χαλαζίας, Δ) Γενική εικόνα ορυκτών στο δείγμα: 1. Σφαλερίτης, 2. και 3. Σιδηροπυρίτης, 4. Γύψος.

Η τρίτη και τελευταία θέση δειγματοληψίας αφορά έναν παχύ ορίζοντα σιδηροπυρίτη καλυμμένου και στοκαρισμένου από αργιλικά εδάφη και ειδική μεμβράνη από καουτσούκ. Εικόνες του συμπυκνώματος παρατίθενται στην Εικ. 2.7 ενώ ο κωδικός της θέσης είναι η Θέση 8. Τα σημάδια επιφανειακής αποσάθρωσης απουσιάζουν τελείως. Τα δείγματα περιέχουν αμιγώς καθαρό συμπύκνωμα καθώς το πάχος του ορίζοντα φτάνει τα 2m.



Εικόνα 5.4. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 7Γ στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (N//). Α) Γενική εικόνα συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη, Β) και Γ) Σύμφυση σιδηροπυρίτη με γαληνίτη με τον δεύτερο να εγκλείεται στον πρώτο, Δ) Σύμφυση σφαλερίτη με σιδηροπυρίτη με τον δεύτερο να εγκλείεται στον πρώτο.

Πίνακας 5.7. Χημικές αναλύσεις ορυκτών σιδηροπυρίτη (Py), σφαλερίτη (Sph), γαληνίτη (Ga) και γύψου (Gy) όπως προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM - EDS).

Wt. %	Py	Sph	Ga	Wt. %	Gy
S	54,33	34,27	17,4	CaO	41,11
Fe	45,2	1,2	N/D	SO ₃	58,89
As	0,47	N/D	N/D		
Zn	N/D	64,53	N/D		
Pb	N/D	N/D	82,6		

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε

Από εκεί ελήφθησαν δύο δείγματα (8A και 8B) από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω φωτογραφίες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) και μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (Εικ. 5.5 -5.8). Αξίζει να αναφερθεί πως τα μόνα σύνδρομα ορυκτά που βρέθηκαν είναι ο χαλαζίας, ο αλβίτης και η γύψος.

Στα σουλφίδια με την βοήθεια της επιτόπιας χημικής ανάλυσης του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM – EDS) εντοπίστηκαν συμφύσεις. Σφαλερίτης ο οποίος εγκλείει γαληνίτη και σημειακά εγκλείσματα ορυκτών φάσεων του Cu, As. Ακόμη εντοπίστηκε σιδηροπυρίτης ο οποίος εγκλείει γαληνίτη και σφαλερίτη με ορυκτές φάσεις πλούσιες σε Cu, Zn, Sb, As.

Πίνακας 5.8. Χημικές αναλύσεις ορυκτών K-αστρίου (Alb), χαλαζία (Qz), γύψου (Gy) και σιδηροπυρίτη (Py) όπως προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM - EDS).

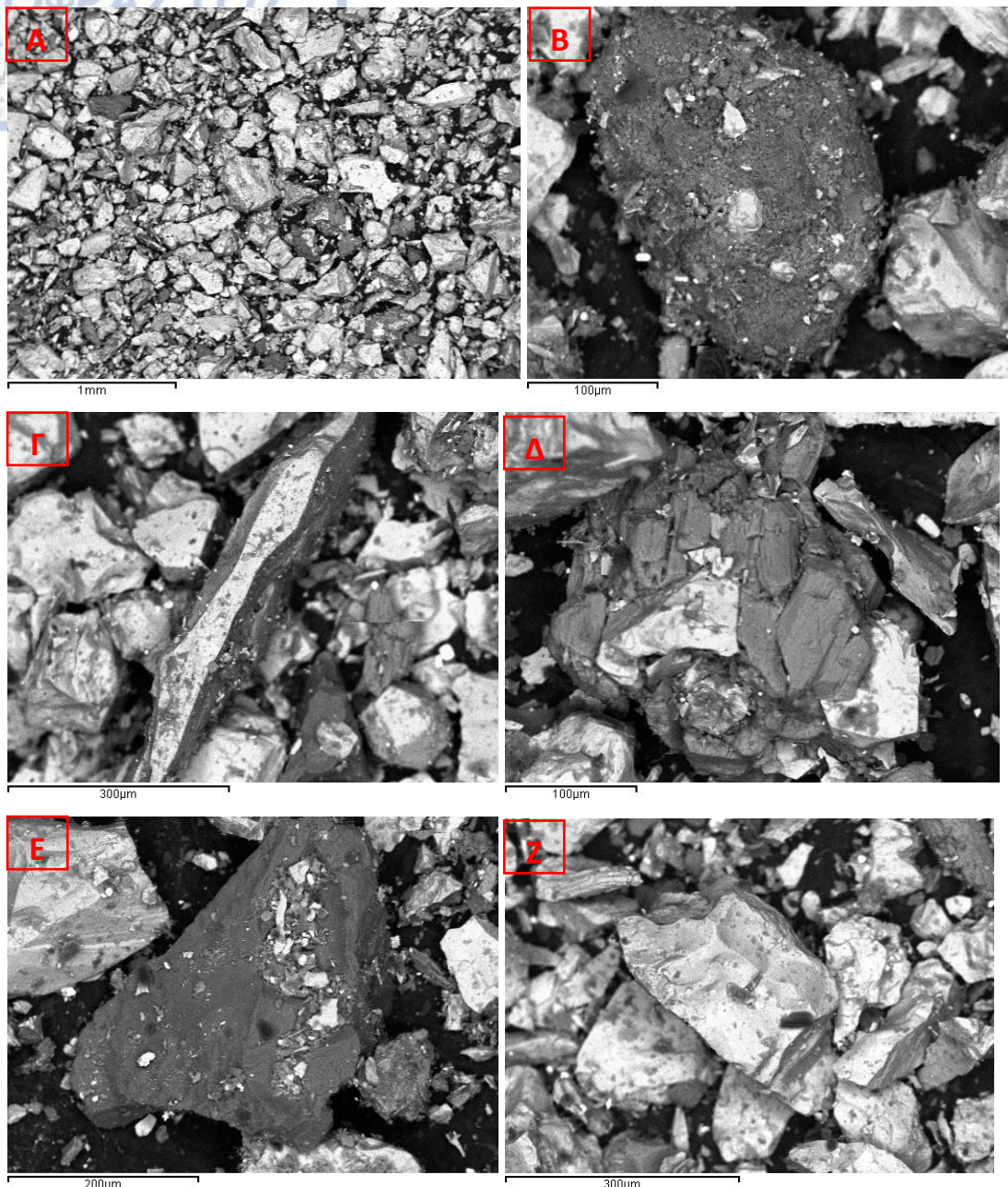
Wt. %	Alb	Qz	Gy	Wt. %	Py
Al ₂ O ₃	34.97	N/D	N/D	S	56.37
SiO ₂	54.69	100	N/D	Fe	43.63
K ₂ O	10.34	N/D	N/D		
CaO	N/D	N/D	44.11		
SO ₃	N/D	N/D	55.89		

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε

Τα υπόλοιπα δευτερογενή θειικά άλατα στην πλατεία +53 βρέθηκαν σε θέσεις οι οποίες είτε δέχτηκαν από το υπερκείμενο συμπύκνωμα είτε από υπόγειες εκπλύσεις όξινη απορροή. Αναλυτική παρουσίαση αυτών υπάρχει στον Πίν. 5.3 και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (Σχήματα 1.1-1.4).

Αυτά τα άλατα είναι εξαιρετικά ευδιάλυτα στο νερό, με αποτέλεσμα να του χαμηλώνουν ακόμα περισσότερο το pH. Όπως προέκυψε από ανάλυση με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM – EDS), τα ορυκτά που παρουσιάζονται παρακάτω είναι ο Ca-ούχος κοπιαπίτης ($\text{CaFe}^{3+}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 19(\text{H}_2\text{O})$), ο Mn-ούχος μελαντερίτης ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) και ο εξαϋδρίτης ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

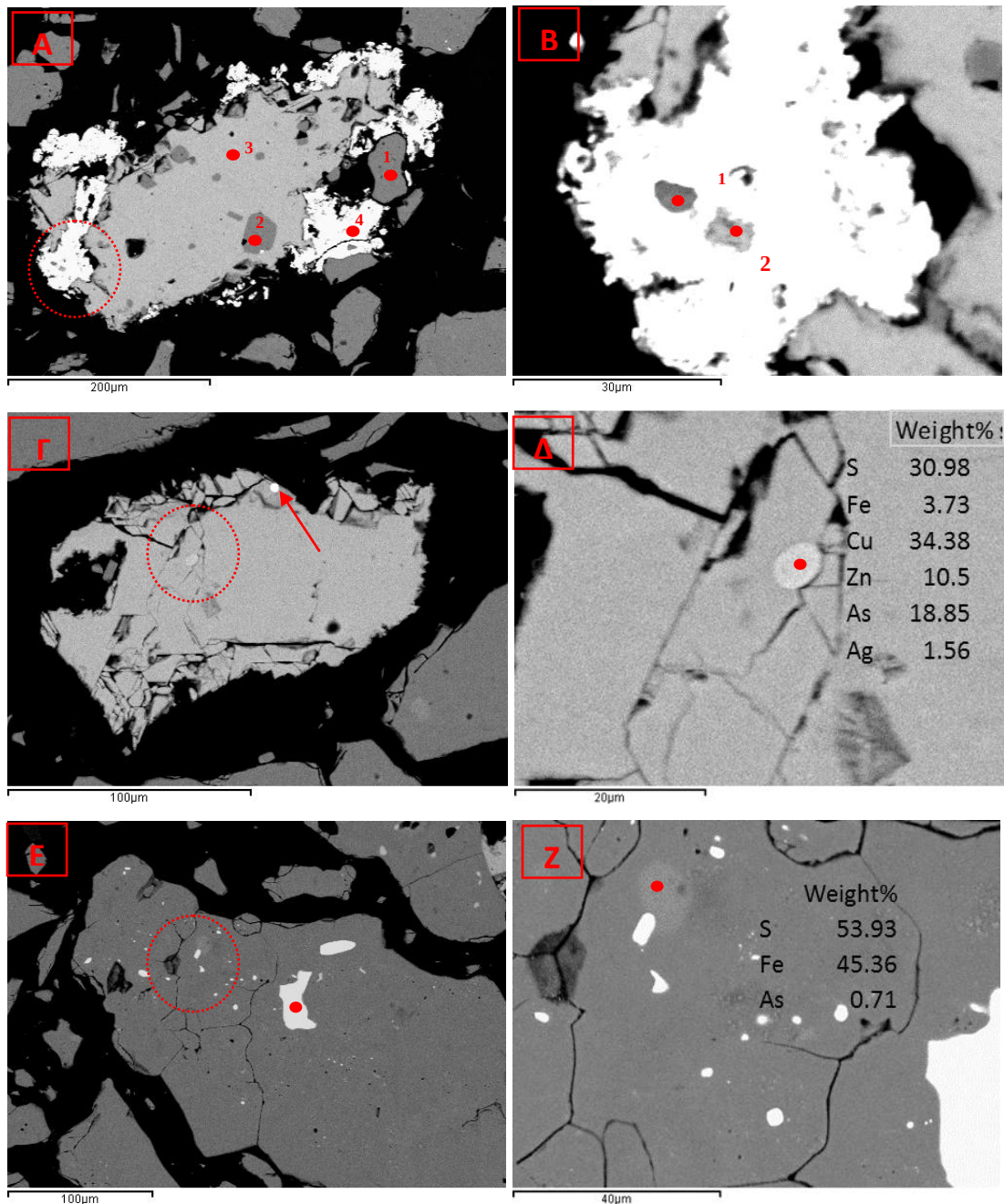
Ότι αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των pH εδαφών, συμπυκνωμάτων και εδαφοτομών από τους Πίν. 5.1 και 5.2 έχουν ως εξής: Η παρουσία του συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη κατεβάζει εμφανώς τις τιμές pH. Η αλλαγή φαίνεται ξεκάθαρα στα διαγράμματα των δύο εδαφοτομών (Εικ. 5.9, 5.10). Επίσης τα δευτερογενή θειικά άλατα συμβάλουν πολύ σημαντικά στην μείωση του pH (Εικ. 5.11). Στα επιφανειακά δείγματα που συλλέχθηκαν και γνωρίζουμε ότι υπάρχουν δευτερογενή θειοάλατα (Κωδικοί: Θέση 1Α, 2Α, 4, 5), αυτά συμβάλλουν σημαντικά στην μείωση του pH. Στην Εικ. 5.11 το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται και γραφικά.



Εικόνα 5.5. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 8α στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) ύστερα από χημικές αναλύσεις (SEM-EDS). Α) Γενική εικόνα συμπυκνώματος. Τα λευκού έως ελαφρώς τεφρού χρώματος ορυκτά είναι τα μεταλλικά, Β) Κρύσταλλος αλβίτη, Γ) Σιδηροπυρίτης, Δ) Γύψος, Ε) Χαλαζίας, Ζ) Σιδηροπυρίτης.

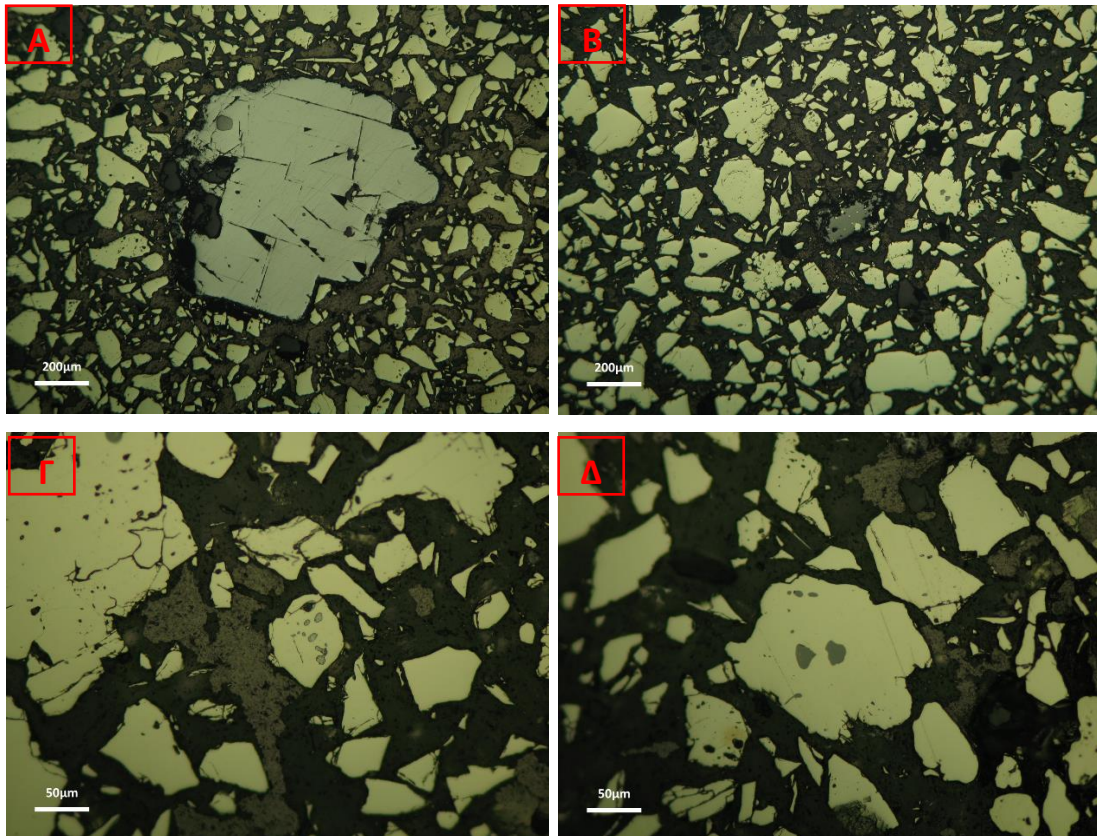
Ακόμη η παρουσία Au στα δείγματα συνδέεται άμεσα με το συμπύκνωμα. Στις Εικ. 5.12 και 5.13 παρουσιάζονται οι μεταβολές των S total, As, Au στα δείγματα των εδαφών. Όπου υπάρχει κωδικός δείγματος με συμπύκνωμα η μεταβολή αυτών των στοιχείων είναι πανομοιότυπη. Όπου αυξάνονται οι ποσότητες As και S total

(στοιχεία που γεωχημικά συνδέονται άμεσα με το ορυκτό σιδηροπυρίτης), αυξάνεται αναλογικά και ο Au.



Εικόνα 5.6. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 8β στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) ύστερα από χημικές αναλύσεις (SEM-EDS). Α) 3. Κρύσταλλος σφαλερίτη σε συνύπαρξη με 1. σιδηροπυρίτη και 4. γαληνίτη, οποίος εγκλείει μέσα του 2. As-σιδηροπυρίτη. Με κόκκινο στικτό κύκλο απεικονίζεται γαληνίτης ο οποίος εξετάζεται λεπτομερώς στην εικόνα Β. Β) Γαληνίτης οποίος περιέχει εγκλείσματα 1.σιδηροπυρίτη, 2. Cu-σφαλερίτη. Γ) Κρύσταλλος σφαλερίτη, που εγκλείει γαληνίτη (κόκκινο βέλος). Ο στικτός κύκλος υποδεικνύει έγκλεισμα της εικόνας Δ. Δ)

Εγκλείσμα στον σφαλερίτη πλούσιο σε As, Ag, Fe, Cu. Ε) Σιδηροπυρίτης που εγκλείει γαληνίτη (κόκκινο σημάδι). Με κόκκινο στικτό κύκλο το σημείο όπου εντοπίστηκαν οι As-ούχες φάσεις του σιδηροπυρίτη. Ζ) Λεπτομέρεια της Ε. φωτογραφίας που υποδεικνύει με τεφρό χρώμα τον κόκκο σιδηροπυρίτη που εγκλείει γαληνίτη (λευκό χρώμα), όπου στο κόκκινο σημάδι το χρώμα που γίνεται πιο φωτεινό εντοπίζονται οι As-ούχες φάσεις.

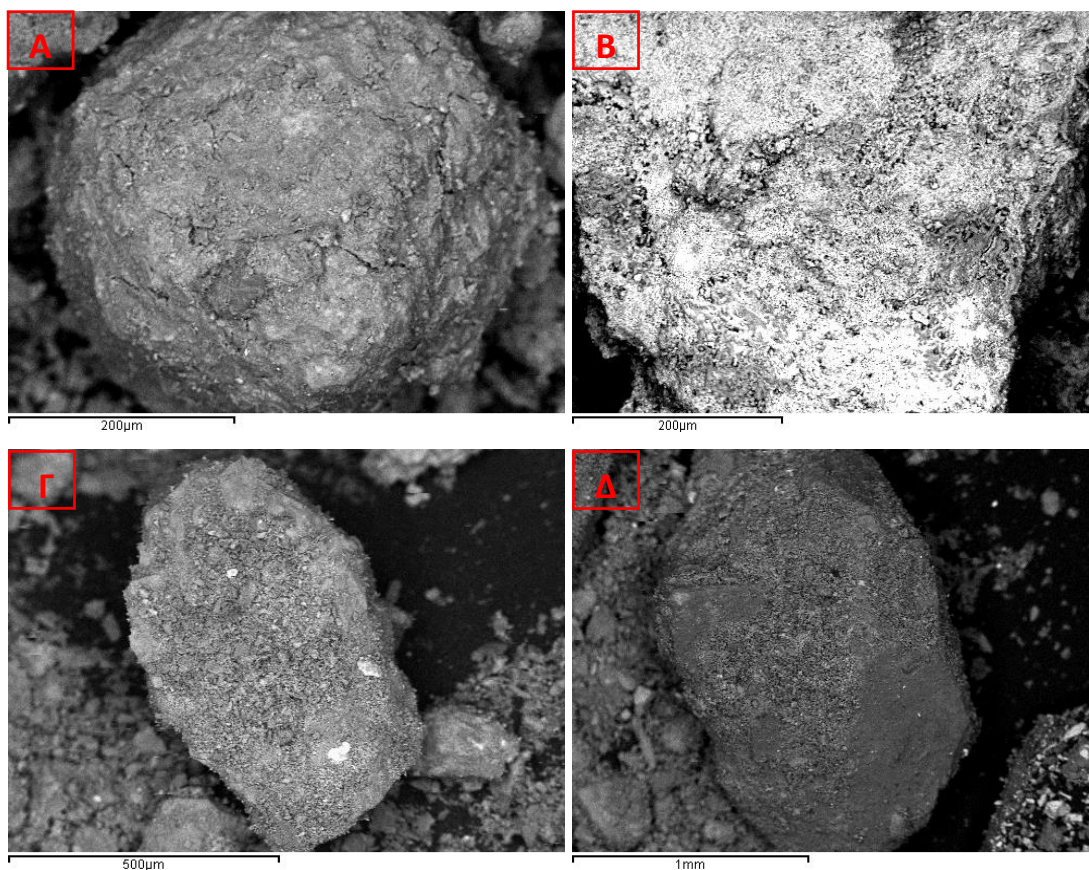


Εικόνα 5.7. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 8α στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (N//). Α) Γενική εικόνα συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη, με κρύσταλλο γαληνίτη ο οποίος εγκλείει κρύσταλλο Μπ-ούχου σφαλερίτη όπως έδειξε η επιτόπου ανάλυση με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM-EDS). Β) Γενική εικόνα συμπυκνώματος. Στο κέντρο υποδεικνύεται σύμφυση σφαλερίτη με σιδηροπυρίτη. Γ) Κόκκοι σιδηροπυρίτη με τον κεντρικό κρύσταλλο να εγκλείει γαληνίτη. Δ) Κόκκοι σιδηροπυρίτη με τον κεντρικό να εγκλείει σφαλερίτη.

Πίνακας 5.9. Χημικές αναλύσεις ορυκτών σφαλερίτη (Sph), σιδηροπυρίτη (Py), γαληνίτη (Ga), χαλκούχου σφαλερίτη (Cu – Sph) όπως προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM - EDS).

Wt. %	Sph	Py	Ga	Cu-Sph
S	34.91	52.78	16.26	39.1
Fe	N/D	45.41	N/D	N/D
As	N/D	1.8	N/D	N/D
Zn	65.09	N/D	N/D	59.2
Pb	N/D	N/D	83.74	N/D
Cu	N/D	N/D	N/D	1.71

N/D: Δεν ανιχνεύτηκε

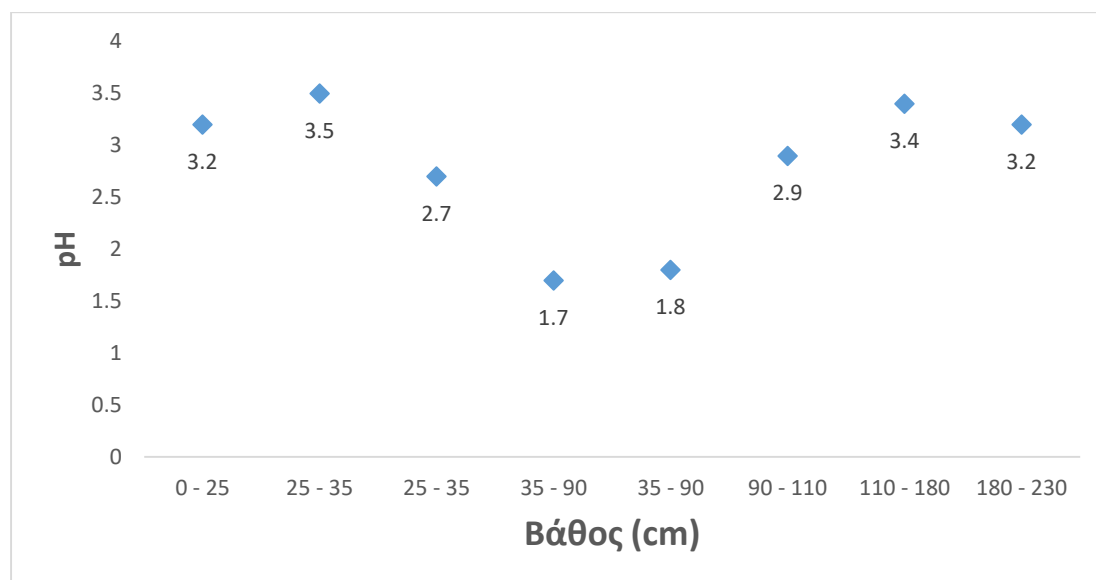


Εικόνα 5.8. Ορυκτά του δείγματος με κωδικό Θέση 8 στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) ύστερα από χημικές αναλύσεις (SEM-EDS). Α) Mn-ούχος μελαντερίτης, Β) Άμορφη μάζα οξειδίων Fe της οποίας η μέση περιεκτικότητα ισούται ακριβώς με την χημική σύσταση του εξαυδρίτη, Γ) Εξαυδρίτης, Δ) Ca-ούχος κοπιαπίτης.

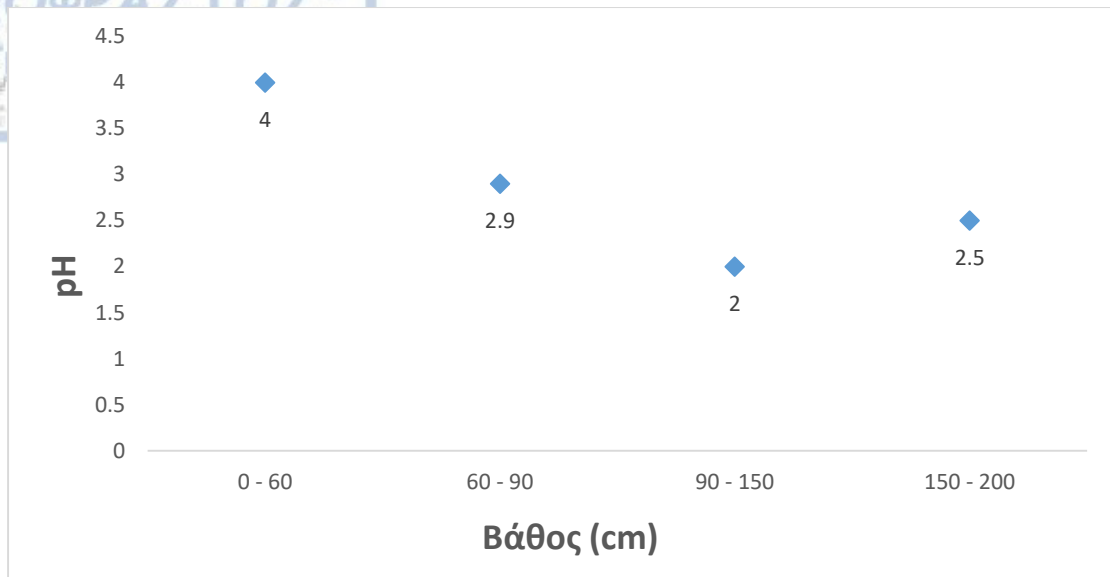
Πίνακας 5.10. Χημικές αναλύσεις ορυκτών (Εικ. 5.6) όπως προέκυψαν από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM - EDS).

Wt. %	Mel	Cop	Hex
MgO	N/D	23.06	5.43
Al ₂ O ₃	N/D	3.41	3.21
SiO ₂ (%wt)	17.1533	6.05	7.63
SO ₃ (%wt)	8.31	16.3	40.37
CaO (%wt)	N/D	38.51	N/D
FeO (%wt)	48.77	12.67	41.67
Mn (%wt)	23.42	N/D	N/D

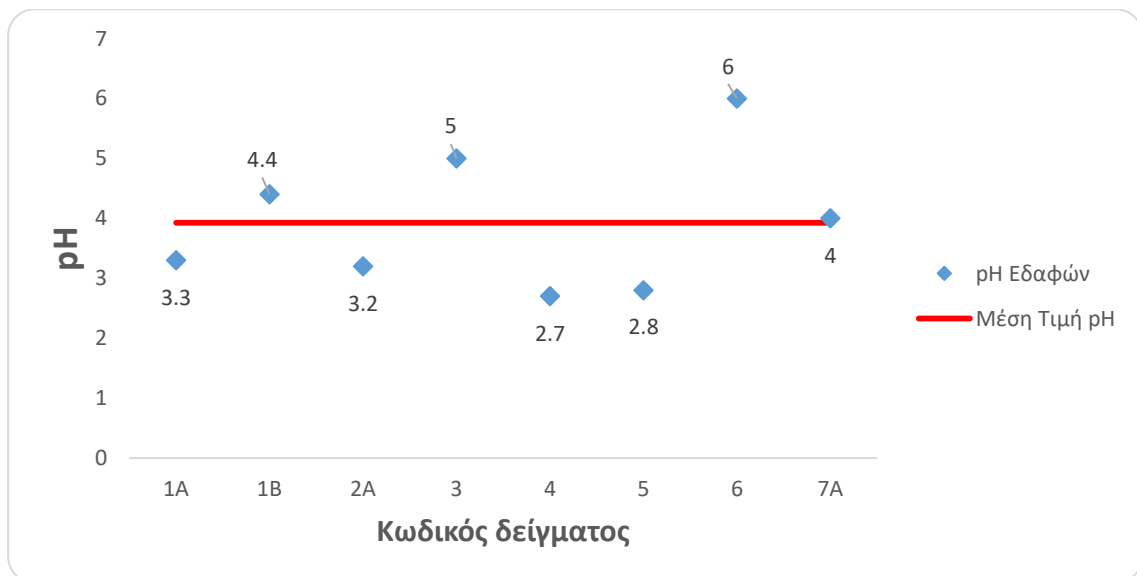
N/D: Δεν ανιχνεύτηκε



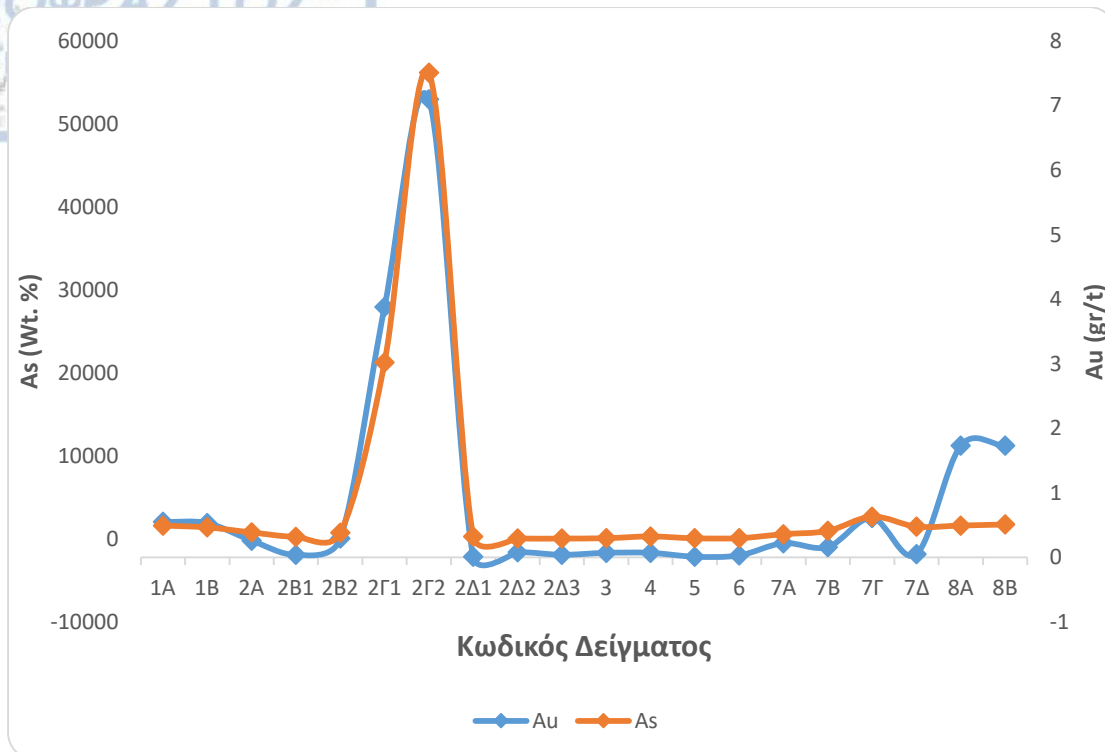
Εικόνα 5.9. Μεταβολή του pH στα δείγματα της εδαφομής με κωδικό Θέση 2 (Εικ. 2.3). Το βάθος 0–25 cm αντιπροσωπεύεται από το δείγμα με κωδικό Θέση 2Α . Το βάθος 25–35 cm αντιπροσωπεύεται από το δείγμα με κωδικό Θέση 2Β1 και Θέση 2Β2. Το βάθος 35–90 cm αντιπροσωπεύεται το δείγμα με κωδικό Θέση 2Γ1 και Θέση 2Γ2. Το βάθος 90–110 cm αντιπροσωπεύεται το δείγμα με κωδικό Θέση 2Δ1 . Το βάθος 110–180 cm αντιπροσωπεύεται το δείγμα με κωδικό Θέση 2Δ2 . Το βάθος 180–230 cm αντιπροσωπεύεται το δείγμα με κωδικό Θέση 2Δ3.



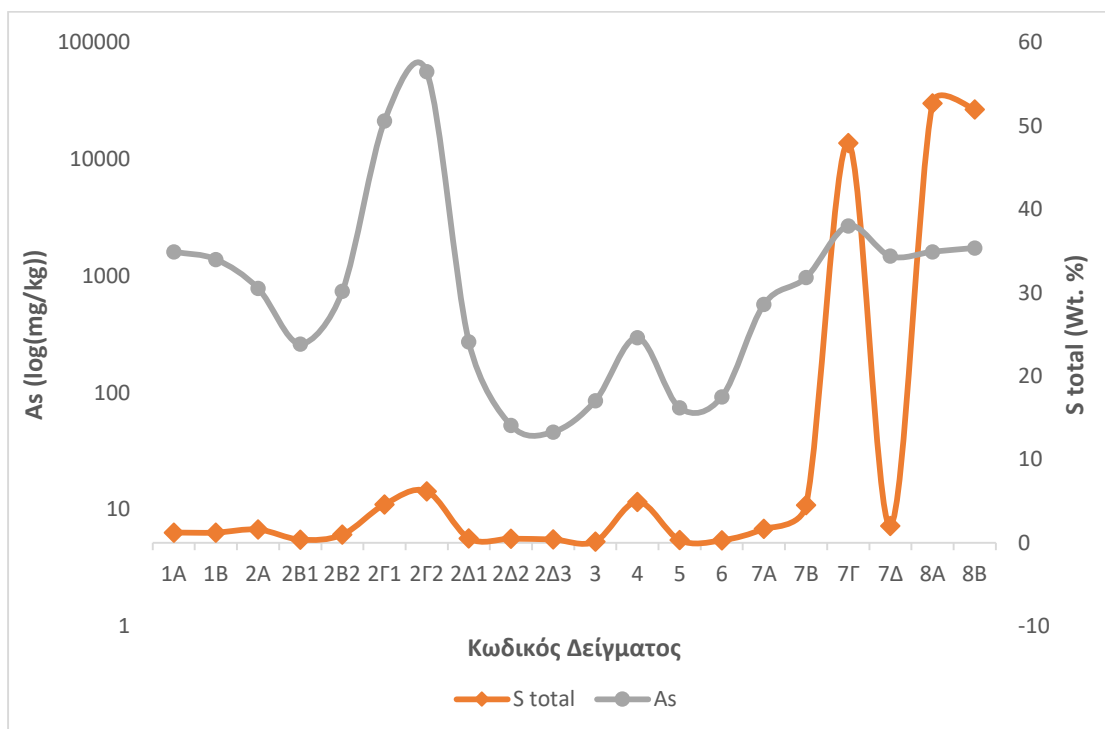
Εικόνα 5.10. Μεταβολή του pH στα δείγματα της εδαφομής με κωδικό Θέση 7 (Εικ. 2.3). Το βάθος 0–60 cm αντιπροσωπεύεται από το δείγμα με κωδικό Θέση 7Α . Το βάθος 60–90 cm αντιπροσωπεύεται από το δείγμα με κωδικό Θέση 7Β. Το βάθος 90–150 cm αντιπροσωπεύεται το δείγμα με κωδικό Θέση 7Γ. Το βάθος 110–200 cm αντιπροσωπεύεται το δείγμα με κωδικό Θέση 7Δ.



Εικόνα 5.11. Μεταβολή του pH στα δείγματα επιφανειακών εδαφών της πλατείας +53 , όπου δεν ανήκουν σε εδαφομή ή να περιέχουν συμπύκνωμα σιδηροπυρίτη (κυανή καμπύλη). Η ερυθρή καμπύλη αντιπροσωπεύει τον μέσο όρο αυτών των δειγμάτων.



Εικόνα 5.12. Μεταβολή του Au(gr/t) και As(Wt.%) στα δείγματα της πλατείας +53. Με κυανό χρώμα παρουσιάζεται η μεταβολή του Au ενώ με πορτοκαλί η μεταβολή του As.



Εικόνα 5.13. Μεταβολή του S total (Wt. %) και As (log(mg/kg)) στα δείγματα της πλατείας +53. Με γκρι χρώμα παρουσιάζεται η μεταβολή του As ενώ με πορτοκαλί η μεταβολή του S total.

Από την μελέτη των Πίν. 5.1 και 5.2 το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε 4 μέταλλα, τα οποία λόγω ορυκτολογίας εμφανίζουν αυξημένες περιεκτικότητες. Αυτά είναι As, Pb, Zn, Cd. Στοιχεία όπως Be, B, Bi, Li, Tl, V, Sb, Se, Mo, Ni, Sr παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές συγκεντρώσεις με τις τιμές τους είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας της αναλυτικής μεθόδου.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η απουσία Cu στα υλικά της πλατείας +53 μιας και η διακύμανσή του είναι από 65.6-621.9 mg/kg.

Τα στοιχεία Pb, Zn, As, Fe παρουσιάζουν τιμές ασυνήθιστα υψηλές καθώς συνδέονται γενετικά με την μεταλλοφορία στα ορυκτά γαληνίτη, σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη αντίστοιχα. Η διακύμανσή τους φαίνεται στον Πίν. 5.11.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην ευρύτερη περιοχή Στρατωνίου ο Fe παρουσιάζει σε όλα τα εδάφη ασυνήθιστα υψηλές τιμές οι οποίες σχετίζονται με τη φυσική μεταλλοφορία της περιοχής.

Πίνακας 5.11. Διακύμανση χημικών στοιχείων στα ορυκτά συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη και στα εδάφη της πλατείας +53.

Στοιχείο	Min (mg/kg)	Max (mg/kg)
Pb	164.5	28800
Zn	113.4	1652
Fe	3000	442500
As	46.01	56190

Το Mn με διακύμανση από 29.4 mg/kg έως 15790 mg/kg σχετίζεται γενετικά με την μεταλλοφορία οξειδίων Mn καθώς και τις Mn-ούχες σκωρίες.

Το στοιχείο As, συνδέεται πιθανότατα με την παρουσία σιδηροπυρίτη και θεικών αλάτων, τα στοιχεία Zn, Cd συνδέονται πιθανότατα με την παρουσία σφαλερίτη ενώ το στοιχείο Pb συνδέεται πιθανότατα με την παρουσία γαληνίτη.

Άξιο παρατήρησης είναι ότι η ορυκτολογία τόσο στο συμπύκνωμα όσο και στον χώρο απόθεσης συνδέεται άμεσα με τους υπερκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς, καθώς ανάντη της πλατείας +53 αποσαθρώνονται τα πετρώματα της περιοχής.

Η αυξημένη περιεκτικότητα Ca στα δείγματα 8A, 8B, 2Γ1, 2Γ2, 7Γ συνδέεται άμεσα ανθρωπογενώς με την προσθήκη CaO στο εργοστάσιο εμπλουτισμού, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα συνδέεται από τα στείρα εξόρυξης του μαρμάρου των Κερδυλλίων εντός του οποίου εντοπίζεται η μεταλλοφορία Pb-Zn-Ag.

Περιβαλλοντικά από τις μετρήσεις pH προκύπτει το συμπέρασμα ότι δείγματα που συνδέονται με την ύπαρξη σιδηροπυρίτη καθώς και υδατοδιαλυτών θεικών αλάτων που σχηματίζονται στα εδάφη από την οξείδωση σωρών σιδηροπυρίτη, παρουσιάζουν pH ισχυρά όξινο. Ο σιδηροπυρίτης και τα θειικά άλατα έχουν πολύ υψηλό δυναμικό εκπλυσιμότητας με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικά μειωμένες τιμές pH που κυμαίνονται από 1.7 έως 2.5. Η παρουσία αυτών μειώνει έντονα το pH σε όλα τα δείγματα. Τα δείγματα αυτά έχουν κωδικούς Θέση 1A, 2A, 2Γ1, 2Γ2, 7Γ, 4, 5, 8A και 8B. Επίσης αρκετά χαμηλό pH παρουσιάζουν τα εδάφη με κωδικούς Θέση 1A, 2A, 2B1, 2B2, 2Δ1, 7B, 7Δ (με τιμές που από 2.7 έως 3.3) τα οποία δεχόντουσαν όξινα νερά όλο τον χρόνο με αποτέλεσμα οι αποθέσεις θεικών αλάτων να έχουν αυξηθεί καθώς και τα εδάφη με κωδικό Θέση 4, 5 τα οποία είναι και πλούσια σε θειικά άλατα Fe.

Οι πιο υψηλές τιμές pH παρουσιάζονται μονάχα στο δείγμα με κωδικό Θέση 6 το οποίο είναι πλούσιο σε Mn-ούχες σκωρίες καθώς και στο δείγμα με κωδικό Θέση 3 του οποίου το έδαφος ήταν πλούσιο σε Mn-ούχες κρούστες.

Παρατηρήθηκε ο φυσικός εμπλουτισμός σε Au στα δείγματα συμπυκνώματος μιας και οι τιμές του στα μη οξειδωμένα δείγματα είναι αρκετά χαμηλές από 0.6 έως 1.7 gr/t Au, ενώ στα δύο οξειδωμένα δείγματα, με κωδικούς Θέση 2Γ1, 2Γ2, ο Au έχει τιμές 3.88 και 7.1 gr/t Au.

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας ήταν ο προσδιορισμός των ορυκτολογικών φάσεων και των χημικών χαρακτηριστικών του συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη που παρήχθη από το εργοστάσιο εμπλουτισμού Στρατωνίου Χαλκιδικής, καθώς και των εδαφών του χώρου απόθεσης της πλατείας +53 στο πλαίσιο εξυγίανσης και αποκατάστασης της περιοχής.

Η ορυκτολογική εξέταση του συμπυκνώματος πυριτών έδειξε ότι αυτό αποτελείται κυρίως από σουλφίδια της πρωτογενούς μεταλλοφορίας, ως επί το πλείστον σιδηροπυρίτη, σύνδρομα πυριτικά ορυκτά, δευτερογενή ορυκτά θεικών αλάτων και οξείδια-υδροξείδια του Fe και Mn. Τα εδάφη της Πλατείας +53 αποτελούνται κατά κύριο λόγο από πυριτικά ορυκτά ενώ ισχυρή είναι και η παρουσία δευτερογενών θεικών αλάτων. Εντοπίστηκαν επίσης οξείδια - υδροξείδια Fe, Mn και ελάχιστες ποσότητες ανθρακικών και μεταλλικών ορυκτών.

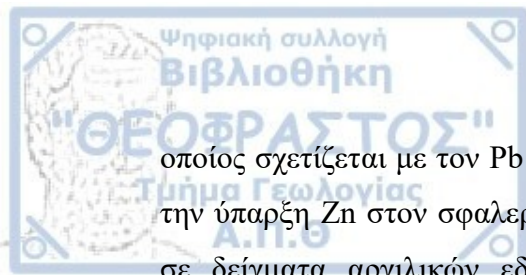
Η χημική ανάλυση των δειγμάτων συμπυκνώματος φανέρωσε υψηλές συγκεντρώσεις As, Pb, Zn και Cd στα οξειδωμένα δείγματα στα οποία μετρήθηκε και η χαμηλότερη τιμή pH (~1.7). Τα μη οξειδωμένα δείγματα παρουσίασαν υψηλές συγκεντρώσεις As, Pb, Zn και Cd σε σχέση με τα υπόλοιπα εδάφη αλλά χαμηλότερες από τα οξειδωμένα δείγματα και έχουν χαμηλές τιμές pH (~2.5). Τα εδάφη παρουσιάζουν όξινο pH με M.O. = 3.7.

Γενικά, τα στοιχεία Pb, Zn, As, Cd εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις καθώς συνδέονται με την μεταλλοφορία στα ορυκτά γαληνίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτη. Ωστόσο η παρουσίας τους χαρακτηρίζεται από υψηλές διακυμάνσεις. Το As πιθανό να συνδέεται με την παρουσία σιδηροπυρίτη και θεικών αλάτων, τα Zn, Cd με την παρουσία σφαλερίτη ενώ ο Pb με την παρουσία γαληνίτη

Χρυσός εντοπίστηκε σημειακά, στα μη οξειδωμένα δείγματα έως και 1.7 gr/t, στα οξειδωμένα έως και 7.1 gr/t ενώ ο μέσος όρος του παρέμεινε αρκετά χαμηλός, 1.7 gr/t. Οι τιμές για τον Ag υπολογίστηκαν 9 gr/t στα μη οξειδωμένα δείγματα.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι παλαιές αποθέσεις συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη στην πλατεία +53 της μεταλλευτικής περιοχής του Στρατωνίου Χαλκιδικής αποτελούν το εμπορεύσιμο προϊόν του εργοστασίου εμπλουτισμού, το οποίο τροφοδοτούνταν από το πολυμεταλλικό κοίτασμα Pb-Zn-Ag του Μαντέμ Λάκκου. Σκοπός της διατριβής ήταν να εξεταστεί ορυκτολογικά το συμπύκνωμα σιδηροπυρίτη και να εξεταστούν γεωχημικά τα εδάφη που φιλοξένησαν για αρκετά χρόνια αυτό το συμπύκνωμα όπου και επηρεάστηκαν περιβαλλοντικά. Οι αποθέσεις συμπυκνώματος ταυτίζονται με την φιλοξενούσα μεταλλοφορία καθώς και με τα πετρώματα της γεωλογικής ζώνης των Κερδυλλίων που έγκειται η μεταλλοφορία. Ελήφθησαν έντονα οξειδωμένα και μη οξειδωμένα δείγματα συμπυκνώματος, ενώ από τα εδάφη της πλατείας +53 συλλέχθηκαν και δευτερογενή ορυκτά που σχηματίζονται σε επιφανειακές συνθήκες αποσάθρωσης, σε βοτρυοειδή συσσωματώματα και κρυσταλλωμένες κρούστες. Τα οξειδωμένα δείγματα συμπυκνώματος αποτελούνται κυρίως από σιδηροπυρίτη, γιαροσίτη, χαλαζία, σκοροδίτη, γκαιτίτη, χλωρίτη, μαγνητίτη, γαληνίτη, και λιγότερο από βιοτίτη, μικροκλινή. Τα μη οξειδωμένα δείγματα περιέχουν κυρίως σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, σφαλερίτη, χαλαζία, γύψο και αλβίτη. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των δειγμάτων συμπυκνώματος είναι ότι βρέθηκαν αρκετές συμφύσεις ορυκτών ενώ εντοπίστηκαν και ορυκτές φάσεις μετάλλων εντός άλλων ορυκτών. Εντοπίστηκε σύμφυση σιδηροπυρίτη με γαληνίτη, γαληνίτη με σφαλερίτη και σφαλερίτη με σιδηροπυρίτη, ενώ εντοπίστηκαν ορυκτές φάσεις As εντός σιδηροπυρίτη που συνδέονται με Au, καθώς και εγκλείσματα As, Ag, Fe, Cu, Mn εντός σφαλερίτη. Τα ορυκτά των εδαφών της πλατείας +53 περιλαμβάνουν χαλαζία, χλωρίτη, μαγνητίτη, αμφίβολο, μικροκλινή ενώ τα δευτερογενή ορυκτά που συνδέονται άμεσα με όξινες απορροές, περιλαμβάνουν θειικά άλατα όπως γιαροσίτη, εξαϋδρίτη, Mn-ούχο μελαντερίτη, Ca-ούχο κοπιαπίτη, οξείδια Fe, Mn όπως σκοροδίτη και γιανγκουνίτη καθώς και άμορφα οξείδια – υδροξείδια Fe, Mn. Τα στοιχεία Pb, Zn, As, Cd παρουσιάζουν στα ορυκτά, τιμές ασυνήθιστα υψηλές καθώς συνδέονται γενετικά με την μεταλλοφορία στα ορυκτά γαληνίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτη αντίστοιχα. Ο Au παρουσιάζει χαμηλές τιμές ενώ αύξηση περιεκτικότητας παρουσιάζει στα οξειδωμένα δείγματα που σχετίζονται με σιδηροπυρίτη και συγκεκριμένα έχει άμεση συσχέτιση με το As. Το ίδιο συμβαίνει και με τον Ag ο



οποίος σχετίζεται με τον Pb στον γαληνίτη καθώς και στο Cd το οποίο σχετίζεται με την ύπαρξη Zn στον σφαλερίτη. Επίσης χαμηλές περιεκτικότητες Au βρεθήκανε και σε δείγματα αργιλικών εδαφών όπου δεχόντουσαν όξινες απορροές οι οποίες λιμνάζανε για αρκετές μέρες. Τέλος η παρουσία του συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη και των θεικών αλάτων κατεβάζουν εμφανώς τις τιμές pH στα δείγματα που περιέχουν είτε εδάφη είτε συμπύκνωμα. Οι τιμές pH που περιέχουν δείγματα σιδηροπυρίτη ή θεικών αλάτων κυμαίνονται από 1.7 έως 2.5, ενώ η συνολική μεταβολή του pH είναι 1.7 – 6.

ΑΓΓΛΙΚΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

The old pyrite concentrate deposits in area +53 of Stratoni mining district Chalkidiki is the useful product of beneficiation plant, fed from the polymetallic ore Pb-Zn-Ag of Madem Lakkos. The purpose of this master thesis was to investigate the mineralogy of pyrite concentrate and the geochemistry of affected underneath soil. The pyrite concentrate deposits coincide with host mineralization as well as the Kerdyllia bedrock, which lies in the mineralization. The received sample groups were the heavily oxidized and non-oxidized concentrate samples, while the collected soils of the area +53 were secondary minerals formed in surface weathering conditions in botryose crystallized agglomerates and crusts. The oxidized concentrate samples consist mainly of pyrite, jarosite, quartz, scorodite, goethite, chlorite, magnetite, galena, and less biotite, microcline feldspar. The non - oxidized samples contain mainly pyrite, galena, sphalerite, quartz, gypsum and albite. The common feature of all concentrate samples is the several mineral adhesions and various metal phases discovered in other minerals. Detected adhesions include galena inside pyrite, sphalerite inside galena, sphalerite and pyrite inside galena, As-enriched pyrite which includes gold and As, Ag, Fe, Cu, Mn - enriched phases in sphalerite. The area +53 minerals include quartz, chlorite, magnetite, amphibole, microcline and secondary minerals associated with acid mine drainage which include sulfates such as jarosite, hexahydrate, manganese melanterite, calcium copiapite, Fe, Mn oxides such as scorodite, jangunitte and amorphous Fe, Mn oxides – hydroxides. The Pb, Zn, As, Cd elements presents abnormally high values related with mineralization in galena, sphalerite, pyrite respectively. Presence of Au is associated with As-riched pyrite and geochemically with As, but generally the values of Au are quite low. The same happens in Ag associated with galena, as well as Cd element with sphalerite. Low concentrations of Au were discovered in clay soil samples that receive acid drainage waters stagnating for many days. Finally, pyrite concentrate and secondary sulfates reduce the values of pH either on soil or on concentrate samples. PH values of pyrite or sulfates samples ranged from 1.7 to 2.5, with a total pH range of 1.7-6.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alifragkis, D., Vavelidis, M., Orfanoudakis, M., Galatsianou, A., Voulgaridou, E., Voulgaropoulou, M. and Alifragki, M., 2013. Installation of natural vegetation on old tailing disposal area at Olympias Halkidiki mine, after chemical stabilization and phytoremediation, 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry, Milos island, Greece, 435-445.
- Alpers, C., Blowes, D., Nordstrom, D. and Jambor, J., 1994. Secondary minerals and acid minewater chemistry. In J., Jambor, and D. Blowes, *Environmental Geochemistry of Mine Wastes*. Mineralogical Association of Canada Short Course, 22, 247-270.
- Bassiakos, Y., 1992. Ancient Greek mining and metallurgical activities and relationships to the geosciences. *Bulletin Geological Society of Greece*. v. XXVIII/2, 475-471.
- Campbell, AR. and Lueth, VW., 2008. Isotopic and textural discrimination between hypogene, ancient supergene, and modern sulfates at the Questa mine, New Mexico. *Applied Geochemistry*, 23, 11308–319.
- Cepeda, A., 1999. General Geological Map of Kassandra. T.V.X. Hellas Exploration Geology and Mining Property Dept. Scale, 1: 20000.
- Davies, O., 1932. Ancient mines in southern Macedonia. *Journal of Royal Institute*, 62, 145-162.
- De Wet, A.P., Miller, J.A., Bickle, M.J. and Chapman, H.J., 1989. Geology and geochronology of the Arnea. Sithonia and Ouranopolis intrusions, Chaldiki peninsula, northern Greece. *Tectonophysics*, 161, 65-79.
- Dimitrijevic, M. and Ciric, B., 1967. Essai sur l' eution de la masse Serbo - Macedoinienne. *Acta Geologica Academiae Scientarum Hungaricae*, 11, 35-47.
- Dinelli, E. and Tateo, F., 2001. Sheet silicates as effective carriers of heavy metals in the ophiolitic mine area of Vigonzano (northern Italy). *Mineralogical Magazine*, 65, 121–132.

Dinter, D.A., 1998. Late Cenozoic Extension of the Alpine collisional orogen, northeastern Greece: origin of the north Aegean Basin. *GSA Bulletin*, 110/9, 1208 – 1230.

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

Eldorado Gold Corporation, 2012. Exploration Update Report, NEWS RELEASE ELD No. 12-17 TSX: ELD NYSE: EGO ASX: EAU, Norm Pitcher 1188, 550 Burrard, Vancouver.

Eppinger, R.G., Briggs, P.H., Dusel-Bacon, C., Giles, S.A., Gough, L.P., Hammarstrom, J.M. and Hubbard, B.E., 2007. Environmental geochemistry at Red Mountain, an unmined volcanogenic massive sulphide deposit in the Bonfield district, Alaska Range, east-central Alaska. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 7, 207–223.

European Goldfields Limited, 2004a. European Goldfields acquires 30% interest in Hellas Gold S.A. NEWS RELEASE.

European Goldfields Limited, 2004b. European Goldfields to increase interest in Hellas Gold, 2004-10-26 10:11 ET - NEWS RELEASE.

European Goldfields Limited, 2005a. Results for 2004, Transforming Year in 2004-Production Expected to Commence in 2005.

European Goldfields Limited, 2005b. Into production. A pipeline of development-stage projects. Annual Report 2005.

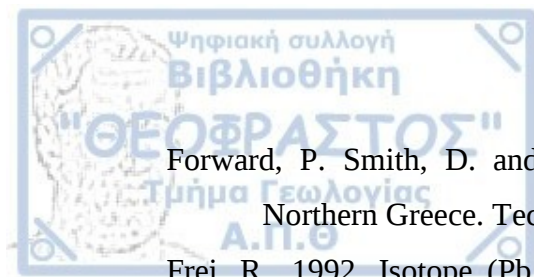
Evangelou, V.P., 1995. Pyrite oxidation and its control. CRC Press, Boca Raton.

Evangelou, V.P., 1998. Pyrite chemistry: the key for abatement of acid mine drainage. In: Geller, W., Klapper, H. and Salomons, W. (eds) *Acidic mining lakes: acid mine drainage, limnology and reclamation*. Springer, Heidelberg, 197–222.

Förstner, U., 1999. Introduction. In: *Azcue JM Environmental impacts of mining activities: emphasis on mitigation and remedial measures*. Springer, Heidelberg, 1–3.

Forward, P. and Francis, A., 2009. Technical Report on the Straton Project, Pb Zn Ag Deposits, Northern Greece. European Goldfields Ltd.

Forward, P., Francis, A., and Liddell, N., 2011a. Technical Report on the Olympias Project, Au Pb Zn Ag Deposits, Northern Greece. European Goldfields Ltd.



- Forward, P. Smith, D. and Francis, A., 2011b. Skouries Cu/Au Project, Greece Northern Greece. Technical Report NI 43-101. European Goldfields Ltd.
- Frei, R., 1992. Isotope (Pb, Rb-Sr, S, O, C, U-Pb) geochemical investigations on Tertiary intrusives and related mineralizations in the Serbomacedonian Pb-Zn, Sb+Cu-Mo metallogenetic province in Northern Greece. PhD thesis Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich.
- Furniss, G., Hinman, N.W., Doyle, G.A. and Runnells, D.D., 1999. Radiocarbon-dated ferricrete provides a record of natural acid rock drainage and paleoclimatic changes. *Environmental Geology*, 37, 102–106.
- Fyfe, W.S., 1981. The environmental crisis: quantifying geosphere interactions. *Science*, 213, 105–110.
- Fytikas, M. D., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., and Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. *Geological Society, London, Special Publications*, 17, 687-699.
- Gentner, W., Gropengiesser, H. and Wagner, G.A., 1980. The mineralogical and geographical silver sources for Archaic Greek coinage. *Royal Numismatic Society, Special Publications*, 13, 3-50.
- Gilg, H. and Frei, R., 1994. Chronology of magmatism and mineralization in the Kassandra mining area, Greece: The potential and limitations of dating hydrothermal illites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 2107-2122.
- Graham, G.E. and Kelley, K.D., 2009. The Drenchwater deposit, Alaska: an example of a natural low pH environment resulting from weathering of an undisturbed shale-hosted Zn-Pb-Ag deposit. *Applied Geochemistry*, 24, 232–245.
- Himmerkus, F., Reischmann, T. and Kostopoulos, D., 2006. Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbomacedonian massif, northern Greece: the significance of terrane accretion in the Hellenides. Tectonic development of the Eastern Mediterranean Region. *Geological Society, London, Special Publications*, 260, 35-50.
- Jambor, J., 1994. Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products. In Jambor, J. and Blowes, D. (eds) *Short Course Handbook on Environmental Geochemistry of Sulfide Mine Waste*. Nepean: Mineralogical Association of Canada. 22, 59-102.
- Jamieson, H., 2011. Geochemistry and Mineralogy of Solid Mine Waste: Essential Knowledge for Prediction Environmental Impact. *Elements*, 7, 381-386.

- Kalogeropoulos, S., Chorianopoulos, E., Bitzios, D., and Hellingwerf, R., 1989a. A study of the mineralogical and geochemical changes of the Kerdilia marbles in relation to the Pb-Zn (Au,Ag) sulphide ore deposits. *Unpub. Report, I.G.M.E.*, 21.
- Kalogeropoulos, S., Kiliass, S., Bitzios, D., Nicolaou, M., and Both, R., 1989b. Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulphide ore deposit, eastern Chaldikidi, northern Greece. *Economic Geology*, 84, 1210-1234.
- Karpenko, V. and Norris, J.A., 2002. Vitriol in the history of chemistry. *Chemické Listy*, 96, 997–1005.
- Kelepertzis, E., Argyraki, A. and Daftsis, E., 2012. Geochemical signature of surface water and stream sediments of a mineralized drainage basin at NE Chalkidiki, Greece: A pre-mining survey. *Journal of Geochemical Exploration*, 114, 70–81.
- Kim, S., 1977. Janggunit, a new manganese hydroxide mineral from the Janggunit mine, Bonghwa, Korea. *Mineralogical Magazine*, 41, 519-23.
- Klug, H., and Alexander, L., 1974. X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials. New York: Wiley & Sons.
- Kockel, F. and Walther, H., 1965. Die Strimonlinie als Grenze zwischen Serbo-Mazedonoschen und Rila-Rhodope Massiv in Ost-Mazedonien. *Geol. Jb.*, 83, 575-602.
- Kockel, F. and Walther, H. 1968. Zur Geologischen entwicklung des Sudlichen Serbomazedonischen massivs. *Bulg. Ak. Sc. Bull. Geol.*, KH XVII, 133-142.
- Kockel, F., Mollat, H., and Walther, H., 1971. Geologic des Serbo-Mazedonischen Massivs und seines mesozoichen Rahmens. *Geol. Jb.*, 89, 529-551.
- Kockel, F., Mollat, H. and Gundlach, H., 1975. Hydrothermally Altered and (Copper) Mineralized Porphyritic Intrusions in the Serbo-Macedonian Massif (Greece). *Mineralium Deposita*, 10, 195-204.
- Kockel, F., Mollat, H. and Walther, H.W., 1977. Erläuterungen zur geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 119.
- Kockel, F., Mollat, H., Walther, W., Αντωνιάδης, Π. και Ιωαννίδης, Κ., 1978. Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Στρατονίκη, Κλίμακα 1:50.000. I.G.M.E.

- Kwong, Y.T.J., Whitley, G. and Roach, P., 2009. Natural acid rock drainage associated with black shale in the Yukon Territory, Canada. *Applied Geochemistry*, 24, 221–231.
- Liu, R., Wolfe, A.L., Dzombak, D.A., Stewart, B.W. and Capo, R.C. 2008. Comparison of dissolution under oxic acid drainage conditions for eight sedimentary and hydrothermal pyrite samples. *Environmental Geology*, 56, 171–182.
- Lottermoser, B., 2010. Mine Wastes, Characterization, Treatment and Environmental Impacts. Third Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Munk, L.A., Faure, G., Pride, D.E. and Bigham, J.M., 2002. Sorption of trace metals to an aluminum precipitate in a stream receiving acid rock-drainage; Snake River, Summit County, Colorado. *Applied Geochemistry*, 17, 421–430.
- Murad, E., Schwertmann, U., Bigham, J.M. and Carlson, L., 1994. Mineralogical characteristics of poorly crystallized precipitates formed by oxidation of Fe^{2+} in acid sulfate waters. In: Alpers, C.N. and Blowes, D.W. (eds) *Environmental geochemistry of sulfide oxidation*. American Chemical Society Symposium Series 550, Washington, DC, 190–200.
- Nebel, M., Hutchinson, R.W. and Zartman, R.E., 1991. Metamorphism and Polygenesis of the Madem Lakkos Polymetallic Sulfide Deposit, Chalkidiki, Greece. *Economic Geology*, 86, 81-105.
- Neubauer, W.H., 1957. Geologie der blei-zinreichen Kieslagerstätten von Kassandra (Chalkidike, Griechenland). *Berg Hutten mSn nische Monatshefte*, 102, 1-16.
- Nicolaou, M., 1960. L' intrusion granitique dans la region de Straton Olympiade et sa relation avec la metallogenese. *Annales Géologiques des Pays Héliéniques*, 11, 214-265.
- Nicolaou, M., 1964. The mineralogy and micrography of the sulphide ores of Kassandra mines Greece. *Annal. Geol. des Pays Helleniques*, 16, 111-139.
- Nicolaou, M. and Kokonis, I., 1980. Geology and development of the Olympias mine, eastern Chalkidiki, Macedonia, Greece. In: M., Jones (Ed.) *Complex sulphide ores*. London: Inst. Mining Metallurgy, 260-270.
- Nordstrom, D.K. and Alpers, C.N. 1999. Geochemistry of acid mine waters. In: Plumlee, G.S. and Logsdon, M.S. (eds) *The environmental geochemistry of mineral deposits. Part A: processes, techniques and health issues*, vol 6A.

- Society of Economic Geologists, Littleton, 133–160 (Reviews in economic geology).
- Nordstrom, K., 2011. Mine Waters: Acidic to Circumneutral. *Elements*, 7, 393-398.
- Osswald, K., 1938. Geologische Geschichte von Griechisch – Nordmakedonien. Denkschr. Der geol. Landesanstalt von Griechenland. Heft 3, Athen.
- Pena, A., 1977. Manganese Deposit Greece, 12.
- Pernicka, E., Seeliger, T.C. Waqner, G.A., Beqeman, F., Schmitt~ Strecker, S. Einber, C. Oztunali, O. and Baranyi, I., 1984. 'Archaometallurgische Untersuchungen in Nordenstanatolien. Jahrb, Rom.-Germ. Zenrmus. NainZ, 31, 533-599.
- Pernicka, E., 1987. ~Erzlaquerstatten In der Agais und ihre Ausbeutung im Altertum.~ Jahrb. Rom.-Germ. Zentrmus., Mainz, 34, 607-714.
- Posey, H.H., Renkin, M.L. and Woodling, J., 2000. Natural acid drainage in the upper Alamosa River of Colorado. In: Proceedings from the 5th international conference on acid rock drainage, 1. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Littleton, 485–498.
- Sapountzis, E., Kassoli-Fournaraki, A. and Christofides, G., 1990. Amphibolites from the Serbo-Macedonian Massif (Northern Greece), *Geologica Balcanica*, 20, 3-17.
- Tompouloglou, C., Campiglio, C. and Bellon, H., 1986. Les manifestation magmatiques dans le Massif Serbo-Macedonien (Grece) a l' Oligo-Miocene; Precisions apportees par l' analyse radiometrique 40K-40Ar. *Comp. Rend. Acad. Sci.*, 302, 431-436.
- Vakalopoulos, K., 1973. History of Macedonia, 1354-1833, Institute for Balkan Studies, Thessaloniki.
- Vavelidis, M., 1989. Das Au-Ag Vorkommen von Metagitsi. Chalkidiki (Nordgriechenland). Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. Beih. Z. Eur. J. Mineral., 1.
- Vavelidis, M., Pernicka, E. and Wagner, G.A., 1983. Untersu-chungen in den Pb-Ag- und Au-Vorkommen von NE-Chalkidiki (Nordgriechenland). Beihefte zum Eurp. J. Miner., 61, 212-213.
- Vavelidis, M., 1997. Gold deposits and ancient mining activity in Greece, with emphasis in the areas of Macedonia and Thrace, *Pact*, 22.
- Verplanck, P.L., Nordstrom, D.K., Bove, D.J., Plumlee, G.S. and Runkel, R.L., 2009. Naturally acidic surface and ground waters draining porphyry-related

mineralized areas of the Southern Rocky Mountains, Colorado and New Mexico. *Applied Geochemistry*, 24, 255–267.

Wagner, G.A., Pernicka, E., Vavelidis, M., Baranyi, Y. and Bassiakos, Y., 1986. Archeometallurgische Untersuchungen auf Chalkidiki. *Anschnitt*, 5-6, 166-186.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αλιφραγκής, Δ., Βουλγαρίδη, Ε., Βαβελίδης, Μ., Γαζέα, Ε., Γαλατσιάνου, Α., Αγαλή, Α. και Δαφτσής Ε., 2015. Αποικισμός των ισχυρά ρυπασμένων εδαφών μετά από χημική σταθεροποίησή τους στη θέση Καρακόλι Στρατωνίου. 2^ο Περιβαλλοντικό Συνέδριο Θεσσαλίας, Σκιάθος 26-28 Σεπτεμβρίου.

Βαβελίδης, Μ., Γιαλόγλου, Γ., Τρώντσιος, Γ., Μέλφος, Β. και Weisgerber, G., 2001. Ένα αρχαίο μεταλλείο όχρας και μολύβδου-αργύρου στην περιοχή Ελιά της Θάσου. «Αρχαιομετρικές μελέτες για την Ελληνική Προϊστορία και Αρχαιότητα» Επιστ. Επιμέλ.: Μπασιάκος Ι., Αλούπη Ε., Φακορέλλης Γ. ΕΑΕ & ΚΜΑΜ, Αθήνα. σσ. 633-644.

Βαβελίδης, Μ., 2009. Η μεταλλευτική και μεταλλουργική δραστηριότητα στη Μακεδονία και Θράκη, με αναφορά στη λατομική δραστηριότητα, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Στο Ε. Ε. Χαρτοθήκη (Επιμ.), Μεταλλεία-Τόποι-Πόλεμοι, Αναγνώσεις χαρτών από το αρχείο της Επιθεώρησης Μεταλλείων Βορείου Ελλάδος του Υπουργείου Ανάπτυξης. Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ.

Βαβελίδης, Μ. και Μέλφος, Β., 2012. Αρχαιομεταλλουργική έρευνα στην περιοχή Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας (Αρχαία Στάγειρα), ΒΑ Χαλκιδική. Στο Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη. 101, 9-16.

Βακαλόπουλος, Α., 1964. Ιστορία του νέου Ελληνισμού, Τουρκοκρατία 1453-1669, Οι ιστορικές βάσεις της Νεοελληνικής κοινωνίας και οικονομίας (Τόμ. Β'). Θεσσαλονίκη.

Βακαλόπουλος, Α., 1973. Ιστορία του νέου Ελληνισμού, Τουρκοκρατία 1669-1812, Η οικονομική άνοδος και ο φωτισμός του γένους (Τόμ. Δ'). Θεσσαλονίκη.

Βακαλόπουλος, Α., 1989. Πηγές της Ιστορίας της Μακεδονίας 1354-1833. (Μ. Βαφειάδου, Επιμ.) Θεσσαλονίκη: Εταιρεία Μακεδονικών Σπουδών.

Βεράνης, Ν., 1994. Γεωλογική δομή και ορυκτές πρώτες ύλες στο νομό Χαλκιδικής, Ι.Γ.Μ.Ε., Θεσσαλονίκη.

Γαλανόπουλος, Β. και Θεοδορούδης, Α., 1993. Ο χρυσός, άργυρος και τα βαρέα μέταλλα στη μαγγανιούχο παραγένεση των κοιτασμάτων της ΒΑ Χαλκιδικής, 507-518.

Δασκαλάκης, Ν., 2002. «Επιπτώσεις των μεταλλείων στις τοπικές κοινωνίες», Πρακτ. Ημερίδας Σ.Μ.Ε. (Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων) και Σ.Μ.Μ.Μ.Θ., Καβάλα.

Δημητριάδης, Σ., 1974. Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας - Ασπροβάλτας, Σταυρού - Ολυμπιάδος. Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Δήμου, Ε., Διακάκης, Μ. και Οικονόμου, Γ., 1986. Η θειούχος μεταλλοφορία της περιοχής Σταγείρων (θέση Πιάβιτσα) του Ν. Χαλκιδικής και η παρουσία μέσα σε αυτή σπανίων ορυκτών αλαμπαντίτη και μαγγανιούχο σφαλερίτη, Ι.Γ.Μ.Ε. Γεωλογικές και Γεωφυσικές μελέτες, 73-87.

Ελληνικά Φυτώρια Α.Ε., 2013. Οικονομικές Καταστάσεις της ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΦΥΤΩΡΙΑ Α.Ε. - Στοιχεία και Πληροφορίες σύμφωνα με τα Δ.Λ.Π.

Ζαφείρης, Φ., Παπάγγελος Ι.Α. και Πλακογιαννακής Κ.Ε., 2001. Χαλκιδική, Η θάλασσα, ορεινή Χαλκιδική, ιστορία, το Άγιον Όρος, Ζαρζώνη, 204.

Θεοδορούδης, Α. και Γαλανόπουλος, Β., 1994. Τα μαγγανιούχα κοιτάσματα της ΒΑ Χαλκιδικής, Ι.Γ.Μ.Ε. 519 – 531.

Κασώλη-Φουρναράκη Α., 1981. Συμβολή στην ορυκτολογική και πετρολογική μελέτη αμφιβολιτικών πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής μάζας. Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κονοφάγος, Κ., 1980. Το αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική τεχνική παραγωγής του αργύρου. Αθήνα: Εκδοτική Ελλάδος Α.Ε.

Μαράτος, Γ., 1955. Γεωλογική και κοιτασματολογική αναγνώριση της μεταλλοφόρου ΒΑ Χαλκιδικής Περιοχή Βαρβάρας-Ολυμπιάδας Στρατονίκης.

Μηλιούδης, Ν., Βικελούδας, Δ. και Λάγκας, Γ., 1988. Μελέτη επιπτώσεων και αποκαταστάσεως περιβάλλοντος των μη δασικών εκτάσεων που επηρεάζονται από την εκμετάλλευση των μεταλλείων Κασσάνδρας, Ανώνυμος Ελληνική Εταιρία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων «Μεταλλεία Κασσάνδρας».

Μουντράκης, Δ., 1983. Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των εσωτερικών Ελληνίδων., Πραγματεία για

Υφηγεσία: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, 289.

- Μουντράκης, Δ., 1994. Εισαγωγή στη Γεωλογία της Μακεδονίας και της Θράκης. Απόψεις για τη γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελληνικής ενδοχώρας και των Εσωτερικών Ελληνίδων. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 30, 31-46.
- Παπάγγελος, Ι.Α., 1991. Το «κοινόν» του Μαντεμίου. Συμπόσιο « Η διαχρονική πορεία του κοινοτισμού στη Μακεδονία». Κέντρο Ιστορίας Θεσσαλονίκης του Δήμου Θεσσαλονίκης. Αυτοτελείς Εκδόσεις, Αρ.5.
- Παπαρηγορίου, Σ., Παπαδάκη, Α., Κατσέλης, Ι., Κοτζαγεώργης, Γ., Μπεκιάρης, Γ., Τέντες, Γ., Μανιτάρα, Κ., Μελετίου, Α., Μπούστη, Π. και Χαραλαμποπούλου, Μ., 2009. Enveco, Α.Ε., Προστασία, Διαχείριση και Οικονομία Περιβάλλοντος, Περικλέους 1, 151 22 Μαρούσι Αθήνα, «Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (Π.Π.Ε.Α.) του έργου 'Μεταλλευτικές – Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις των Μεταλλείων Κασσάνδρας'» της εταιρείας 'ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΧΡΥΣΟΥ.' στο Νομό Χαλκιδικής», κεφ. 3.
- Παπαρηγορίου, Σ., Παπαδάκη, Α., Κατσέλης, Ι., Κοτζαγεώργης, Γ., Μπεκιάρης, Γ., Τέντες, Γ., Μανιτάρα, Κ., Μελετίου, Α., Μπούστη, Π. και Χαραλαμποπούλου, Μ., 2010. Enveco, Α.Ε., Προστασία, Διαχείριση και Οικονομία Περιβάλλοντος, Περικλέους 1, 151 22 Μαρούσι Αθήνα, «Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων Μεταλλευτικών – Μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της εταιρίας 'ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε. ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΧΡΥΣΟΥ.' στη Χαλκιδική».
- Σακελλαρίου, Δ., 1989. Γεωλογία της Σερβομακεδονικής μάζας στη ΒΑ Χαλκιδική. Παραμόρφωση και Μεταμόρφωση. Διδακτορική Διατριβή, Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, 177.
- Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων, ΣΜΕ, 2012. Έκθεση δραστηριοτήτων 2011. Αθήνα.
- Υπουργείο εσωτερικών, 2010. Σχέδιο Καλλικράτης ΦΕΚ Α87 της 07/06/2010.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, ΥΠΕΚΑ, 2011. Κοινή απόφαση Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής-Υπουργείου Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας-



Υπουργείο Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης-Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων-Υπουργείο Πολιτισμού και Τουρισμού. Θέμα: Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων για τα έργα: α) « Μεταλλευτικές – Μεταλλουργικές Εγκαταστάσεις Μεταλλείων Κασσάνδρας», β) « Απομάκρυνση, Καθαρισμός και Αποκατάσταση Χώρου Απόθεσης Παλαιών Τελμάτων Ολυμπιάδας» της Εταιρίας «ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΧΡΥΣΟΣ Α.Ε.Μ.Β.Χ.» στο Νομό Χαλκιδικής.

Χιονίδης, Γ., 1977. Οι Μακεδόνες πρόσφυγες της Σκοπέλου. *Μακεδονικά*, 17, 135-136.

Διαδικτυακές Πηγές

Google Earth 7.1, 2015, <http://www.google.com/earth/index.html> και <https://www.google.gr/maps> (ανακτήθηκε την 10-02-2015)

Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Ορυκτολογία-Εικονικό εργαστήριο, 2015, <http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo106y/> (ανακτήθηκε την 11-02-2015)

Ακτωρ Α.Ε., 2015, <http://www.aktor.gr/article.asp?catid=20015> (ανακτήθηκε την 11-02-2015)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

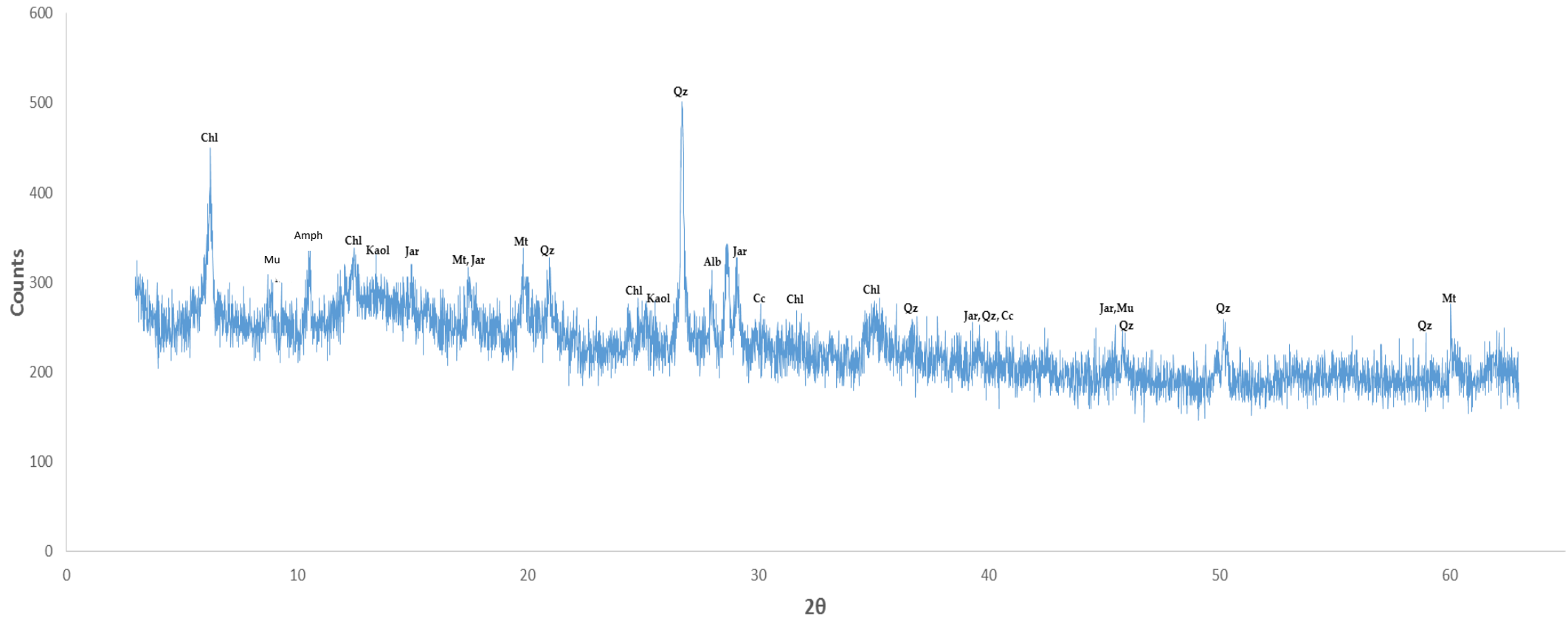
ΛΕΞΙΚΟ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Πίνακας Π.1. Συντομογραφίες ορυκτών με τους χημικούς ιδεατούς τύπους που χρησιμεύουν στην διασαφήνιση των ορυκτών στην παρούσα μελέτη.

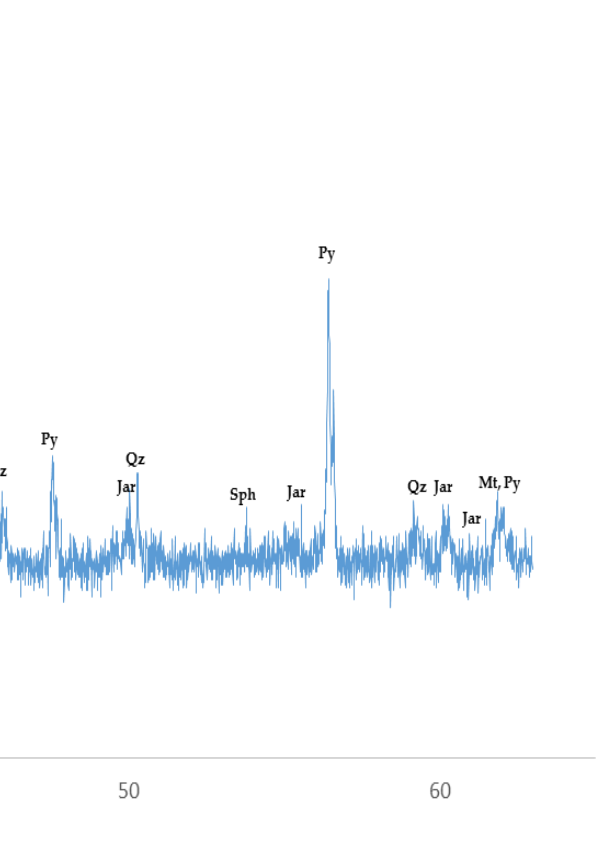
Ορυκτό	Χημική σύσταση	Συντομογραφία
Χαλαζίας	SiO_2	Qz
Μικροκλινης	KAlSi_3O_8	Mic
Βιοτιτης	$\text{KMg}_{2.5}\text{Fe}^{2+}_{0.5}\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_{1.75}\text{F}_{0.25}$	Bi
Χλωριτης	$(\text{Mg,Fe})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$	Chl
Αμφίβολος	$(\text{Na,K})(\text{A})_2(\text{B})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH,F})_2$	Amph
Αλβιτης	$(\text{Na,Ca})(\text{Si,Al})_4\text{O}_8$	Alb
Καολινης	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Kaol
Μοσχοβιτης	$(\text{K,Na})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Mu
Πυροξενος	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Al,Fe}^{3+},\text{Ti})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$	Cpy
Σιδηροπυριτης	FeS_2	Py
Γαληνιτης	PbS	Ga
Σφαλεριτης	ZnS	Sph
Αρσеноπυριτης	FeAsS	Apy
Μαγνητιτης	$\text{Fe}^{3+} 2\text{Fe}^{2+} \text{O}_4$	Mt
Γκαϊτιτης,	$\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$	Gt
Ιαγκουνιτης	$\text{Mn}_{5-x}(\text{Mn,Fe})_{1+x}\text{O}_8(\text{OH})_6$	Jang
Γιαροσιτης	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	Jar
Σκοροδιτης	$\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Scor
Γυψος	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Gy
Εξαϋδριτης	$\text{MgSO}_4(\text{H}_2\text{O})_6$	Hex
Μελαντεριτης	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Mel
Κοπιαπιτης	$\text{CaFe}^{3+} 4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 19(\text{H}_2\text{O})$	Cop
Ασβεστιτης	CaCO_3	Cc
Δολομιτης	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dol

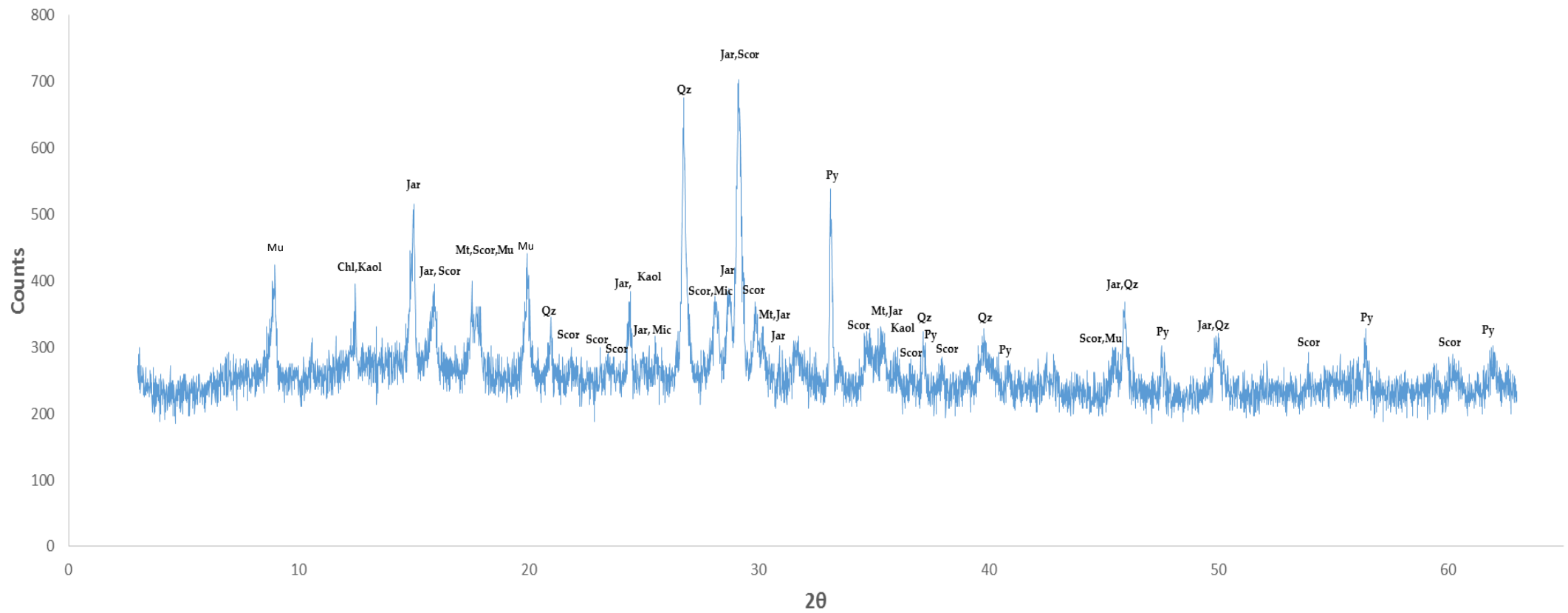
$A = \text{Na, Ca, Fe}^{+2}, \text{Li, Mn}^{+2}, \text{Al}, [\text{Zn, Ni, Co}], B = \text{Fe}^{+3}, \text{Mn}^{+3}, \text{Cr, Al, Ti}^{+4}, \text{Fe}^{+2}, \text{Li, Mn}^{+2}$

ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

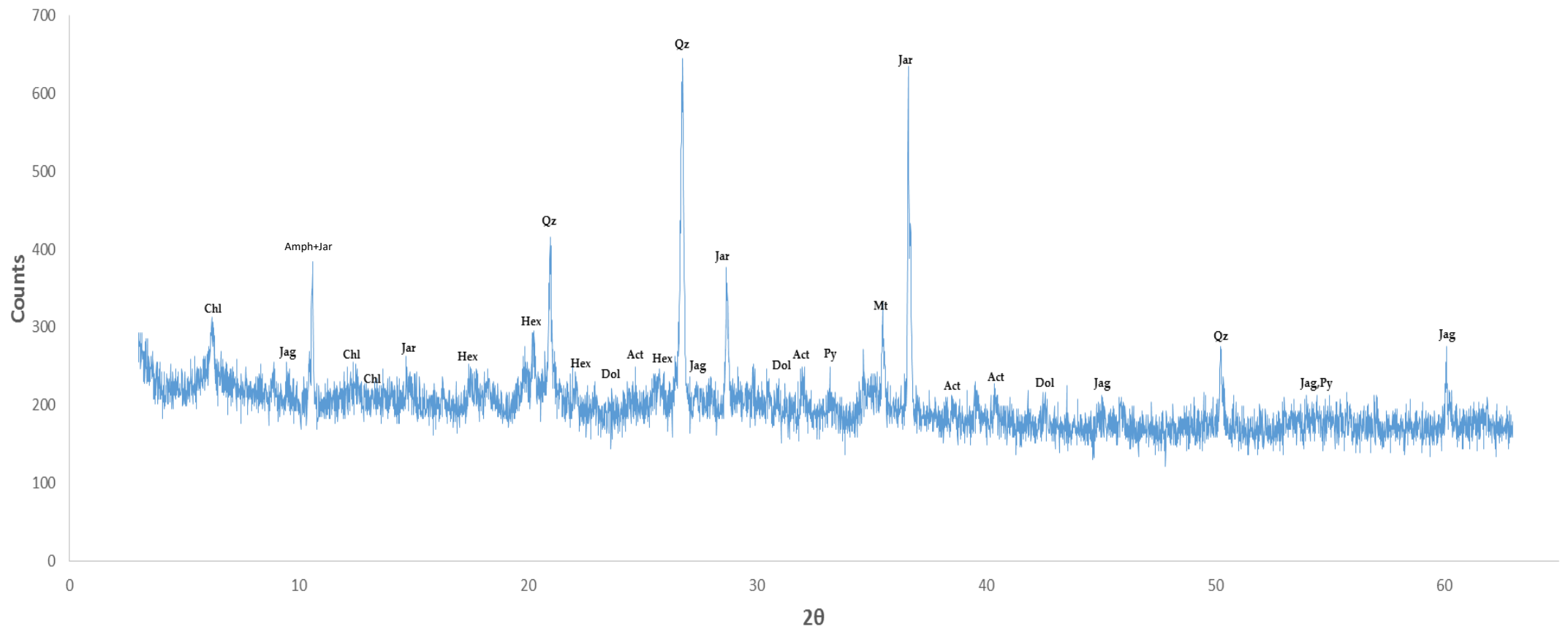


Σχήμα 1.1. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων Χ, δείγματος εδάφους με κωδικό Θέση 1Α.





Σχήμα 1.3. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων X, δείγματος εδάφους με κωδικό Θέση 2Γ2.



Σχήμα 1.4. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων X, δείγματος εδάφους με κωδικό Θέση 4.