



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



ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΣΤΗΝ ΠΑΛΑΙΑ ΑΠΟΘΕΣΗ ΑΡΣΕΝΟΠΥΡΙΤΗ ΟΛΥΜΠΙΑΔΑΣ, ΒΑ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ



Καρέτου Ι. Αθανασία
ΑΕΜ: 4563

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέποντες
Μ. Βαβελίδης, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Ν. Καντηράνης, Επίκ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη 2014

Πίνακας περιεχομένων

1. Περίληψη.....	5
2. Abstract	5
3. Εισαγωγή	6
3.1. Πρόλογος – Σκοπός της εργασίας	6
3.2. Ευχαριστίες	6
4. Γενικά στοιχεία της περιοχής	7
5. Γεωλογία της περιοχής μελέτης	7
5.1. Λιθοστρωματογραφία της περιοχής.....	7
5.2. Συνθήκες μεταμόρφωσης	9
5.3. Μαγματισμός	9
5.4. Τεκτοορογενετική εξέλιξη – ενεργά ρήγματα της περιοχής.....	12
5.5. Κοίτασμα Pb-Zn- Au-Ag της Ολυμπιάδας.....	14
5.6. Αποθέσεις τελμάτων στην Ολυμπιάδα	16
6. Η μεταλλευτική ιστορία στη ΒΑ Χαλκιδική	16
7. Μεθοδολογία	21
7.1. Δειγματοληψία.....	21
7.2. Προετοιμασία δειγμάτων.....	28
7.3. Κοκκομετρικές αναλύσεις	34
8. Ορυκτολογική σύσταση των αποθέσεων των παλαιών τελμάτων της Ολυμπιάδας και του ρέματος Μαυρόλακκα.....	39
8.1. Σουλφίδια.....	45
8.1.1. Σιδηροπυρίτης.....	45
8.1.2. Αρσеноπυρίτης.....	49
8.1.3. Σφαλερίτης	51
8.1.4. Γαληνίτης.....	52
8.2. Ένυδρα Θειικά Άλατα	53
8.2.1. Γύψος.....	53
8.2.2. Βαρύτης	54
8.2.3. Γιαροσίτης	54
8.3. Πυριτικά Ορυκτά	55
8.3.1. Χαλαζίας	55
8.3.2. Καολίνης.....	56
8.3.3. Άστριοι.....	57
8.3.4. Μαρμαρυγίες (Βιοτίτης).....	59
8.3.5. Χλωρίτης.....	60
8.3.6. Αμφίβολοι	61
8.3.7. Γρανάτες	62
8.3.8. Πυρόξενοι.....	62
8.3.9. Τιτανίτης.....	63
8.4. Ανθρακικά	64
8.4.1. Ασβεστίτης	64
8.4.2. Δολομίτης	66
8.4.3. Ροδοχρωσίτης.....	67
8.5. Οξείδια-υδροξείδια του σιδήρου.....	67
8.5.1. Σκοροδίτης	68
8.6. Οξείδια-υδροξείδια του μαγγανίου	69
8.7. Αυτοφυή ορυκτά	72
8.7.1. Γραφίτης	72
8.8. Σκωρία	72
8.9. Φωσφορικά ορυκτά	74
8.9.1. Μοναζίτης.....	74

8.10.Αργιλοπυριτικά ορυκτά.....	75
9. Συνοπτικά συμπεράσματα	77
10.Βιβλιογραφία:	78

1. Περίληψη

Το παλαιό τέλμα της Ολυμπιάδας στη ΒΑ Χαλκιδική αποτέλεσε το χώρο απόθεσης των στείων υλικών επεξεργασίας και εμπλουτισμού του κοιτάσματος Pb-Zn-Au-Ag Ολυμπιάδας κατά τη χρονική περίοδο 1975-1995. Η τυχαία απόθεση των υλικών αυτών είχε ως αποτέλεσμα τη μη διαβαθμισμένη κοκκομετρική τους διάταξη στο χώρο αυτό. Το τέλμα χαρακτηρίστηκε λιθολογικά ως ιλυοαμμώδες, κροκαλοπηλοαμμώδες, πηλοαμμοκροκαλώδες και ημικροκαλοπηλοαμμώδες ανάλογα με την τοποθέτηση του δείγματος στο χώρο. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την αναγνώριση των ορυκτών του χώρου είναι η μικροσκοπική μελέτη με μεταλλογραφικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, όπως επίσης και η περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ. Τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν είναι σουλφίδια όπως σιδηροπυρίτης, σφαλερίτης, αρσеноπυρίτης και γαληνίτης, πυριτικά όπως χαλαζίας, καολίνη, άστριοι (κυρίως αλβίτης και μικροκλινής), μαρμαρυγίες (κυρίως βιοτίτης), χλωρίτης, αμφίβολοι, πυρόξενοι, γρανάτες και τιτανίτης. Προσδιορίστηκαν ακόμη τα ένυδρα θειικά άλατα όπως γιαροσίτης, βαρύτης και γύψος, τα ανθρακικά ορυκτά ασβεστίτης, ροδοχρωσίτης και δολομίτης, καθώς επίσης ορυκτές φάσεις οξειδίων-υδροξειδίων του μαγγανίου και του σιδήρου που συχνά είναι πλούσιες σε Zn, As και Sb, όπως σκοροδίτης. Τέλος, αναγνωρίστηκαν τα αυτοφυή ορυκτά (γραφίτης), τα φωσφορικά ορυκτά (μοναζίτης), καθώς επίσης αργιλοπυριτικά ορυκτά και σκωρία.

2. Abstract

Mineralogical study of the old arsenopyrite tailings of Olympias, NE Chalkidiki.

The disposal area of Olympias mine district in NE Chalkidiki was the place where the mine wastes of the processing and enrichment of the Olympias Pb-Zn-Au-Ag ore between 1975 and 1995 were disposed. The random disposal of the expulsion of the mine wastes, results to a non-constant graded classification of grain size from the surface to the bottom. The disposal area has been characterized by silt sand, silt sand conglomerate, sandy silt conglomerate and semi-conglomerate silt sand depending on the samples disposition. The processes which were used for the mineralogical recognition in that area is a short area study based on optical and scanning electron microscopy and a mineralogical study based on X-ray diffraction. The minerals which have been recognized are minor sulfides such as pyrite, sphalerite, arsenopyrite and galena, silicates such as quartz, kaolinite, feldspars (specifically albite and microcline), micas (specifically biotite), chlorite, amphiboles, pyroxenes, garnets and titanite. Also, there were found hydrant sulphosalts such as jarosite, barite and gypsum, carbonate minerals like calcite, rhodochrosite and dolomite and mineral phases of Mn and Fe oxyhydroxides, often rich in Zn, As and Sb, as skoroditis. Finally, there were recognized native elements (graphite), phosphate minerals (monazite), clays and scoria.

3. Εισαγωγή

3.1. Πρόλογος – Σκοπός της εργασίας

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια ερμηνείας της ορυκτολογικής σύστασης των αποθέσεων του παλαιού τέλματος στην περιοχή της Ολυμπιάδας στη ΒΑ Χαλκιδική. Οι αποθέσεις αυτές συνιστούν υλικό από τα μεταλλευτικά απορρίματα της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος Pb-Zn-Au-Ag της Ολυμπιάδας. Ο νέος εδαφικός ορίζοντας, που δημιουργείται, θα αποτελεί το μελλοντικό υπόβαθρο μιας φυτοκαλυμμένης επιφάνειας στο πρότυπο της αρχικής κατάστασης του χώρου απόθεσης. Στόχος της μελέτης αυτής ήταν η διερεύνηση της ορυκτολογικής, ορυκτοχημικής, και κοκκομετρικής σύστασης των αποθέσεων, ώστε να γίνουν κατανοητές οι αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν στο χώρο της απόθεσής τους, τόσο στην υφιστάμενη κατάσταση, όσο και μετά την προγραμματισμένη αποκατάσταση από την παραμονή πιθανών υπολειμμάτων.

3.2. Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και θερμές ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας :

Πρώτα απ' όλα, στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μ. Βαβελίδη για τη συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, καθώς και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.

Τον Επικ. Καθηγητή κ. Ν. Καντηράνη ευχαριστώ θερμά για την πραγματοποίηση των αναλύσεων περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) στον Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, αλλά και τη διόρθωση των κειμένων της παρούσης εργασίας.

Επίσης, ιδιαίτερα ευχαριστώ την Επικ. Καθηγήτρια κα Λ. Παπαδοπούλου για την πολύ σημαντική της βοήθεια στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

Την Υπ. Δρ κα. Α. Γιούρη ευχαριστώ θερμά για την πάντα πρόθυμη παροχή βοήθειας και συνεργασίας σε διάφορους τομείς της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Το μεταπτυχιακό φοιτητή κ. Α. Σταματιάδη ευχαριστώ ιδιαίτερα για την πολύ σημαντική της βοήθεια στην παρασκευή των στιλπνών τομών. Τη μεταπτυχιακή φοιτήτρια κα. Σ. Καραγεωργίου ευχαριστώ ιδιαίτερα για την προθυμία και τη βοήθειά της στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Τον Καθηγητή κ. Δ. Αλιφραγκή θερμά ευχαριστώ για τη βοήθεια στην ύπαιθρο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. και προσωπικά τον κ. Δ. Μπάλλα και την κ. Α. Γαλατσιάνου για τη βοήθειά τους στην ύπαιθρο κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας, αλλά και τον κ. Α. Δριβέλα για τις συμβουλές και για τις επιστημονικές συζητήσεις που είχαμε σχετικά με την παρούσα μελέτη κατά τη διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης στην εταιρεία Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και τη Διεύθυνση του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας για τη διάθεση των εργαστηρίων και του εξοπλισμού τους.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου, που με την καθημερινή τους συμπαράσταση, την υπομονή τους και την θετική τους σκέψη, ιδιαίτερα τις εποχές των μεγάλων διλημμάτων, συνέβαλαν στην εκπλήρωση του στόχου μου. Σ' αυτούς αφιερώνεται η εργασία αυτή.

Αθανασία Καρέτου
Θεσσαλονίκη 2014

4. Γενικά στοιχεία της περιοχής

Η Ολυμπιάδα είναι ένα χωριό στα βορειοανατολικά του νομού Χαλκιδικής και χαρακτηρίζεται λοφώδης περιοχή με υψόμετρο που φθάνει τα 600 m. Σύμφωνα με στατιστικές μελέτες το 2001 ο αριθμός των κατοίκων της περιοχής φτάνει τους 649. Τα προϊόντα που παράγονται στην περιοχή είναι κρασί, μέλι, ελιές και λάδι. Το χωριό ιδρύθηκε από πρόσφυγες, οι οποίοι ήλθαν από την Αγία Κυριακή της Μικράς Ασίας το 1923.

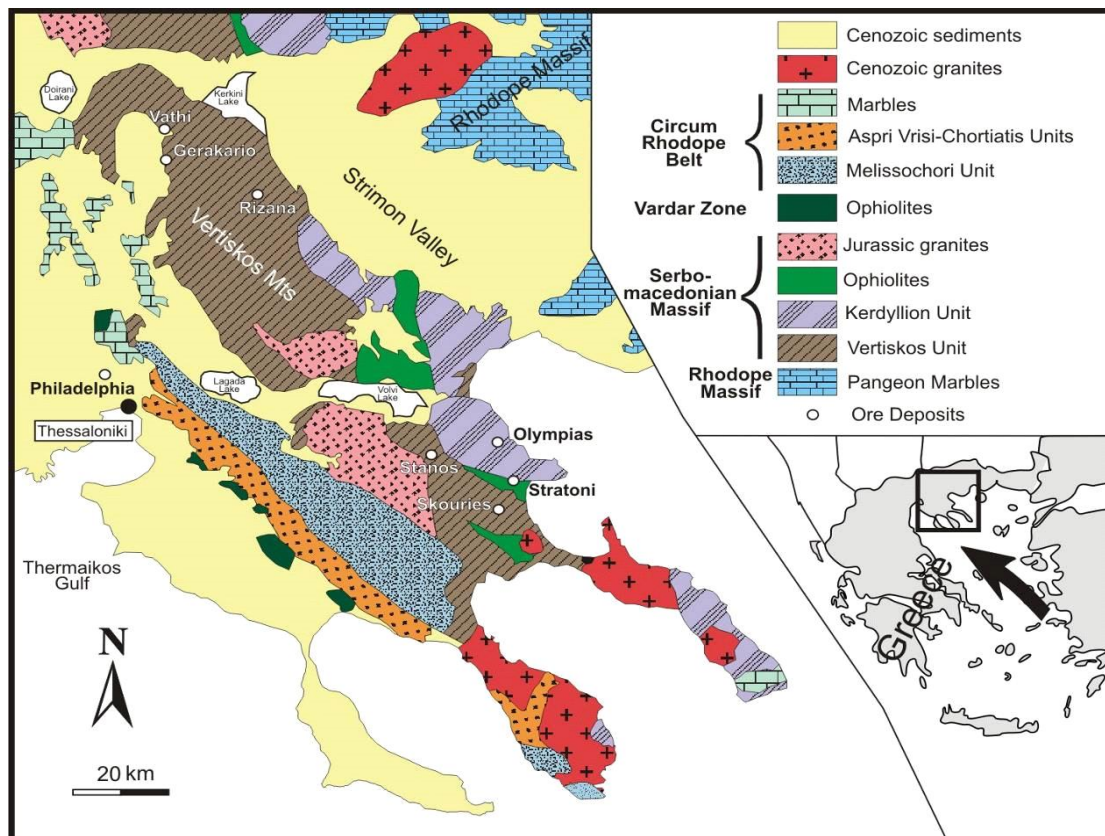
Κατά τους ιστορικούς, η περιοχή είναι η σημαντικότερη της Χαλκιδικής, διότι εδώ βρίσκονται τα Αρχαία Στάγειρα. Τα Αρχαία Στάγειρα βρίσκονται στα ανατολικά της Ολυμπιάδας σε απόσταση 700 μέτρων, στη θέση Λιοτόπι, όπου από το 1990 διεξάγονται σημαντικές αρχαιολογικές ανασκαφές. Αρχικά το έδαφος ήταν ελώδες και η ελονοσία αποτελούσε το κύριο πρόβλημα για τον πληθυσμό. Κατά μία προφορική παράδοση ο βασιλιάς Κάσσανδρος εξόρισε την Ολυμπιάδα, μητέρα του Μεγάλου Αλεξάνδρου, στα Αρχαία Στάγειρα και κατ' άλλους στο νησί Κάπρος, το οποίο βρίσκεται απέναντι από την σημερινή Ολυμπιάδα. Το νησί Κάπρος (Καυκανάς) αναφέρεται και από τον αρχαίο γεωγράφο Στράβωνα κατά τον οποίο το ίδιο όνομα είχε και το λιμάνι της πόλης. Κατά τους Οθωμανικούς χρόνους το λιμάνι της Ολυμπιάδας ήταν λιμάνι φορτο-εκφόρτωσης ξυλείας, και στην περιοχή υπήρχαν μερικές καλύβες των οποίων οι κάτοικοι μετά την άφιξη των προσφύγων το '22 μετοίκησαν στα σημερινά Στάγειρα.

Η βλάστηση αποτελείται κυρίως από δρύες, οξιές και πεύκα, ενώ επίσης υπάρχουν αμπελώνες και καλλιεργήσιμα εδάφη. Το κλίμα στην περιοχή χαρακτηρίζεται ήπιο με περιορισμένες βροχοπτώσεις, κατά μέσο όρο η ηλιοφάνεια ανέρχεται περίπου στις 3.000 ώρες το χρόνο και η θερμοκρασία της δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι τους μήνες μεταξύ Δεκέμβριο και Φεβρουάριο και κυμαίνονται μεταξύ 3,5 και 19 °C και οι υψηλότερες κατά τους θερινούς μήνες με τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 23 και 34 °C. Θερμοκρασίες υπό το 0 είναι περιορισμένες μόνο στις ορεινές περιοχές (Forward et al. 2011, Ζαΐμη 2013).

5. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

5.1. Λιθοστρωματογραφία της περιοχής

Η Ολυμπιάδα (Εικόνα 5.1.1) βρίσκεται στη Βορειοανατολική Χαλκιδική. Γεωτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα της Ελληνικής Ενδοχώρας και πιο συγκεκριμένα στην ενότητα Κερδυλίων. Σύμφωνα με τα μοντέλα των λιθοσφαιρικών πλακών που έχουν προταθεί μέχρι τώρα, η Σερβομακεδονική μαζί με τη μάζα της Ροδόπης αντιπροσωπεύουν ηπειρωτικό φλοιό, ο οποίος μπορεί να είναι τμήμα της Ευρασίας. Η Σερβομακεδονική αποτελείται από κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα, τα οποία προέρχονται πιθανόν από την Ευρασιατική πλάκα, και πυριγενή πετρώματα. Τα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα χωρίζονται στην κατώτερη και αρχαιότερη σειρά των Κερδυλίων και στην ανώτερη και νεότερη σειρά του Βερτίσκου (Μουντράκης 2010).



Εικόνα 5.1.1. Γεωλογικός χάρτης της Σερβομακεδονικής μεταλλογενετικής επαρχίας με τα κοιτάσματα μεταλλευμάτων (Kockel and Mollat 1977).

Σύμφωνα με τους Kockel & Walther (1968) μεταξύ των δύο αυτών ενότητων υπάρχει τεκτονική επαφή, η οποία τοποθέτησε τις δύο τεκτονικές ενότητες της ίδιας κρυσταλλοσχιτώδους μάζας την μία πάνω στην άλλη. Η επαφή αυτή δεν είναι ορατή σε όλο το μήκος της.

Πιο συγκεκριμένα, η σειρά των Κερδυλίων καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμώνα και του Στρατωνίου με συνολικό πάχος 3Km.

Η λιθοστρωματογραφία της σειράς αυτής έχει την εξής διάταξη από πάνω προς τα κάτω:

- Ορίζοντας Ανώτερου μαρμάρου: Πάχος 30-300m. Στον ορίζοντα αυτόν παρεμβάλλονται βιοτιτικοί γνεύσιοι, βιοτιτικοί-κεροσιλβικοί γνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, επιδοιτικοί-ακτινολιθικοί σχιστόλιθοι και αμφιβολίτες.
- Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: Πάχος 700-1000m. Στον ορίζοντα αυτόν παρεμβάλλονται βιοτιτικοί-κεροσιλβικοί γνεύσιοι, αμφιβολίτες και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων.
- Ορίζοντας Ενδιάμεσου μαρμάρου: Πάχος 10-200m. Στον ορίζοντα αυτόν παρεμβάλλονται αμφιβολίτες και γνεύσιοι.
- Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: Πάχος περίπου 1000m. Στον ορίζοντα αυτόν παρεμβάλλονται αμφιβολίτες και ασβεστοπυριτικά πετρώματα.
- Ορίζοντας Κατώτερου μαρμάρου: Πάχος μέχρι 150m.
- Ορίζοντας Βιοτιτικών γνευσίων: Πάχος περίπου 700m. Ο ορίζοντας αυτός αποτελείται από μιγματιτικούς γνευσίους και ορθοαμφιβολίτες.

Η σειρά του Βερτίσκου βρίσκεται δυτικά της ενότητας Κερδυλίων και εκτείνεται προς το Βορρά μέχρι τα σύνορα. Αποτελείται από μία ακολουθία μιγματιτικών, οφθαλμοειδών ορθογνευσίων, μαρμαρυγικών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στα ανώτερα τμήματα της σειράς αυτής συναντώνται μεταγάβροι-μεταδιαβάσες και ορθοαμφιβολίτες, των οποίων τα μητρικά πετρώματα είναι βασικά πυριγενή. Αυτά τα πετρώματα βρίσκονται ως φακοί και ενδιαστρώσεις μέσα στους γνευσίους. Με τεκτονικές επαφές παρεμβάλλονται μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινίτες (Μουντράκης 2010).

Σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις σε μαρμαρυγίες των πηγματιτών της μάζας, η κρυσταλλοσχιστώδης μάζα έχει ηλικία Παλαιοζωική και η μεταμόρφωσή της είναι Ερκύνια (275-337 Ma) (Kockel et al. 1971). Ωστόσο, νεότερες μετρήσεις (Himmerkus et al. 2006) υπολογίζουν πως το κρυσταλλοσχιστώδες σχηματίστηκε στο Προκάμβριο (555-587 Ma) και οι διεισδύσεις των γρανιτών-ορθογνευσίων έλαβαν χώρα στο Σιλούριο (428-433 Ma).

5.2. Συνθήκες μεταμόρφωσης

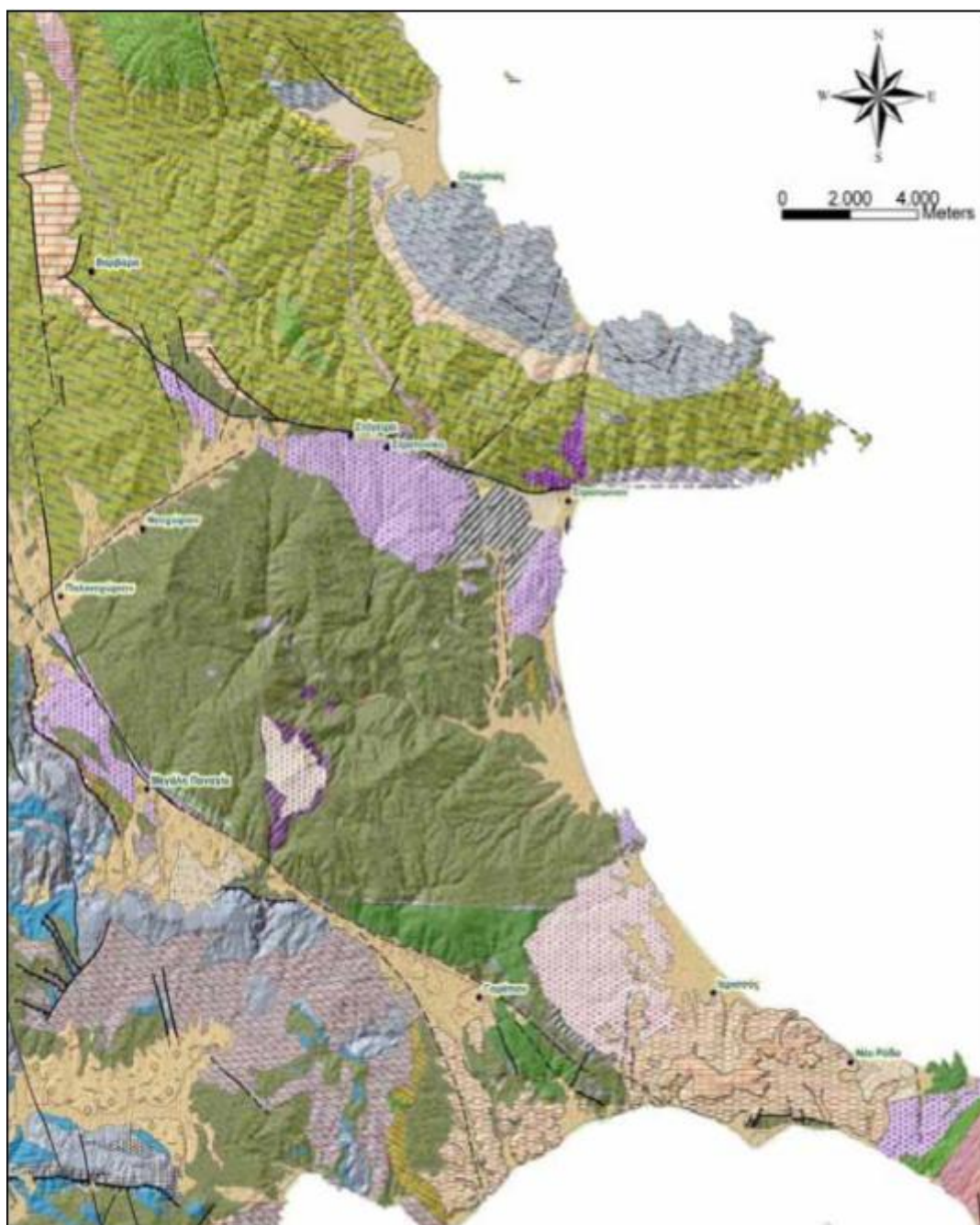
Μέσα σε μεταβασικά πετρώματα δηλαδή οφθοαμφιβολίτες της κρυσταλλοσχιστώδους μάζας εντοπίστηκαν υπολειμματικοί κρύσταλλοι χαρακτηριστικοί της εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης ($T=700-1000^{\circ}\text{C}$, $P=13-14\text{kbars}$) των παλαιών βασικών πυριγενών πετρωμάτων. Η μεταμόρφωση αυτή έγινε στο Παλαιοζωικό, (προ-Ερκύνια) (Μουντράκης 2010).

Στη συνέχεια μία κύρια μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης μέσης πίεσης και θερμοκρασίας ($T=650-750^{\circ}\text{C}$, $P=3,5-8,5\text{kbars}$) αλλοίωσε αυτούς τους εκλογίτες. Η μεταμόρφωση αυτή συνοδεύτηκε από παραμόρφωση και τη δημιουργία της κύριας σχιστότητας των πετρωμάτων, καθώς και από την ανάτξη των υπαρχόντων πετρωμάτων και το σχηματισμό μιγματιτών και γρανιτών. Η μεταμόρφωση αυτή έχει ηλικία για μερικούς ερευνητές Άνω Παλαιοζωικό, κατά την Ερκύνια ορογένεση, ενώ για άλλους Ιουρασικό (Μουντράκης 2010).

Τελευταίο μεταμορφικό γεγονός έγινε είτε κατά το Α. Ιουρασικό-Κ. Κρητιδικό είτε κατά το Τριτογενές και ήταν ανάδρομης πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Δημητριάδης 1974, Κασώλη 1981, Σακελλαρίου 1989, Κούρου 1991, Σιδηρόπουλος 1991, Dimitriadis & Godelitsas 1991, Himmerkus et al 2006, Ζαΐμης 2013).

5.3. Μαγματισμός

Όσον αφορά το μαγματισμό της μάζας αυτής διακρίνονται τέσσερις φάσεις (Μουντράκης 2010). Η πρώτη φάση ηλικίας Προαλπικής και βασικής-υπερβασικής σύστασης αντιπροσωπεύεται από μεταβασικά συμπτυχωμένα μετακρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (ορθοαμφιβολίτες, μεταγάββροι, μεταδιαβάσες). Η δεύτερη μαγματική φάση Άνω Παλαιοζωικής ηλικίας συνδέεται άμεσα με την Ερκύνια ορογένεση και αποτελείται από πλαγιокλαστικούς-μικροκλινικούς γνευσίους (παλαιογρανίτες). Οι συγκεκριμένοι γνεύσιοι σχετίζονται άμεσα με την περιοχή της Ολυμπιάδας. Κατά το Ιουρασικό παρατηρείται η τρίτη μαγματική φάση γρανιτικής σύστασης με σύγχρονη μεταπτύχωση. Χαρακτηριστικοί γρανίτες αυτής της φάσης είναι αυτοί της Αρναίας και του Αγίου Όρους. Τέλος, έλαβε μέρος η τέταρτη μαγματική φάση ηλικίας Τριτογενούς (Ηώκαινο-Ολιγόκαινο), που αντιπροσωπεύεται από το γρανίτη της Σιθωνίας, το γρανίτη της Ιερισσού, το γρανίτη της Μονής Γρηγορίου Αγίου Όρους, το γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, τους χαλαζιακούς διορίτες της Μεγάλης Παναγίας, Στεφανίας και Στρυμώνα. Στη φάση αυτή έχουμε εμφανίσεις πορφύρων και πηγματιτικών και απλιτικών φλεβών, που περιέχουν μεταλλοφορία της περιοχής. Στα τελευταία στάδια της μαγματικής φάσης του Τριτογενούς εκδηλώθηκε ηφαιστειότητα στο βόρειο χώρο της Σερβομακεδονικής (Μουντράκης 2010).



Εικόνα 5.3.1. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (κλίμακας 1:50.000, φύλλα Αρναία, Ιερισσός, Σταυρός, Στρατονίκη) (Τροποποιημένα από τους γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., Παυλίδης 2010).

Πίνακας 5.3.1. Γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής μελέτης (υπόμνημα εικόνας 5.3.1.).

ΥΠΟΜΝΗΜΑ	
	ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ
	ΚΑΝΟΝΙΚΟ, ΒΕΒΑΙΟ
	ΚΑΝΟΝΙΚΟ, ΠΙΘΑΝΟ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	
	al, ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	cd.dn, ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ
	ej, ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΑ ΡΙΠΙΔΙΑ
	H.lg, ΙΖΗΜΑΤΑ ΛΙΜΝΟΘΑΛΑΣΣΩΝ
	H.sc, ΜΠΑΖΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ
	H.t.c, ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ (ΟΛΟΚΑΙΝΟ)
	M4-Pil.l, ΣΕΙΡΑ ΕΡΥΘΡΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ
	M4-Pil.mk, ΛΙΜΝΑΙΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ
	Pt, ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΑΔΙΑΙΡΕΤΕΣ
	Pt.t1.c, ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΩΝ (ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ)
	Q.cs1, ΡΙΠΙΔΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΕΩΝ
	T-Jm.mr, ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΜΕΝΟΙ, ΜΑΡΜΑΡΑ
	mr, ΜΑΡΜΑΡΑ
	mr1, ΚΑΤΩΤΕΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ
	mr2, ΑΝΩΤΕΡΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΣ ΜΑΡΜΑΡΩΝ
	T-Jm.ph, ΦΥΛΛΙΤΕΣ
	T-Jm.st, ΧΑΛΑΖΙΤΕΣ
	ab, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ
	(gn)Mz, ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΙΚΟΣ-ΜΙΚΡΟΚΛΙΝΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	(gn)Mz-gn2, ΠΛΑΓΙΟ-ΜΙΚΡΟ ΓΝΕΥΣΙΟΣ ΕΝΑΛΛΜΕΝΟΣ ΜΕ ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟ
	(gn)Pz, ΠΛΑΓΙΟ-ΜΙΚΡΟΚΛΙΝΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	(gn)Pz-gn.bi, ΠΛΑΓΙΟ-ΜΙΚΡΟ ΓΝΕΥΣΙΟΣ ΕΝΑΛΛΜΕΝΟΣ ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	ax(gn.bi), ΑΝΑΤΗΚΤΙΚΟΣ ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	gn.bi, ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΓΝΕΥΣΙΟΣ
	gn1, ΑΝΑΤΗΚΤΙΚΟΙ ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΓΝΕΥΣΙΟΙ
	gn2, ΔΙΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΓΝΕΥΣΙΟΙ
	Sch.mi, ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΙ-ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ
	ab-gn, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΓΕΣ ΜΕ ΠΛΑΓΙΟΚΛ/ΚΟ ΓΝΕΥΣΙΟ
	ab-gn-bi.gn, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΓΕΣ ΜΕ ΒΙΟΤ. ΚΑΙ ΠΛΑΓ. ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ab-gn.bi, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΓΕΣ ΜΕ ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ab-gn2, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΓΕΣ ΜΕ ΔΙΜ/ΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ
	ab-gn2, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΓΕΣ ΜΕ ΔΙΜ/ΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ ΚΑΙ ΠΛ.
	ab-gn2-gn, ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΕΣ ΕΝΑΛΓΕΣ ΜΕ ΔΙΜ/ΚΟΥΣ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ ΚΑΙ ΠΛ.
	br, ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ
	ab, ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ
	n, ΠΙΣΟΝΙΤΙΚΟΣ-ΚΕΡΟΣΤΙΑ-ΒΙΟΤ. ΔΙΟΡΙΤΗΣ
	n.q, ΚΕΡΟΣΤ-ΒΙΟΤ. ΧΑΛΑΖΟΔΙΟΡΙΤΙΚΟΣ ΠΟΡΦΥΡΗΣ
	ΠΥΡ, ΠΥΡΙΤΙΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ
	ΣΙΔ, ΣΙΔΗΡΟΥΝ ΕΠΙΚΑΛΥΜΜΑ
	ΥΔ, ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ
	γ, ΒΙΟΤΙΤ-ΜΟΣΧΩΒ. ΓΡΑΝΙΤΗΣ (ΤΗΣ ΙΕΡΙΣΣΟΥ)
	γ.η, ΚΕΡΟΣΤ-ΒΙΟΤΙΤ. ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗΣ (ΣΤΡΑΤΩΝΙΟΥ)
	γ1.n-sch, ΠΑΡΕΙΣΑΚΤΕΣ ΚΟΙΤΕΣ ΓΡΑΝΟΔΙΟΡΙΤΗ (ΤΥΠΟΥ ΣΙΘΩΝΙΑΣ)
	θ.πγ, ΠΗΓΜΑΤΙΤΙΚΟΣ ΓΑΒΒΡΟΣ
	π, ΠΕΡΙΔΟΤΙΤΕΣ ΚΑΙ ΔΟΥΝΙΤΕΣ
	πq.n, ΚΕΡΟΣΤ.-ΒΙΟΤΙΤΙΚΟΣ ΔΙΟΡΙΤΙΚΟΣ ΠΟΡΦΥΡΗΣ

5.4. Τεκτοορογενετική εξέλιξη – ενεργά ρήγματα της περιοχής

Η γεωτεκτονική ζώνη της Σερβομακεδονικής υπόκειται σε συνεχή τεκτονική δράση. Σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις στον Ελλαδικό χώρο η πρώτη ορογενετική περίοδος είναι η Ερκύνια (300Μα), όπου δημιουργήθηκαν ισοκλινείς πτυχές συμμεταμορφικές ως προς την κύρια αμφιβολιτική μεταμόρφωση. Οι πτυχές αυτές έχουν γενική διεύθυνση και βύθιση των αξόνων τους προς Βορρά. Εκείνη την περίοδο χρονολογείται και η πρώτη σχιστότητα S1 των μιγματιτών (Μουντράκης 2010).

Η δεύτερη ορογενετική περίοδος ήταν ταυτόχρονα με την εξέλιξη της αμφιβολιτικής μεταμόρφωσης, δηλαδή στο Ιουρασικό. Αυτή η φάση πτυχώσεων ήταν συμμεταμορφική και προκάλεσε ισοκλινείς πτυχές με άξονες ΒΔ-ΝΑ και την κύρια σχιστότητα της Σερβομακεδονικής μάζας. Τότε εμφανίστηκε και ο μαγματισμός Μεσοζωικού που δημιούργησε τους γρανίτες Αρναίας, Μονοπήγαδου κ.τ.λ.

Κατά το Α. Ιουρασικό-Κ. Κρητιδικό η πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης συνοδεύεται από κλειστές – υποϊσοκλινείς πτυχές.

Μετά το τέλος του Κρητιδικού λόγω της συμπιεστικής τεκτονικής από την ηπειρωτική σύγκρουση Απουλίας-Ευρασίας προκλήθηκαν οι Τριτογενείς Αλπικές φάσεις πύκνωσης και ταυτόχρονα αναστροφή των στρωμάτων στο δυτικό όριο της Σερβομακεδονικής, τοπικές και μεγάλες επωθήσεις και λεπιώσεις των στρωμάτων. Κατά τις τελευταίες Τριτογενείς παραμορφώσεις προκλήθηκαν ανοιχτές πτυχές και πτυχές τύπου knick.

Σύμφωνα με νεότερες έρευνες τα μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας υφίστανται μια πλαστική εκτατική τεκτονική ηλικίας Α. Κρητιδικό μέχρι και Νέο Τριτογενές (Killias et al. 1999, Φαλαλάκης 2004). Η εκτατική αυτή τεκτονική συνεχίζεται ως ημι-πλαστική (semi-ductile) στο Ηώκαινο-Ολιγόκαινο-Κ. Μειόκαινο και δημιούργησε πυκνές ζώνες διάτμησης μικρής γωνίας κλίσης με κανονική κίνηση προς ΒΑ-ΝΔ, σχιστότητα και γράμμωση έκτασης ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, στην οποία τοποθετείται παράλληλα ο κύριος άξονας εφελκυσμού σ3 (Killias et al 1999). Η εφελκυστική τεκτονική επίσης δημιούργησε θραυστικές (brittle) συνθήκες και προκάλεσε κανονικά ρήγματα (Παυλίδης 2010).

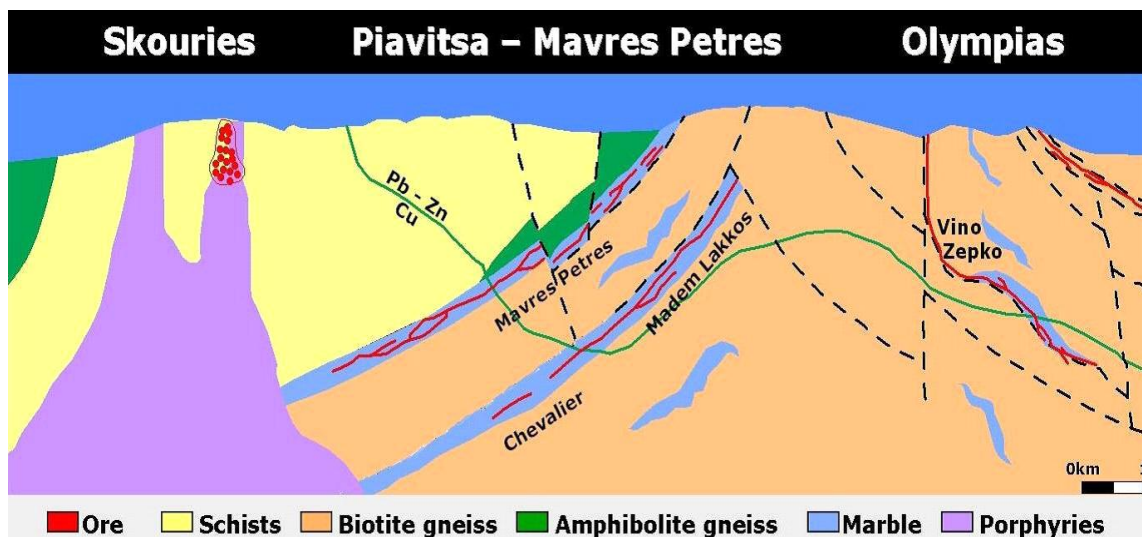
Λόγω της νεοτεκτονικής δραστηριότητας σχηματίστηκαν πολλά τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφροι κατά μήκος της Σερβομακεδονικής μάζας. Νεογενή-Τεταρτογενή ιζήματα (αμμώδης μάργα, υφάλμυροι-λιμναίοι ασβεστόλιθοι, άμμος, ιλύς-άμμος) επεκτείνονται σε μέρη της χερσονήσου της Χαλκιδικής (π.χ. περιοχή Ιερισσού και Γοματίου) με τις αντίστοιχες νεοτεκτονικές φάσεις (Pavlides & Kilias 1987, Παυλίδης 2010).

Τα μεγάλα ρήγματα που δεσπόζουν στον ευρύτερο χώρο της ΒΑ Χαλκιδικής παρουσιάζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Mountrakis 2006, Pavlides & Kilias 1987): ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ- ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και ένα τρίτο σύστημα έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα τείνουν περίπου σε μία Β-Ν κατεύθυνση. Οι εφελκυστικές τάσεις έχουν γενική διεύθυνση Βορράς-Νότος και προκαλούν κανονικά ρήγματα, κυρίως Α-Δ διεύθυνσης (Παυλίδης 2010).



Εικόνα 5.4.1. Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελληνικού Χώρου και τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων που υπολογίσθηκαν από τα σεισμολογικά δεδομένα (πράσινα βέλη) και από τις τεκτονικές μετρήσεις (μαύρα βέλη) (από Mountrakis et al. 2004, Παυλίδης 2010).

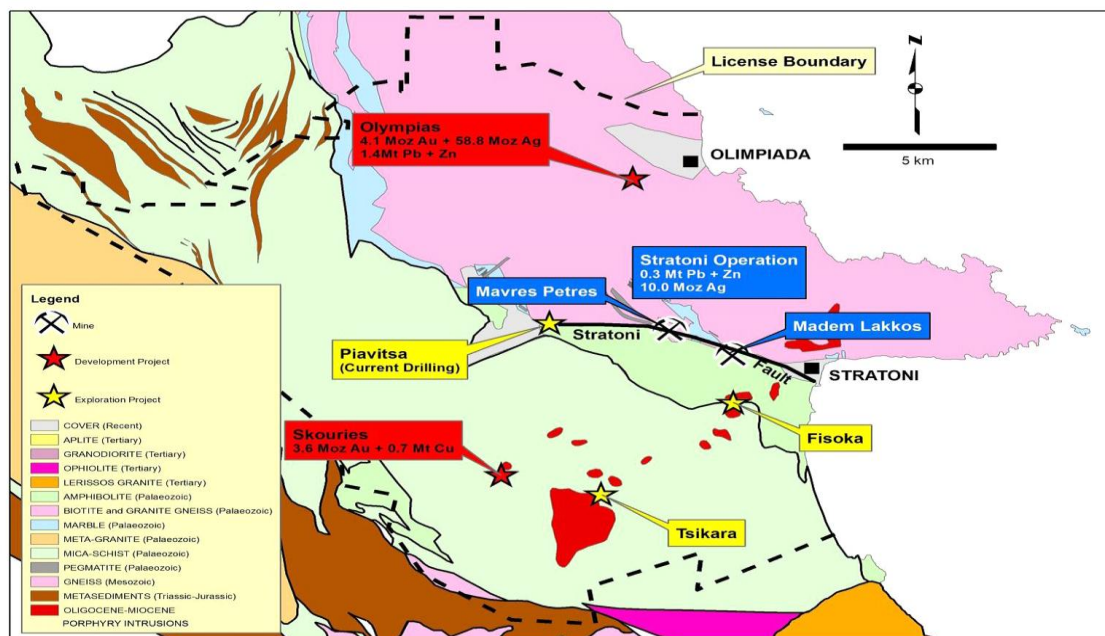
Το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας έχει μήκος περίπου 30 km εκ των οποίων 15 km στην ξηρά (Παυλίδης 2010). Ωστόσο, το ύψος του πρσανούς δεν είναι το ίδιο σε ολόκληρο το μήκος του (Εικόνα 5.4.2), πράγμα που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την τμηματοποίησή του (segmentation). Χωρίζουμε το ρήγμα Στρατωνίου - Βαρβάρας σε τρία τμήματα (segment), τα οποία είναι: το ρήγμα Στρατωνίου, το ρήγμα Βαρβάρας και το ρήγμα Γοματίου (Μιχαηλιδού 2005, Χατζηπέτρος κ.α. 2005, Παυλίδης 2010).



Εικόνα 5.4.2. Γεωλογική τομή της περιοχής, όπου φαίνονται τα πετρώματα και η μεταλλοφορία της ανά τμήμα (Ελληνικός Χρυσός 2013).

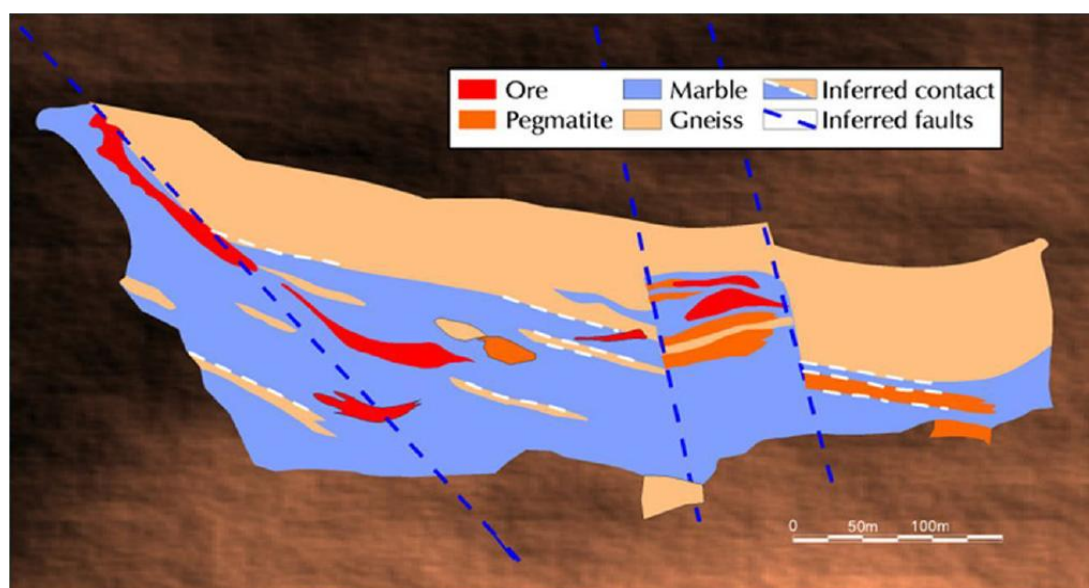
5.5. Κοίτασμα Pb-Zn- Au-Ag της Ολυμπιάδας

Οι τύποι των μεταλλοφοριών που εντοπίζονται στη ΒΑ Χαλκιδική μέσα στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας είναι κυρίως πορφυριτικού Cu-Au, αντικατάστασης πολυμεταλλικών σουλφιδίων Pb-Zn-Au-Ag, τύπου Skarn Cu και οξειδίων μαγγανίου με χρυσό (Εικόνα 5.5.1).



Εικόνα 5.5.1. Γεωλογικός χάρτης της ΒΑ Χαλκιδικής με τις μεταλλοφορίες Pb, Zn, Au, Ag, Cu (Ελληνικός Χρυσός 2013).

Όπως φαίνεται και στην παρακάτω γεωλογική τομή, η μεταλλοφορία αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος του ρήγματος Στρατωνίου-Βαρβάρας και εντοπίζεται μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλίων, σε εναλλαγές με τους διμαρμαρυγικούς γνευσίους, υπό μορφή φακών συμπαγών σουλφιδίων με μία κλίση 30 - 35° NA και μέσο πάχος 12m (Εικόνα 5.5.2).

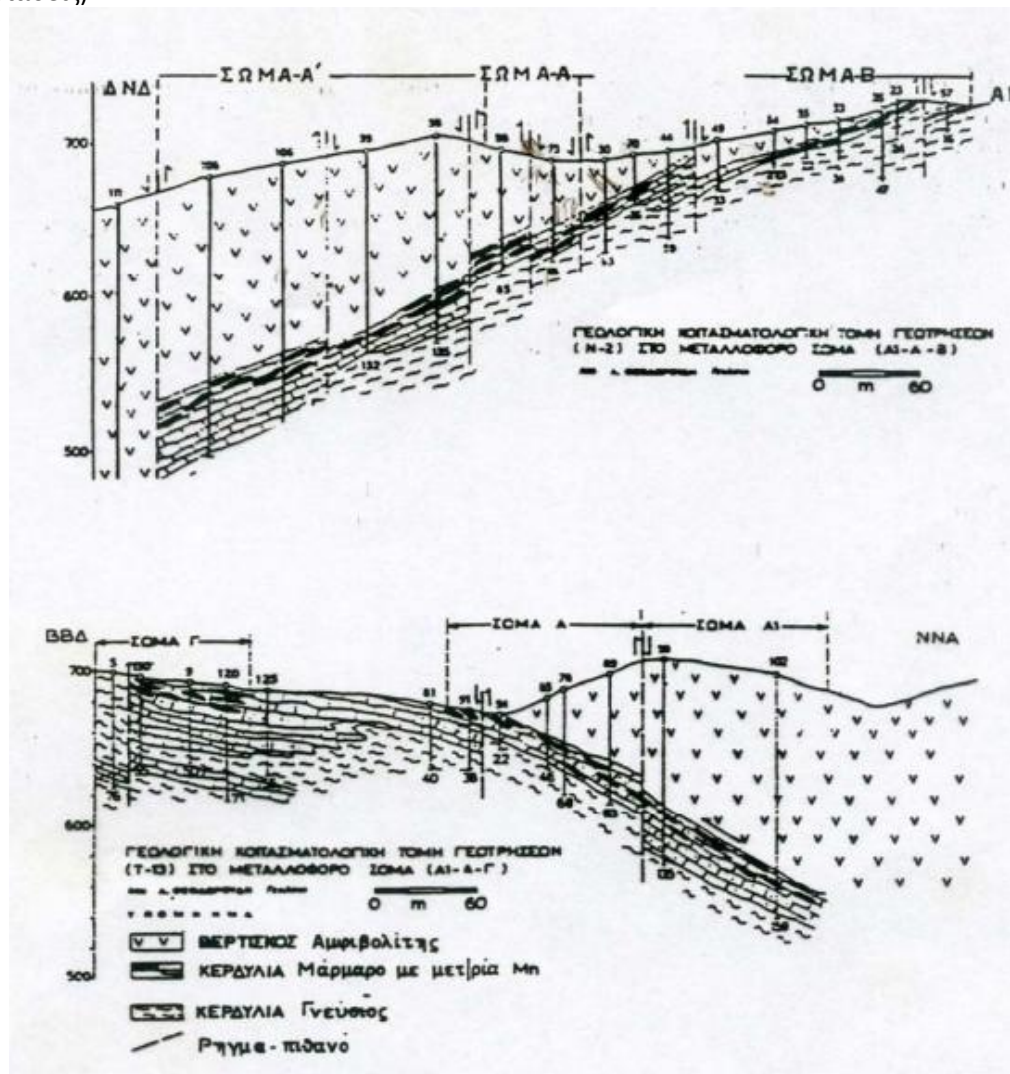


Εικόνα 5.5.2. Γεωλογική τομή της μεταλλοφορίας που εντοπίζεται μέσα στα μάρμαρα της ενότητας Κερδυλίων-Δυτικό Κοίτασμα (Forward, 2011).

Πιο συγκεκριμένα, το κοίτασμα της Ολυμπιάδας χαρακτηρίζεται γενετικά ως υδροθερμικό-μετασωματικό μέσης θερμοκρασίας και ανήκει στην κατηγορία των μεικτών θειούχων (PBG) σιδηροπυρίτη (FeS_2), γαληνίτη (PbS) και σφαλερίτη (ZnS). Επιπλέον, υπάρχουν αρσеноπυρίτης (FeAsS), χαλκοπυρίτης (CuFeS_2), τετραεδρίτης ($(\text{Cu,Fe,Ag,Zn})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), βουλανζερίτης ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$), βουρνονίτης (CuPbSbS_3), μαγνητοπυρίτης (Fe_{1-x}S), εναργίτης (Cu_3AsS_4) και γραφίτης (C). Τα σπουδαιότερα σύνδρομα ορυκτά είναι ο χαλαζίας (SiO_2), ο ασβεστίτης (CaCO_3), ο ροδοχρωσίτης (MnCO_3) κ.ά. Ο χρυσός βρίσκεται μέσα στο πλέγμα του σιδηροπυρίτη και του αρσеноπυρίτη (Νicolaou 1964, Nicolaou and Kokonis 1980, Kalogeropoulos and Economou 1987, Kalogeropoulos et al. 1989b, Ζαΐμης 2013).

Το κοίτασμα αυτό περιέχει με τα σημερινά δεδομένα 13,6 εκ. τον. μεταλλεύματος με 8,7 γρ/τον. χρυσό, 132 γρ/τον. άργυρο, 5,1% μόλυβδο και 6,7% ψευδάργυρο. Η παραγωγή θα ξεκινήσει το 2015 μετά το πέρας των εργασιών εκσυγχρονισμού του μεταλλείου (Σ.Μ.Ε. Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων).

Όσον αφορά τη μαγνητιούχο μεταλλοφορία Βαρβάρας αυτή αναπτύσσεται κατά μήκος μίας ζώνης 50.000m^2 και έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Έχει στρωματοειδή ή ψευδοστρωματοειδή μορφή στο κυρίως κοίτασμα και μορφή καρστικών σωμάτων (πλήρωση φωλιών και ακανόνιστων χώρων) μέσα στο μάρμαρο. Το κοίτασμα κατατάσσεται στα πυρολουσιτικού τύπου μαγνητιούχα μεταλλεύματα και αποτελείται κυρίως από υπεροξείδια και οξείδια του μαγνητίου (Βαβελίδης, Ηλεκτρονικές παρουσιάσεις).



Εικόνα 5.5.3. Γεωλογικές – Κοιτασματολογικές τομές τομές γεωτρήσεων (από έκθεση Ι.Γ.Μ.Ε., Βαβελίδης-ηλεκτρονικές παρουσιάσεις).

5.6. Αποθέσεις τελμάτων στην Ολυμπιάδα

Η υφιστάμενη λίμνη τελμάτων είναι ένας χώρος απόθεσης παλαιών τελμάτων, που βρίσκεται περίπου 500m βόρεια του εργοστασίου εμπλουτισμού της ίδιας περιοχής, έκτασης 265 στρεμμάτων, εντός του οποίου βρίσκονται αποθεθειμένα 2,4 Mt τελμάτων μέσης περιεκτικότητας S: 6,0%, Fe: 6,0%, As: 1,9%, και Au: 3,4 g/t (Παπαγρηγορίου κ.ά. 2010, Ζαΐμης 2013). Η καθίζηση των υλικών των αποθέσεων έγινε από την παλαιά λίμνη τέλματος, η οποία δέχονταν τα υπολείμματα εμπλουτισμού του μεταλλεύματος της Ολυμπιάδας από το 1976 (Ζαΐμης 2013). Σύμφωνα με τους Παπαγρηγορίου κ.ά. (2010) κατά τη λειτουργία του εργοστασίου της Ολυμπιάδας ο εμπλουτισμός γινόταν με θραύση του μεταλλεύματος στις επιφανειακές εγκαταστάσεις θραύσης (τριβείο), λειοτρίβηση και διαφορική επίπλευση. Τα τέλματα της επίπλευσης κατέληγαν στη λίμνη τέλματος μέσω σωλήνων με τη μορφή πολφού, ο οποίος περιείχε 20% στερεά υλικά. Το νερό της λίμνης έπειτα από την καθίζηση των στερεών υλικών, ανακυκλωνόταν στο εργοστάσιο εμπλουτισμού. Για την αξιολόγηση των τελμάτων οι Forward et al. (2011) αναφέρουν πως πραγματοποιήθηκε πρόγραμμα γεωτρήσεων με συνολικά 83 διατρήσεις (Ζαΐμης 2013).

Σύμφωνα με τους Παπαγρηγορίου κ.ά. (2010) το πλάνο για την Ολυμπιάδα περιλαμβάνει:

- Την απομάκρυνση των υλικών με συμβατικά μηχανικά μέσα και μεταφορά για επεξεργασία στο εργοστάσιο εμπλουτισμού
- Την εκ νέου επεξεργασία των τελμάτων με τη μέθοδο της διαφορικής επίπλευσης για την παραγωγή συμπυκνώματος χρυσοφόρου σιδηροπυρίτη /αρσеноπυρίτη και αποβλήτου που θα χρησιμοποιηθεί σε άλλες χρήσεις.
- Και την αποκατάσταση του χώρου απόθεσης με φυτοκάλυψη με αυτόχθονα είδη της περιοχής.

Ο εμπλουτισμός θα γίνεται στο υπάρχον και ανακαινισμένο εργοστάσιο εμπλουτισμού της Ολυμπιάδας που θα λειτουργεί συντηρητικά, πριν τροφοδοτηθεί με μέταλλευμα από τα μεταλλεία. Από τον καθαρισμό του χώρου απόθεσης τελμάτων, που υπολογίζεται να ολοκληρωθεί σε τρία χρόνια από την έναρξη των εργασιών και που ήδη ξεκίνησε το 2012, αναμένεται να παραχθούν 340 kt εμπορεύσιμου συμπυκνώματος σιδηροπυρίτη/αρσеноπυρίτη με περίπου 20 ppm Au και ένα επίσης εμπορεύσιμο σε Au υπόλειμμα της τάξεως των 2,1 Mt (Ζαΐμης 2013) .

6. Η μεταλλευτική ιστορία στη ΒΑ Χαλκιδική

Το δεύτερο σε μέγεθος και έκταση μεταλλευτικό κέντρο της Ελλάδας αποτελεί η ΒΑ Χαλκιδική, όπου τα μεταλλεύματα είναι πλούσια σε χρυσό, άργυρο-μόλυβδο και χαλκό. Η μεταλλευτική περιοχή της Ολυμπιάδας καλύπτει μια έκταση 49,7 km². Ο χρυσός εντοπίζεται μέσα στα μεικτά θειούχα μεταλλεύματα, σε μεταλλεύματα μαγγανίου, σε χαλαζιακές φλέβες με αρσеноπυρίτη και σε μεταλλεύματα χαλκού. Ο άργυρος βρίσκεται μέσα στο μέταλλευμα μολύβδου και θειοαλάτων. Σύμφωνα με τους Vavelidis et. al., (1983), Wagner et. al., Vavelidis, (1986) σημαντικό ρόλο έπαιξε και η εκμετάλλευση προσχωματικού χρυσού από χειμάρρους και ποταμούς της Χαλκιδικής.

Η Ολυμπιάδα είναι μία από τις περιοχές της Χαλκιδικής με παρουσία ιχνών των αρχαιότερων εκμεταλλεύσεων χρυσού στην Χαλκιδική, όπως αρχαίες μεταλλευτικές στοές και πλήθος σκωριών, οι οποίες χρονολογούνται από την προϊστορική εποχή. Αν και η γενέτειρα του Αριστοτέλη ήταν τα Στάγειρα (σημερινή Ολυμπιάδα), ωστόσο ο ίδιος δεν αναφέρει στα κείμενά του για αρχαία εκμετάλλευση. Σύμφωνα όμως με ανασκαφές στα αρχαία Στάγειρα, αλλά και από βεβαιωμένα ίχνη εκμετάλλευσης, η δραστηριότητα είχε ξεκινήσει τουλάχιστον από τον 6^ο αιώνα π.Χ. (Βαβελίδης 2009, Βαβελίδης και Μέλφος 2012, Ζαΐμης 2013), ενώ βάσει των χαρακτηριστικών των αρχαίων μεταλλευτικών στοών στην Ολυμπιάδα η έναρξη των μεταλλευτικών δραστηριοτήτων στην περιοχή χρονολογείται τουλάχιστον στην αρχαϊκή εποχή (Vavelidis et al. 1983).

Τα μεταλλεία είχαν συστηματική εκμετάλλευση για την απόληψη αργύρου και μολύβδου κατά την εποχή του Φιλίππου Β' μέχρι την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου (Sagui 1928, Davies 1935,

Ζαΐμης 2013). Πιθανόν τα αργυρούχα κοιτάσματα της Χαλκιδικής να αποτελούσαν πιθανή πηγή μεταλλεύματος για τα νομισματοκοπεία επί Φιλίππου Β' (Κονοφάγος, 1980, Ζαΐμης 2013). Επομένως, η ισχύς της Μακεδονικής αυτοκρατορίας κατά την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου στηρίχθηκε, αφενός στα «ατελείωτα πολεμικά λάφυρα σε πολύτιμα μέταλλα, που αποκομίζονταν από την κατάκτηση της Ανατολής», όπως αναφέρει ο Κονοφάγος (1980), αλλά και στην εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της Μακεδονίας και Θράκης (Βαβελίδης 2009).

Κατά τον 1^ο αιώνα π.Χ. η πόλη των Σταγείρων είχε ερημώσει και η μεταλλευτική δραστηριότητα δεν αναφέρεται (Στράβων, Ζ, 35). Η μεταλλευτική-μεταλλουργική δραστηριότητα συνεχίζεται όμως κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο, βάσει μελετών με χρονολόγηση 14C (Wagner et al. 1986, Ζαΐμης 2013) σε στοά στην περιοχή Μεταγγίτσι που έδωσαν ηλικίες 60 - 130 μ.Χ. και 330 - 500 μ.Χ.

Οι αναφορές για εκμετάλλευση κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο έρχονται και από δύο αρχαίους συγγραφείς, το Διόδωρο το Σικελιώτη και τον Cassiodorus, οι οποίοι αναφέρουν πως οι Ρωμαίοι έκλεισαν τα μεταλλεία αργύρου και χρυσού στη Μακεδονία το 167 π.Χ., προς αποφυγή αφενός ενδεχόμενης καταπίεσης και δυσαρέσκειας των κατοίκων και αφετέρου πιθανής τροφοδοσίας κάποιας επανάστασης από πηγές πλούτου. Έπειτα από περίπου 10 χρόνια, το 158 π.Χ., τα μεταλλεία επαναλειτουργούν, αλλά όπως αναφέρει ο Davies (1935) εγκαταλείπονται μετά από ένα διάστημα, πιθανώς λόγω εξάντλησης των αποθεμάτων ή λόγω πολέμων που έλαβαν χώρα στην περιοχή (Ζαΐμης, 2013).

Η περιοχή αναφέρεται από το 866 μ.Χ. με το όνομα Σιδηροκαύσια, που δηλώνει την ύπαρξη μεταλλευτικής δραστηριότητας (Παπάγγελος, 1991). Η θέση των Σιδηροκαυσίων ήταν βόρεια της σημερινής Στρατονίκης. Μελέτες στην περιοχή Μαύρες Πέτρες με χρονολόγηση 14C σε δείγματα ξυλάνθρακα, που βρέθηκαν ανάμεσα σε αδιατάραχα στρώματα σκωριών, έδωσαν ηλικίες περίπου 1270-1290 μ.Χ., που επιβεβαιώνουν την μεταλλευτική δραστηριότητα κατά τη Βυζαντινή περίοδο (Wagner et al., 1986, Ζαΐμης 2013).

Ιστορικές πηγές δείχνουν συστηματική εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της ΒΑ Χαλκιδικής από τον 15ο έως τον 17ο αι. μ.Χ με εναλλασσόμενες περιόδους ακμής και παρακμής. Δείγματα άνθρακα από μια σειρά εγκαταστάσεων χύτευσης στη θέση Κηπουρίστρας Λάκκος στην περιοχή Ολυμπιάδας, που μελετήθηκαν στο πλαίσιο Προγράμματος Αρχαιομεταλλουργικής – Αρχαιολογικής έρευνας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. και της ΙΣΤ' Εφορείας Κλασικών και Προϊστορικών Αρχαιοτήτων έδωσαν στα ανώτερα στρώματα ηλικίες 1431 και 1656 μ.Χ. δηλαδή μεταβυζαντινών και υστεροβυζαντινών χρόνων (Βαβελίδης 2009, Βαβελίδης και Μέλφος 2012, Ζαΐμης 2013).

Η μεταλλουργική δραστηριότητα κατά την περίοδο της Οθωμανικής αυτοκρατορίας, κυρίως μεταξύ 16ου και 18ου αιώνα, επιβεβαιώνεται επιπλέον από το πλήθος μεταλλουργικών σκωριών που εντοπίζονται στους χώρους που πραγματοποιούνταν καμίνευση (Wagner et al. 1986). Στην περιοχή της Ολυμπιάδας οι αρχαίες σκωρίες φθάνουν τους 200.000 t (Wagner et al. 1986), ενώ σύμφωνα με τους ίδιους πάνω από 1 Mt μεταλλευτικών σκωριών απαντούν στην ευρύτερη περιοχή, που μπορεί να αντιστοιχηθεί με παραγωγή πάνω από 150.000 t καθαρού μολύβδου και 300 t αργύρου. Οι πληροφορίες από τις χρονολογήσεις των Wagner et al. (1986), Βαβελίδη (2009) και Βαβελίδη και Μέλφου (2009) έρχονται σε σαφή συμφωνία με τις ιστορικές πηγές για την μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή κατά την Οθωμανική περίοδο (Ζαΐμης 2013).

Επίσης, σύμφωνα με το Γάλλο περιηγητή Belon (1555) για την επεξεργασία του αργύρου ή του χρυσού εργάζονταν στους 500 – 600 φούρνους στην ευρύτερη περιοχή πάνω από 6.000 εργάτες διαφόρων εθνοτήτων (Βαβελίδης & Μέλφος, 2012). Το 1705 δώδεκα χωριά της ΒΑ Χαλκιδικής παίρνουν το όνομα Μαντεμοχώρια και αποκτούν το δικαίωμα εκμετάλλευσης των μεταλλείων αργύρου. Ο κύριος τόπος εξαγωγής του αργύρου παραμένει όμως το χωριό Σιδηρόκαψα (βυζαντινά Σιδηροκαύσια). Ο Leake (1835) αναφέρεται στην κοινοπραξία των Χάσικων, που βρίσκονταν κοντά στα Μαντεμοχώρια και περιγράφει πως είναι ίδια με εκείνη των μεταλλείων. Ο ίδιος περιγράφει πως τα μεταλλεία λειτουργούσαν με πρωτόγονα μέσα και η επιχείρηση εξελίσσονταν σε αποτυχία. Η θραύση του πλούσιου μετάλλευματος γινόταν με πέτρες πάνω σε μια σανίδα με το χέρι και έπειτα ακολουθούσε πλύση και τήξη με καύση ξυλάνθρακα, ενώ το κατώτερης ποιότητας μέταλλευμα θραύονταν σε μεγαλύτερα κομμάτια και τήκονταν δύο φορές χωρίς προηγούμενη πλύση. Η εκμετάλλευση των μεταλλείων από τους κατοίκους της περιοχής έγινε μέχρι το 1819. Το

1821, το «Κοινόν του Μαντεμίου» συμμετείχε στην Ελληνική Επανάσταση ως νομικό πρόσωπο (Παπαγγελος 1991, Ζαΐμης 2013). Το 1821 μετά την καταστροφή των Μαντεμοχωριών από την Τουρκική πλευρά και την μετανάστευση των κατοίκων στο Άγιο Όρος και στα νησιά η ομοσπονδία παύει να υφίσταται και τα χωριά υπάγονται πια στη δικαιοδοσία του Πασά και του Καδή της Θεσσαλονίκης και εξακολουθούν να πληρώνουν τους κεφαλικούς φόρους έως και το 1830 (Βακαλόπουλος 1973, Ζαΐμης 2013).

Η «Γάλλο-Οθωμανική Α.Ε. Μεταλλεία Κασσάνδρας» το 1893 εξαγόρασε από το Τουρκικό κράτος τα μεταλλεία της ΒΑ Χαλκιδικής και εκμεταλλεύτηκε τα μαγγανιούχα μεταλλεύματα στις Μαύρες Πέτρες και την Πιάβιτσα έως το 1908. Το 1901 ξεκίνησε και η εκμετάλλευση των σουλφιδίων (Βαβελίδης και Μέλφος 2012). Σύμφωνα με τους Παπαγρηγορίου κ.ά. (2010), η παραγωγή μέχρι το 1908 ήταν συνολικά 800.000 t μεταλλεύματος περιεκτικότητας 30 – 40% Mn. Τότε η εταιρεία διέκοψε τη λειτουργία της εξαιτίας του ανταγωνισμού από τα μαγγανιούχα μεταλλεύματα της Μαύρης Θάλασσας (Ζαΐμης, 2013).

Το 1927, λίγα χρόνια μετά τη λήξη του Α΄ Παγκοσμίου πολέμου (1918) και τη Μικρασιατική καταστροφή (1922), η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων & Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠ&Λ)», η οποία ιδρύθηκε το 1909, απέκτησε την «Οριστική Παραχώρηση Εκμετάλλευσης» από το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας και δημιουργήθηκε το Τμήμα Μεταλλείων της εταιρείας με το όνομα «Μεταλλεία Κασσάνδρας» (Βαβελίδης και Μέλφος, 2012). Το 1953 η ΑΕΕΧΠ&Λ ξεκίνησε τη λειτουργία του μεταλλείου του Μαδέμ Λάκκου και το 1957 αυτό των Μαύρων Πετρών με παραγωγή μικτών θειούχων μεταλλευμάτων. Από το 1954 έως το 1966 με τη διεξαγωγή ερευνητικών εργασιών εντοπίστηκαν φακοί σουλφιδίων άξιοι εκμετάλλευσης (Forward et al. 2011). Παράλληλα επέκτεινε τις μεταλλευτικές δραστηριότητες κατασκευάζοντας στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στο Στρατώνι εργοστάσιο εμπλουτισμού για την επεξεργασία μικτών θειούχων, όπως γαληνίτη, σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη, στη θέση του παλιού πλυντηρίου. Επίσης, το ίδιο έτος λειτούργησε για πρώτη φορά το μεταλλείο μικτών θειούχων της Ολυμπιάδας με διάνοιξη στοών για την εκμετάλλευση του δυτικού τμήματος της μεταλλοφορίας. Παράλληλα, από το 1972 άρχισε η εκμετάλλευση του μεταλλείου μικτών θειούχων της Ολυμπιάδας και το 1976 κατασκευάστηκε και εκεί εργοστάσιο εμπλουτισμού, καθώς και η λίμνη απόθεσης τελμάτων. Τα εργοστάσια αυτά είχαν δυναμικότητα 50 t/h το καθένα (Παπαγρηγορίου κ.ά. 2010, Forward et al. 2011). Οι στοές της Ολυμπιάδας από το 1974 έως το 1984 έφθασαν μέχρι το βάθος των 312 m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Σε βάθος -254 m εντοπίστηκε πλούσια μεταλλοφορία, αυτή του Ανατολικού Μεταλλοφόρου Σώματος (Forward et al. 2011).

Η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρεία Χημικών Προϊόντων & Λιπασμάτων (ΑΕΕΧΠ&Λ)» το 1991 οδηγήθηκε σε πτώχευση και έτσι το 1995 τα μεταλλεία και οι εγκαταστάσεις περιήλθαν στην εταιρεία «TVX Hellas A.E.», με σκοπό τη δημιουργία μεταλλουργίας χρυσού στην Ολυμπιάδα (Βαβελίδης και Μέλφος, 2012). Μέχρι τότε η εξόρυξη γινόταν σε όλα τα επίπεδα μεταξύ - 32 και - 218 m, ενώ η κύρια στοά προσπέλασης έφθανε σε βάθος τα -230 m. Τα συμπτκνώματα γαληνίτη και σφαλερίτη πωλούνταν την πρώτη δεκαετία της παραγωγής, ενώ τα χρυσοφόρα συμπτκνώματα σιδηροπυρίτη / αρσενοπυρίτη με 20 ppm Au που αποθηκεύονταν πωλήθηκαν πρόσφατα από την «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.». Το 1999 η TVX Hellas ολοκλήρωσε το πρόγραμμα γεωτρήσεων με 760 διατρήσεις σε συνολική έκταση 91.319 m (Forward et al. 2011). Από το 1976 μέχρι το 1995 αναφέρονται 3,64 Mt παραγωγής μεταλλεύματος από το μεταλλείο της Ολυμπιάδας, ενώ από το 1987 έως το 1995 υπάρχουν αναφορές πως 970.150 t μεταλλεύματος πέρασαν από λειοτρίβηση, με περιεκτικότητες 8,19 ppm Au, 126,64 ppm Ag, 3,90% Pb, 5,63% Zn, 16,79% S, 3,49% As, 13,97% Fe και 0,17% Sb (Forward et al. 2011). Η επένδυση αυτή δεν υλοποιήθηκε και έτσι τρία χρόνια αργότερα η TVX Hellas αποχώρησε από τα μεταλλεία της ΒΑ Χαλκιδικής και στις 12 Δεκεμβρίου 2003 υπογράφει σύμβαση με το Ελληνικό Δημόσιο για την παραχώρηση σε αυτό του συνόλου της κυριότητας των «Μεταλλείων Κασσάνδρας».

Το 2004 παραχωρήθηκαν στην «Ελληνικός Χρυσός Ανώνυμη Εταιρεία Μεταλλείων και Βιομηχανίας Χρυσού» από το Ελληνικό Δημόσιο τα μεταλλευτικά δικαιώματα. Βάσει αυτών των μεταλλευτικών δικαιωμάτων παραχωρούνται προς εκμετάλλευση τα «Μεταλλεία Κασσάνδρας Χαλκιδικής». Το 2005 επαναλειτούργησε το μεταλλείο των Μαύρων Πετρών, ενώ το 2006

υποβάλλεται ενιαίο επιχειρηματικό σχέδιο για την παράλληλη ανάπτυξη και εκμετάλλευση των κοιτασμάτων Μαύρων Πετρών, Ολυμπιάδας και Σκουριών, το οποίο προβλέπει και τη δημιουργία μεταλλουργίας χαλκού-χρυσού στην περιοχή του Μαντέμ Λάκκου. Το 2011, υπογράφεται με Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων και εγκρίνονται οι τεχνικές μελέτες των υποέργων “Μεταλλευτικές Εγκαταστάσεις Σκουριών” και “Μεταλλευτικές εγκαταστάσεις Ολυμπιάδας” από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής. Το 2012, ξεκινά η υλοποίηση του επενδυτικού σχεδίου της Ελληνικός Χρυσός

Σήμερα, η «Ελληνικός Χρυσός» (Hellas Gold) ανήκει κατά 95% στην Καναδική εταιρεία «Eldorado Gold Corporation» η οποία εξαγόρασε το 2012 το ποσοστό της προκατόχου, επίσης Καναδικής «European Goldfields Ltd» (Forward and Francis 2009, Eldorado Gold Corporation 2012), ενώ το υπόλοιπο 5% ανήκει στην εταιρεία «ΑΚΤΩΡ» (ΑΚΤΩΡ 2012). Το ανθρώπινο δυναμικό της Ελληνικός Χρυσός σήμερα υπερβαίνει τους 1.700 εργαζόμενους.

Σύμφωνα με τους Forward et al. (2011), σήμερα τα υπόγεια αποθέματα (βεβαιωμένα και πιθανά) της υπόγειας μεταλλοφορίας μικτών θειούχων στην Ολυμπιάδα υπολογίζονται με απόληψη της τάξεως του 95% σε 13,6 Mt με 5,9% Zn, 4,4% Pb, 8,7 ppm Au και 132 ppm Ag. Συνυπολογίζοντας και τις αποθέσεις τελμάτων (Πίνακας 4.1) τα συνολικά βεβαιωμένα και πιθανά αποθέματα ανέρχονται σε 16 Mt με 0,8 Mt Zn, 0,6 Mt Pb, 4,06 Moz Au και 58,8 Moz Ag. Αναλυτικά τα βεβαιωμένα, πιθανά, μετρημένα και ενδεδειγμένα για τα υπόγεια και επιφανειακά αποθέματα, μαζί με τις περιεκτικότητες σε μέταλλα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 (Forward, 2001 τροποποιημένος από Ζαΐμης, 2013).

Πίνακας 6.1. Αποθέματα και περιεκτικότητες των υπόγειων και επιφανειακών συγκεντρώσεων μεταλλεύματος στρατωνίου και Ολυμπιάδας (Forward and Francis 2009, Forward et al. 2011).

Στρατώνι	(Mt)	Zn (%)	Zn (10 ³ t)	Pb (%)	Pb (10 ³ t)	Au (ppm)	Au (Moz)	Ag (ppm)	Ag (Moz)
Αποθέματα Στρατωνίου									
Βεβαιωμένα (proven)	2,12	9,9	209	7,1	150	-	-	185	12,6
Πιθανά (probable)	0,19	9,3	18	8,6	16	-	-	216	1,3
Υπόγεια (Βεβαιωμένα και Πιθανά)	2,31	9,8	227	7,2	166	4-6	-	188	13,9
Εναπομεινάντες ορυκτοί πόροι στις Μαύρες Πέτρες									
Μετρημένα (measured)	2,129	10,9	232	7,8	167	-	-	205	14
Ενδεδευμένα (indicated)	0,182	10,2	19	9,5	17	-	-	237	1,4
Μετρημένα και Ενδεδευμένα	2,311	10,8	251	8	183	-	-	207	15,4
Δυνατά (inferred)	0,612	10,8	66	8	49	-	-	207	4,1
Ολυμπιάδα									
Υπόγεια αποθέματα									
Βεβαιωμένα	8,886	5,7	508	4,3	380	8,7	2,47	128	36,5
Πιθανά	4,686	6,2	288	4,7	219	8,7	1,32	140	21,2
Υπόγεια (Βεβαιωμένα και Πιθανά)	13,572	5,9	796	4,4	599	8,7	3,79	132	57,7
Επιφανειακά αποθέματα									
Βεβαιωμένα	2,408	-	-	-	-	3,4	0,27	14	1,1
Συνολικά (Βεβαιωμένα και Πιθανά)	15,98	-	796	-	599	-	4,06	-	58,8
Υπόγειοι ορυκτοί πόροι									
Μετρημένοι	8,137	6,6	535	4,9	400	10	2,6	147	38,5
Ενδεδευμένοι	4,298	7,1	304	5,4	230	10	1,39	161	22,3
Υπόγειοι Μετρημένοι και Ενδεδευμένοι	12,435	6,7	839	5,1	630	10	3,99	152	60,8
Επιφανειακοί ορυκτοί πόροι (Αποθέσεις Τελμάτων)									
Μετρημένα	2,408403					3,42	0,27	14,25	1,1
Συνολικά (Μετρημένα και Ενδεδευμένα)	14,843		839		630		4,26		61,9

7. Μεθοδολογία

7.1. Δειγματοληψία

Τα μελετηθέντα δείγματα προέρχονται από την περιοχή της Ολυμπιάδας και συγκεκριμένα από τα παλαιά τέλματα απόθεσης (Εικόνα 7.1.1.). Για τη δειγματοληψία χρειάστηκε αρχικά να απομακρύνουμε το επιφανειακό εδαφικό υλικό, ώστε το δείγμα που θα πάρουμε να είναι "φρέσκο" και ταυτόχρονα να παρατηρήσουμε την στρωμάτωση του εδάφους. Η δειγματοληψία για τα εδάφη έγινε κατά ορίζοντα ή όταν οι ορίζοντες δεν διακρίνονταν καλά η δειγματοληψία έγινε κατά στρώματα, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους λόγω της κατακόρυφης μεταβολής είτε στην κοκκομετρική τους σύσταση είτε στην ορυκτολογική τους σύσταση. Σε περίπτωση που σε μία συγκεκριμένη θέση δειγματοληψίας φαίνεται εμφανώς η διαδοχή των γεωλογικών σχηματισμών, τότε χωρίζουμε σε τμήματα κατακόρυφα την τομή που δημιουργήσαμε. Σε περίπτωση που δεν διακρίνεται εύκολα η διαφορετικότητα των στρωμάτων η δειγματοληψία μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά στρώσεις πάχους 20cm ή 30cm και μέχρι 60cm βάθος ανάλογα με το σκοπό της δειγματοληψίας. Αφού μετρήσουμε το συνολικό πάχος της τομής και το πάχος των επιμέρους τμημάτων, παίρνουμε δείγμα κατά μήκος του κάθε τμήματος κατακόρυφα. Έτσι, το κάθε δείγμα θα είναι αντιπροσωπευτικό για το κάθε τμήμα.



Εικόνα 7.1.1. Παλαιές αποθέσεις τελμάτων Ολυμπιάδας, Google Earth 2013.

Για τη λήψη ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος από κάθε ορίζοντα ή στρώμα παίρνουμε ομοιόμορφα δείγματα βάρους 1kg από όλο το πάχος του. Το κάθε δείγμα τοποθετείται σε σακούλες πολυαιθυλενίου. Στη σακούλα του κάθε δείγματος γράφεται ο αριθμός της εκάστωτε εδαφικής τομής, η περιοχή και η θέση (συντεταγμένες), ο ορίζοντας και το βάθος δειγματοληψίας, καθώς και η ημερομηνία που πραγματοποιήθηκε αυτή.

Τα δείγματα από τη δειγματοληψία της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι από την τομή 38-43, και συγκεκριμένα τα ASPY3 1.1, ASPY3 1.2, ASPY3 2.1, ASPY3 2.2 & ASPY3 3.1.

Όσον αφορά τα δείγματα ΜΟ1, ΜΟ2 και ΜΟ3 προέρχονται από τη δειγματοληψία στο ρέμα Μαυρόλακκα με τη μέθοδο του υδρομηχανικού εμπλουτισμού κάτω από 2mm (εικόνα 7.1.2.).



Εικόνα 7.1.2. Μέθοδος υδρομηχανικού εμπλουτισμού στο ρέμα Μαυρόλακκα.

Για τη συστηματική μελέτη του εδάφους της περιοχής έρευνας έγινε δειγματοληψία σε διαφορετικές θέσεις, ακολούθησε η καταγραφή με GPS και η τοποθέτηση τους στο χάρτη και παράλληλα φωτογράφιση (Πίνακας 7.1.1. και Εικόνες 7.1.3.-7.1.10.) .

Πίνακας 7.1.1. Συντεταγμένες θέσεως των μελετηθέντων δειγμάτων.

ΔΕΙΓΜΑ	X	Y
ASPY3 1.1	478207	4494436
ASPY3 1.2	478207	4494436
ASPY3 2.1	478175	4494467
ASPY3 2.2	478175	4494467
ASPY3 3.1	478220	4494513
MO1	477097	4494990
MO2	477701	4494859
MO3	478446	4494683



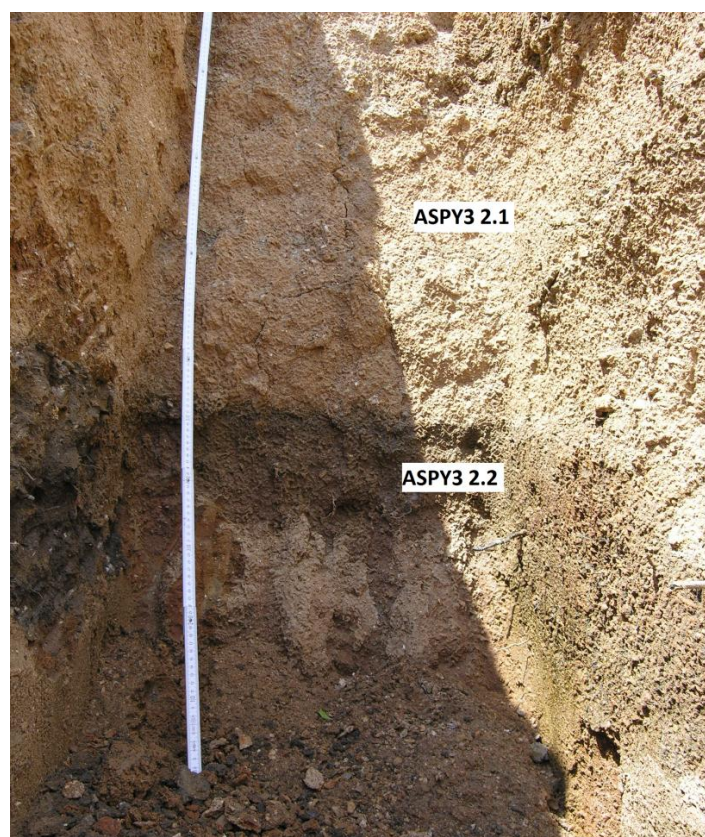
Εικόνα 7.1.3. Ορίζοντες των αποθέσεων τελμάτων στη θέση ASPY3 1.1 και ASPY3 1.2.



Εικόνα 7.1.4. Ορίζοντας των αποθέσεων τελμάτων στη θέση ASPY3 1.2.



Εικόνα 7.1.5. Ορίζοντας των αποθέσεων τελμάτων στη θέση ASPY3 1.2, επανθήματα 1.2.1.



Εικόνα 7.1.6. Ορίζοντες των αποθέσεων τελμάτων στη θέση ASPY3 2.1 και ASPY3 2.2.



Εικόνα 7.1.7. Ορίζοντας των αποθέσεων τελμάτων στη θέση ASPY3 3.1.



Εικόνα 7.1.8. Θέση μελέτης στο ρέμα Μαυρόλακκα ΜΟ1.



Εικόνα 7.1.9. Θέση μελέτης στο ρέμα Μαυρόλακκα ΜΟ2.



Εικόνα 7.1.10. Θέση μελέτης στο ρέμα Μαυρόλακκα ΜΟ3.

7.2. Προετοιμασία δειγμάτων

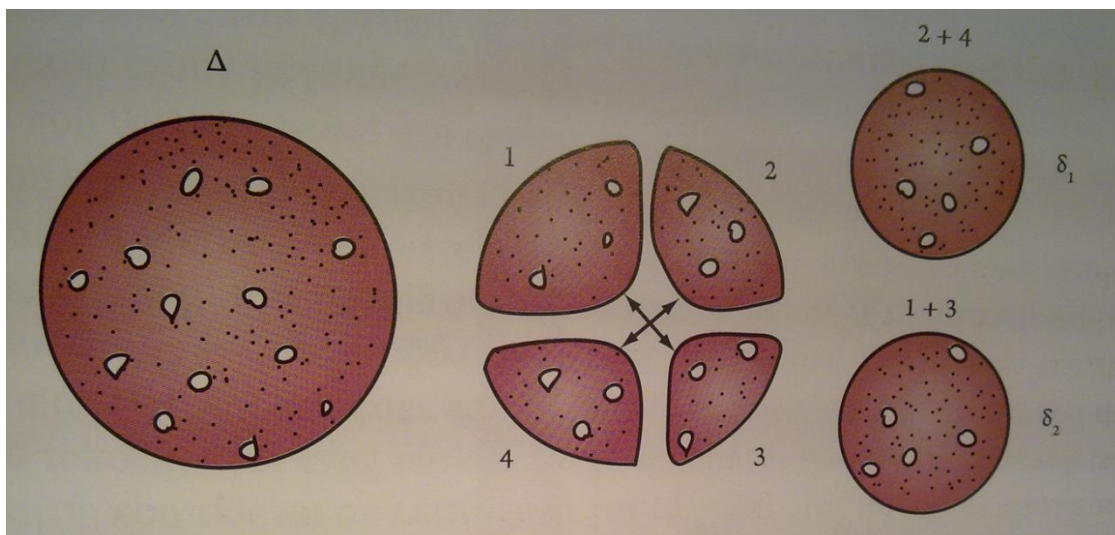
Η προετοιμασία των δειγμάτων στο εργαστήριο είναι απαραίτητη, ώστε τα αποτελέσματα των αναλύσεων να ανταποκρίνονται στις μέσες ιδιότητες του δείγματος. Η προετοιμασία του κάθε δείγματος περιλαμβάνει δύο στάδια, την ξήρανση και το κοσκίνισμα (Εικόνες 7.2.1-7.2.3).

Η ξήρανση έγινε σε θερμοκρασία δωματίου και όχι σε φούρνο προκειμένου να αποφευχθεί η αλλοίωση των συστατικών του υλικού.



Εικόνα 7.2.1. Ξήρανση δειγμάτων σε θερμοκρασία δωματίου.

Μετά την αεροξήρανση αποθηκεύουμε τη μισή ποσότητα κάθε δείγματος ως αντιδείγμα για πιθανή μελλοντική χρήση. Στη συνέχεια με τη μέθοδο του σταυρού (Εικόνα 7.2.2.) παίρνουμε μικρή ποσότητα δείγματος, η οποία προορίζεται για ανάλυση στο εργαστήριο Περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD), ενώ η υπόλοιπη ποσότητα προορίζεται για κοσκίνισμα.



Εικόνα 7.2.2. Εργαστηριακή μέθοδος διαχωρισμού ενός μεγάλου δείγματος ιζημάτων σε δύο μικρότερα όμοια δείγματα (Μέθοδος του σταυρού) (Ψιλοβίκος και Ψιλοβίκος, 2010).

Τα δείγματα του εδάφους κοσκινίζονται σε κόσκινα με οπές διαμέτρου 2mm και 0,063mm (Εικόνα 7.2.3.). Όλες οι αναλύσεις που θα ακολουθήσουν αφορούν το εδαφικό υλικό κάτω των 2mm. Αφού αποσυσσωματωθεί το υλικό του δείγματος προσεχτικά, ώστε να μη σπάσουν οι κρύσταλλοι των ορυκτών που περιέχονται, χωρίζεται σε κλάσματα με την ακόλουθη αντιστοιχία :

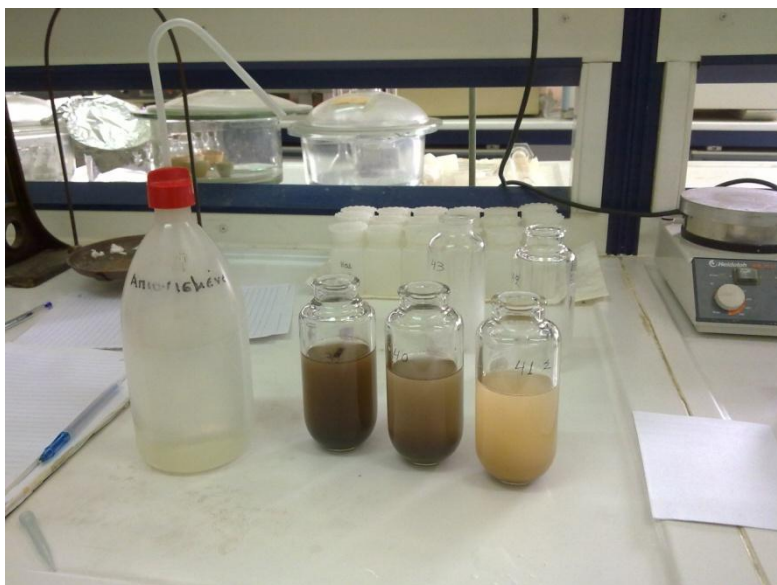
Κροκάλες-Λατύπες	>2mm
Άμμος	<2mm (0,063mm-2mm)
Ιλύς και Άργιλος	<0,063mm

Ο διαχωρισμός σε κλάσματα γίνεται διότι οι κροκάλες έχουν μικρότερη ειδική επιφάνεια σε σχέση με την ιλύς και την άργιλο και για το λόγο αυτό δεν συσσωρεύουν πολλούς ρυπαντές σε σχέση με το λεπτόκοκκο υλικό.



Εικόνα 7.2.3. Κόσκινα με οπές διαμέτρου 2mm και 0,063mm.

Το κλάσμα της ιλύος+αργίλου το χωρίζουμε σε δύο μέρη από τα οποία το ένα το κρατάμε αυτούσιο και το δεύτερο το χρησιμοποιούμε για το διαχωρισμό της ιλύος από την άργιλο. Για το διαχωρισμό της ιλύος από την άργιλο τοποθετούμε το κάθε δείγμα σε φυγοκεντρική φιάλη και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό περίπου 3/4 της φιάλης (Εικόνα 7.2.4.). Ακολουθεί απόσυσσωμάτωση του περιεχομένου με τη βοήθεια των υπερήχων και συμπληρώνουμε απιονισμένο νερό μέχρι οι δύο φιάλες να αποκτήσουν ίδιο βάρος.



Εικόνα 7.2.4. Αντιπροσωπευτικά δείγματα σε φιάλες φυγοκέντρισης.

Οι φιάλες φυγοκέντρισης τοποθετούνται αντιδιαμετρικά στη φυγόκεντρο. Η φυγόκεντρος (Εικόνα 7.2.5.) κατά τη λειτουργία της είναι απαραίτητο να έχει ζυγό αριθμό φιαλών ίδιου βάρους. Για το διαχωρισμό ιλύος και αργίλου η φυγοκέντρωση γίνεται στις 1000 στροφές ανά λεπτό με διάρκεια 3 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 7.2.5. Φυγόκεντρος με τοποθετημένες τις φιάλες αντιδιαμετρικά.

Μετά το φυγοκεντρικό διαχωρισμό το κλάσμα που βρίσκεται στον πυθμένα της φιάλης αποτελεί την ιλύ, ενώ το αιωρούμενο την άργιλο. Το όριο μεταξύ ιλύος και αργίλου είναι 0,002mm. Τέλος,

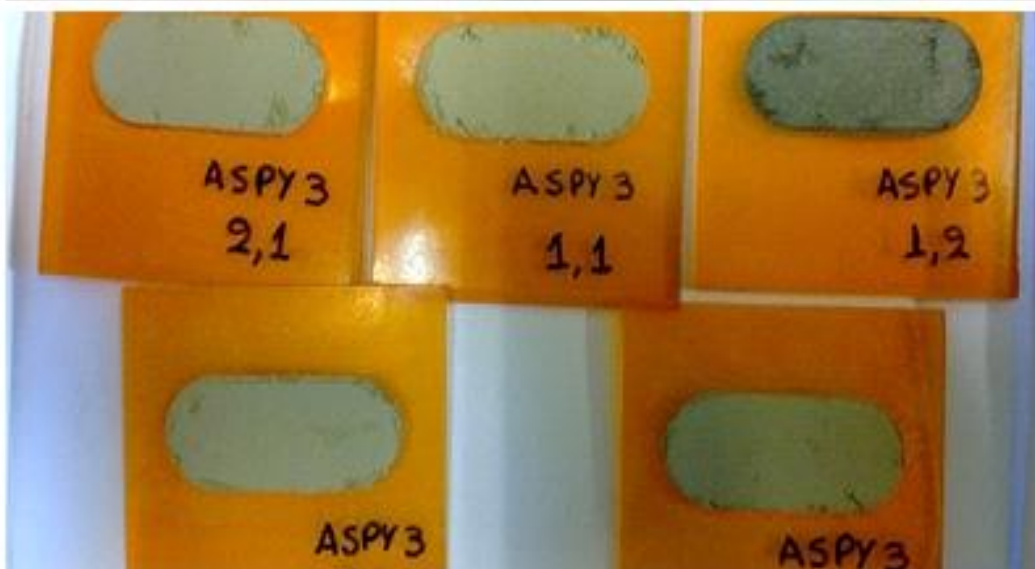
τοποθετούμε την αιωρούμενη άργιλο και την ιλύ, σε κάψες από πορσελάνη και τα αφήνουμε στο φούρνο στους 80°C για 48 ώρες ώστε να φύγει η υγρασία και να μετρήσουμε στο ζυγό το βάρος τους (Εικόνα 7.2.6.).



Εικόνα 7.2.6. Πορσελάνινες κάψες με άργιλο και ιλύ αντίστοιχα πριν την ξήρανση στο φούρνο (πάνω) και μετά την ξήρανση (κάτω).

Αντιπροσωπευτική ποσότητα από κάθε δείγμα (Εικόνα 7.2.7) κονιοποιήθηκε στο χέρι σε αχάτινο γουδί μέχρι να ομογενοποιηθεί. Η κονιοποίηση με το χέρι προτιμήθηκε συγκριτικά με τους μηχανικούς κονιοποιητές, για την αποφυγή φαινομένων διαστροφής ή και καταστροφής του πλέγματος ευαίσθητων ορυκτών στην κονιοποίηση, όπως είναι π.χ. τα αργιλικά ορυκτά και ο ασβεστίτης.

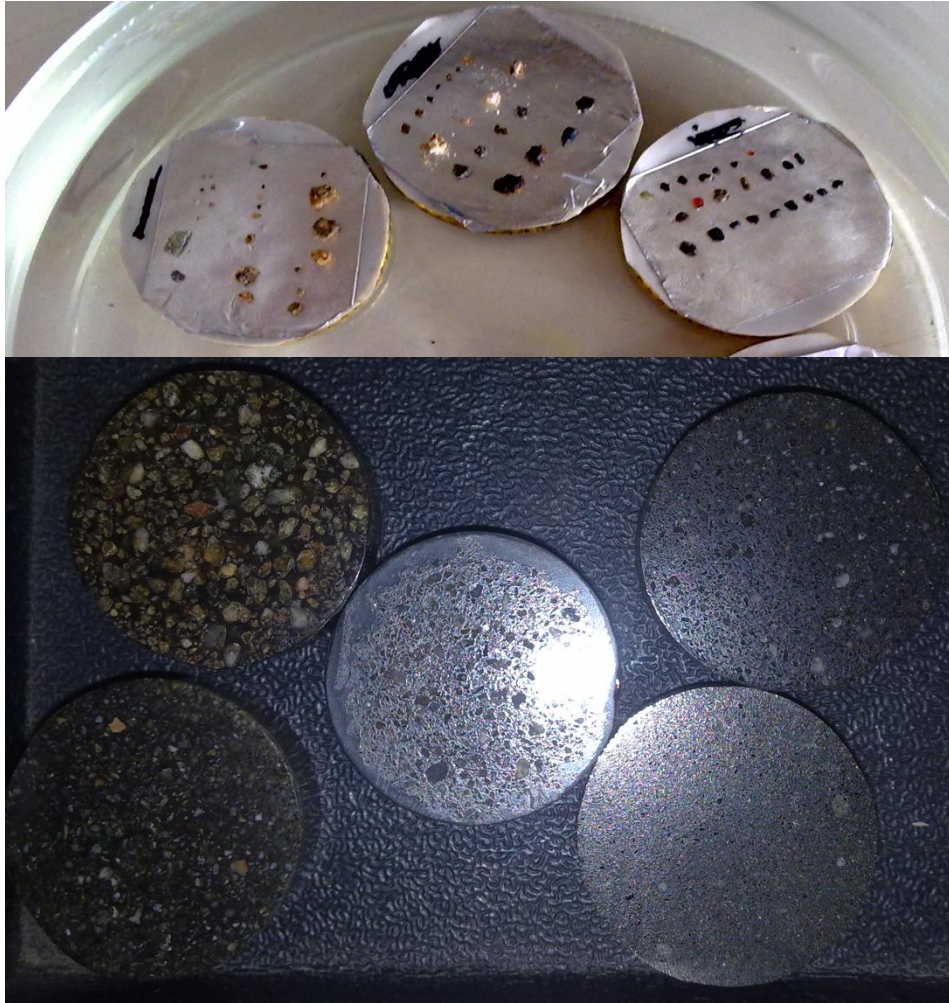
Η μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης των εξεταζόμενων δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ σε περιθλασίμετρο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ.. Χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1820/00, εξοπλισμένο με μικροεπεξεργαστή PW1710/00, λυχνία Cu και φίλτρο Ni για τη λήψη CuKα ακτινοβολίας, ενώ η περιοχή σάρωσης γωνίας 2θ ήταν 3-63° και η ταχύτητα σάρωσης 1,2°/min. Πριν την ακτινογράφιση των δειγμάτων έγινε έλεγχος της ευαισθησίας και της ακρίβειας του περιθλασίμετρου με ειδικό πρότυπο καθαρού πυριτίου. Ο τρόπος προετοιμασίας των τυχαία προσανατολισμένων παρασκευασμάτων, οι δειγματολήπτες και οι συνθήκες σάρωσης όλων των δειγμάτων ήταν ακριβώς οι ίδιες.



Εικόνα 7.2.7. Κονιορτοποίηση δείγματος στο γουδί (πάνω) και τοποθέτηση σε αντικειμενοφόρο πλάκα.

Από τα εξεταζόμενα δείγματα προετοιμάστηκαν στυλπνές τομές (Εικόνα 7.2.8.) για τη μελέτη της μορφολογίας των κόκκων και την αξιολόγηση της χημικής τους σύστασης με τη χρήση στερεοσκοπίου και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM).

Χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης τύπου Jeol JSM - 840 του εργαστηρίου ηλεκτρονικής μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. (Εικ. 7.2.9). Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ήταν 15 kV, ένταση ηλεκτρονικής δέσμης < 3 nA και διαμέτρου 1 μm .



Εικόνα 7.2.8. Στιλπνές τομές των δειγμάτων.



Εικόνα 7.2.9. Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM).

7.3. Κοκκομετρικές αναλύσεις

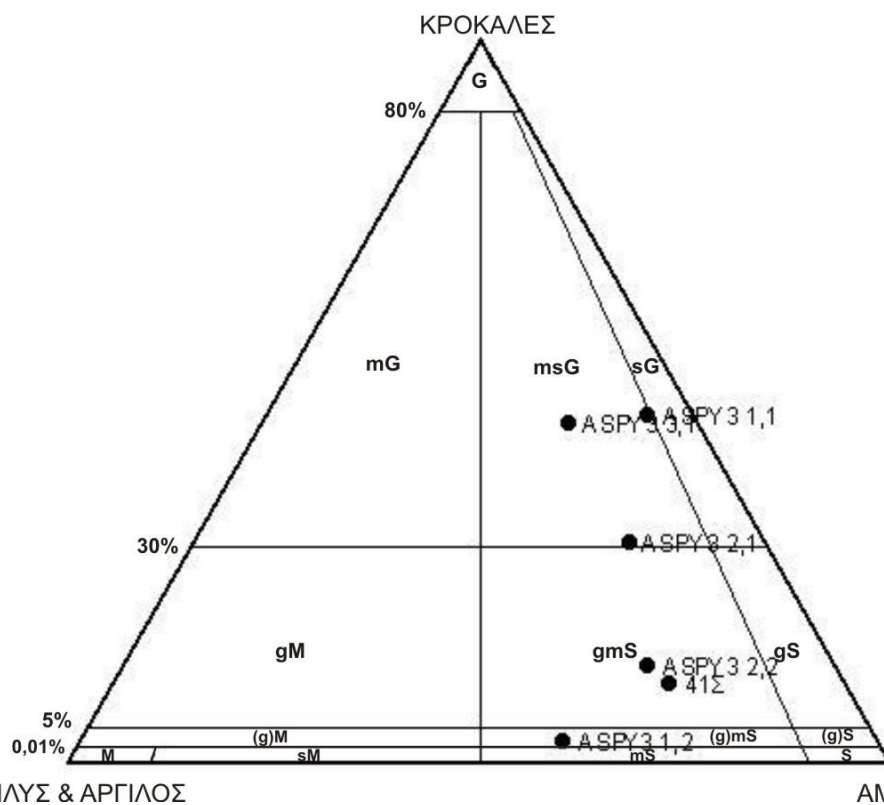
Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων μας επιτρέπουν τον υπολογισμό του ποσοστού (%) των κύριων κοκκομετρικών κλάσεων (κροκάλες, άμμος, άργιλος, ιλύς), όπως φαίνεται και στον πίνακα 7.3.1.

Η λιθολογία των μελετηθέντων ιζημάτων προσδιορίστηκε σύμφωνα με τα τριγωνικό συστήματα Folk (1970). Ουσιαστικά, κάθε δείγμα μπορεί να προβληθεί σαν ένα σημείο σε ένα από τα δύο αυτά διαγράμματα, ανάλογα τα ποσοστά συμμετοχής των τάξεων των κροκαλών, της άμμου και της ιλύος & αργίλου στο πρώτο και της άμμου, ιλύος και αργίλου στο δεύτερο (Σχήματα 7.3.1., 7.3.2.). Σύμφωνα με τις αναλύσεις, το ποσοστό των κροκαλών κυμαίνεται μεταξύ 2,68% και 47,85%, ενώ σε πέντε δείγματα φαίνεται να απουσιάζουν πλήρως. Αντιστοίχως, η άμμος κυμαίνεται μεταξύ 37,34% και 88,34%, η ιλύς είναι κυμαινόμενη από 4,91% έως 47,30% και η άργιλος από 0,0% έως 1,68%. Τα πέντε δείγματα στα οποία απουσιάζουν οι κροκάλες (38,39,40,42,43), ονομάζονται σύμφωνα με το τριγωνικό διάγραμμα ταξινόμησης των λεπτόκοκκων ιζημάτων (Εικόνα 7.3.2.), ενώ τα υπόλοιπα δείγματα με την παρουσία κροκαλών ονομάζονται σύμφωνα με αυτό των χονδρόκοκκων (Εικόνα 7.3.1.).

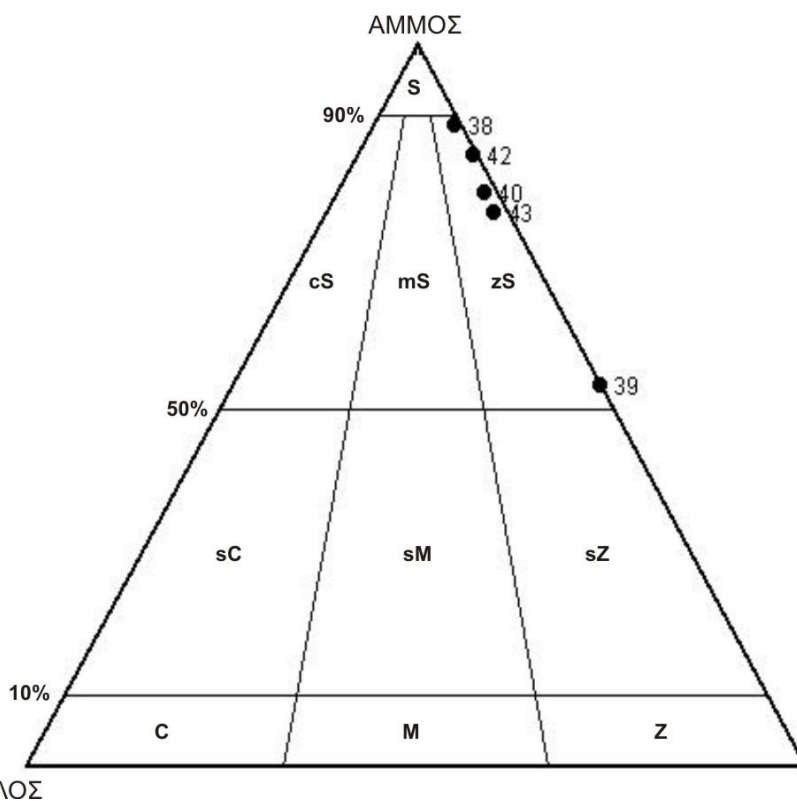
Στο Σχήμα 7.3.1 οι λιθολογικές τάξεις προσδιορίστηκαν από το ποσοστό των κροκαλών (>2mm) και τη σχέση άμμος (2-0,06mm)/(ιλύς + άργιλος) (<0,06mm), ενώ στο Σχήμα 7.3.2. οι τάξεις προσδιορίστηκαν από το ποσοστό της άμμου (2-0,06mm) και τη σχέση ιλύς(0,06-0,004mm)/άργιλος (<0,004mm). Στον πίνακα 7.3.2 παρουσιάζεται η επεξήγηση των συμβόλων των τριγωνικών διαγραμμάτων κατά Folk (1954) και στον πίνακα 7.3.3. ο χαρακτηρισμός της λιθολογικής τάξης των μελετηθέντων δειγμάτων. Τα μη κροκαλούχα δείγματα χαρακτηρίστηκαν ως ίλυοαμμώδη, ενώ από τα κροκαλούχα δείγματα τα δείγματα 41Σ και ASPY3 2,2 ονομάζονται Κροκαλοπηλοαμμώδη, τα δείγματα ASPY3 1,1 , ASPY3 2,1 και ASPY3 3,1 Πηλοαμμοκροκαλώδη και το ASPY3 1,2 Ημικροκαλοπηλοαμμώδες.

Πίνακας 7.3.1. Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων.

Δείγμα	Κροκάλιες >2mm (gr)	Άμμος 0,063mm-2mm (gr)	Ιλύς+ Άργιλος <0,063mm (gr)	Ποσότητα εξεταζόμενου	Ιλύς 0,063mm-0,002mm (gr)	Άργιλος <0,002mm (gr)	Ιλύς στο σύνολο (gr)	Άργιλος στο σύνολο	Ολικό βάρος (gr)	Ποσοστό Άμμου	Ποσοστό Ιλύος	Ποσοστό Άργιλου	Ποσοστό Ιλύος & Άργιλου
38	0	19,7	2,6	1,3	1,2	0,1	2,4	0,2	22,3	88,34%	10,76%	0,90%	11,66%
39	0	7,8	7	3,5	3,5	0	7	0	14,8	52,70%	47,30%	0,00%	47,30%
40	0	36,8	9,5	4,8	4,4	0,4	8,8	0,8	46,4	79,31%	18,97%	1,72%	20,69%
41Σ	1,5	9,3	2,9	1,5	1,4	0,1	2,8	0,1	13,7	67,88%	20,44%	0,73%	21,17%
42	0	48,2	8,7	4,4	4,3	0,1	8,6	0,2	57	84,56%	15,09%	0,35%	15,44%
43	0	9,1	2,8	1,4	1,3	0,1	2,6	0,2	11,9	76,47%	21,85%	1,68%	23,53%
ASP3 1,1	101,3	99,2	11,1	5,6	5,2	0,4	10,4	0,8	211,7	47,85%	4,91%	0,38%	5,29%
ASP3 1,2	3,5	76,9	50,1	25,1	24,2	0,9	48,4	1,8	130,6	58,88%	37,06%	1,38%	38,44%
ASP3 2,1	30,9	54,2	17	8,5	8,2	0,3	16,4	0,6	102,1	53,09%	16,06%	0,59%	16,65%
ASP3 2,2	2,5	11,9	4,2	2,1	2	0,1	4	0,2	18,6	63,98%	21,51%	1,08%	22,58%
ASP3 3,1	108,5	86	35,8	17,9	16,3	1,6	32,6	3,2	230,3	37,34%	14,16%	1,39%	15,54%



Σχήμα 7.3.1. Ταξινόμηση κροκαλοφόρων ιζημάτων στην περιοχή έρευνας κατά Folk et al. 1970.



Σχήμα 7.3.2. Ταξινόμηση ιζημάτων στην περιοχή έρευνας κατά Folk et al. 1970.

Πίνακας 7.3.2. Επεξήγηση συμβόλων των τριγωνικών διαγραμμάτων κατά Folk (1954).

Συντόμευση	Ονομασία	Συντόμευση	Ονομασία
G	Κροκαλώδες	mS	Πηλοαμμώδες
mG	Πηλοκροκαλώδες	S	Αμμώδες
msG	Πηλοαμμοκροκαλώδες	cS	Αργιλοαμμώδες
sG	Αμμοκροκαλώδες	zS	Ιλυοαμμώδες
gM	Κροκαλοπηλώδες	sC	Αμμοαργιλώδες
gmS	Κροκαλοπηλοαμμώδες	sZ	Αμμοϊλυώδες
gS	Κροκαλοαμμώδες	C	Αργιλώδες
(g)M	Ημικροκαλοπηλώδες	M	Πηλώδες
(g)mS	Ημικροκαλοπηλοαμμώδες	Z	Ιλυώδες
(g)S	Ημικροκαλοαμμώδες		
sM	Αμμοπηλώδες		

Πίνακας 7.3.3. Χαρακτηρισμός της λιθολογικής τάξης των μελετηθέντων δειγμάτων.

Δείγμα	Λιθολογική τάξη Κροκάλες-Άμμος-Ιλύς και Άργιλος	Λιθολογική τάξη Άμμος-Ιλύς-Άργιλος
38	-	Ιλυοαμμώδες
39	-	Ιλυοαμμώδες
40	-	Ιλυοαμμώδες
41Σ	Κροκαλοπηλοαμμώδες	-
42	-	Ιλυοαμμώδες
43	-	Ιλυοαμμώδες
ASPΥ3 1.1	Πηλοαμμοκροκαλώδες	-
ASPΥ3 1.2	Ημικροκαλοπηλοαμμώδες	-
ASPΥ3 2.1	Πηλοαμμοκροκαλώδες	-
ASPΥ3 2.2	Κροκαλοπηλοαμμώδες	-
ASPΥ3 3.1	Πηλοαμμοκροκαλώδες	-

8. Ορυκτολογική σύσταση των αποθέσεων των παλαιών τελμάτων της Ολυμπιάδας και του ρέματος Μαυρόλακκα

Για τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των αποθέσεων του παλαιού τέλματος Ολυμπιάδας μελετήθηκαν ακτινογραφικά τα δείγματα ASPY3 1.1, ASPY3 1.2, ASPY3 2.1, ASPY3 2.2 & ASPY3 3.1 με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων Χ (XRD). Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο κατά Klug and Alexander (1974). Τα αποτελέσματα του ημιποσοτικού προσδιορισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.1.

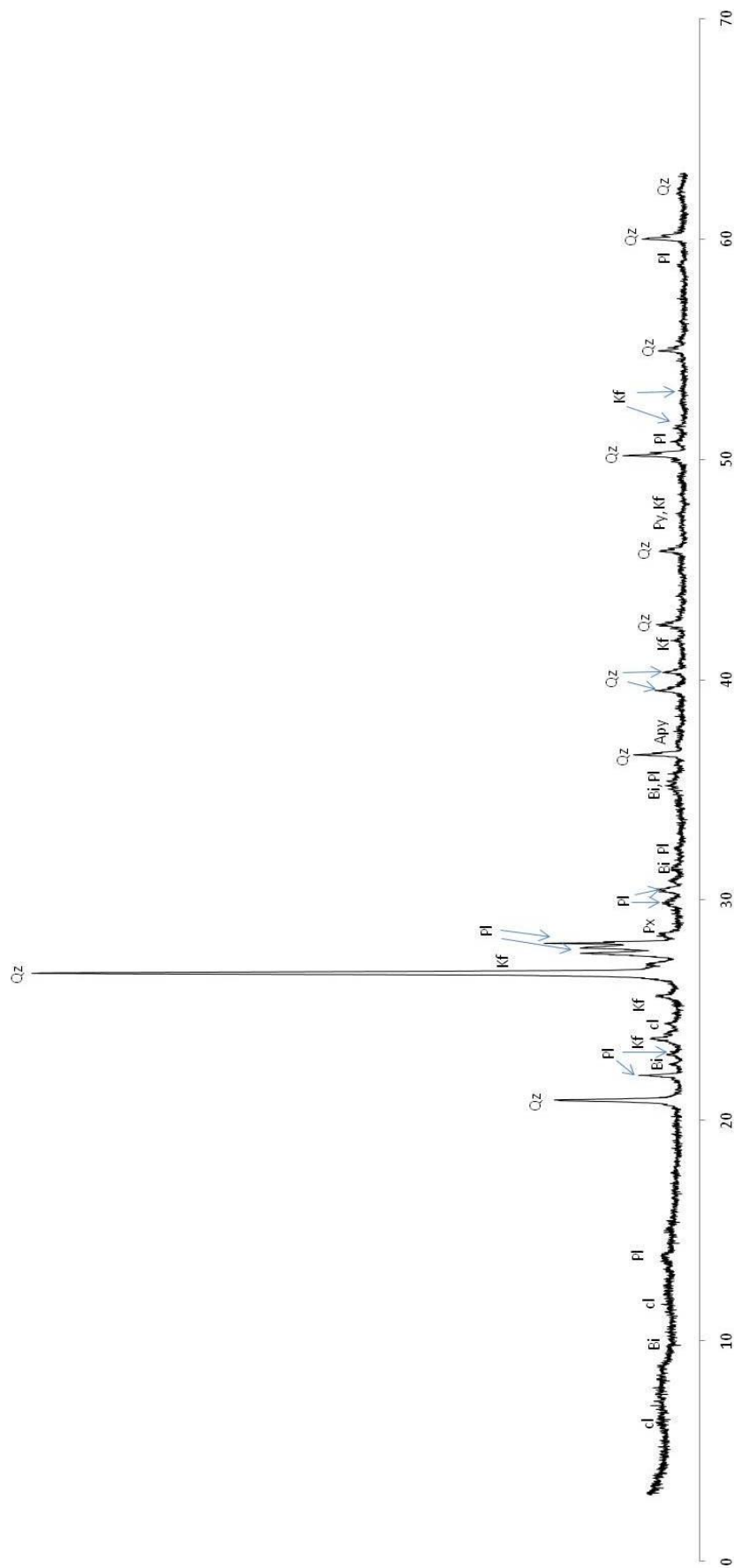
Πίνακας 8.1 Ημιποσοτική ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Ορυκτά	Χημικός τύπος	Συντομογραφία	Δείγματα				
			ASPY3 1,1	ASPY3 1,2	ASPY3 2,1	ASPY3 2,2	ASPY3 3,1
Χαλαζίας	SiO ₂	Qz	59	7	44	56	34
Πλαγιόκλαστο (Αλβίτης)	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈	Pl	12	3	20	10	17
Καλιούχος Άστριος	KAlSi ₃ O ₈	Kf	13	-	12	12	27
Αργιλικά	K(Fe,Mg) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	cl	1	-	2	2	1
Σιδηροπυρίτης	FeS ₂	Py	1	48	1	1	1
Γιαροσίτης	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	Jar	-	11	-	-	13
Σκοροδίτης	FeAsO ₄ ·2H ₂ O	Sc	-	12	-	-	3
Σφαλερίτης	ZnS	Sph	11	-	9	9	1
Αμφίβολος	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Amp	-	-	4	1	3
Μαρμαρυγίες (Βιοτίτης)	K(Fe,Mg) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Bi	1	-	6	2	-
Αρσеноπυρίτης	FeAsS	Apy	1	7	1	6	-
Γύψος	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Gy	-	11	-	-	-
Πυρόξενος (Διοψίδιος)	CaMgSi ₂ O ₆	Px	1	-	1	1	1
Σύνολο			100	100	100	100	100

Τα περιθλασιογράμματα των εξεταζόμενων δειγμάτων παρουσιάζονται στις εικόνες 8.1 έως 8.5, με τις συντομογραφίες που αναφέρονται στον Πίνακα 8.1. Τα δείγματα αυτά μαζί με τα δείγματα 39-42, MO1, MO2, MO3 και ένα δείγμα με επανθήματα μελετήθηκαν επίσης και με τη χρήση μεταλλογραφικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM).

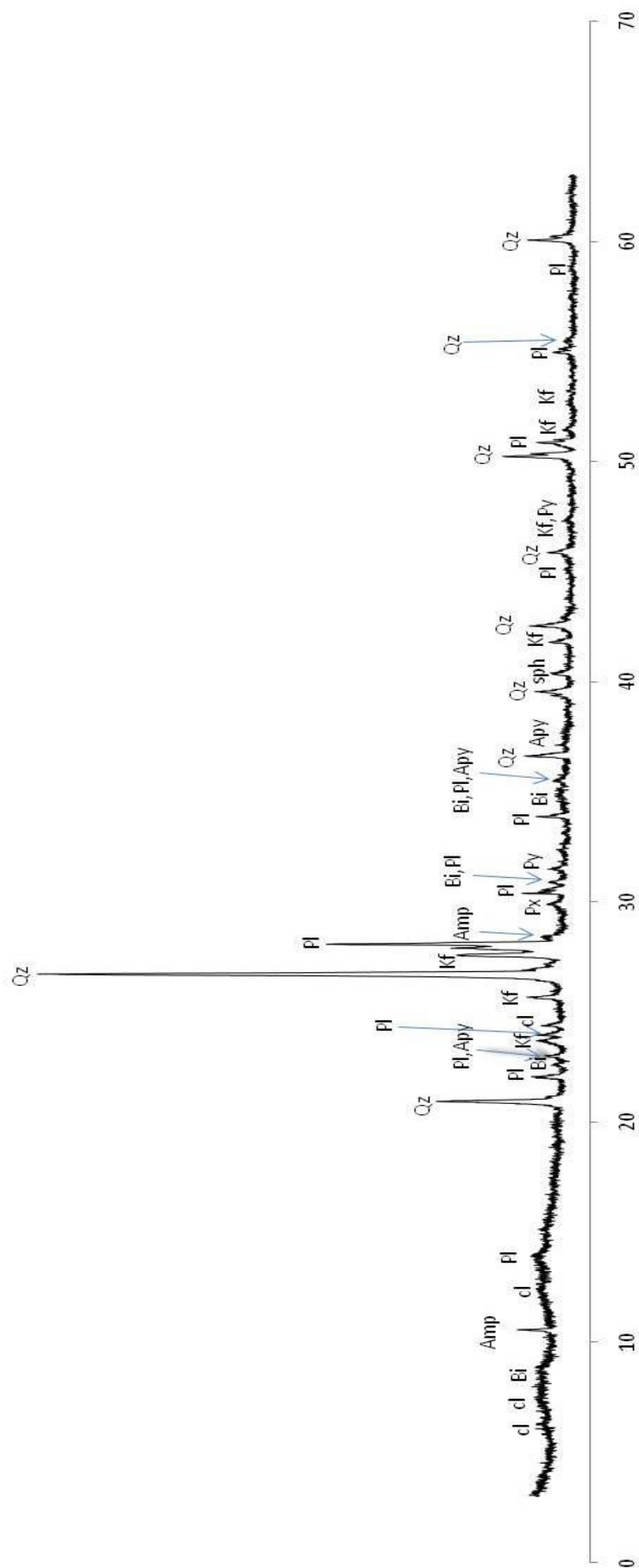
Από τη συνδυασμένη μελέτη με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ και ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης προέκυψε ότι οι αποθέσεις τελμάτων αποτελούνται κατά κύριο λόγο από σύνδρομα πυριτικά και ανθρακικά ορυκτά, ενώ επίσης εντοπίζονται και σουλφίδια της πρωτογενούς μεταλλοφορίας, δευτερογενή ορυκτά, όπως θειοάλατα (γιαροσίτης), καθώς και οξείδια-υδροξείδια του Fe και Mn. Τα πυριτικά ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι ο χαλαζίας, τα πλαγιόκλαστα (κυρίως αλβίτης), οι Κ-άστριοι (κυρίως μικροκλινής), ο καολίνης, οι αμφίβολοι και οι μαρμαρυγίες, κυρίως βιοτίτης, καθώς επίσης πυρόξενοι, τιτανίτης και γρανάτες. Τα ανθρακικά ορυκτά είναι ο ασβεσίτης, ο δολομίτης και ο ροδοχρωσίτης. Τα σουλφίδια που εντοπίστηκαν είναι ο σιδηροπυρίτης, ο αρσеноπυρίτης, ο σφαλερίτης και ο γαληνίτης, ενώ τα θειοάλατα είναι ο γιαροσίτης, η γύψος και ο βαρύτης. Επίσης, εντοπίστηκαν οξείδια-υδροξείδια του Fe και του Mn, αυτοφυή ορυκτά, όπως γραφίτης, αργιλοπυριτικά και φωσφορικά ορυκτά, όπως μοναζίτης.

ΔΕΙΓΜΑ ASPY3 1.1

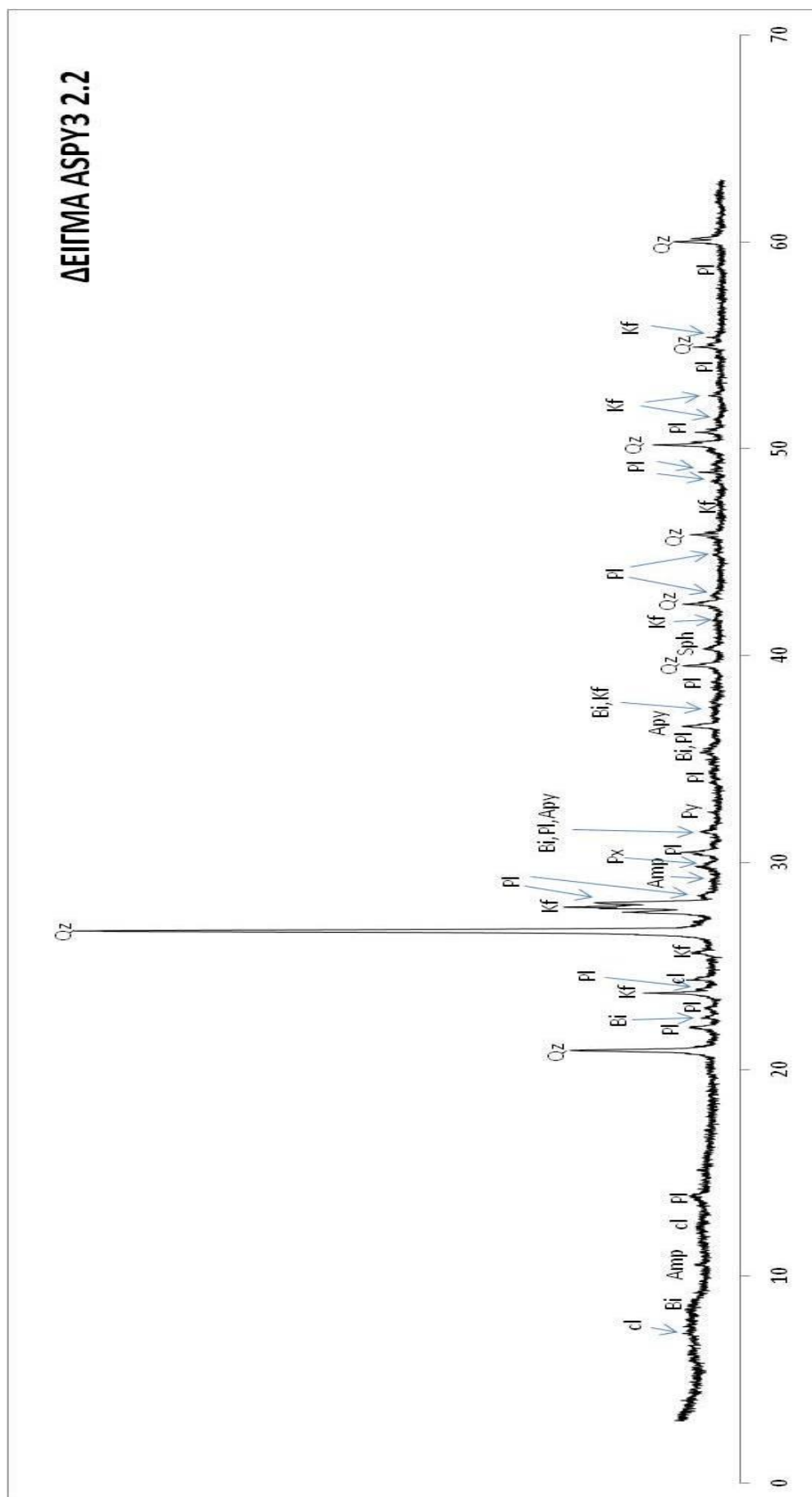


Εικόνα 8.1. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος ASPY3 1.1.

ΔΕΙΓΜΑ ASPY3 2.1



Εικόνα 8.3. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-X (XRD) του δείγματος ASPY3 2.1.



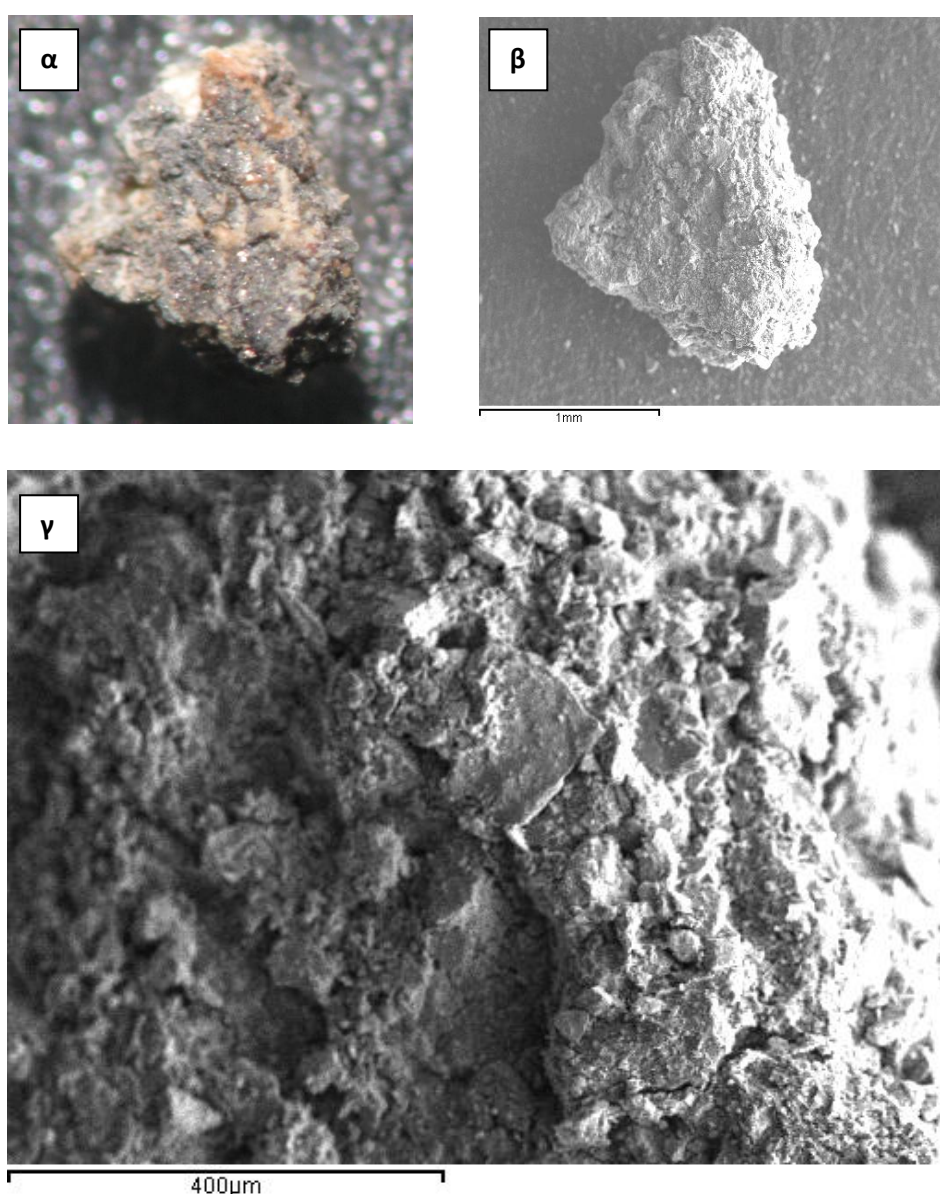
Εικόνα 8.4. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-Χ (XRD) του δείγματος ASPY3 2.2.

Εικόνα 8.5. Περιθλασιόγραμμα ακτίνων-X (XRD) του δείγματος ASP3 3.1.

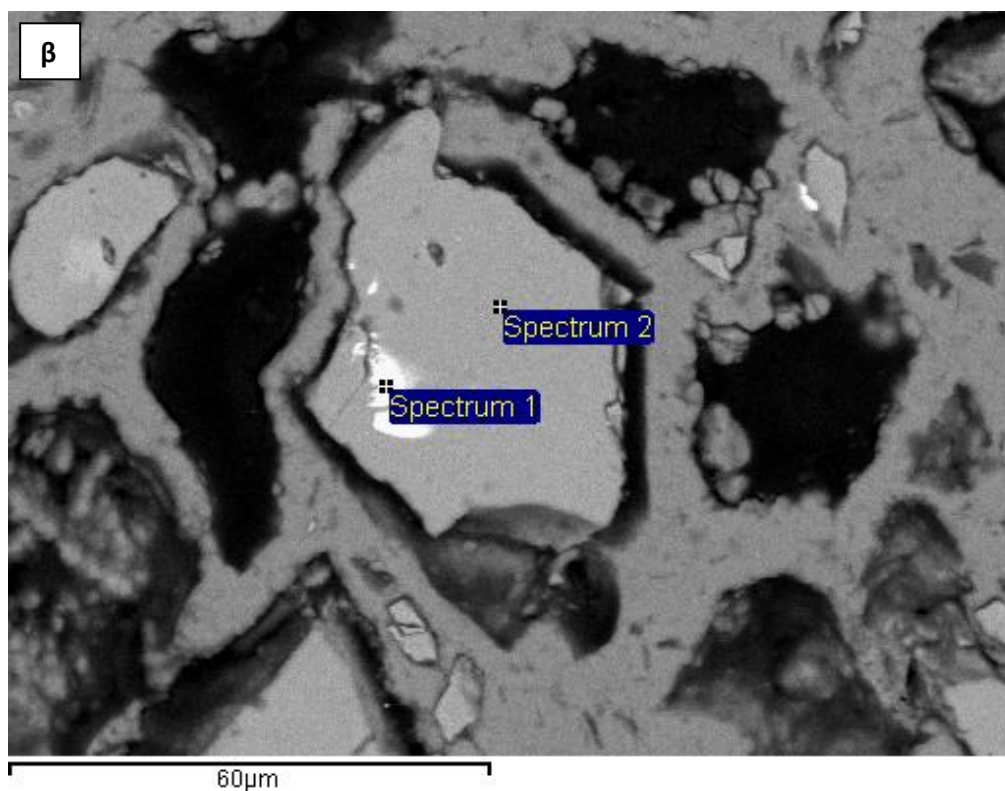
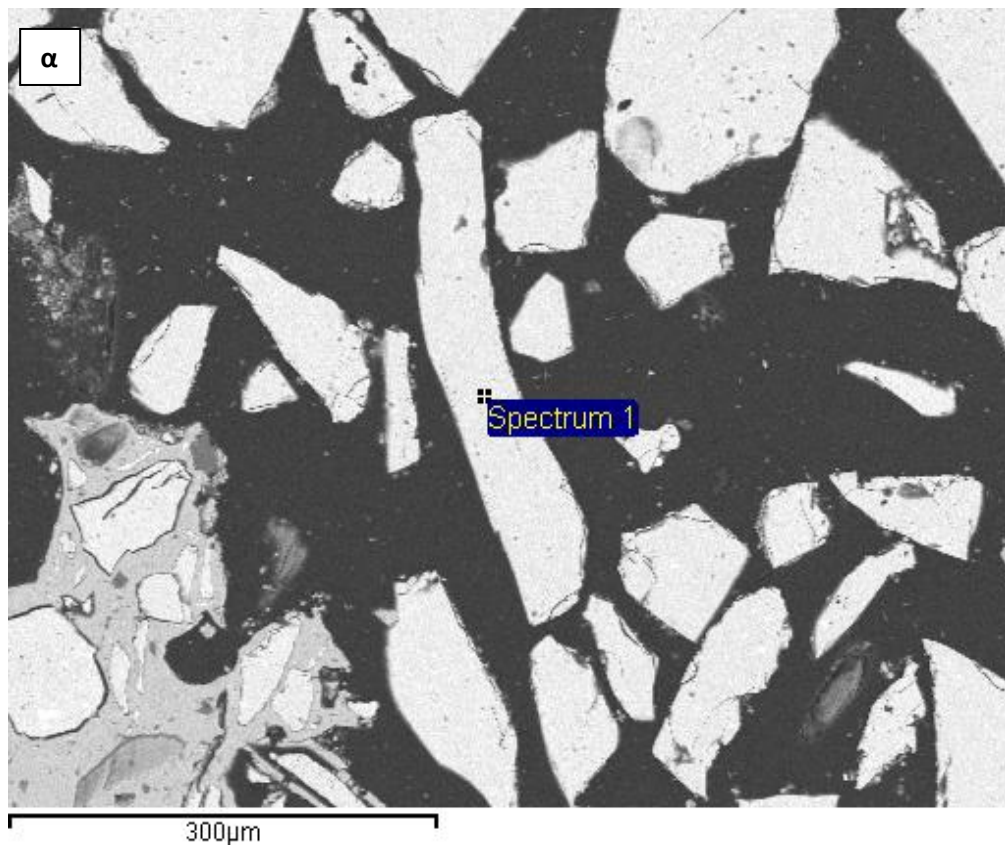
8.1. Σουλφίδια

8.1.1. Σιδηροπυρίτης

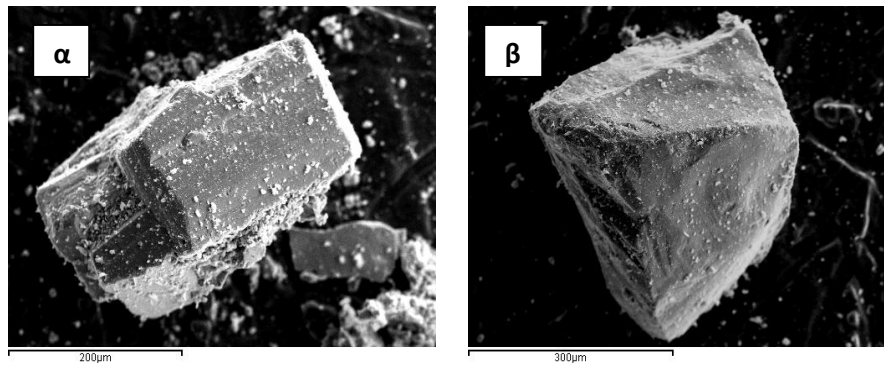
Ο σιδηροπυρίτης είναι το ορυκτό που συναντάται στην πλειοψηφία των δειγμάτων, γι' αυτό και χαρακτηρίζεται ως το κύριο ορυκτό των παλαιών αποθέσεων της Ολυμπιάδας. Οι κόκκοι του ορυκτού έχουν μέγεθος μέχρι 1mm και είναι ακανόνιστοι με γωνιώδεις μέχρι υπογωνιώδεις απολήξεις. Επίσης, παρουσιάζουν κατακλαστική υφή. Κάτω από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο η πλειοψηφία των κόκκων έχει μέγεθος 100-200μm. Στο υλικό του τέλματος βρίσκεται είτε ως ελεύθερος κόκκος είτε σε σύμφυση με σύνδρομα ορυκτά, όπως πυριτικά, ανθρακικά και άλλα σουλφίδια, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες. Η περιεκτικότητα του σιδηροπυρίτη, όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι 1% κβ. εκτός από το δείγμα ASPY3 1.2 που μετρήθηκε 48 % κ.β.



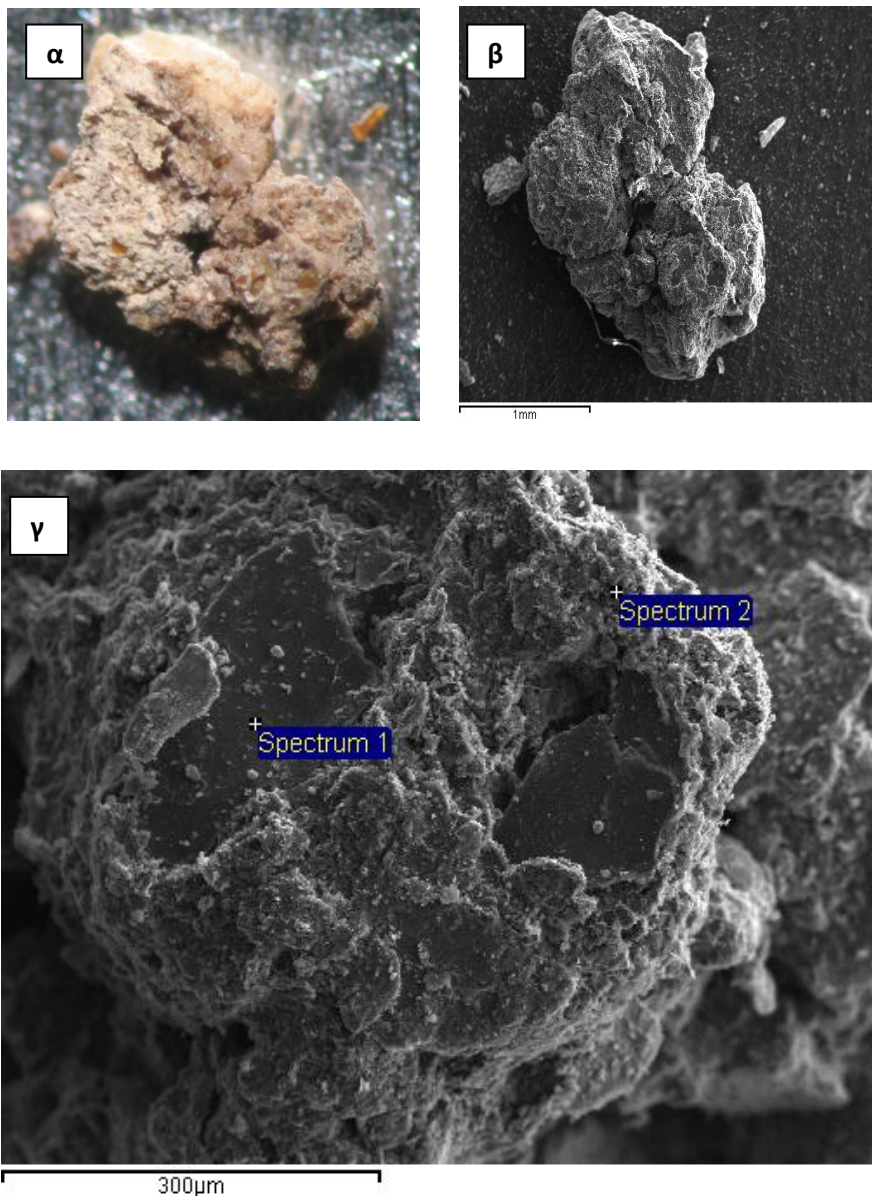
Εικόνα 8.1.1.1. Σιδηροπυρίτης (α) Στερεοσκοπική εικόνα, (β) Από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) και γ) Λεπτομέρεια της (β).



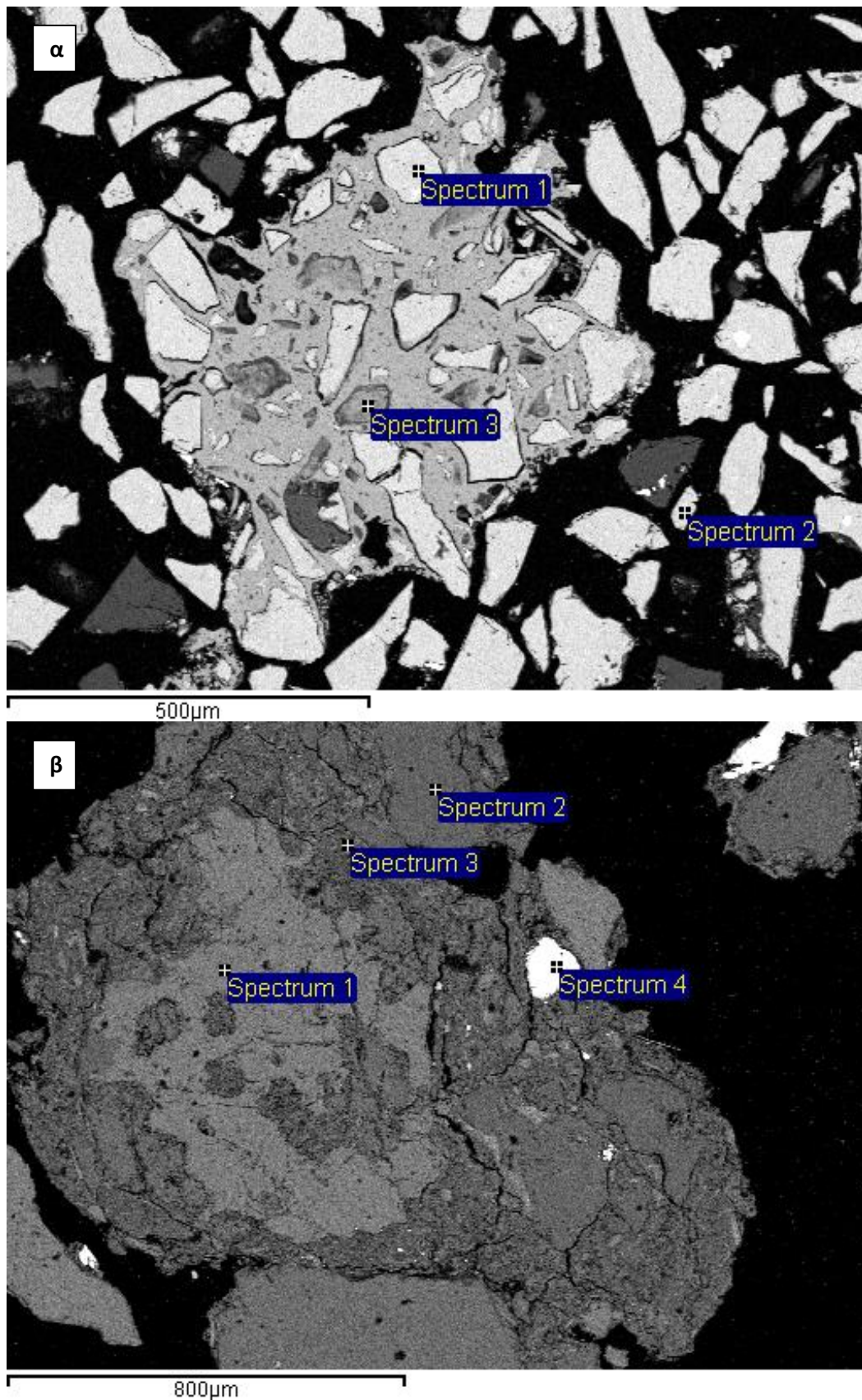
Εικόνα 8.1.1.2. α) σιδηροπυρίτης (Spectrum 1). β) γαληνίτης (Spectrum 1) μέσα σε σιδηροπυρίτη (Spectrum 2). Εικόνες κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.1.1.3. Μικροφωτογραφία σιδηροπυρίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



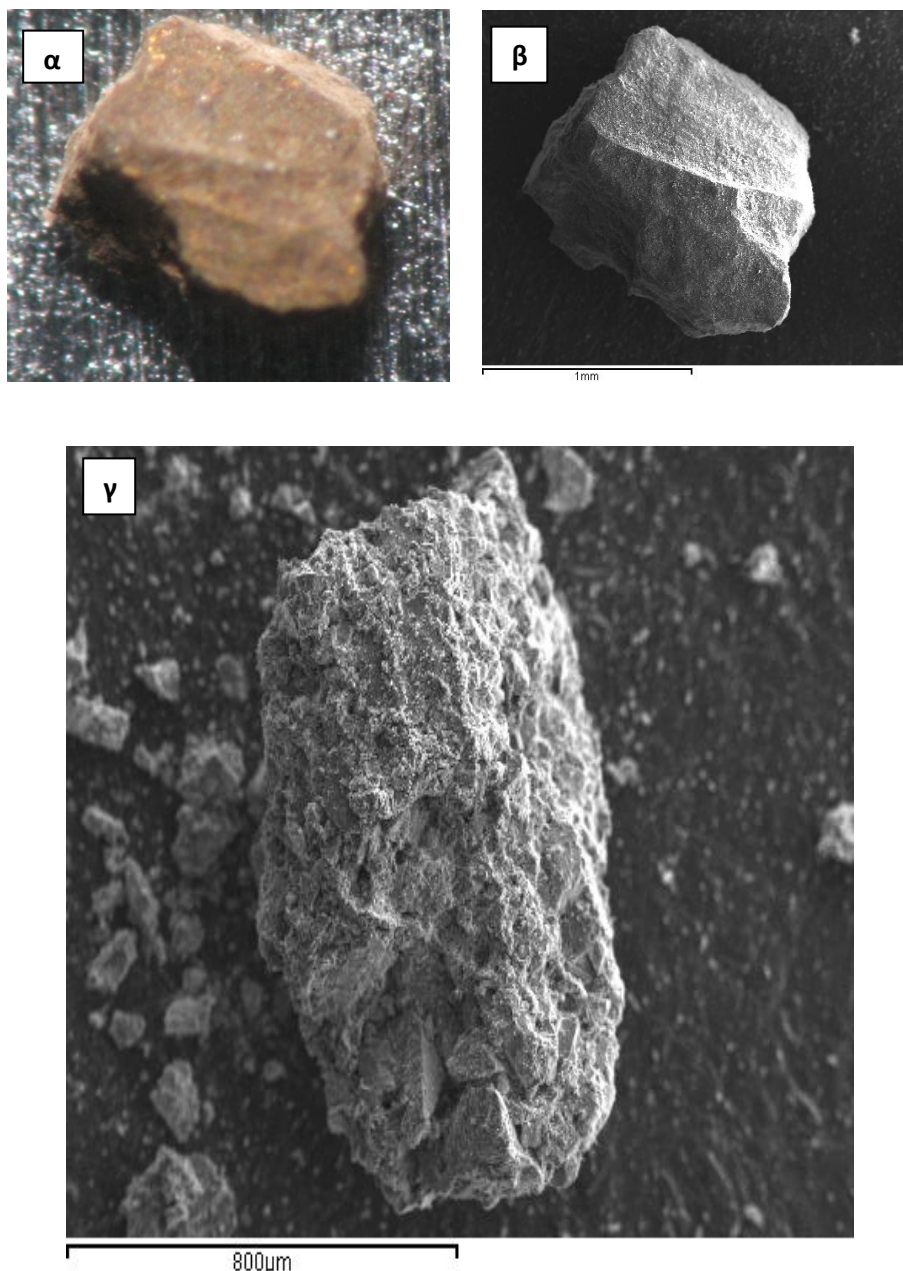
Εικόνα 8.1.1.4. Βιοτίτης (Spectrum 1), σιδηροπυρίτης και άστριος (Spectrum 2). α) κάτω από στερεοσκόπιο, β) κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) και γ) λεπτομέρεια της Εικόνας (β).



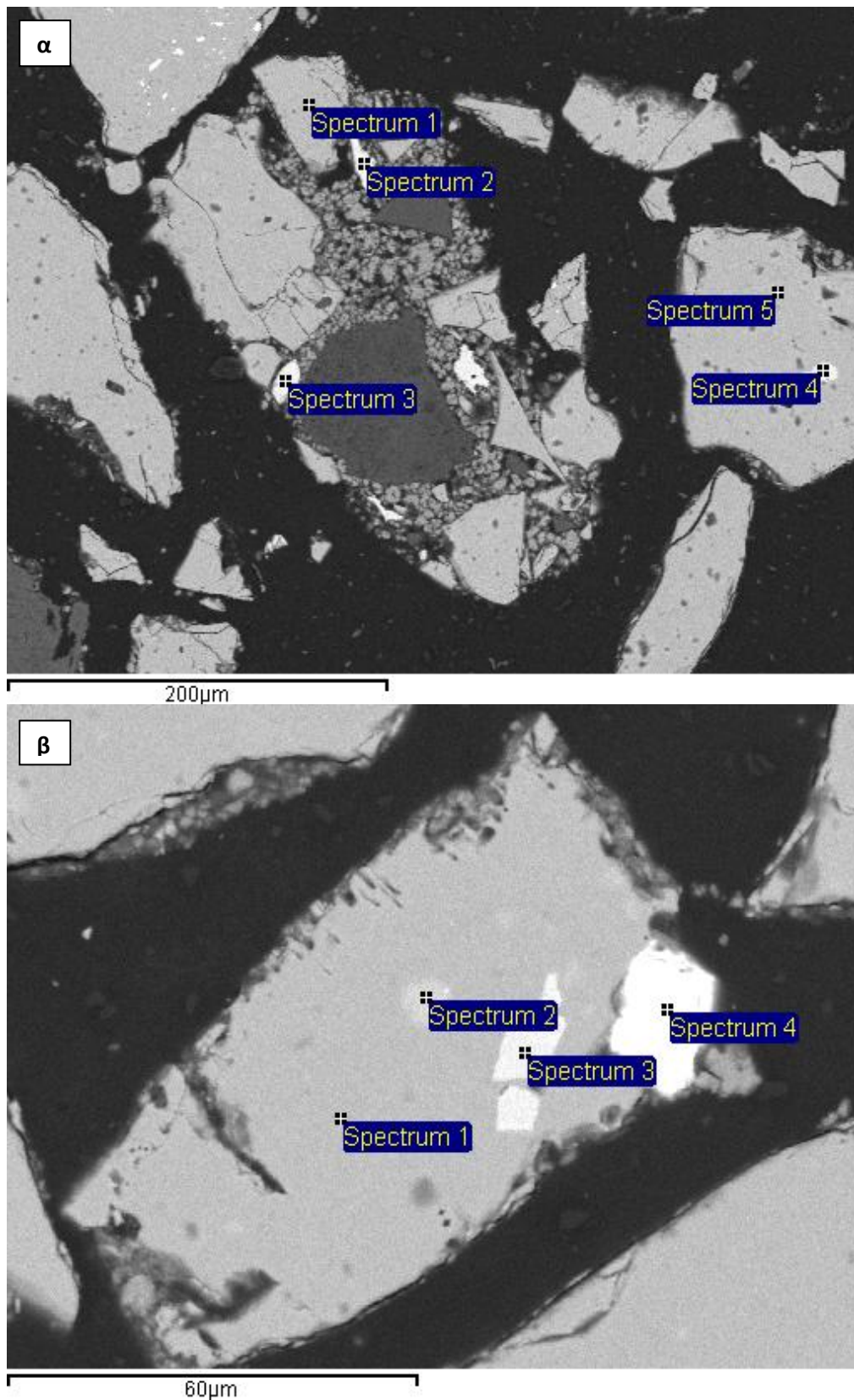
Εικόνα 8.1.1.5. α) Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 και 2) και αρσеноπυρίτης (Spectrum 3). β) άστριος (Spectrum 1), χαλαζίας (Spectrum 2 και 3) και σιδηροπυρίτης (Spectrum 4). Εικόνες από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.1.2. Αρσеноπυρίτης

Ο αρσеноπυρίτης είναι το δεύτερο σουλφίδιο μετά τον Σιδηροπυρίτη σε συγκέντρωση στις αποθέσεις. Ωστόσο τα ποσοστά του ορυκτού αυτού είναι χαμηλά. Η περιεκτικότητα των υλικών σε αρσеноπυρίτη, όπως υπολογίστηκε από τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων είναι έως 7 wt.%. Οι κρύσταλλοί του μπορεί να εγκλείονται ή να βρίσκονται σε σύμφυση σύνδρομα ορυκτά. Το μέγεθός τους φτάνει τα 250μm και εμφανίζονται είτε ως ακανόνιστοι είτε ως ιδιόμορφοι κόκκοι. Ο αρσеноπυρίτης παρουσιάζει κατακλαστική υφή, όπως και ο σιδηροπυρίτης.



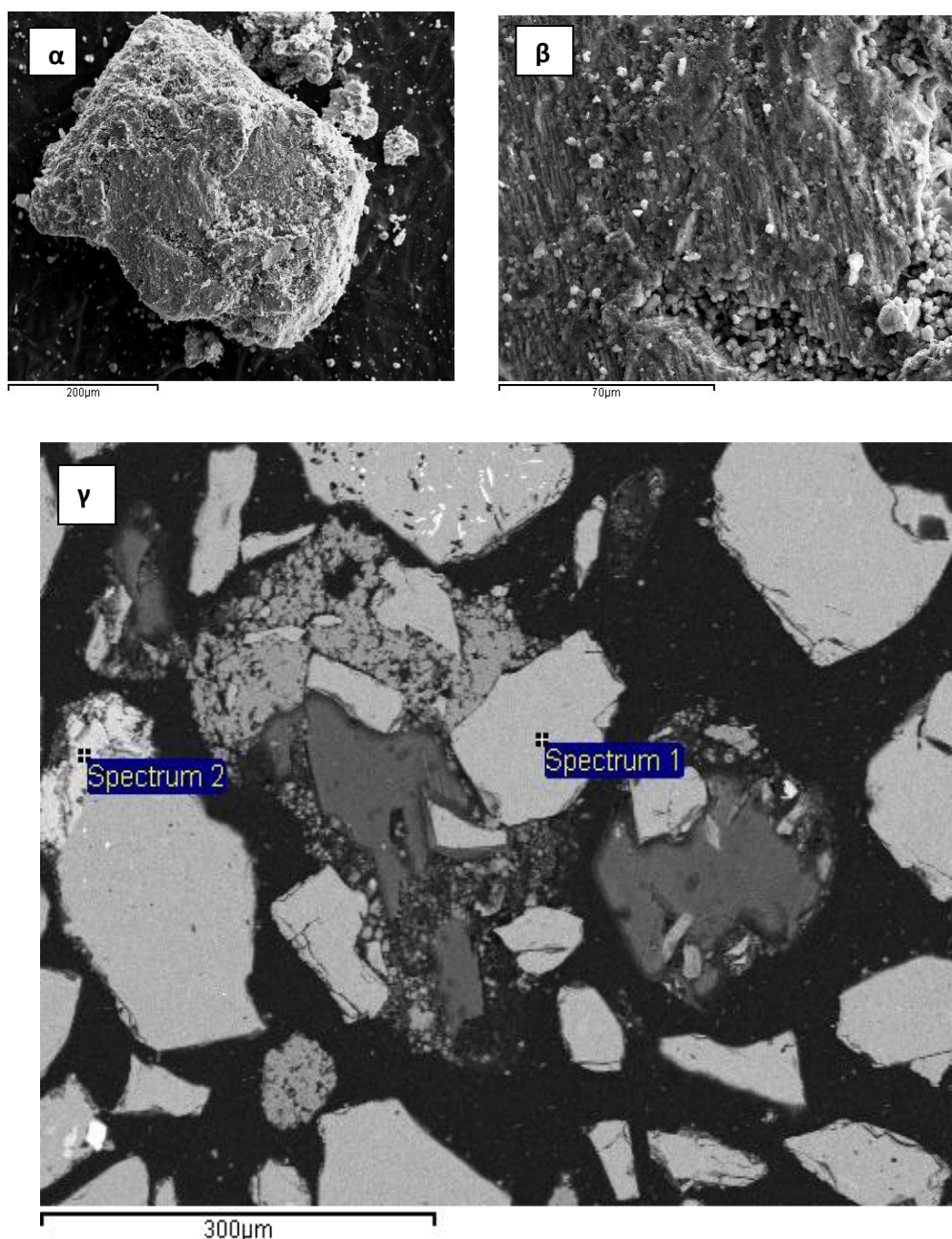
Εικόνα 8.1.2.1. α) Αρσеноπυρίτης κάτω από στερεοσκόπιο και β) κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) γ) Αρσеноπυρίτης και Σιδηροπυρίτης κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.1.2.2. α) Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 και 5) και Αρσеноπυρίτης (Spectrum 2, 3, 4). β) Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 και 2), Αρσеноπυρίτης (Spectrum 3) και Γαληνίτης (Spectrum 4). Εικόνες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.1.3. Σφαλερίτης

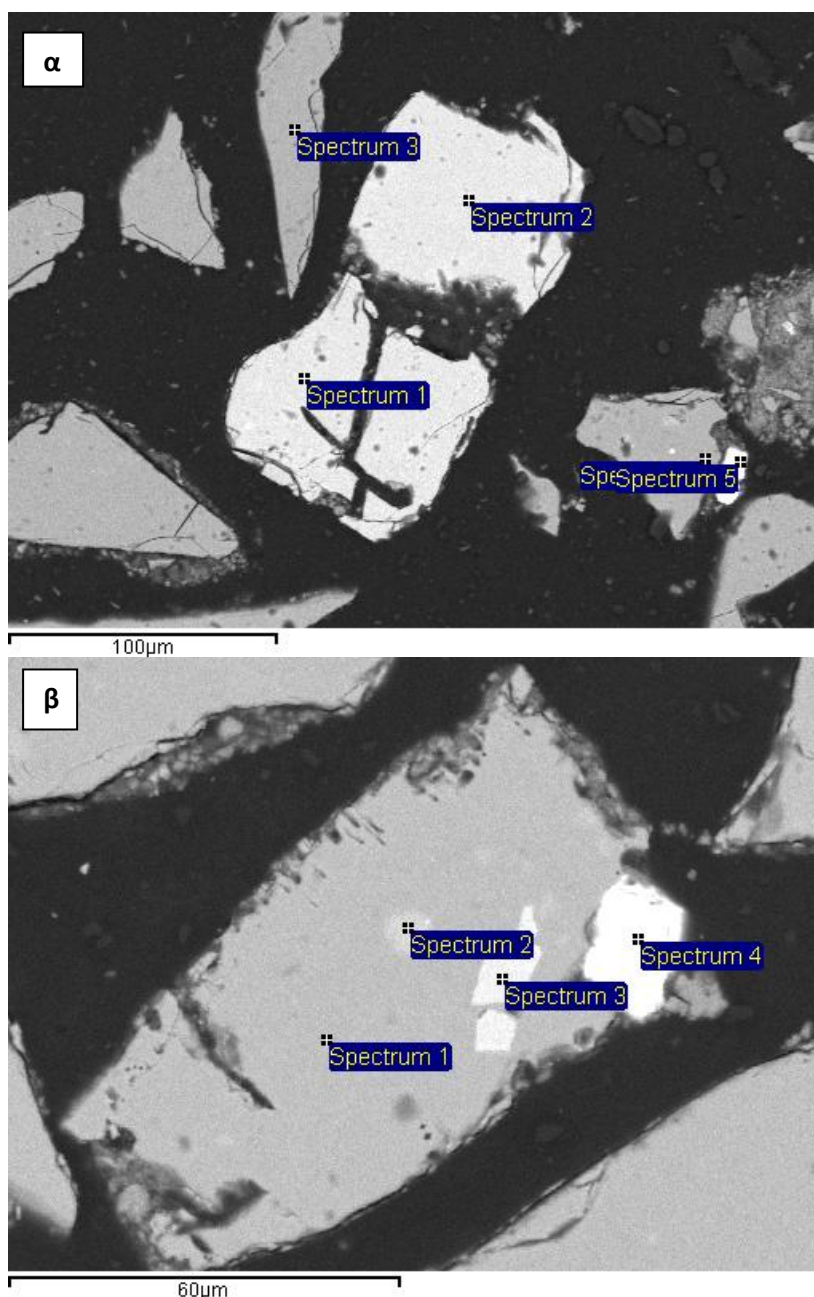
Ο σφαλερίτης (Εικόνα 8.1.3.1.) βρίσκεται σε σύμφυση με σύνδρομα ορυκτά, κυρίως χαλαζία αλλά και σιδηροπυρίτη, γαληνίτη, αρσеноπυρίτη, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.1.3.1. α & β . Οι κρύσταλλοί του είναι υπογωνιώδεις και αλλοτριόμορφοι. Το μέγεθός τους φτάνει μέχρι τα 400μm. Η συγκέντρωσή του είναι μικρή στις αποθέσεις αυτές σύμφωνα με τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις. Σύμφωνα με τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων η περιεκτικότητα των υλικών σε σφαλερίτη είναι έως 11 wt.%, ενώ στο δείγμα ASPY3 1.2 απουσιάζει το συγκεκριμένο ορυκτό.



Εικόνα 8.1.3.1. α) Σφαλερίτης με κρυστάλλους Αρσеноπυρίτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), β) λεπτομέρεια της Εικόνας α, γ) Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1) και Σφαλερίτης (Spectrum 2) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.1.4. Γαληνίτης

Ο γαληνίτης βρίσκεται συνήθως στις αποθέσεις μαζί με σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη και σφαλερίτη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.1.4.1, κυρίως όμως παρουσιάζεται ως έγκλεισμα στα ορυκτά αυτά ή σε άλλα σύνδρομα. Οι κρύσταλλοι του γαληνίτη είναι ακανόνιστοι και έχουν μέγεθος έως 100μm. Το ορυκτό αυτό, όπως και ο σφαλερίτης, βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση στις αποθέσεις της Ολυμπιάδας, ενώ στη μελέτη των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD) δεν εντοπίστηκε.

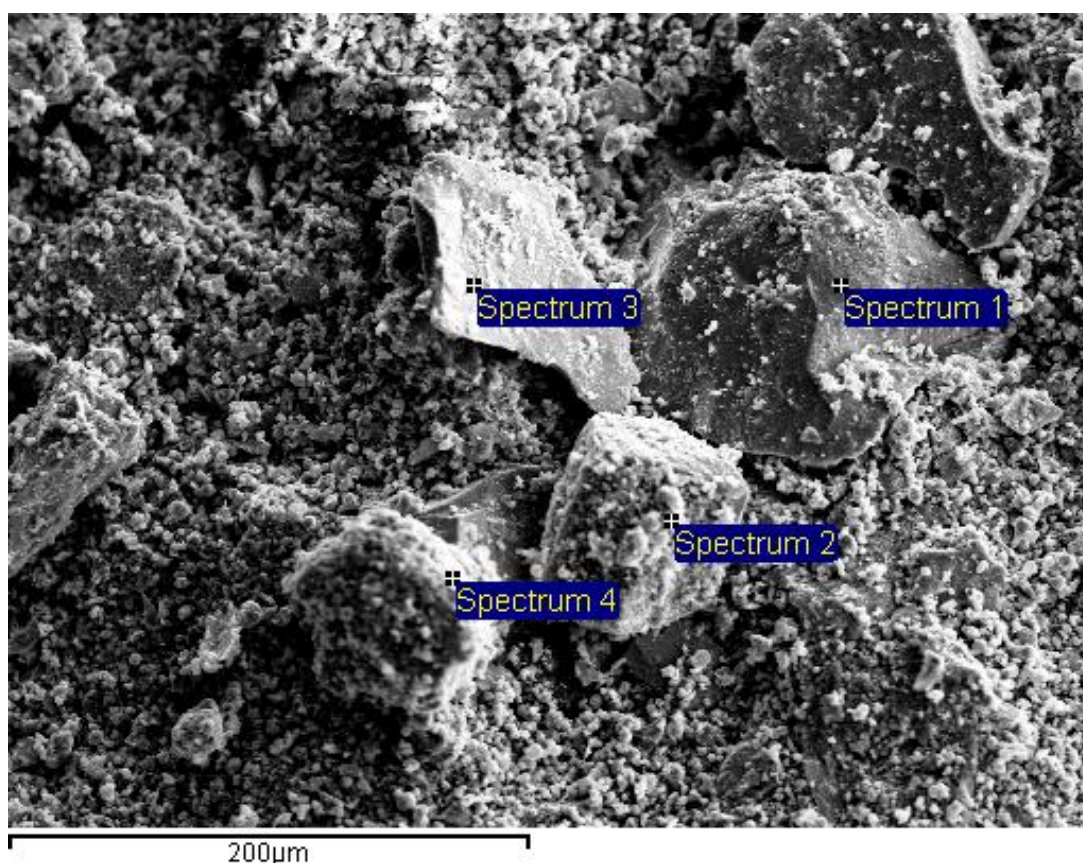


Εικόνα 8.1.4.1. α) Αρσеноπυρίτης (Spectrum 1 και 2), Σιδηροπυρίτης (Spectrum 3 και 4) και γαληνίτης (Spectrum 5). β) Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 και 2), Αρσеноπυρίτης (Spectrum 3) και Γαληνίτης (Spectrum 4). Εικόνες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.2. Ένυδρα Θειικά Άλατα

8.2.1. Γύψος

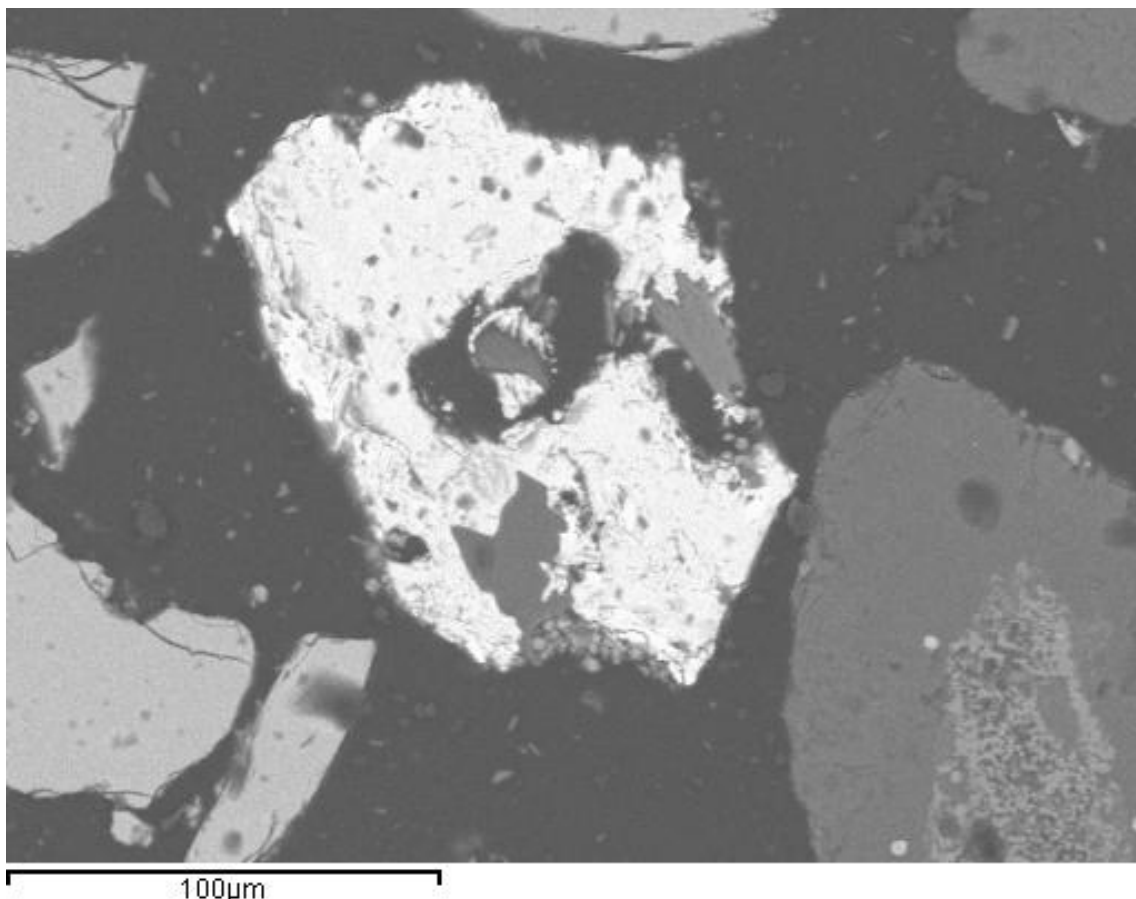
Η γύψος είναι ένα δευτερογενές ορυκτό, το οποίο συναντάται σε δείγματα των τελμάτων αναμειγμένη με σουλφίδια (σιδηροπυρίτης και αρσеноπυρίτης), καθώς και με πυριτικά ορυκτά, όπως ο χαλαζίας. Έχει ιδιόμορφη κρυσταλλική μορφή και είναι συνήθως διαφανής ή ημιδιαφανής. Η γύψος παρουσιάζει συνήθως διδυμία κατά (100). Ο συγκεκριμένος κρύσταλλος (Εικόνα 8.2.1) έχει μέγεθος περίπου 80μm. Σύμφωνα με τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων γύψος προσδιορίστηκε σε ποσοστό 11 wt.% στο δείγμα ASPY3 1.2, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα απουσιάζει.



Εικόνα 8.2.1. Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 και 3), αρσеноπυρίτης & χαλαζίας (Spectrum 2) και γύψος (Spectrum 4), όπως διακρίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.2.2. Βαρύτης

Είναι το πιο διαδεδομένο ορυκτό του Βα και χαρακτηρίζεται από το μεγάλο ειδικό του βάρος. Έχει πλακώδη και πρισματική μορφή. Στις αποθέσεις παρατηρήθηκαν υπογωνιώδεις κρύσταλλοι βαρύτη μεγέθους περίπου 100μm (εικόνα 8.2.2.1.), ο οποίος περιέχει 46,10 % κ.β. Βα, 11,20 % κ.β. S, 6,30% κ.β. Ο και 2,30% κ.β. Sr.



Εικόνα 8.2.2.1. Βαρύτης (το ορυκτό με τα φωτεινά χρώματα στη μέση της εικόνας). Εικόνα από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

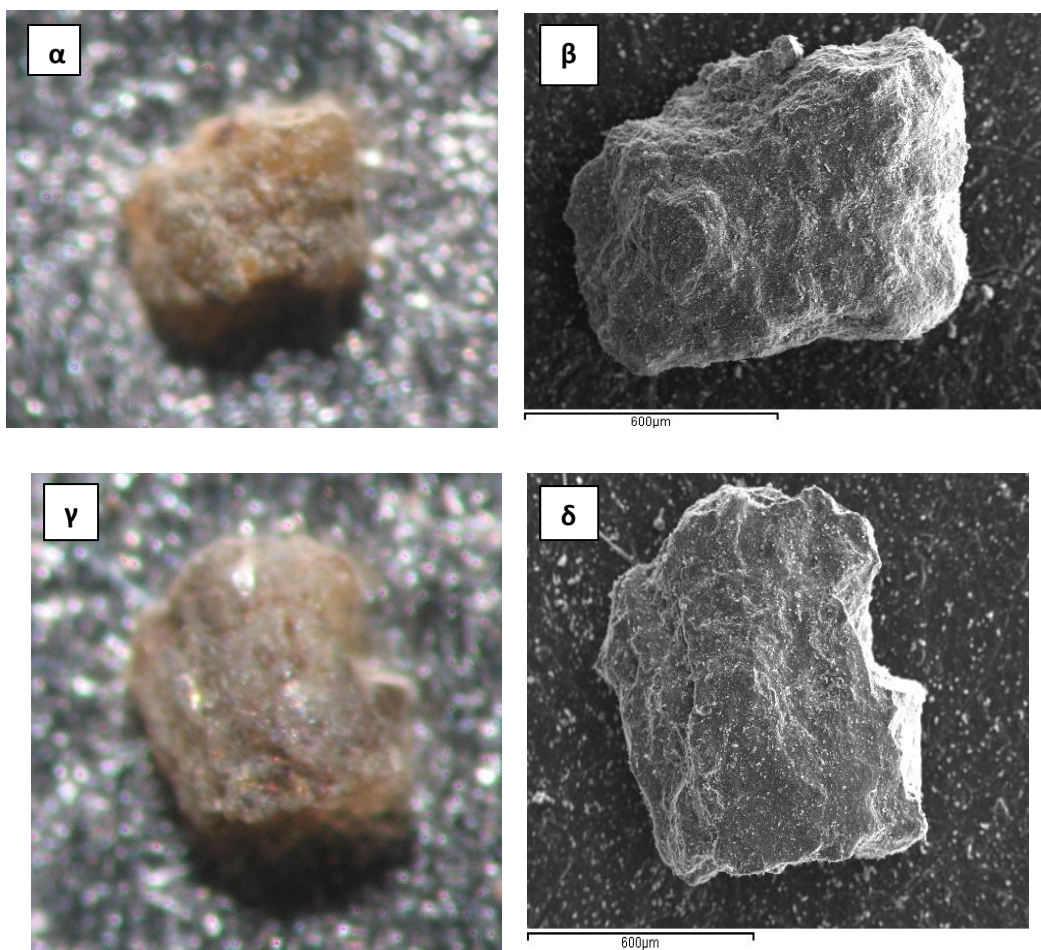
8.2.3. Γιαροσίτης

Ο γιαροσίτης $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ αποτελεί δευτερογενές ορυκτό, το οποίο προέρχεται από την αντικατάσταση του σιδηροπυρίτη. Σύμφωνα με τον Βαβελίδη (1993) συνδέεται κυρίως με τη ζώνη οξείδωσης θειούχων κοιτασμάτων και σχηματίζεται στα κοιτάσματα αυτά από θειούχα διαλύματα σε περιβάλλον με όξινες και οξειδωτικές συνθήκες ιδιαίτερα κατά την οξείδωση του σιδηροπυρίτη. Η παρουσία του εντοπίστηκε κυρίως μακροσκοπικά και με τη χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Γιαροσίτης προσδιορίστηκε σε δύο δείγματα σε περιεκτικότητα έως 13% κ.β. (δείγματα ASPY3 1.2 και ASPY3 3.1), ενώ στα υπόλοιπα δείγματα δεν αναγνωρίστηκε.

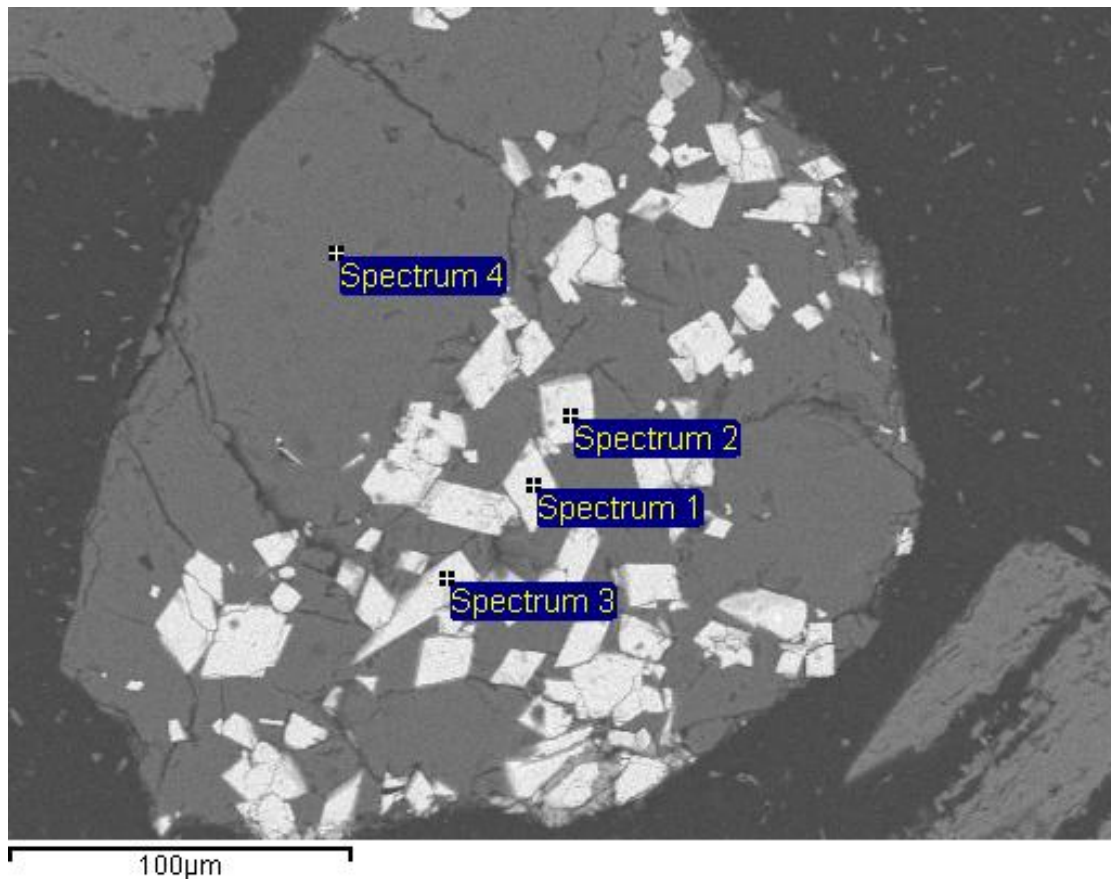
8.3. Πυριτικά Ορυκτά

8.3.1. Χαλαζίας

Οι κρύσταλλοι του χαλαζία βρίσκονται σχεδόν σε όλη την μάζα των παλαιών αποθέσεων. Το μέγεθός τους δεν ξεπερνά τα 2mm και το σχήμα τους είναι ακανόνιστο με γωνιώδεις απολήξεις. Το χρώμα τους είναι διαφανές καστανέρυθρο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.3.1.1.. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε χαλαζία κυμαίνεται μεταξύ 7 και 59% κ.β.



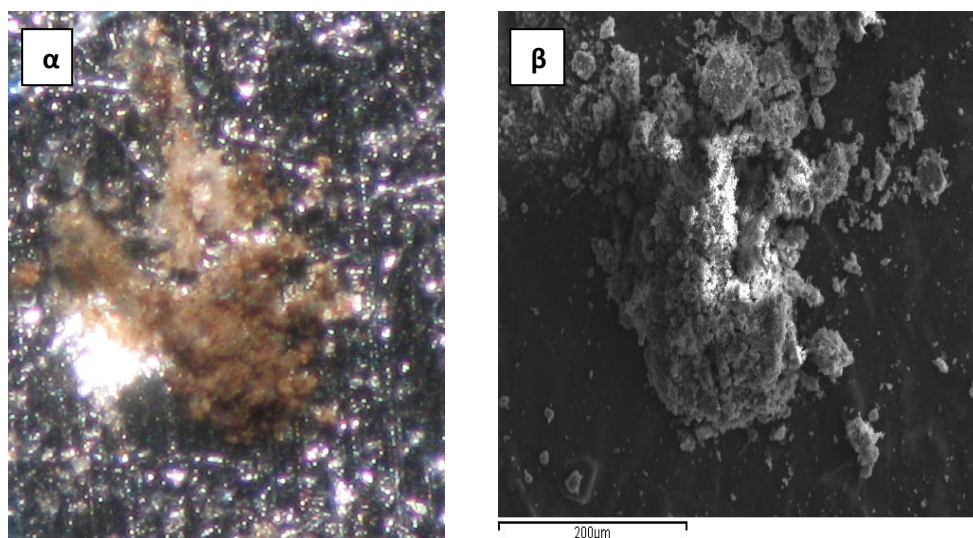
Εικόνα 8.3.1.1. α) και γ) Χαλαζίας κάτω από στερεοσκόπιο, β) και δ) κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.3.1.2. Χαλαζίας (Spectrum 1,2,3) με αρσеноπυρίτη (Spectrum 4). Εικόνα από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.2. Καολίνης

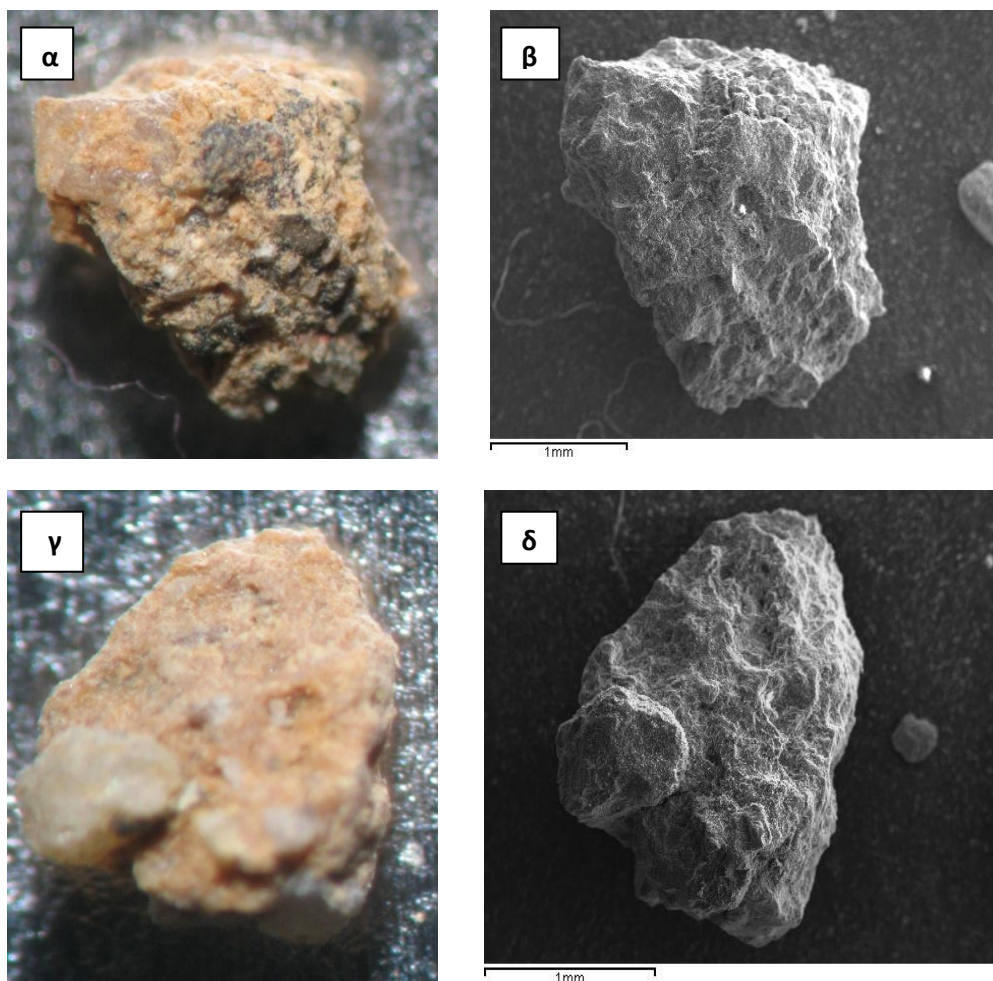
Σχηματίζεται από την εξαλλοίωση των αστρίων και γι'αυτό αποτελεί ένα δευτερογενές ορυκτό των αποθέσεων αυτών.



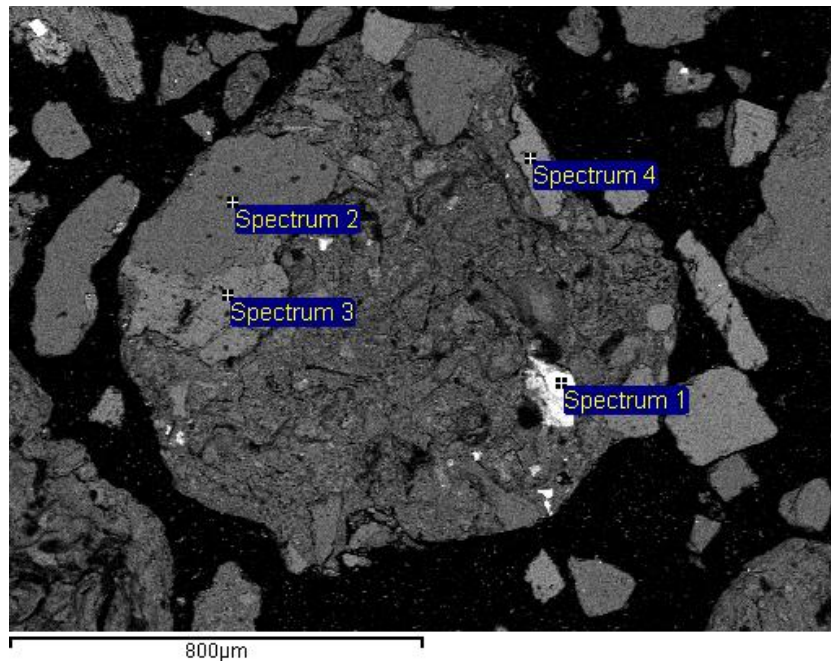
Εικόνα 8.3.2.1. α) Καολίνης κάτω από στερεοσκόπιο, β) κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.3. Άστριοι

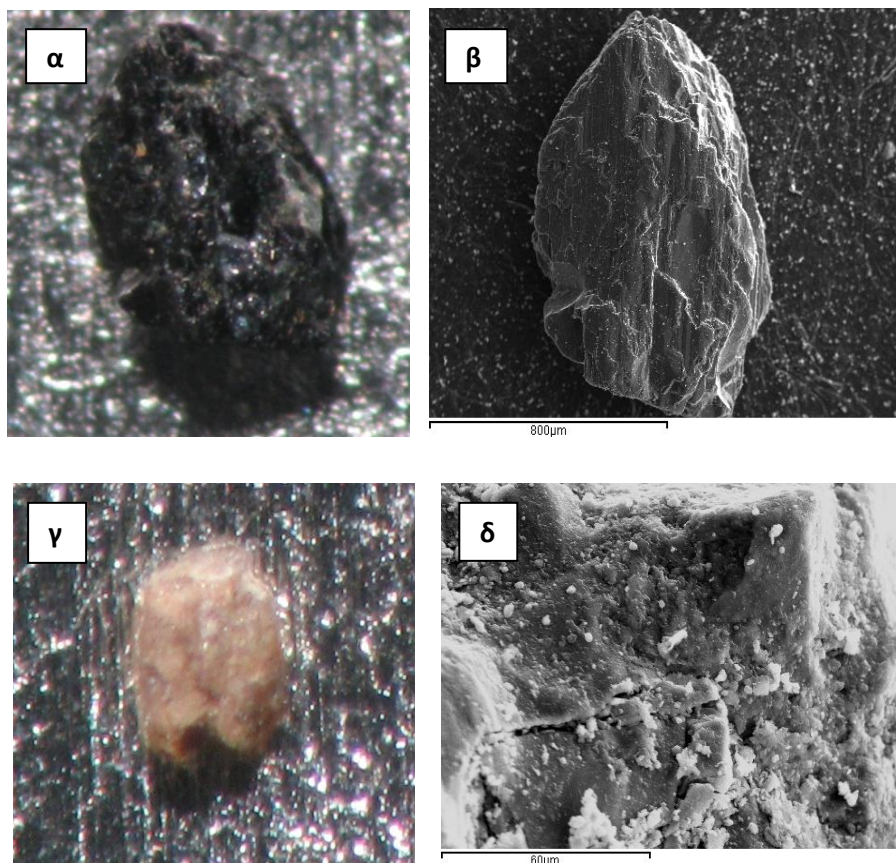
Από τις μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις, καθώς επίσης τη μελέτη κάτω από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης βγαίνει το συμπέρασμα ότι οι άστριοι των παλαιών αποθέσεων είναι κυρίως πλαγιόκλαστο (κυρίως αλβίτης) και μικροκλινής. Οι άστριοι έχουν μέγεθος μέχρι 1mm και είναι αλλοτριόμορφοι και υπογωνιώδεις. Στις αποθέσεις αυτές βρίσκονται ως μεμονωμένοι κρύσταλλοι, αλλά και ως συσσωματώματα μαζί με σιδηροπυρίτη, χαλαζία και ασβεστίτη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.3.3.2. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έδειξε ότι η περιεκτικότητα των υλικών σε πλαγιόκλαστο κυμαίνεται από 3 έως 20% κ.β. και σε μικροκλινή από 12 έως 27% κ.β.



Εικόνα 8.3.3.1. α) Άστριος που πιθανόν να έχει υποστεί αλλοίωση κάτω από στερεοσκόπιο, β) κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). γ) μεικτή φάση αστρίου με καολίνη κάτω από στερεοσκόπιο, δ) κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



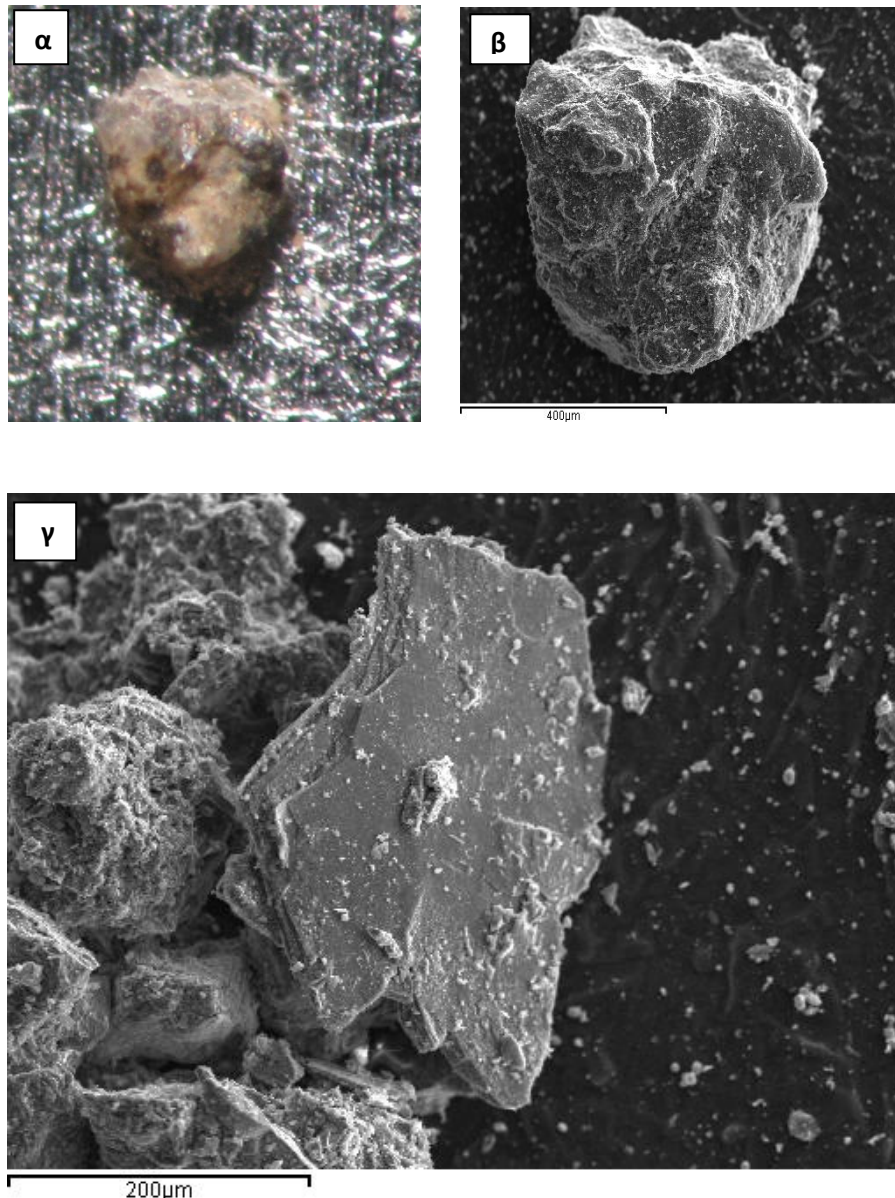
Εικόνα 8.3.3.2. Συσσωμάτωμα Σιδηροπυρίτη (Spectrum 1), χαλαζία (Spectrum 2), αστρίου (Spectrum 3), ασβεσίτη (Spectrum 4). Εικόνα από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.3.3.3. α) Πλαγιόκλαστο στο στερεοσκόπιο, β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). γ) άστριος με χαλαζία και πλαγιόκλαστο στο στερεοσκόπιο, δ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.4. Μαρμαρυγίες (Βιοτίτης)

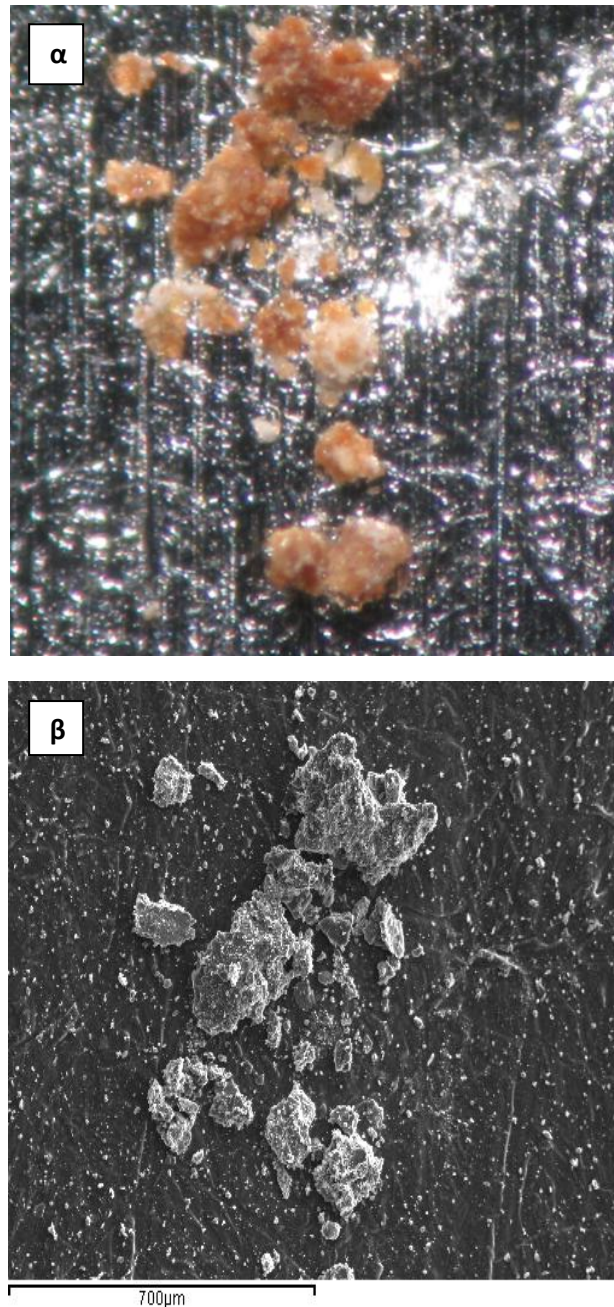
Οι κρύσταλλοι βιοτίτη βρίσκονται στις αποθέσεις σε διάφορα μεγέθη, που φτάνουν μέχρι τα 250 μm , όπως φαίνεται στην εικόνα 8.3.4.1 γ. Σύμφωνα με τις μικροανάλυσεις του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) ο βιοτίτης αποτελείται από MgO (0.67 έως 1.17 wt.%), Al_2O_3 (1.11 έως 1.56 wt.%), SiO_2 (2.63 έως 2.78 wt.%), K_2O (0.11 έως 0,79 wt.%), TiO_2 (0.08 έως 0,28 wt.%), FeO (0,71 έως 1.06 wt.%), SO_3 (0,11 έως 0,13 wt.%), CaO 0,02 wt.% και Cr_2O_3 0,01 wt.%). Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων έδειξε ότι η περιεκτικότητα των υλικών σε βιοτίτη είναι από 1 wt.% έως 6 wt.%, ενώ στα δείγματα ASPY3 1.2 και ASPY3 3.1 απουσιάζει.



Εικόνα 8.3.4.1. α) Συσσωμάτωμα Βιοτίτη στο στερεοσκόπιο, β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). γ) Λεπτομέρεια της εικόνας (β).

8.3.5. Χλωρίτης

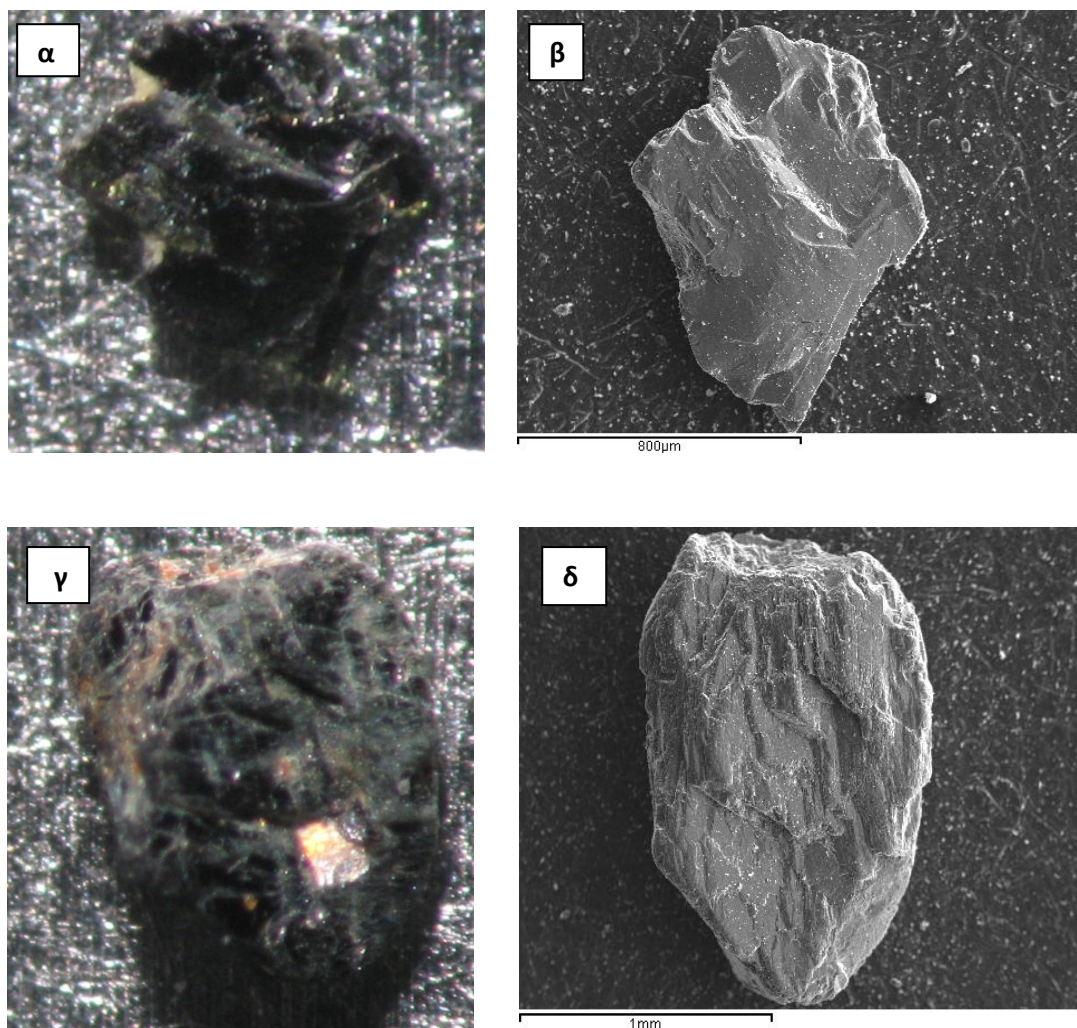
Ο χλωρίτης είναι φυλλόμορφο δευτερογενές ορυκτό (Εικόνα 8.3.5.1), που συναντάται στις παλαιές αποθέσεις Αρσеноπυρίτη της Ολυμπιάδας. Λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε Fe χαρακτηρίζεται μη οξειδωμένος. Πιθανόν προέρχεται από υδροθερμική αλλοίωση σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών, όπως είναι ο βιοτίτης, οι πυρόξενοι και οι αμφίβολοι.



Εικόνα 8.3.5.1. α) Χλωρίτης στο στερεοσκόπιο, β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.6.Αμφίβολοι

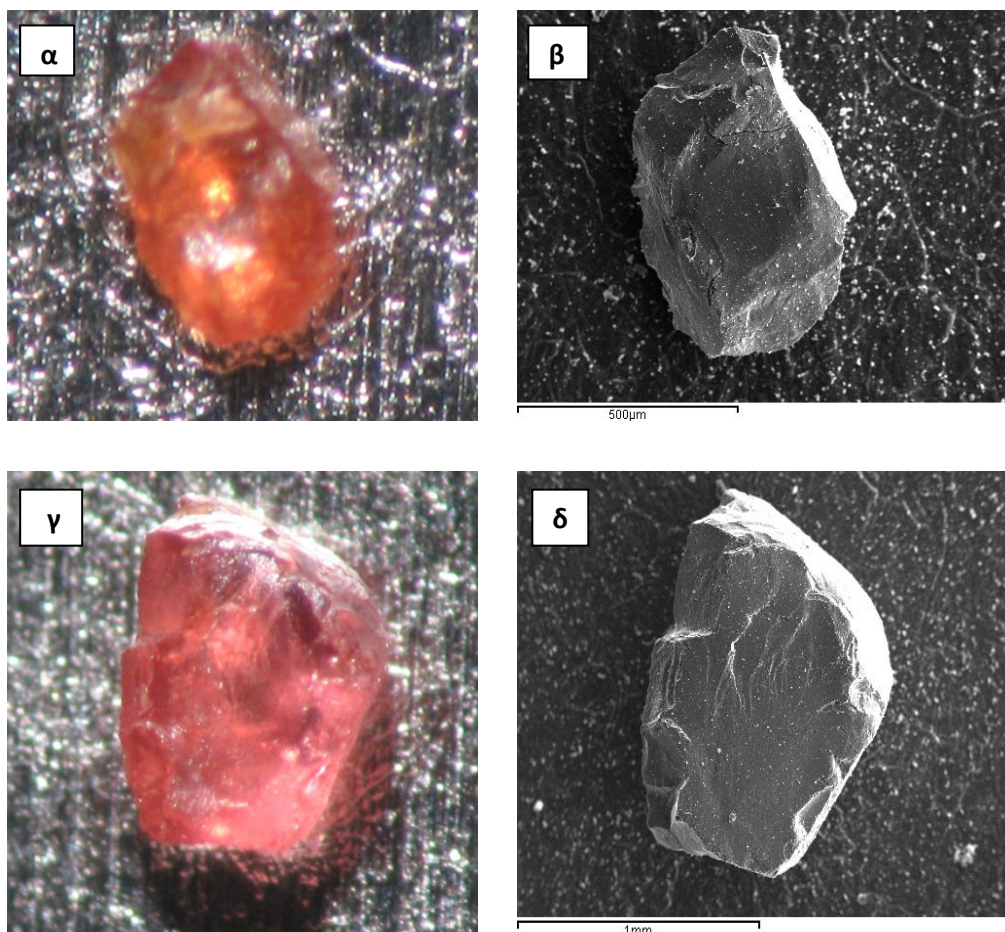
Οι κρύσταλλοι των αμφιβόλων είναι γωνιώδεις με υποπράσινο χρώμα και το μέγεθός τους δεν ξεπερνά το 1mm, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.3.6.1 . Σύμφωνα με τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων η περιεκτικότητα των εξεταζόμενων δειγμάτων σε αμφίβολο κυμαίνεται από 1 έως 4% κ.β., ενώ στα δείγματα ASPY3 1.1 και ASPY3 1.2 δεν αναγνωρίστηκε.



Εικόνα 8.3.6.1. α) και γ) Αμφίβολος στο στερεοσκόπιο, β) και δ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.7. Γρανάτες

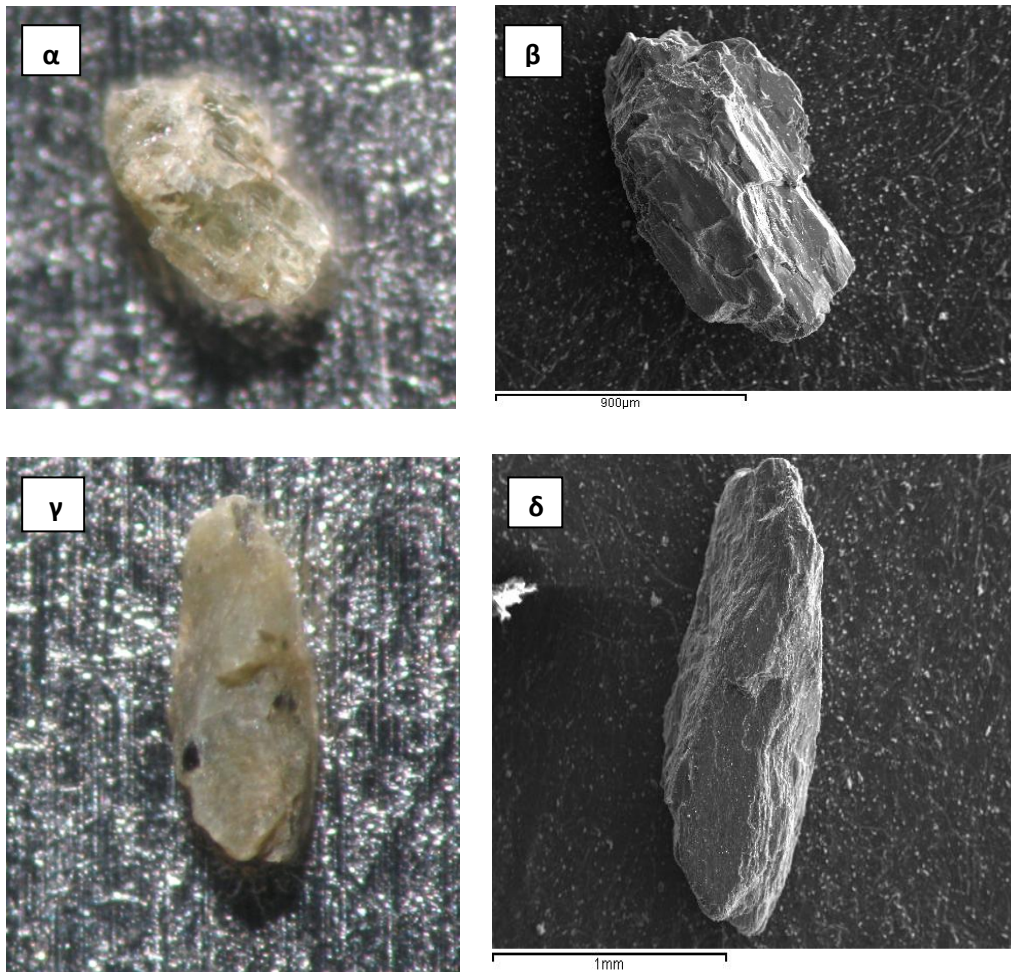
Ο γρανάτης που παρατηρήθηκε στις αποθέσεις έχει μέγεθος περίπου 1mm και είναι πλούσιος σε FeO (1,22 έως 1,65% κ.β.) και Al_2O_3 1,56 % κβ.. Οι κρύσταλλοί του είναι υπιδιόμορφοι και ερυθρού χρώματος (Εικόνα 8.3.7.1). Από τη μελέτη των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD) δεν αναγνωρίστηκε γρανάτης.



Εικόνα 8.3.7.1. α) και γ) Γρανάτης στο στερεοσκόπιο, ενώ β) και δ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.8. Πυρόξενοι

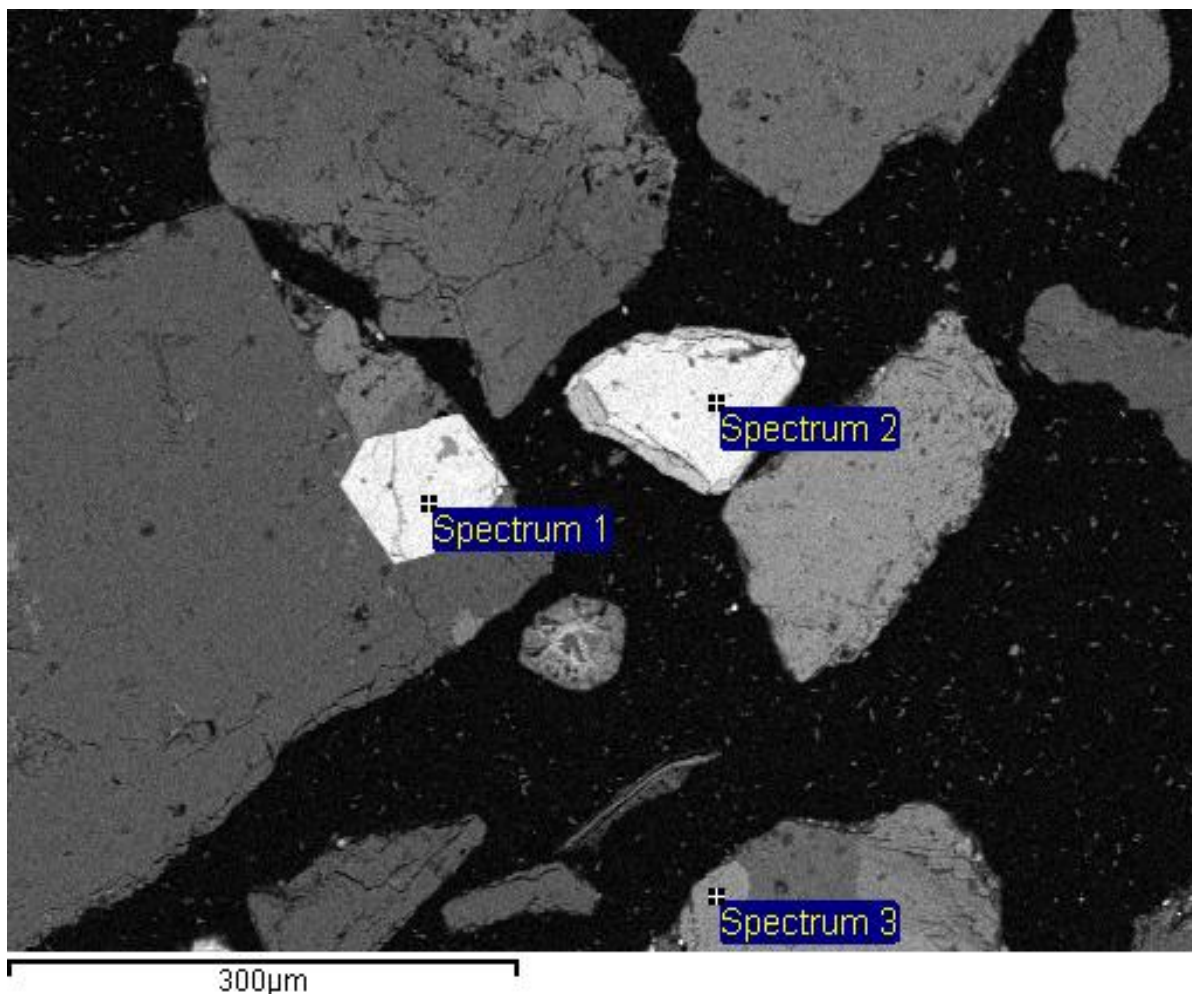
Κρύσταλλοι πυροξένων που παρατηρήθηκαν στα δείγματα είναι πλούσιοι σε CaO 1,28% κ.β. και MgO 1,33% κ.β.. Είναι κόκκοι γωνιώδεις και επιμήκεις με σχισμό και το μέγεθός τους φτάνει μέχρι το 1mm (εικόνα 8.3.8.1). Σύμφωνα με τις μικροσκοπικές παρατηρήσεις και τις μικροαναλύσεις πρόκειται για διοψίδιο ($CaMgSi_2O_6$). Σύμφωνα με τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων η περιεκτικότητα σε διοψίδιο σε όλα τα εξεταζόμενα είναι 1% κ.β., εκτός του δείγματος ASPY3 1.2 στο οποίο δεν αναγνωρίστηκε πυρόξενο.



Εικόνα 8.3.8.1. α) και γ) Πυρόξενος στο στερεοσκόπιο, ενώ β) και δ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.3.9.Τιτανίτης

Ο τιτανίτης είναι ένα επουσιώδες ορυκτό πλούσιο σε CaO 1,93% κ.β. και TiO_2 1,82% κ.β. Το ορυκτό αυτό, βρίσκεται σε μικρή συγκέντρωση στις αποθέσεις της Ολυμπιάδας, ενώ κατά τη μελέτη των δειγμάτων με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD) δεν αναγνωρίστηκε. Στην εικόνα 8.3.9.1 ο τιτανίτης συνυπάρχει με κρυστάλλους σιδηροπυρίτη.

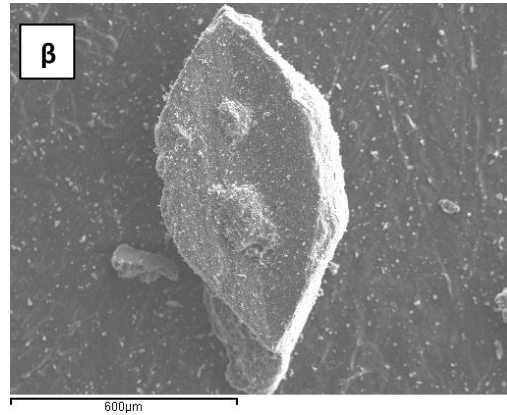


Εικόνα 8.3.9.1. Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 & 2) και Τιτανίτης (Spectrum 3). Εικόνα κάτω από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

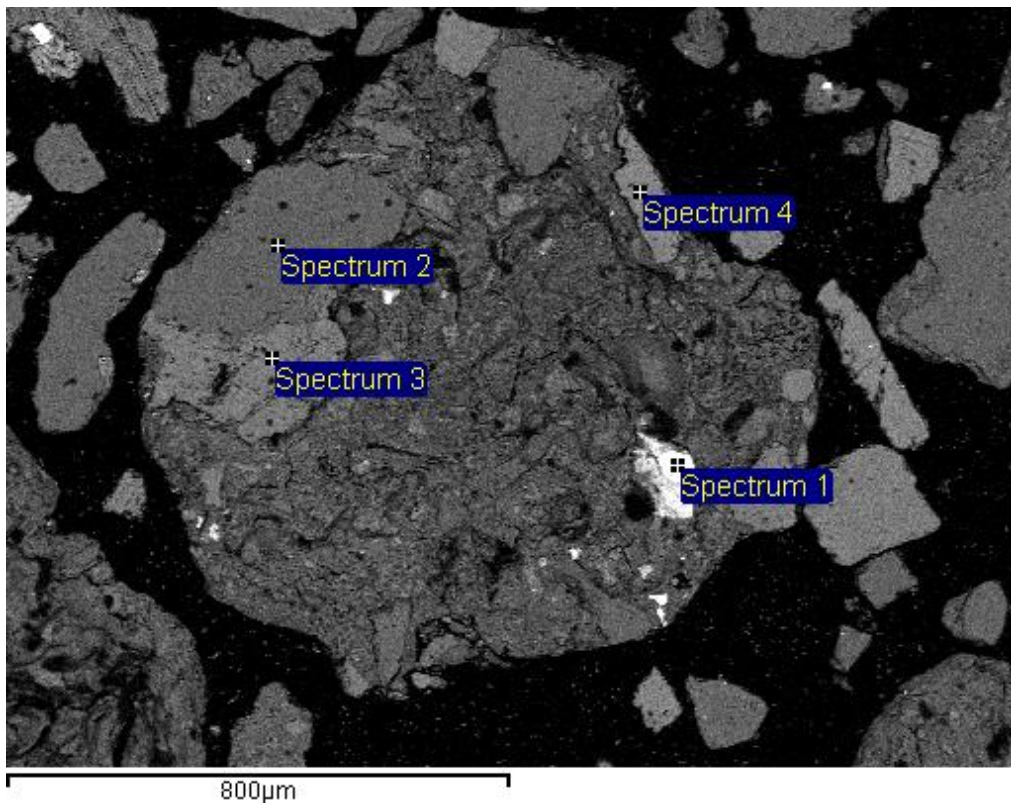
8.4. Ανθρακικά

8.4.1. Ασβεστίτης

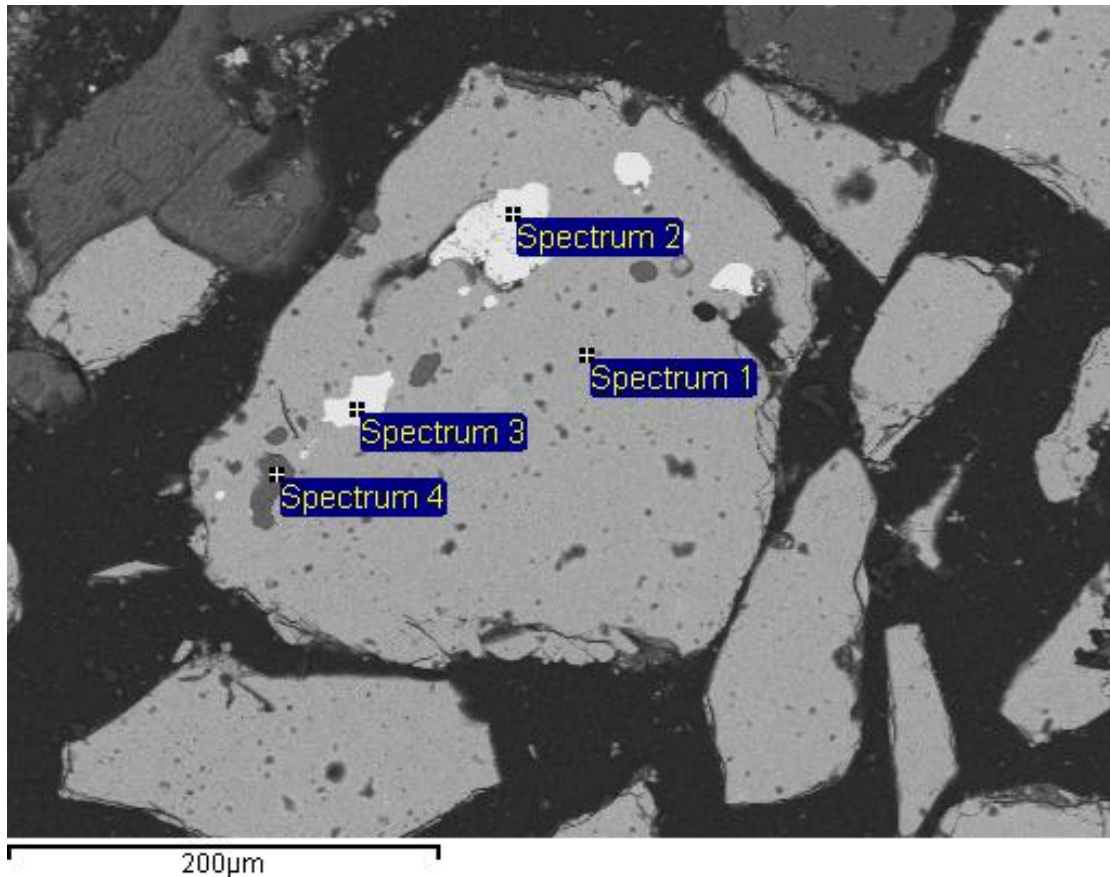
Ο ασβεστίτης εντοπίζεται σχεδόν σε όλα τα δείγματα που μελετήθηκαν. Έχει τη μορφή ακανόνιστων κυρίως γωνιωδών κόκκων, των οποίων το μέγεθος φτάνει μέχρι τα 600µm, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.4.1.1. Στις εικόνες 8.4.1.2 και 8.4.1.3 εντοπίστηκε σε συσσωματώματα μαζί με σιδηροπυρίτη, χαλαζία, άστριο και γαληνίτη.



Εικόνα 8.4.1.1. α) Ασβεστίτης στο στερεοσκόπιο, ενώ β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



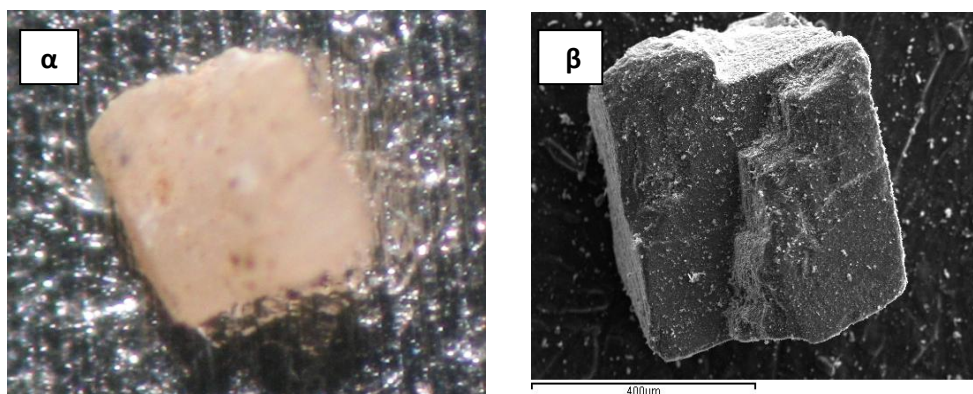
Εικόνα 8.4.1.2. Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1), χαλαζίας (Spectrum 2), άστριος (Spectrum 3) και ασβεστίτης (Spectrum 4). Εικόνα από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.4.1.3. Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1), γαληνίτης (Spectrum 2 και 3) και ασβεστίτης (Spectrum 4). Εικόνα από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.4.2. Δολομίτης

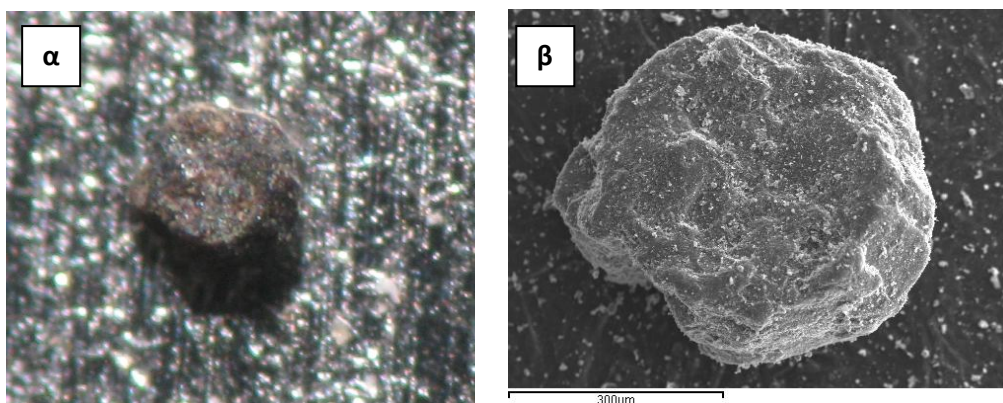
Ο δολομίτης είναι γωνιώδης με σπασίματα και έχει μέγεθος μέχρι 400μm, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.4.2.1.



Εικόνα 8.4.2.1. α) Δολομίτης στο στερεοσκόπιο, ενώ β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.4.3. Ροδοχρωσίτης

Ο ροδοχρωσίτης εντοπίζεται ως σύνδρομο ορυκτό της μεταλλοφορίας Pb-Zn-Au- Ag των συγκεκριμένων αποθέσεων της Ολυμπιάδας. Στα μελετηθέντα δείγματα προσδιορίστηκε κυρίως με το μεταλλογραφικό και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), ενώ με την περιθλασιμετρία ακτίνων Χ (XRD) δεν εντοπίστηκε. Ο χημικός του τύπος είναι $MnCO_3$. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.4.3.1, το μέγεθός του φτάνει τα 300 μm και παρουσιάζεται υπογωνιώδες και ακανόνιστος ως κόκκος.

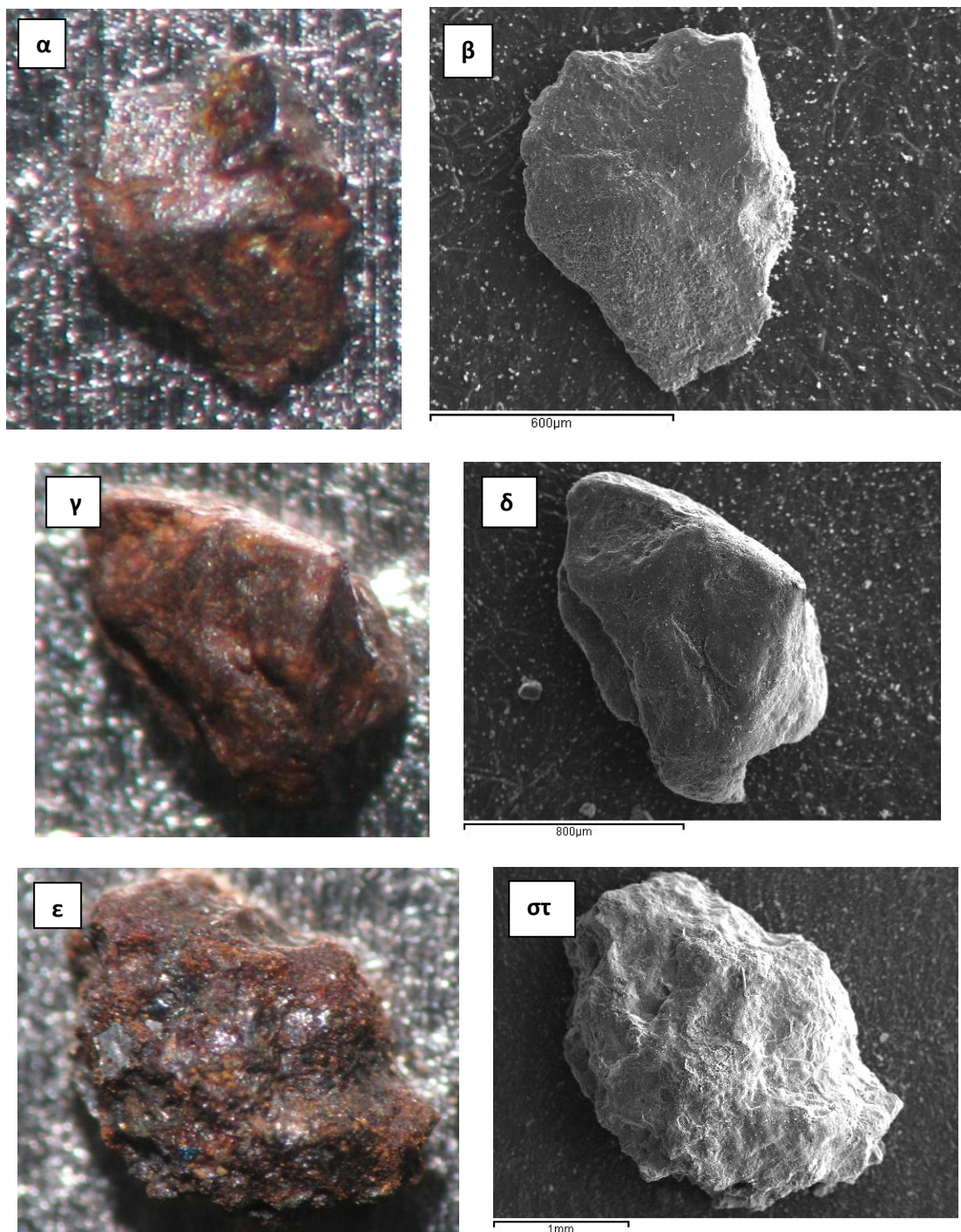


Εικόνα 8.4.3.1. α) Ροδοχρωσίτης στο στερεοσκόπιο, ενώ β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.5. Οξειδία-υδροξείδια του σιδήρου

Ο μαγνητίτης [$Fe^{2+}Fe^{3+}O_4$], ο γκαιτίτης [$Fe^{3+}O(OH)$] και ο αιματίτης [Fe_2O_3] είναι ορυκτά που προέρχονται από την οξείδωση των σουλφιδίων. Τα συγκεκριμένα ορυκτά προσδιορίστηκαν στα δείγματα των αποθέσεων του ρέματος Μαυρόλακκα κάτω από το μεταλλογραφικό και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Σύμφωνα με τους Kalogeropoulos et al. (1989b) ο μαγνητίτης προέρχεται είτε από τη μεταλλοφορία Pb- Zn-Au-Ag της Ολυμπιάδας είτε από τους αμφιβολιτικούς γνευσίους της σειράς Κερδυλίων που περιέχουν μαγνητίτη. Ο αιματίτης ωστόσο αποτελεί προϊόν οξείδωσης του μαγνητίτη.

Από τις μικροαναλύσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM-EDS) φαίνεται ότι τα οξειδία-υδροξείδια στα εξεταζόμενα δείγματα αποτελούνται κυρίως από Fe (34,70 έως 77,70% κ.β.), Mn (2,35 έως 29,15% κ.β.), O (6,65 έως 34,70% κ.β.), Si (2,10 έως 17,40% κ.β.), Ca (1,50 έως 1,70% κ.β.), Al (1,70 έως 4,75% κ.β.), K (1,10% κ.β.), Zn (3,15% κ.β.), As (7,05 έως 8,55% κ.β.), Sb (4,00% κ.β.) και S (1,15% κ.β.). Το μέγεθος των κόκκων φτάνει το 1mm, ενώ το σχήμα είναι ακανόνιστο με γωνιώδεις απολήξεις.

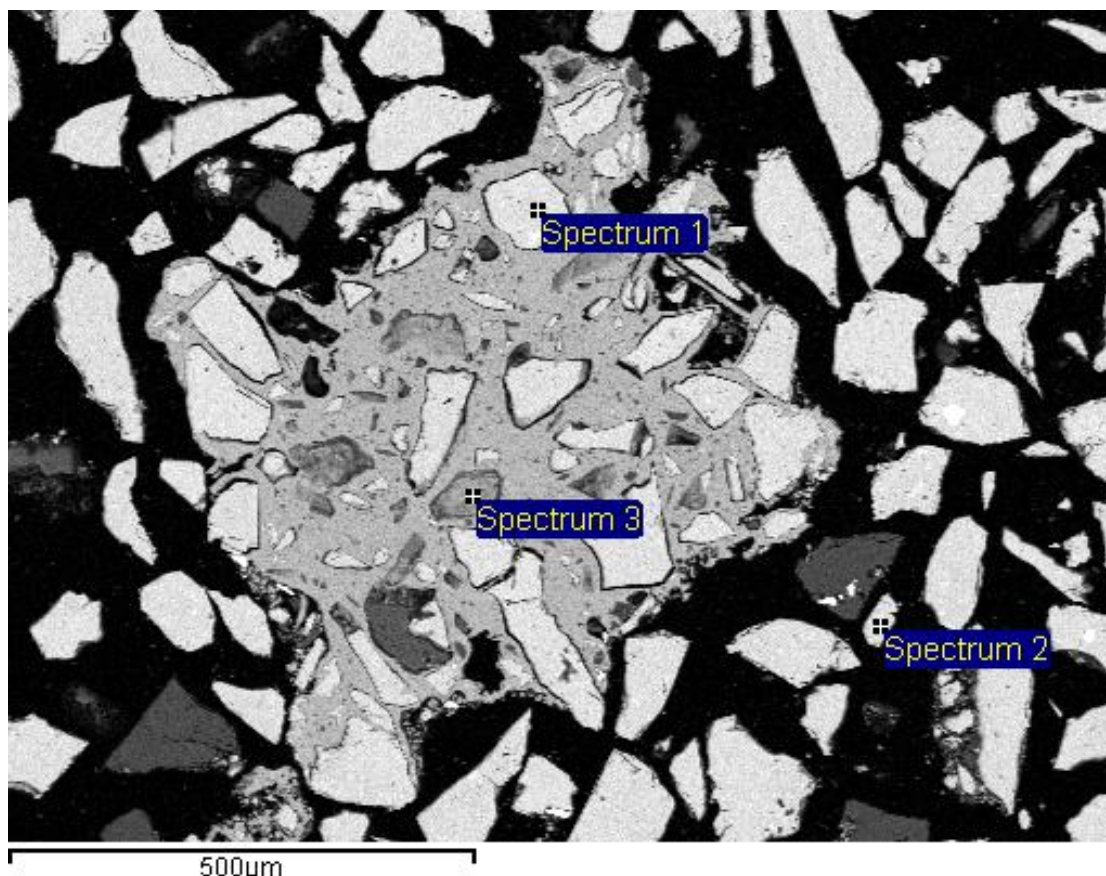


Εικόνα 8.5.1. α), γ) και ε) Οξειδία-υδροξειδία Fe στο στερεοσκόπιο, ενώ β), δ) και στ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.5.1.Σκοροδίτης

Ο σκοροδίτης έχει χημικό τύπο $\text{Fe}(\text{AsO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ και είναι δευτερογενές ορυκτό (ένυδρο αρσενικό αλάς του σιδήρου), το οποίο σχηματίστηκε στις ζώνες οξείδωσης σουλφιδίων (κυρίως μικτών θειούχων) που περιέχουν αρσеноπυρίτη. Το εν λόγω ορυκτό δεν συμπεριλαμβάνεται στα στερεά απόβλητα στην περιοχή Ολυμπιάδας, μαζί με άλλα ορυκτά. Η μορφή του και το σχήμα του ακολουθούν τη μορφή και το σχήμα του αρσеноπυρίτη. Έχει μέγεθος μέχρι τα 250μm και σχήμα

ακανόνιστο ή ιδιόμορφο. Επίσης, όπως και ο αρσеноπυρίτης, έτσι και ο σκοροδίτης παρουσιάζει κατακλαστική υφή. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε σκοροδίτη είναι 3% κ.β. και 12% κ.β. στα δείγματα ASPY3 3.1 και ASPY3 1.2 αντίστοιχα, ενώ στα υπόλοιπα δείγματα δεν αναγνωρίστηκε.

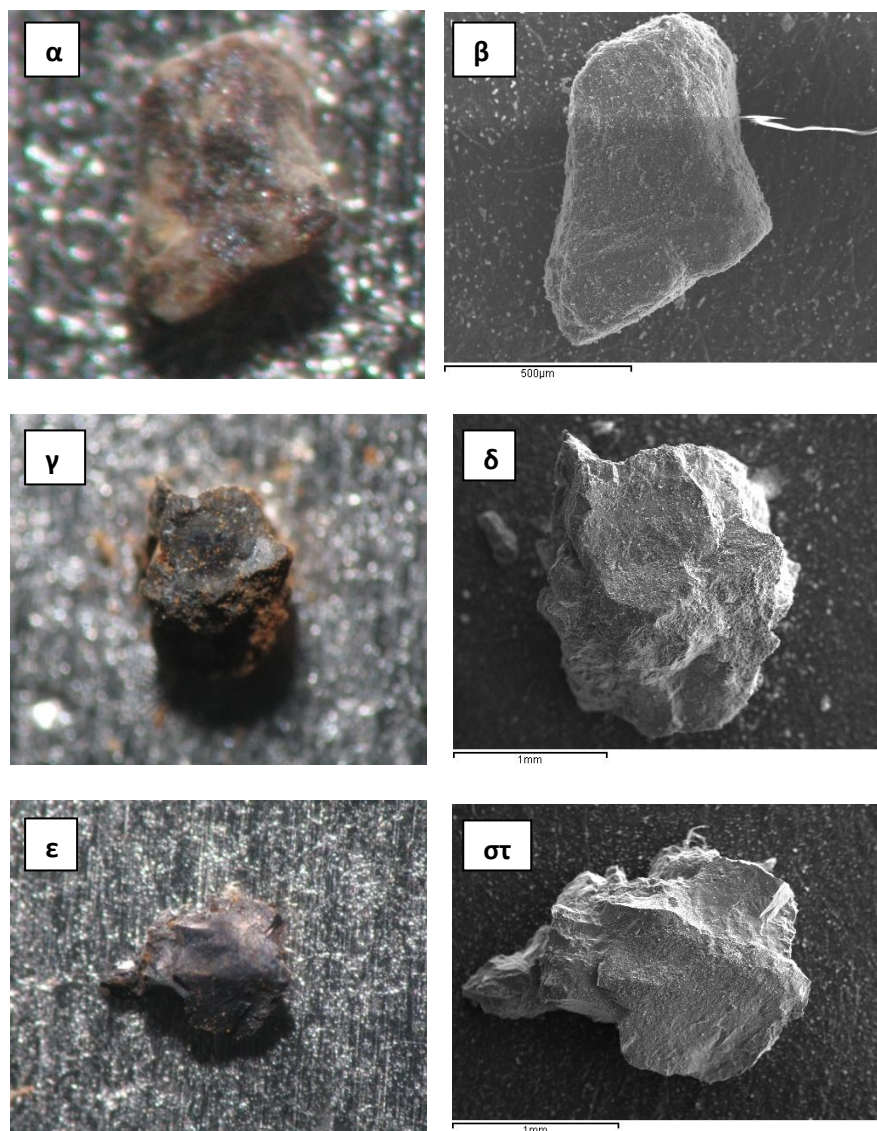


Εικόνα 8.5.1.1. Σιδηροπυρίτης (Spectrum 1 και 2) και σκοροδίτης (Spectrum 3) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

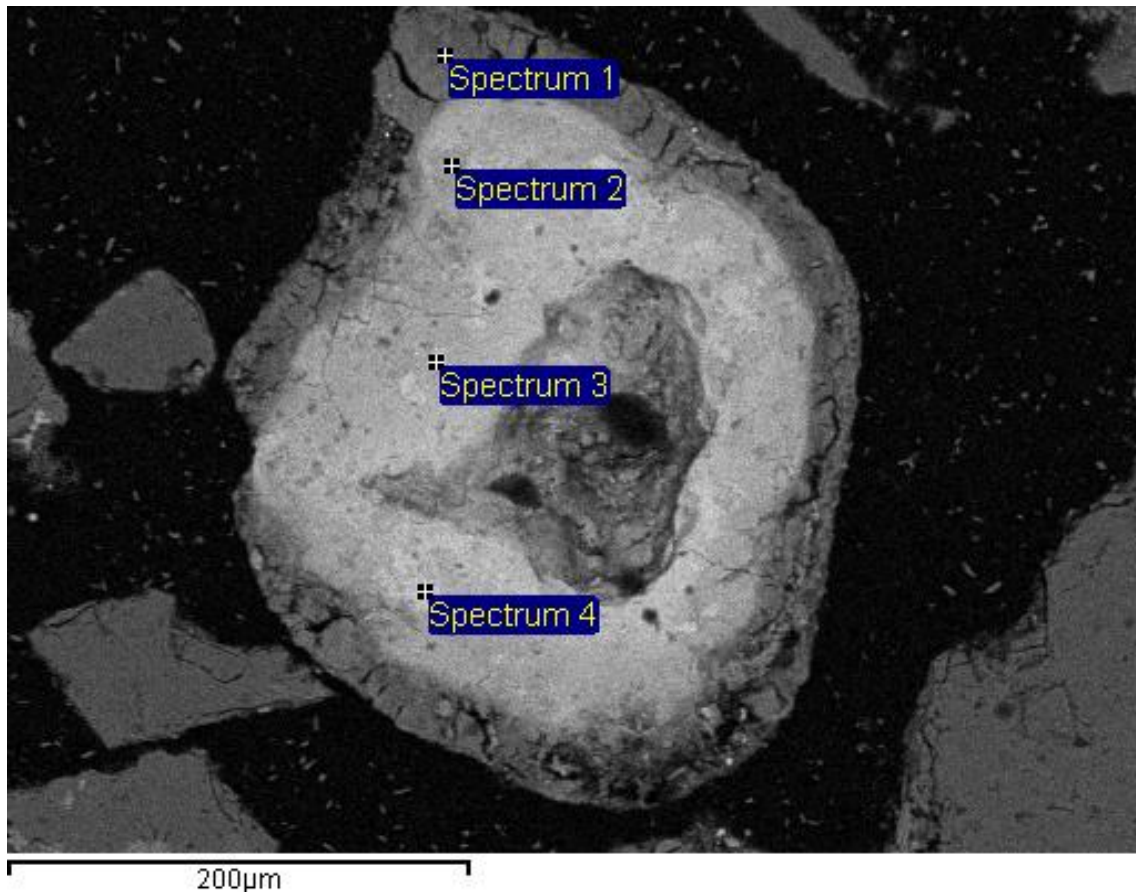
8.6.Οξείδια-υδροξείδια του μαγγανίου

Τα οξείδια-υδροξείδια του Mn στα μελετηθέντα δείγματα προσδιορίστηκαν κυρίως με το μεταλλογραφικό και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), ενώ με την περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD) δεν εντοπίστηκαν κορυφές των ορυκτών των οξειδίων-υδροξειδίων Mn, λόγω της μικρής συμμετοχής τους. Η χημική σύσταση, όπως προέκυψε από μικροανάλυσεις (SEM-EDS) στα δείγματα που μελετήθηκαν δείχνει ότι αποτελείται κυρίως από Mn (45,46 έως 77,45% κ.β.), O (22,11 έως 29,21% κ.β.), Si (1,23 έως 7,79% κ.β.), Fe (3,39 έως 5,55% κ.β.), Ca (1,06 έως 5,02% κ.β.), Al (1,97 έως 12,01% κ.β.), K (1,12 έως 3,44% κ.β.), Zn (4,30 έως 6,85% κ.β.), As (2,83% κ.β.), Ba (3,65% κ.β.), Ti (1,34% κ.β.) και S (1,57% κ.β.). Στην εικόνα 8.6.2. παρατηρείται ρυθμική απόθεση των

οξειδίων του μαγγανίου. Το μέγεθος των κόκκων φτάνει το 1,5μm, ενώ το σχήμα τους χαρακτηρίζεται από γωνιώδες μέχρι υπογωνιώδες (Εικόνα 8.6.1).



Εικόνα 8.6.1. α), γ) και ε) Κόκκοι οξειδίων-υδροξειδίων Mn στο στερεοσκόπιο, ενώ β), δ) και στ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

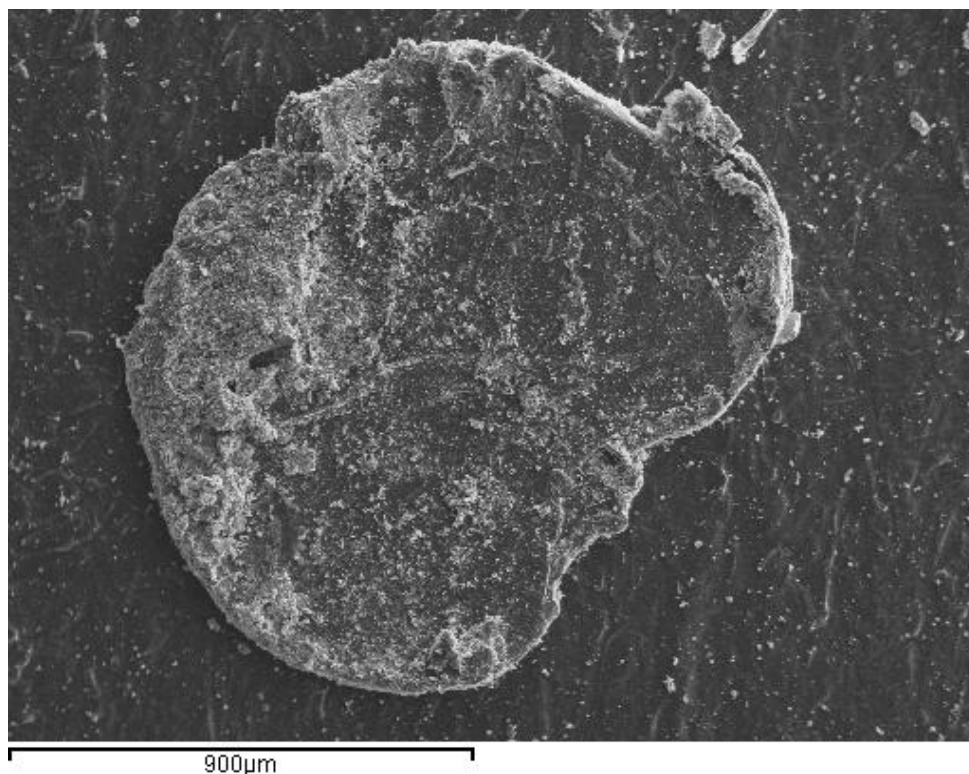


Εικόνα 8.6.2. Ρυθμική απόθεση οξειδίων-υδροξειδίων Μn. Στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.7. Αυτοφυή ορυκτά

8.7.1. Γραφίτης

Ο γραφίτης είναι αυτοφυές ορυκτό του άνθρακα C, ο οποίος εμφανίζεται συνήθως σε φυλλώδεις μάζες, λέπια και συμπαγείς βόλους και σπανιότερα σε στηλοειδή, ακτινωτά συσσωματώματα. Στα δείγματα εμφανίζεται μαζί με σουλφίδια, όπως σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη, καθώς και με λίγους κόκκους χαλαζία, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.7.1.1. Το συσσωμάτωμα που μελετήθηκε έχει μέγεθος περίπου 900μm και σχήμα υποστρόγγυλο και πεπλατυσμένη μορφή.



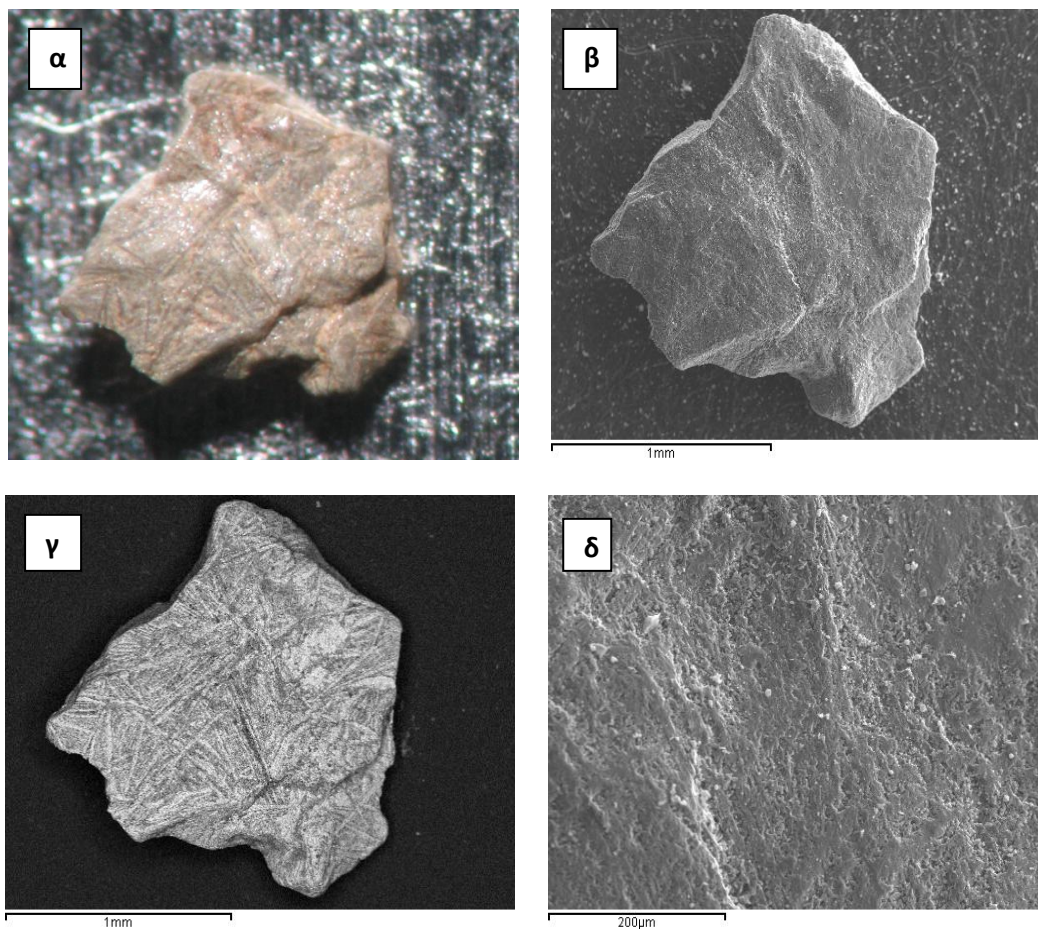
Εικόνα 8.7.1.1. Γραφίτης μαζί με σιδηροπυρίτη, αρσеноπυρίτη και λίγους κόκκους χαλαζία στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).

8.8. Σκωρία

Είναι υποπροϊόν της μεταλλουργικής κατεργασίας, δηλαδή της διαδικασίας εξαγωγής ενός μετάλλου από τα μεταλλεύματά του και συγκεκριμένα από πλούσιο σε Pb μέταλλευμα μεικτών θειούχων με παρουσία σημαντικού ποσοστού Zn. Η παρουσία μεγάλου αριθμού μεταλλουργικών υπολειμμάτων τύπου Spreiss και ειδικά σε ευρήματα αρχαιολογικών ανασκαφών δείχνει την παραγωγή Pb από μέταλλευμα των κοιτασμάτων της περιοχής με σημαντικό ποσοστό As και Sb. Η παρουσία των δύο τελευταίων χημικών στοιχείων αποτελεί προϋπόθεση για το σχηματισμό τύπου Spreiss κατά τη μεταλλουργική επεξεργασία (Βαβελίδης, 2009). Οι σωροί των σκωριών βρέθηκαν κοντά σε ρέματα κεντρικά ή μικρότερα με συνεχή ροή, ώστε να υπάρχει άμεση πρόσβαση στο νερό και σε πρηνή με κλίση για καλό αερισμό της καμίνου. Ο συνδυασμός επαρκούς ροής νερού και καλού αερισμού κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου αναδείκνυε το χώρο ιδανικό για την εγκατάσταση ενός κέντρου μεταλλουργίας. Η έντονη βλάστηση στους χώρους εκκαμίνευσης δηλώνουν την ύπαρξη άφθονης καύσιμης ύλης για τη συνεχή λειτουργία των καμίνων. Πιθανόν να υπήρχε και παραγωγή ξυλοκάρβουνου για την καλύτερη απόδοση των καμίνων. Σύμφωνα με τη

μεταλλουργική διεργασία, η παραγωγή του χρήσιμου μετάλλου γινόταν στην κάμινο και οι ανεπιθύμητες σκωρίες που προέκυπταν, κατέληγαν μπροστά από την κάμινο, όπου και δημιουργούσαν σωρούς με την πάροδο του χρόνου. Σήμερα ο αριθμός των σκωριών στην περιοχή ξεπερνούν το ένα εκατομμύριο τόνους, ακόμη και μετά τη χρήση μεγάλου μέρους τους για επανεκμετάλλευση και για το αγροτικό οδικό δίκτυο της ΒΑ Χαλκιδικής. Η ποσότητα αυτή θα αντιστοιχούσε σε πάνω από 150.000 τόνους καθαρού Pb και 300 τόνους Ag (Βαβελίδης, 2009).

Η σκωρία της περιοχής αποτελείται από SiO_2 (2,90% κ.β.), MnO (1,54% κ.β.), FeO (1,29% κ.β.), ZnO (0,44% κ.β.), Na_2O (0,09%), MgO (0,24% κ.β.), Al_2O_3 (0,11% κ.β.), K_2O (0,03% κ.β.), CaO (0,36% κ.β.), TiO_2 (0,05% κ.β.). Οι φωτεινές γραμμές στη σκωρία οφείλονται στην απότομη και γρήγορη ψύξη του υλικού, όπως φαίνεται στις εικόνες 8.8.1 και 8.9.1.1 .

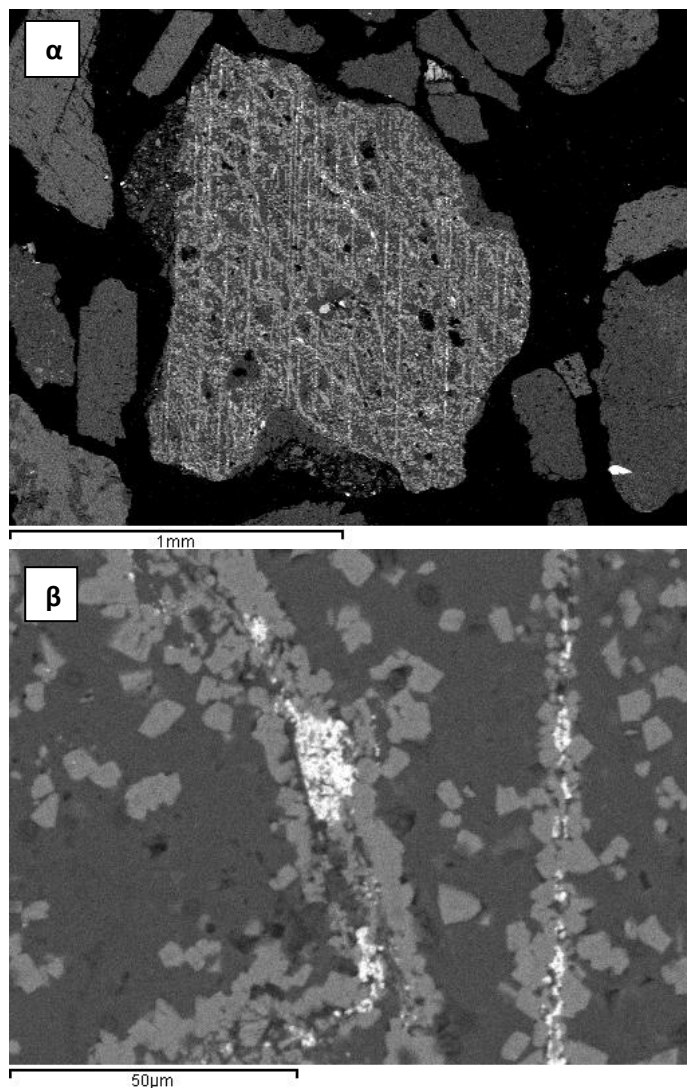


Εικόνα 8.8.1. α) Σκωρία στο στερεοσκόπιο, ενώ β) και γ) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). δ) λεπτομέρεια της εικόνας (β).

8.9. Φωσφορικά ορυκτά

8.9.1. Μοναζίτης

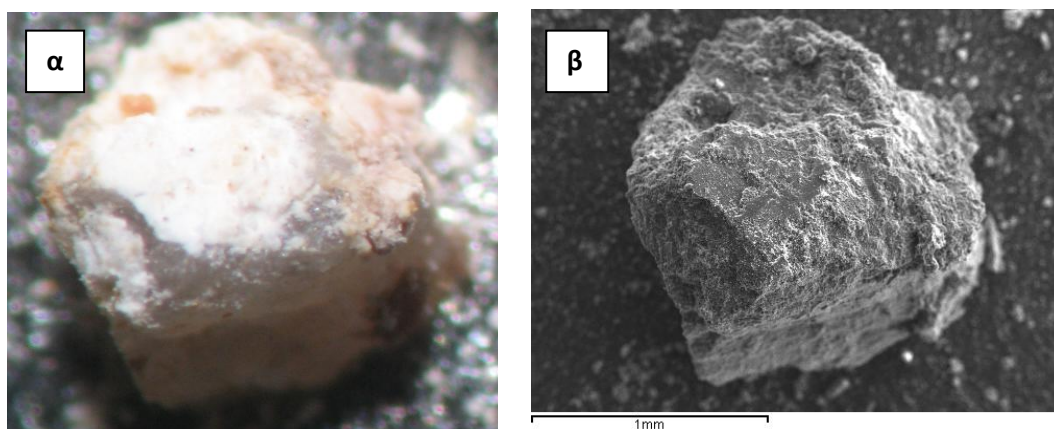
Ο μοναζίτης ($\text{Ce, La, Pr, Nd, Th, Y}\text{PO}_4$) είναι φωσφορικό ορυκτό των σπανίων γαιών (λανθανίδων). Εμφανίζεται σε απομονωμένους κρυστάλλους. Αποτελεί σημαντικό μέταλλευμα των σπανίων γαιών, αλλά και σημαντικό ορυκτό ραδιοχρονολόγησης, αν περιέχει θόριο ή ουράνιο. Στην παρούσα μελέτη ο μοναζίτης εντοπίστηκε με φλεβική μορφή σε σκωρίες και αποτελείται από P_2O_5 2.69wt.%, CaO 0.23 wt.%, La_2O_3 0.46 wt.%, Ce_2O_3 1.28 wt.% και Nd_2O_3 0.29 wt.%.



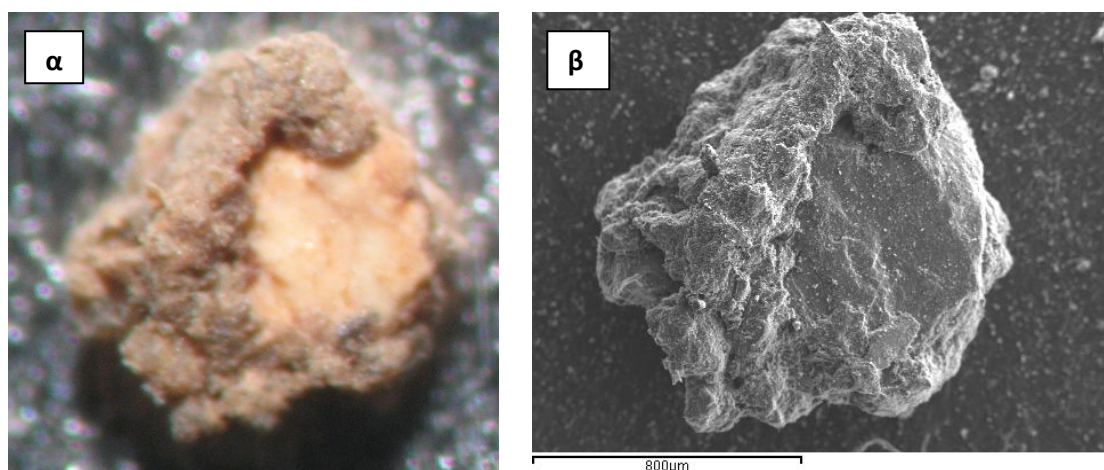
Εικόνα 8.9.1.1. α) Σκωρία στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), β) Φλέβες μοναζίτη μέσα σε σκωρία, λεπτομέρεια της εικόνας 6.8.1.1.α.

8.10.Αργιλοπυριτικά ορυκτά

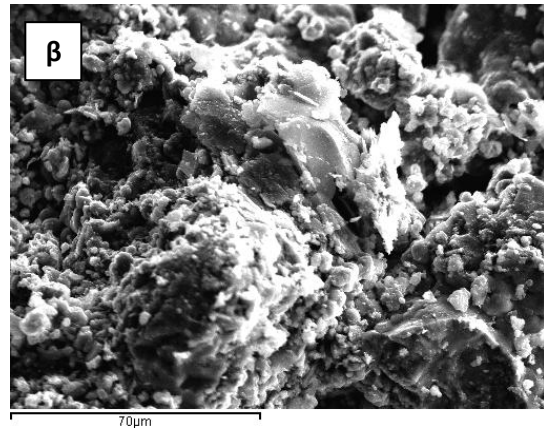
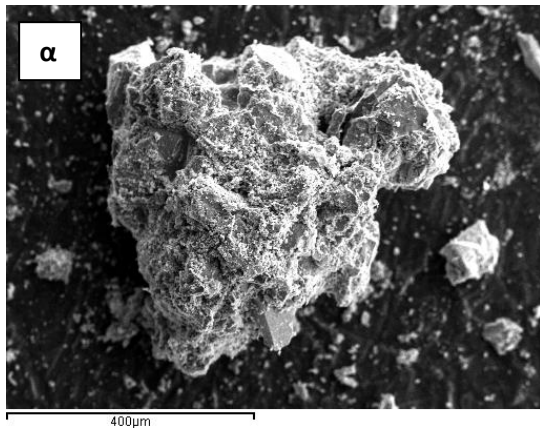
Αργιλοπυριτικά ορυκτά εντοπίστηκαν κυρίως στο δείγμα με τα επανθήματα των παλαιών τελμάτων της περιοχής, αλλά και στο δείγμα ASPY3 1.1. Το μέγεθος των κόκκων που μελετήθηκαν φτάνει μέχρι το 1,5mm. Οι κόκκοι έχουν ακανόνιστο και γωνιώδες σχήμα. Από τις μικροαναλύσεις (SEM-EDS) σε κόκκους προέκυψε ότι η περιεκτικότητα σε Al κυμαίνεται από 11.14 έως 18.52% κ.β., σε Si από 24.94 έως 32.09% κ.β., σε Na από 1.47 έως 6.87% κ.β., σε Ca 0.75% κ.β., σε S 2.48% κ.β., σε O από 45.45 έως 49.16% κ.β., σε Mg από 1.13 έως 1.32% κ.β., σε K από 1.24 έως 5.63% κ.β., σε Fe από 1.40 έως 6.79% κ.β. και σε As 5% κ.β. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των ακτινογραφικών αποτελεσμάτων έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε αργιλοπυριτικά ορυκτά είναι από 1 έως 2% κ.β., ενώ στο δείγμα ASPY3 1.2 απουσιάζει το συγκεκριμένο ορυκτό. Στην παρούσα μελέτη τα ορυκτά αυτά εμφανίζονται να δημιουργούν συσσωματώματα μαζί με αρσеноπυρίτη, χαλαζία, οξείδια σιδήρου και σιδηροπυρίτη, όπως φαίνεται και στις εικόνες 8.10.2, 8.10.3 και 8.10.4. Στην εικόνα 8.10.1. παρουσιάζεται αργιλοπυριτικό ορυκτό με πιθανή παρουσία ζεολίθου.



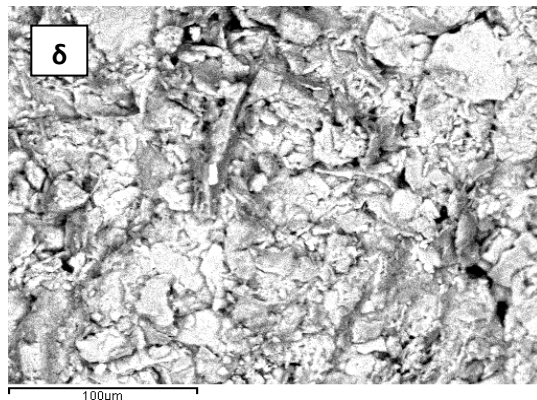
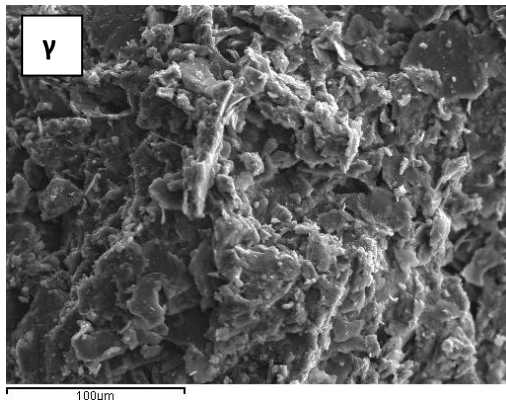
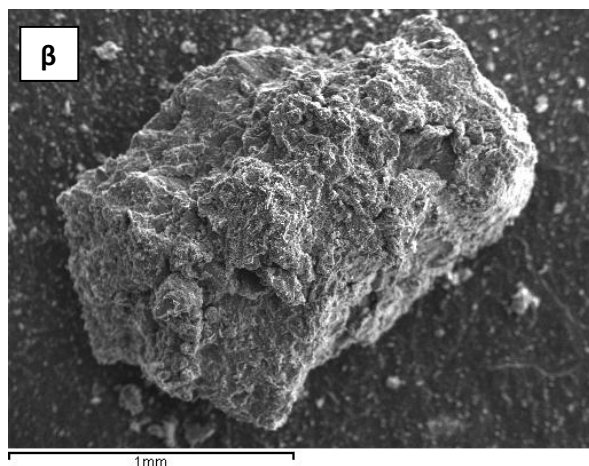
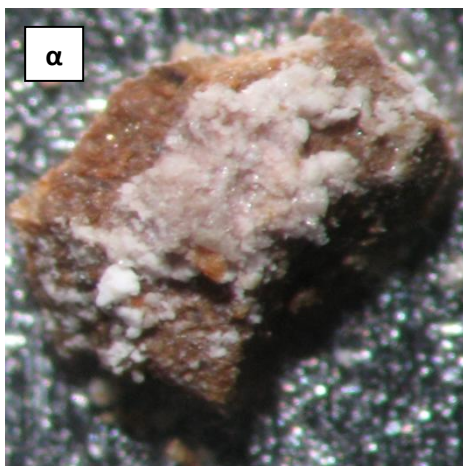
Εικόνα 8.10.1. α) Αργιλοπυριτικό ορυκτό με πιθανή παρουσία ζεολίθου στο στερεοσκόπιο, ενώ β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.10.2. α) Αργιλοπυριτικό ορυκτό μαζί με σιδηροπυρίτη στο στερεοσκόπιο, ενώ β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM).



Εικόνα 8.10.3. α) Αργιλοπυριτικό ορυκτό με αρσеноπυρίτη και χαλαζία στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). β) Λεπτομέρεια της εικόνας 8.9.3.



Εικόνα 8.10.4. α) Αργιλοπυριτικό ορυκτό με συσσωματώματα ορυκτών του Fe, Pb & As στο στερεοσκόπιο, ενώ β) στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). γ) και δ) λεπτομέρεια της εικόνας (β).

9. Συνοπτικά συμπεράσματα

- Οι αποθέσεις των παλαιών τελμάτων στην Ολυμπιάδα Χαλκιδικής με βάση τις κοκκομετρικές αναλύσεις χαρακτηρίζονται ιστολογικά ως Ιλυσσώδη (μη κροκαλούχα δείγματα) και Κροκαλοπηλοσώδη, Πηλοσώδη και Ημικροκαλοπηλοσώδη (κροκαλούχα δείγματα).
- Οι κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων από την επιφάνεια έως το βάθος των 2m έδειξαν πως η στρωματογραφία των αποθέσεων δεν ακολουθεί κάποια διαβαθμισμένη στρώση, ούτε παρατηρείται ρυθμική απόθεση εξαιτίας της τυχαίας αποβολής υλικών από το εργοστάσιο εμπλουτισμού.
- Το συγκεκριμένο τέλμα της Ολυμπιάδας περιέχει τα σύνδρομα ορυκτά της πρωτογενούς μεταλλοφορίας Pb-Zn-Au-Ag της Ολυμπιάδας, ορυκτά από τα πετρώματα που περιέχουν την μεταλλοφορία και μικρές ποσότητες σουλφιδίων, ένυδρων θεικών αλάτων και οξειδίων-υδροξειδίων Fe και Mn.
- Οι αναλύσεις των δειγμάτων έγιναν με τη χρήση μεταλλογραφικού μικροσκοπίου, ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM-EDS) και περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD). Τα πυριτικά ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι ο χαλαζίας, τα πλαγιόκλαστα (κυρίως αλβίτης), οι Κ-άστριοι (κυρίως μικροκλίνη), ο καολίνης, αμφίβολοι και μαρμαρυγίες, κυρίως βιοτίτης, καθώς επίσης πυρόξενοι, τιτανίτης και γρανάτες. Τα ανθρακικά ορυκτά είναι ο ασβεστίτης, ο δολομίτης και ο ροδοχρωσίτης. Τα σουλφίδια που εντοπίστηκαν είναι ο σιδηροπυρίτης, ο αρσеноπυρίτης, ο σφαλερίτης και ο γαληνίτης, ενώ τα ένυδρα θειικά άλατα είναι ο γιαροσίτης, η γύψος και ο βαρύτης. Επίσης, εντοπίστηκαν οξείδια-υδροξείδια του Fe και του Mn, αυτοφυή ορυκτά, όπως γραφίτης, αργιλοπυριτικά και φωσφορικά ορυκτά, όπως μοναζίτης.
- Η υψηλή συμμετοχή ασβεστίτη και δολομίτη στο τέλμα καθορίζει την παρουσία Ca και Mg, ενώ η συμμετοχή ροδοχρωσίτη και οξειδίων-υδροξειδίων του Mn καθορίζουν την παρουσία του Mn. Λόγω της παρουσίας των σουλφιδίων σιδηροπυρίτη και του αρσеноπυρίτη, καθώς και των οξειδίων-υδροξειδίων του Fe, ο Fe είναι ένα από τα κύρια χημικά στοιχεία του τέλματος. Επιπλέον το τέλμα Ολυμπιάδας περιέχει ποσότητες Pb, Zn και As εξαιτίας της παρουσίας των ορυκτών γαληνίτη, σφαλερίτη και αρσеноπυρίτη κατ'αντιστοιχία.
- Η παρουσία της σκωρίας σε μερικά δείγματα, η οποία εντοπίστηκε με τη μελέτη μέσω μεταλλογραφικού μικροσκοπίου και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM-EDS), φανερώνει την μεταλλουργική κατεργασία στην περιοχή της Ολυμπιάδας.

10.Βιβλιογραφία:

- Belon, P. (1555). Les observations de plusieurs singularitez et choses memorables trouvées en Grèce, Asie, Judée, Egypte, Arabie et autres pays étrangers. Paris: Antwerp, Chrispher Plantin.
- Davies, O. (1935). Roman mines in Europe. Oxford: Oxford University Press.
- Forward, P., & Francis, A. (2009). Technical Report on the Straton Project, Pb Zn Ag Deposits, Northern Greece. European Goldfields Ltd.
- Forward, P., Francis, A., & Liddell, N. (2011). Technical Report on the Olympias Project, Au Pb Zn Ag Deposits, Northern Greece. European Goldfields Ltd.
- Google Earth 6.1. (2013). Ανάκτηση 2013 από: <http://www.google.com/earth/index.html>.
- Himmerkus, F., Reischmann, T., & Kostopoulos, D. (2006). Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbomacedonian massif, northern Greece: the significance of terrane accretion in the Hellenides. In Robertson, & Mountrakis, Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region (pp. 35-50). London: Sp. Publ. Hudson
- Kalogeropoulou, S., & Economou, G. (1987). A study of carbonate sphalerites from the carbonate-hosted Pb-Zn sulphide deposits of the eastern Chalkidiki Peninsula, Northern Greece. Canadian Mineralogist(25), pp. 639-646.
- Kalogeropoulou, S., Kiliass, S., Bitzios, D., Nicolaou, M., & Both, R. (1989b). Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulphide ore deposit, eastern Chalkidiki, northern Greece. Econ. Geol., 84, pp. 1210-1234.
- Kiliass, A., Falalakis, G., & Mountrakis, D. (1999). Cretaceous-Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic Hinterland. Int. Journ. Earth Sciences, 88, pp. 513-531.
- Kockel, F., & Walther, H. (1968). Zur Geologischen entwicklung des Sudli-chen Serbomazedonischen massivs. Bulg. Ak. Sc. Bull. Geol., KH XVII, pp. 133-142.
- Kockel, F., Mollat, H., & Walther, H. (1971). Geologie des Serbo-Mazedonischen Massivs und seines mesozoischen Rahmens (Nord-Griechenland). Geol. Jahrb., 89, pp. 529-551.
- Kockel, F. & Mollat, H.(1977). Erläuterungen zur geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000(Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Leake, W. (1835). Travels in Northern Greece (Vol. III). London.
- Melfos and Voudouris (2012) - Critical and Rare Metals in Greece . Aristotle University of Thessaloniki. Thessaloniki.
- Mountrakis, D. (2006). Tertiary and Quaternary tectonics of Greece. In Y. Dilek, & S. Pavlides (Eds.), Postcollisional Tectonics and Magmatism in the Mediterranean Region and Asia (Vol. Special Paper 409, pp. 125-136). Geological Society of America.
- Nicolaou, M. (1964). The mineralogy and micrography of the sulphide ores of Kassandra mines Greece. Annal. Geol. des Pays Helleniques, 16, pp. 111-139.
- Nicolaou, M., & Kokonis, I. (1980). Geology and development of the Olympias mine, eastern Chalkidiki, Macedonia, Greece. In M. Jones (Ed.), Complex sulphide ores (pp. 260-270). London: Inst. Mining Metallurgy.
- Pavlides, S., & Kiliass, A. (1987). Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (Chalkidiki, N. Greece). Annales Tectonicae, 1, pp. 97-104.
- Sagui L.C. (1928). The ancient mining works of Cassandra, Greece. Economic Geology, 23, 671.
- Vavelidis, M., Pernicka, E., & Wagner, G. (1983). Untersuchungen in den Pb-Ag und Au- Vorkommen von NE-Chalkidiki (Nordgriechenland). Beihefte zum Eurp. J. Miner., 61, pp. 212-213.
- Wagner, G., Pernicka, E., Vavelidis, M., Baranyi, I., & Bassiakos, I. (1986). Archaeometallurgische Untersuchungen auf Chalkidiki. Anschnitt, 38(5-6), pp. 166-186
- AKTΩP. (2012). Ανάκτηση 9 2012, από <http://www.aktor.gr/article.asp?catid=20015>
- Αλιφραγκής, Δ.(2010). Περιγραφή-Δειγματοληψία,Εργαστηριακές Αναλύσεις Δασικών Εδαφών & Φυτικών Ιστών . Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Αϊβαζή.

- Βαβελίδης, Μ. (1993). Γιαροσίτης. «Ένα σημαντικό ορυκτό στην αναζήτηση και τον εντοπισμό αργύρου και χρυσού στην Ελλάδα», Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ., Αθήνα.
- 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 (σσ. 17-86). Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ.
- Βαβελίδης, Μ. Ηλεκτρονικές παρουσιάσεις για το μάθημα «Κοιτασματολογία μεταλλευμάτων» Ανάκτηση 2013 από: http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo645y/pdf_theory/mn.pdf
- Βαβελίδης, Μ., & Μέλφος, Β. (2012). Αρχαιομεταλλουργική έρευνα στην περιοχή Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας (Αρχαία Στάγαιρα), ΒΑ Χαλκιδική. Στο Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών Α.Π.Θ. (Τόμ. 101, σσ. 9-16). Θεσσαλονίκη.
- Βακαλόπουλος, Α. (1973). Ιστορία του νέου Ελληνισμού, Τουρκοκρατία 1669-1812, Η οικονομική άνοδος και ο φωτισμός του γένους (Τόμ. Δ'). Θεσσαλονίκη.
- Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. Μοναζίτης. Ανάκτηση 2013 από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%B1%CE%B6%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>
- Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. Ολυμπιάδα Χαλκιδικής. Ανάκτηση 2013 από: http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BB%CF%85%CE%BC%CF%80%CE%B9%CE%AC%CE%B4%CE%B1_%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CF%82
- Βικιπαίδεια. Η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. Σκοροδίτης. Ανάκτηση 2013 από: <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%BA%CE%BF%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AF%CF%84%CE%B7%CF%82>
- Δημητριάδης, Σ. (1974). Πετρολογική μελέτη των μιγματικών γνευσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας - Ασπροβάλτας, Σταυρού - Ολυμπιάδος. Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ζαΐμης, Σ. (2013) Ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα σε θέσεις αποκατάστασης του παλαιού τέλματος στη μεταλλευτική περιοχή Ολυμπιάδος, ΒΑ Χαλκιδική. Θεσσαλονίκη: Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ελληνικός Χρυσός. Ιστορικό των μεταλλείων στη Χαλκιδική. Ανάκτηση 2013 από: <http://www.hellas-gold.com/ellinikos-xrysos/istoriko-metalleiwn>
- Κασώλη-Φουρνάρη, 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.
- Μέλφος, Β. .Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα μεταλλεία και η μεταλλουργία χρυσού στη Χαλκιδική. Ηλεκτρονικές παρουσιάσεις για το μάθημα «Εφαρμοσμένη & Περιβαλλοντική Γεωχημεία»
- Μουντράκης, Μ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Παπάγγελος, Ι. (1991). Το κοινό του Μαντείου. Η διαχρονική πορεία του κοινοτισμού στη Μακεδονία, Κέντρο Ιστορίας Θεσσαλονίκης του Δήμου Θεσσαλονίκης. Αυτοτελείς Εκδόσεις
- Παπαρηγορίου, Σ., Παπαδάκη, Α., Κατσέλης, Ι., Κοτσαγεώργης, Γ., Μπεκιάρης, Ι., Τέντες, Γ., & κ.α. (2010). Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταλλευτικών - μεταλλουργικών εγκαταστάσεων της Εταιρείας Ελληνικός Χρυσός στη Χαλκιδική. Αθήνα: ENVECO Α.Ε.
- Παυλίδης, Σ., Τσάπανος, Θ., Κοραβός, Γ., Μιχαηλίδου, Α., Χατζηπέτρος, Α. (2010). Ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας. Θεσσαλονίκη: ENVECO Α.Ε
- Σαπουντζής, Η., -Χριστοφίδης, Θ., (1985). Ορυκτοδιαγνωστική. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Σ.Μ.Ε. Σύνδεσμος Μεταλλευτικών Επιχειρήσεων. Αναγωγή 2014 από : <http://www.sme.gr/proionta-sme-orykta/50-xrysos>

- Τσιραμπίδης, Α. (2004). Πετρολογία Ιζηματογενών Πετρωμάτων. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιεύσεων.
- Φαλαλάκης, Γ. (2004). Κινηματική ανάλυση και παραμόρφωση στο όριο των κρυσταλλοσχιστωδών μαζών της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης (όρη Κερκίνης, Βροντούς - Μακεδονία). Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Φιλιππίδης, Α. (2006). Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Θεσσαλονίκη: Τμήμα Εκδόσεων, ΑΠΘ.
- Ψιλοβίκος, Α. (1984). Μαθήματα Ιζηματολογίας. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο.