



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ
ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΠΑΣΔΕΚΗ, ΟΛΥΜΠΙΑΔΟΣ
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»*

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: «ΟΡΥΚΤΟΙ ΠΟΡΟΙ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020





Στην οικογένεια και τους φίλους μου,
που στάθηκαν δίπλα μου,
στα εύκολα και στα δύσκολα.



ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΠΑΣΔΕΚΗ, ΟΛΥΜΠΙΑΔΟΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ

Mineralogical composition of the sediments in Mpasdeki's basin, Olympiada
Chalkidiki

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

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 28/08/2020

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Μ. Βαβελίδης, Καθηγητής Α.Π.Θ., Επιβλέπων

Λ. Παπαδοπούλου, Αναπλ. Καθηγήτρια Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής

Ν. Καντηράνης, Αναπλ. Καθηγητής Α.Π.Θ., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής



© Γεωργία Παπαδοπούλου, Γεωλόγος, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΜΠΑΣΔΕΚΗΣ, ΟΛΥΜΠΙΑΔΟΣ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ – Μεταπτυχιακή
Διπλωματική Εργασία

© Georgia Papadopoulou, Geologist, 2020

All rights reserved.

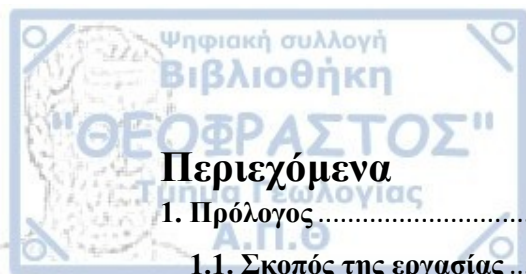
Mineralogical composition of the sediments in Mpasdeki's basin, Olympiada
Chalkidiki – Master Thesis

Citation: Παπαδοπούλου Γ., 2020. – Ορυκτολογική σύσταση των ιζημάτων στη λεκάνη απορροής του χείμαρρου Μπασδέκης, Ολυμπιάδος Χαλκιδικής. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 98 σελ.

Papadopoulou G. Mineralogical composition of the sediments in Mpasdeki's basin, Olympiada Chalkidiki. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 98 pp.

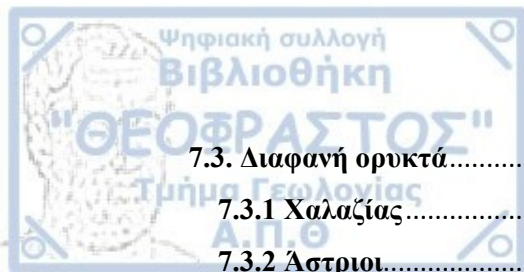
Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται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

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



Περιεχόμενα

1. Πρόλογος	1
1.1. Σκοπός της εργασίας	1
1.2. Ευχαριστίες	1
2. Εισαγωγή	3
2.1. Γενικά στοιχεία	3
2.2. Μεταλλευτική ιστορία της BA Χαλκιδικής	4
3. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της BA Χαλκιδικής	9
3.1. Λιθοστρωματογραφία	9
3.2. Μαγματισμός	12
3.3. Μεταμορφωτικές συνθήκες	14
3.4. Τεκτονική εξέλιξη	15
3.5. Γεωλογία της περιοχής Ολυμπιάδας	16
4. Τύποι μεταλλοφορίας	19
4.1. Πολυμεταλλικό κοίτασμα της Ολυμπιάδας	19
4.2. Πορφυριτικό σύστημα – Σκουριές	20
4.3. Κοιτάσματα αντικατάστασης: Μαντέμ Λάκκος - Μαύρες Πέτρες	21
5. Νομοθεσία και βαρέα μέταλλα	22
5.1. Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο	24
6. Μεθοδολογία	33
6.1. Δειγματοληψία	35
6.2. Προετοιμασία δειγμάτων	38
6.2.1. Προετοιμασία δειγμάτων για Περιθλασιμετρία Ακτίνων X (XRD)	41
6.2.2. Προετοιμασία δειγμάτων για ανάλυση σε Σαρωτικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM)	42
7. Αποτελέσματα	45
7.1 Περιθλασιμετρία Ακτίνων X (XRD)	45
7.2. Μεταλλικά ορυκτά	52
7.2.1. Σιδηροπυρίτης	52
7.2.2. Γαληνίτης	55
7.2.3 Σφαλερίτης	57
7.2.4 Μαγνητίτης	59
7.2.5 Οξείδια-υδροξείδια Fe/Mn	62
7.2.6 Ιλμενίτης	66
7.2.7 Λιθάργυρος	67
7.2.8 Σκωρίες	69



7.3. Διαφανή ορυκτά.....	72
7.3.1 Χαλαζίας.....	72
7.3.2 Άστριοι.....	74
7.3.3 Αμφίβολοι.....	76
7.3.4 Μαρμαρυγίες.....	80
7.3.5 Ασβεστίτης.....	82
7.3.6 Πυρόξενοι.....	85
7.3.7 Επίδοτο.....	86
7.3.8 Γύψος.....	88
7.3.9 Ρουτίλιο.....	89
7.3.10 Απατίτης.....	90
8. Συμπεράσματα.....	91
Περίληψη.....	92
Abstract.....	93
Βιβλιογραφία.....	94



1. Πρόλογος

1.1. Σκοπός της εργασίας

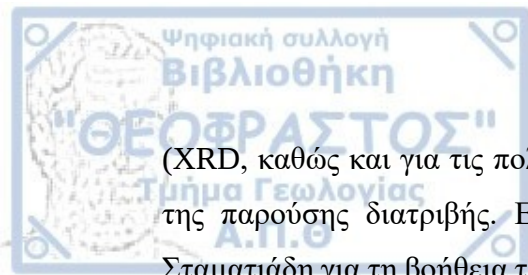
Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποσκοπεί στη μελέτη και τον προσδιορισμό της ορυκτολογίας σύστασης των ιζημάτων κατά μήκος του ρέματος Μπασδέκη, στην περιοχή της Ολυμπιάδας, ΒΑ Χαλκιδική. Πιο συγκεκριμένα, το ρέμα Μπασδέκη βρίσκεται διέρχεται μέσα από τον οικισμό της Ολυμπιάδας και οι εκβολές του βρίσκονται στον ευρύτερο Στρυμονικό κόλπο και συγκεκριμένα στη παραλία της Ολυμπιάδας (αρχαίων Σταγίων).

Στο πλαίσιο της παρούσης διατριβής αρχικά πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία κατά μήκος του υπό εξέταση ρέματος αλλά και στο σημείο εκβολής του στη θάλασσα. Στη συνέχεια τα δείγματα προετοιμάστηκαν κατάλληλα και πραγματοποιήθηκε μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης κάτω από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) καθώς και με περιθλασιόμετρο ακτίνων X (XRD) του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας. Επιπλέον, κατασκευάστηκαν στιλπνές τομές οι οποίες και μελετήθηκαν και αυτές στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) του Τομέα.

1.2. Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν και βοήθησαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μ. Βαβελίδη για τη καθοδήγηση, για τις συνεχείς συμβουλές και την στήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής μου.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Αναπλ. Καθηγήτρια κ. Α. Παπαδοπούλου για την πραγματοποίηση των χημικών αναλύσεων στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM). Καθώς και στον Αναπλ. Καθηγητή κ. Ν. Καντηράνη για τη βοήθεια στη πραγματοποίηση των αναλύσεων περιθλασιμετρία ακτίνων X



(XRD, καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και συμπαράσταση τους στο πλαίσιο της παρούσης διατριβής. Επίσης, ευχαριστώ θερμά το μεταπτυχιακό φοιτητή Α. Σταματιάδη για τη βοήθεια του στη, κατασκευή των στιλπνών τομών που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της εργασίας.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα μέλη του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας για τη βοήθεια τους για τη χρησιμοποίηση του εργαστηριακού εξοπλισμού και για τις συμβουλές στην επίλυση επιστημονικών προβλημάτων.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω ένα θερμό ευχαριστώ τόσο στην οικογένεια μου όσο και στους φίλους μου που με στήριζαν καθημερινά και με βοήθησαν στην επίτευξη των στόχων μου.

Παπαδοπούλου Γεωργία

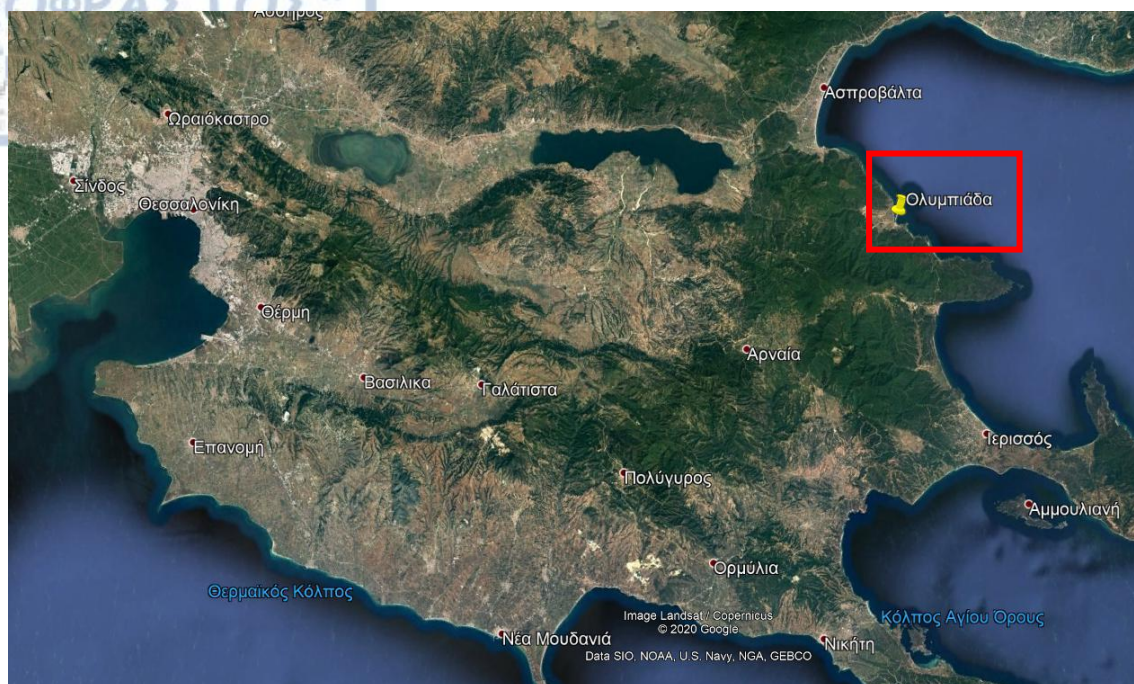
Θεσσαλονίκη, 2020

2. Εισαγωγή

2.1. Γενικά στοιχεία

Ο οικισμός της Ολυμπιάδας βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής και ανήκει στο Δήμο Αριστοτέλη της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας (Εικόνα 2.1.1). Ο οικισμός ιδρύθηκε το 1923 και ο πληθυσμός του, σύμφωνα με απογραφή του 2001, ανέρχεται στους 694 κατοίκους, οι οποίοι έχουν ως κύρια απασχόληση την αλιεία και τον τουρισμό, αλλά απασχολούνται και στις μεταλλευτικές εταιρίες που δραστηριοποιούνται από την ίδρυση του οικισμού στην περιοχή (https://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).

Η Ολυμπιάδα ανήκει στην ευρύτερη μεταλλευτική επαρχία της Κασσάνδρας, η οποία βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής (γεωγραφικό πλάτος 40° 21' 22" Β., γεωγραφικό μήκος 23° 47' 30" Α.), περίπου 100 χλμ. ανατολικά της Θεσσαλονίκης. Η περιοχή είναι ορεινή, με το ανάγλυφο να κυμαίνεται από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι και το υψόμετρο των 700 m και καλύπτεται από πυκνή δασική βλάστηση (Haines, 1998). Στην ίδια επαρχία ανήκουν και τα μεταλλεία Μαύρες Πέτρες, Μαντέμ Λάκκος και Σκουριές (Siron et al., 2016). Η περιοχή ΒΑ Χαλκιδικής (Μεταλλευτική επαρχία Κασσάνδρας) αποτελεί περιοχή ιδιαίτερης οικονομικής σημασίας για τη χώρα γιατί εδώ εντοπίζονται και εξορύσσονται από αρχαιοτάτων χρόνων πολυμεταλλικά κοιτάσματα και πορφυριτικού χαλκου πλούσια σε χρυσό, άργυρο, μόλυβδο, ψευδάργυρο και χαλκό. Πιο συγκεκριμένα, το κοιτάσμα αντικατάστασης στην Ολυμπιάδα έχει περιεκτικότητες σε Zn 5,3%, Pb 4,1%, Au 7,02 g/t και Ag 119 g/t. Το πορφυριτικό κοιτάσμα στις Σκουριές έχει περιεκτικότητα σε Cu 0,49 % και Au 0,74 g/t, ενώ το κοιτάσμα των Μαύρων Πετρών στο Στρατώνι έχει περιεκτικότητα Pb 6%, Zn 8,4% και Ag 154 g/t (Eldorado Gold Corporation 2019).



Εικόνα 2.1.1: Ολυμπιάδα Χαλκιδικής, Google Earth 2016

2.2. Μεταλλευτική ιστορία της ΒΑ Χαλκιδικής

Η περιοχή της Χαλκιδικής, πιο συγκεκριμένα το ΒΑ τμήμα της, αποτελεί ένα σημαντικό πολιτιστικό και ιστορικό κέντρο, στο οποίο αναπτύχθηκε η μεταλλευτική δραστηριότητα. Θεωρείται το δεύτερο μεγαλύτερο, σε μέγεθος και έκταση, κέντρο μεταλλευτικής εκμετάλλευσης στην Ελλάδα, μετά το Λαύριο (Βαβελίδης 2009). Τα μεταλλεύματα που υπάρχουν στη περιοχή, αποτέλεσαν ήδη από την προϊστορική εποχή πλούσια πηγή χρυσού, αργύρου, μόλυβδου και χαλκού. Πιο συγκεκριμένα, ο χρυσός παρατηρείται στη παραγένεση των μεικτών θειούχων (σιδηροπυρίτη-σφαλερίτη-γαληνίτη), σε φλέβες χαλαζία με παρουσία αρσеноπυρίτη και σιδηροπυρίτη, καθώς και σε μεταλλεύματα χαλκού και μαγγανίου. Επιπλέον, ιδιαίτερης σημασίας ήταν και η εκμετάλλευση του προσχωματικού χρυσού από τα ποτάμια και τους χειμάρρους της περιοχής, όπως ο Κοκκινόλακας και ο Ασπρόλακκας (Vavelidis et. al. 1983, Wagner et al. 1986, Vavelidis 1989).

Στην περιοχή έχουν πραγματοποιηθεί αρχαιολογικές ανασκαφές που επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μεταλλευτικής δραστηριότητας, καθώς έχουν βρεθεί στοές, σωροί σκωριών και άλλες ενδείξεις μεταλλευτικής και μεταλλουργικής

δραστηριότητας που χρονολογούνται από την Προϊστορική Εποχή (Βαβελίδης 2000). Περαιτέρω ανασκαφές στη περιοχή των Στάγειρων επιβεβαίωσαν ότι από τον 6^ο αι. π.Χ. είχε ήδη αρχίσει η μεταλλευτική εκμετάλλευση της περιοχής (Βαβελίδης 2000, Βαβελίδης 2009). Ωστόσο, ο Αριστοτέλης, που κατάγονταν από τα Στάγειρα, δεν κάνει κάποια αναφορά στην εκμετάλλευση της περιοχής, στα κείμενα του (Vavelidis et. al. 1983).

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί (Sagui 1928, Davies 1935) η εξόρυξη του χρυσού και του αργύρου χρονολογείται στο 350 π.Χ. κατά τη διάρκεια της βασιλείας του Φίλιππου Β' αλλά και του διαδόχου του Μέγα Αλέξανδρου. Σύμφωνα με τον Κονοφάγο (1980) τα κοιτάσματα αργύρου της Χαλκιδικής εκμεταλλεύτηκαν από τον Φίλιππο Β' και αποτέλεσαν πηγή μεταλλεύματος για την κοπή νομισμάτων της Μακεδονικής Αυτοκρατορίας. Επιπλέον, κατά τη βασιλεία του Μέγα Αλέξανδρου η Μακεδονική Αυτοκρατορία αναπτύχθηκε και επεκτάθηκε στηριζόμενη τόσο στα πολεμικά λάφυρα από τις κατακτήσεις στην Ανατολή, που ήταν πλούσια σε πολύτιμα μέταλλα (Κονοφάγος 1980) αλλά και στην εκτεταμένη εκμετάλλευση των κοιτασμάτων της Χαλκιδικής (Βαβελίδης 2009).

Κατά τη Ρωμαϊκής κυριαρχίας η μεταλλευτική δραστηριότητα συνεχιστική, όπως γίνεται εμφανές από τις χρονολογήσεις ¹⁴C που πραγματοποιήθηκαν στο Μεταγγίτσι (Wagner et al. 1986). Τα αποτελέσματα των χρονολογήσεων ηλικίες 60-130 μ.Χ. και 330-500 μ.Χ., ωστόσο παρατηρείται δραματική ελάττωση της μεταλλευτικής δραστηριότητας στη περιοχή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία στηριζόταν περισσότερο στα μεταλλεία της Ιβηρικής χερσονήσου που απέδιδαν μεγαλύτερες ποσότητες χρυσού (Spiering et al. 2000). Σύμφωνα με κείμενα αρχαίων συγγραφέων (Διόδωρος ο Σικελιώτης και Cassiodorus) στο χρονικό διάστημα 167 π.Χ. – 158 π.Χ. η λειτουργία των μεταλλείων αναστάλη πλήρως. Από το 158 π.Χ. και μετά, η εκμετάλλευση των μεταλλευμάτων ξαναξεκίνησε, αλλά ύστερα από ένα χρονικό διάστημα σταμάτησε ξανά, πιθανώς λόγω των πολεμικών συγκρούσεων στη περιοχή ή της εξάντλησης των αποθεμάτων των μεταλλείων

Η εκμετάλλευση των μεταλλείων ξεκίνησε πάλι κατά τη Βυζαντινή περίοδο, όπου από τον 9^ο αιώνα μ.Χ. και μετά είναι εμφανής η μεταλλευτική δραστηριότητα με σημαντικότερο κέντρο τα «Σιδηροκαύσια» που βρίσκονται βόρεια του Ίσβορου, ο

οποίος σήμερα ονομάζεται Στρατονίκη (Παπάγγελος 1991, Βακαλόπουλος 1964). Οι πρώτες ξεκάθαρες ενδείξεις για την μεταλλευτική εκμετάλλευση χρονολογούνται το 1346. (Bompaire, 1964).

Τα μεταλλεία γνώρισαν περιόδους αυξημένης και μειωμένης παραγωγικότητας από τον 15^ο ως και τον 17^ο αιώνα (Wagner et al. 1986, Βαβελίδης 2009), με ιδιαίτερη περίοδο ακμής από το 1409 ως και το 1425. Η δραστηριότητα των μεταλλείων συνεχίστηκε και μετά τη πτώση της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας και την άνοδο της Οθωμανικής (16^{ος} με 18^{ος} αι.) όπως επιβεβαιώνεται από την παρουσία εκτεταμένων μεταλλουργικών σκωριών (Wagner et al. 1986). Τα στοιχεία χρονολογήσεων των Wagner et al. (1986), Βαβελίδη (2009) και Βαβελίδη και Μέλφου (2012) συμφωνούν πλήρως με τις υπάρχουσες ιστορικές πηγές για την εκμετάλλευση της περιοχής κατά την περίοδο κυριαρχίας των Οθωμανών. Στην ευρύτερη περιοχή βρέθηκαν σκωρίες που ξεπερνούν τον 1 Mt και αντιστοιχούν περίπου σε 150.000 t μεταλλεύματος μόλυβδου και 300 t αργύρου (Wagner et al. 1986).

Στο τέλος του 17^{ου} αιώνα παρατηρείται παρακμή στη λειτουργία των μεταλλείων (Anhegger 1943). Ωστόσο η διακοπή της εκμετάλλευσης των μεταλλείων θα οδηγούσε σε διακοπή της οικονομικής ελευθερίας των οικισμών της ΒΑ Χαλκιδικής, για το λόγο αυτό δώδεκα από τους οικισμούς (Γαλάτιστα, Βάβδος, Ραβνά, Στανός, Βαρβάρη, Λιαρίγκοβη, Νοβοσέλο, Μαχαλάς, Ίσβορος, Χωρούδα, Ρεβενίκια και Ιερισσός) αποτέλεσαν ένα μεταλλευτικό συνεταιρισμό, μετονομάστηκαν σε Μαντεμοχώρια και κατάφεραν να αποκτήσουν το δικαίωμα εκμετάλλευσης των μεταλλείων, με την υποχρέωση να καταθέτουν φόρο στη Μεγάλη Πύλη 550 λίβρες αργύρου το χρόνο (Βακαλόπουλος 1973, 1983, Παπάγγελος 1991, Hellas Gold 2016). Τα μεταλλεία παρέμειναν υπό την εκμετάλλευση των κατοίκων των χωριών μέχρι το 1821, όπου το «Κοινόν του Μαντεμίου» συμμετείχε στην Ελληνική Επανάσταση ως νομικό πρόσωπο (Παπάγγελος 1991) και στη περιοχή εγκαταστάθηκαν 10.000 στρατιώτες, που συντηρούνταν από τα Μαντεμοχώρια. Επιπλέον, το 1821 τα χωριά περνούν στη δικαιοδοσία το Πασά και Καδή της Θεσσαλονίκης, αφού έχει προηγηθεί η καταστροφή τους και η μετανάστευση των πληθυσμών στα νησιά και στο Άγιο Όρος (Χιονίδης 1977, Παπάγγελος 1991).

Από το 1893 τα μεταλλεία βρίσκονταν υπό την δικαιοδοσία της Γαλλο-Οθωμανικής Α.Ε. Μεταλλεία Κασσάνδρας, μέχρι και το 1908, όπου και έπαυσε η

λειτουργία τους λόγω έντονου ανταγωνισμού από τα μεταλλεία της Μαύρης Θάλασσας (Παπαρηγορίου 2010). Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της εξορρύσσονταν μαγγανιούχα μεταλλεύματα στις περιοχές Μαύρες Πέτρες και Πιάβιτσα, καθώς και σουλφίδια από το 1901 (Βαβελίδης και Μέλφος 2012) μέχρι και την παύση λειτουργείας των μεταλλείων, λόγω του έντονου ανταγωνισμού από τα μεταλλεύματα μαγγανίου της Μαύρης Θάλασσας.

Η μεταλλευτική δραστηριότητα άρχισε ξανά με εντατικούς ρυθμούς τον 20^ο αι. Η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων» (ΑΕΕΧΠ&Λ) ιδρύθηκε το 1909 και μετά τη λήξη του Α΄ Παγκοσμίου πολέμου (1918) και τη Μικρασιατική καταστροφή (1922), πήρε την παραχώρηση εκμετάλλευσης από το Υπουργείο Εθνικής Οικονομίας το 1927 (Βαβελίδης και Μέλφος 2012). Από το 1953 ξεκίνησε η εκμετάλλευση στο μεταλλείο του Μαντέμ Λάκκος και το 1957 το μεταλλείο των Μαύρων Πετρών, ενώ την έρευνα στις Σκουριές ανέλαβαν η Nippon Mining από την Ιαπωνία και η Placer International από τον Καναδά (Tobey et al., 1998). Το 1970 κατασκευάστηκαν στοές για το κοίτασμα της Ολυμπιάδας, η εκμετάλλευση του οποίου ξεκίνησε το 1972. Το εργοστάσιο εμπλουτισμού που επεξεργαζόταν το παραγόμενο μετάλλευμα καθώς και η αντίστοιχη λίμνη τελμάτων ολοκληρώθηκαν το 1976. Μέσα σε μια δεκαετία (1974-1984) οι στοές του μεταλλείου της Ολυμπιάδας έφτασαν τα 312m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, με το πλουσιότερο τμήμα στα 254m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας (Forwad et al. 2011).

Το 1991 η «Ανώνυμη Ελληνική Εταιρία Χημικών Προϊόντων και Λιπασμάτων» (ΑΕΕΧΠ&Λ) κήρυξε πτώχευση και ύστερα από τη διεξαγωγή τριών διεθνών διαγωνισμών, τα μεταλλεία πέρασαν στην ιδιοκτησία της «TVX Hellas A.E.», η οποία ήταν θυγατρική εταιρία της Καναδικής TVX Gold, το 1995 με σκοπό τη μεταλλουργία χρυσού στην Ολυμπιάδα και την εκμετάλλευση του κοιτάσματος μεικτών θειούχων στις Μαύρες Πέτρες (Βαβελίδης και Μέλφος 2012, Hellas Gold 2016). Η εξόρυξη του μεταλλεύματος πραγματοποιούνταν σε βάθη από -32m ως -218m, με τη κύρια στοά να φτάνει μέχρι και τα -230m. Το 1999 ολοκληρώθηκε πρόγραμμα γεωτρήσεων, συνολικά 760 γεωτρήσεων, με συνολική έκταση 91.319m² (Forwad et al. 2011). Κατά το χρονικό διάστημα 1976-1995 παράχθηκαν συνολικά 3,64Mt μεταλλεύματος από το μεταλλείο της Ολυμπιάδας, και από το 1987 ως το 1995 λειοτριβήθηκαν 970.150t μεταλλεύματος. Οι περιεκτικότητες των μεταλλευμάτων σε πολύτιμα στοιχεία παρατίθενται στον Πίνακα 2.1 (Eldorado Gold Corporation 2019).

Τρία χρόνια μετά η «TVX Hellas A.E.» αποχώρησε από την εκμετάλλευση των μεταλλείων και στα τέλη του 2003 (12/12/2003) τα «Μεταλλεία Κασσάνδρας» παραχωρήθηκαν στη δικαιοδοσία του Ελληνικού Δημοσίου μετά την υπογραφή σχετικής σύμβασης.

Πίνακας 2.1: Περιεκτικότητες μεταλλευμάτων από το μεταλλείο της Ολυμπιάδας (Eldorado Gold Corporation 2019)

Περιεκτικότητα	
Au	7,02ppm
Ag	119ppm
Pb	4,10%
Zn	5,30%

Το 2004 η δικαιοδοσία των μεταλλείων πέρασε στην «Ελληνικός Χρυσός Α.Ε.», το 2005 ξεκίνησε πάλι η λειτουργία του μεταλλείου στις Μαύρες Πέτρες και το 2006 υποβλήθηκε ενιαίο σχέδιο για την ανάπτυξη και την εκμετάλλευση των μεταλλείων της Ολυμπιάδας, τις Μαύρες Πέτρες και τις Σκουριές. Το 2011 εγκρίθηκαν οι τεχνικές μελέτες για τα έργα Μεταλλευτικές εγκαταστάσεις Σκουριών και Ολυμπιάδας από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής Αλλαγής. Το 2012 η Ελληνικός Χρυσός ξεκίνησε τη μεταλλευτική δραστηριότητα και εξακολουθεί να εκμεταλλεύεται τα παραγωγικά μεταλλεία στις Μαύρες Πέτρες, στο Μαντέμ Λάκκος και στην Ολυμπιάδα. Παράλληλα πραγματοποιούνται εργασίες αποκατάστασης των παλαιότερων μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, όπως τα τέλματα της Ολυμπιάδας προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή εξυγίανση και προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, βρίσκονται σε εξέλιξη νέες έρευνες τόσο στις Σκουριές όσο και στην Ολυμπιάδα (Siron et al., 2016). Σήμερα η Ελληνικός Χρυσός ανήκει στο μεγαλύτερο τμήμα της (95%) στην Καναδική «Eldorado Gold Corporation», ενώ το υπόλοιπο (5%) ανήκει στην ΑΚΤΩΡ.

3. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της ΒΑ Χαλκιδικής

3.1. Λιθοστρωματογραφία

Το ΒΑ τμήμα της χερσονήσου Χαλκιδικής στη γεωτεκτονική ενότητα της Σερβομακεδονικής Μάζας, η οποία εκτείνεται από το ποταμό Στρυμόνα στα ανατολικά, όπου βρίσκεται η τεκτονική επαφή της με τη Μάζα της Ροδόπης ως τα Περμοτριάδικα ιζήματα της Περιοδοπικής στη Χαλκιδική, στα δυτικά (Kockel & Walther 1965, Merciel 1966, Kockel & Walther 1968). Η Σερβομακεδονική Μάζα αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα. Πιο συγκεκριμένα, τα κρυσταλλοσχιστώδη έχουν πιθανή προέλευση την Ευρασιατική πλάκα (Μουντράκης 2010) και διακρίνονται σε δύο υποενότητες, την κατώτερη ενότητα των Κερδυλίων και την ανώτερη ενότητα του Βερτίσκου (Kockel & Walther 1968, Kockel et al. 1971, 1977). Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας ανήκει στην ενότητα των Κερδυλίων (Εικόνα 3.1).

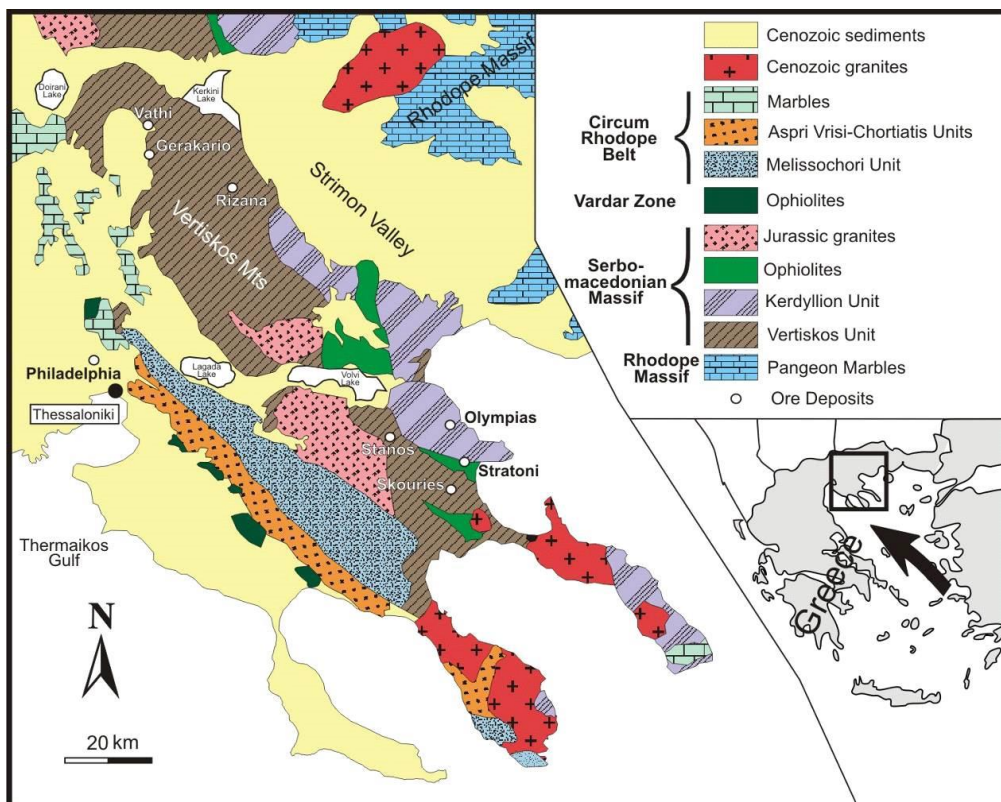
Η ενότητα των Κερδυλίων καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα της χερσονήσου της Χαλκιδικής, ανάμεσα στις εκβολές του ποταμού Στρυμόνα και του Στρατωνίου. Η λιθολογία της περιλαμβάνει γνευσιακά πετρώματα, εκλογίτες και μάρμαρα που φτάνουν σε βάθος ως και 3km (Kockel and Walther 1968). Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται έξι διακριτοί λιθοστρωματογραφικοί ορίζοντες στην ενότητα των Κερδυλίων, οι οποίοι από πάνω προς τα κάτω είναι οι εξής:

- I. Ορίζοντας ανώτερου μαρμάρου, με παρουσία παρεμβολών από βιοτιτικούς γνεύσιους, βιοτιτικούς-κεροστιλβικούς γνεύσιους, επιδοτιτικούς-ακτινολοθικούς σχιστόλιθους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, το πάχος τους κυμαίνεται από 30m ως 300m και βρίσκεται σε επαφή με την ενότητα του Βερτίσκου.
- II. Ορίζοντας βιοτιτικών γνευσίων, στον οποίο παρεμβάλλονται βιοτιτικοί-κεροστιλβικοί γνεύσιοι, αμφιβολίτες καθώς και λεπτές ενστρώσεις από μάρμαρα, το πάχος του είναι 700m ως 1km.
- III. Ορίζοντας ενδιάμεσου μαρμάρου, όπου παρουσιάζονται παρεμβολές από γνεύσιους και αμφιβολίτες, το πάχος του κυμαίνεται από 10m ως 200m

IV. Ορίζοντας βιοτιτικών γνευσίων, στους οποίους παρεμβάλλονται ασβεστοπυριτικά πετρώματα και αμφιβολίτες, με το πάχος του ορίζοντα περίπου στο 1km.

V. Ορίζοντας κατώτερων μαρμάρων, στον οποίων εμφανίζονται οι μεταλλοφορίες σουλφιδίων με Au-Ag-Pb-Zn και το πάχος του φτάνει μέχρι και τα 150m.

VI. Ορίζοντας βιοτιτικών γνευσίων, που περιλαμβάνει μιγματιτικούς γνεύσιους και αμφιβολίτες, με πάχος περίπου 700m



Εικόνα 3.1: Γεωλογικός χάρτης που απεικονίζει τη Σερβομακεδονική μάζα καθώς και τα κοιτάσματα μεταλλευμάτων της περιοχής από τους Kockel & Mollat (1977) και τροποποιημένος από τους Melfos & Voudouris (2012)

Τα μάρμαρα που εμφανίζονται στους ορίζοντες III και V έχουν χρώμα από λευκό ως τεφρό και η ορυκτολογική τους σύσταση περιλαμβάνει ασβεστίτη, χαλαζία, μοσχοβίτη, χλωρίτη, γραφίτη και φλογοπίτη. Παράλληλα οι κατώτεροι ορίζοντες εμφανίζουν δολομίτη, ασβεστίτη, χαλαζία, ροδοχρωσίτη, τρεμολίτη, χλωρίτη, γραφίτη, διοψίδιο, φλογοπίτη, ακτινόλιθο, κλινόχλωρο και σκαπόλιθο (Kalogeropoulos et al. 1989a,b). Επιπλέον στους κατώτερους ορίζοντες μαρμάρων του Μαντέμ Λάκκο συχνά απαντώνται ορυκτά skarn όπως επίδοτο, γρανάτες και ανδραδίτης, τα οποία όμως απουσιάζουν από τα μάρμαρα της Ολυμπιάδας. Η παρουσία του διοψιδίου, του

σκαπόλιθου, του τρεμολίτη και του φλογοπίτη συνδέεται με φλέβες πηγματιτικής-απλιτικής σύστασης, ενώ ο γραφίτης που εμφανίζεται στους ορίζοντες των μαρμάρων προκύπτει ως προϊόν της μεταμόρφωσης των ανθρακίων συστατικών Kalogeropoulos et al. 1989a,b).

Οι βιοτιτικοί γνεύσιοι (ορίζοντες II και VI) παρουσιάζουν πτύχωση ενώ συχνά είναι σχιστοποιημένοι, η ορυκτολογική τους σύσταση περιλαμβάνει βιοτίτη, χαλαζία, μικροκλινή, γρανάτες, επίδοτο, τιτανίτη, απατίτη και ζirkόνιο και η κοκκομετρικά είναι αδρόκοκοι ως μεσόκοκοι (Kalogeropoulos et al. 1989a,b). Ωστόσο οι απόψεις για την προέλευση των γνευσίων διαφέρουν, με τους Δημητριάδης (1974) και Kockel et al. (1977) να υποστηρίζουν ότι πρόκειται για παρα-γνεύσιους με προέλευση από γραουβάκες, ενώ οι Kalogeropoulos et al. (1989 b) θεωρούν ότι μερικοί μόνο από τους γνεύσιους είναι παρα-γνεύσιοι με πρωτόλιθο γραουβάκες και οι υπόλοιποι πρόκειται για ορθο-γνεύσιους που προέρχονται από πυριγενή πετρώματα.

Η ορυκτολογική σύσταση των κεροστιλβικών-βιοτιτικών γνευσίων που παρατηρούνται στον ορίζοντα I περιλαμβάνει τα ορυκτά κεροστίλβη, βιοτίτη, επίδοτο, χαλαζία, πλαγιόκλαστο, γρανάτη και τιτανίτη, ενώ οι αμφιβολίτες περιέχουν πλαγιόκλαστο, κλινοπυρόξενο, βιοτίτη, επίδοτο, κεροστίλβη και τιτανίτη (Nicolau 1960, Δημητριάδης 1974, Kockel et al. 1977). Η προέλευση των αμφιβολιτών αποτέλεσε θέμα πολλών ερευνών, με τους πρώτους ερευνητές να υποστηρίζουν ότι οι αμφιβολίτες έχουν ιζηματογενή προέλευση, και πιο συγκεκριμένα από μάργες (Δημητριάδης 1974, Kockel et al. 1977) ενώ επόμενοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι είναι μαγματικής προέλευσης (Κασώλη-Φουρναράκη 1981, Kalogeropoulos et al. 1989b).

Η ενότητα των Κερδυλίων βρίσκεται σε επαφή στα δυτικά με την ενότητα του Βερτίσκου, η οποία αποτελείται από οφθαλμοειδείς ορθογνεύσιους, μιγματικούς ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους καθώς και μικρού πάχους στρώσεις μαρμάρων (Μουντράκης 2010). Επιπλέον, στα ανώτερα τμήματα παρατηρούνται φακοί και ενστρώσεις από μεταγάββρους, μεταδιαβάσες και όρθο-αμφιβολίτες μέσα στους γνεύσιους (Μουντράκης 2010).

Η ηλικία του κρυσταλλοσχιστώδους αρχικά προσδιορίστηκε στο Παλαιοζωικό (Kockel et al. 1971), ενώ νεότερες έρευνες τοποθετούν την ηλικία του στο Προκάμβριο, 555-587 Ma (Himmerkus 2006).

3.2. Μαγματισμός

Στην ευρύτερη περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής έχουν παρατηρηθεί τέσσερεις φάσεις μαγματισμού (Μουντράκης 2010). Η πρώτη φάση αποτελείται από βασικής-υπερβασικής σύστασης μάγμα, και πιο συγκεκριμένα μεταβασικά πετρώματα που έχουν συμπτυχωθεί (μεταγάββροι, ορθοαμφιβολίτες, μεταδιάβασες) Προαλπικής ηλικίας. Η δεύτερη φάση αποτελείται από πλαγιокλαστικούς-μικροκλινικούς γνευσίους, γνωστοί και ως παλαιογρανίτες, το Άνω Παλαιοζωικού. Η τρίτη φάση περιλαμβάνει μαγματισμό γρανιτικής σύστασης (όξινο) με χαρακτηριστικά παραδείγματα των γρανίτη της Αρναίας και του Άγιου Όρους, Ιουρασικής ηλικίας. Τέλος, η τέταρτη φάση αποτελεί τον Τριτογενή μαγματισμό της περιοχής, ηλικίας Ηωκαίνου-Ολιγκαίνου, κατά τον οποίο παρατηρείται διείσδυση μάγματος πορφυριτικής ασβεσταλκαλικής ως σωσσονιτικής σύστασης μέσα στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο (Kockel et al. 1975, 1977, Tomprouloglou et al. 1986). Με τη τέταρτη φάση μαγματισμού συνδέονται ο γρανοδιορίτης της Ιερισσού και της Σιθωνίας, καθώς και ο πορφύρης των Σκουριών (Frei 1992).

Ο Τριτογενής μαγματισμός της περιοχής διακρίνεται και αυτός σε τρεις φάσεις, την πρώτη φάση που συνδέεται με τον γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, τη δεύτερη φάση που συνδέεται με τα πορφυριτικά πετρώματα της Φυσόκα και την τρίτη φάση που συνδέεται με ανδεσιτικές-πορφυριτικές φλέβες στη περιοχή του Στρατωνίου.

Πιο αναλυτικά, η πρώτη φάση του Τριτογενούς μαγματισμού αναφέρεται στη διείσδυση του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της ενότητας των Κερδυλίων. Η διείσδυση αυτή μπορεί να παρατηρηθεί επιφανειακά σε απόσταση μισού χιλιομέτρου βόρεια από το Στρατώνι και καταλαμβάνει έκταση περίπου 3km² (Nicolaou 1960, Kalogeropoulos et al. 1989b), ενώ η ηλικία της έχει προσδιοριστεί με τη χρήση χρονολόγησης U/Pb σε ζirkόνια στα $27,9 \pm 1,2\text{Ma}$ (Gilg and Frei 1994). Ο γρανοδιορίτης του Στρατωνίου είναι ασβεσταλκαλικής σύστασης, περιλαμβάνει τα ορυκτά χαλαζία, K-άστριοι, πλαγιόκλαστα, βιοτίτη, τιτανίτη, απατίτη, ζirkόνιο και μαγνητίτη και είναι αδρόκκοκος ως λεπτόκοκκος (Nicolaou 1960, Tomprouloglou 1981, Kalogeropoulos et al. 1989c, Frei 1992, Gilg & Frei 1994). Επιπλέον, παρουσιάζει φυλλιτική και προφυλλιτική εξαλλοίωση που οδηγεί στο σχηματισμό δευτερογενών ορυκτών όπως επίδοτο, ρουτίλιο, χλωρίτης, ασβεστίτης,

σερικήτης, αιματίτης, σιδηροπυρίτης και χαλκοπυρίτης. Τόσο στο γρανοδιορίτη του Στρατωνίου όσο και στο γενέσιο των Κερδυλίων παρατηρείται διείσδυση από νεότερης ηλικίας, φλέβες μικρογρανιτικής ως δακτιτικής σύστασης, στις οποίες συχνά εμφανίζεται φυλλιτική εξαλλοίωση (Frei 1992, Gilg & Frei 1994).

Μελέτες σε ισότοπα Nd-Sr και στις μεταβολές κύριων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και σπάνιων γαιών, υποδεικνύουν την ανάμειξη δύο διαφορετικών μαγμάτων σε περιβάλλον υποβύθισης, που οδήγησε στο σχηματισμό του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου. Πιο συγκεκριμένα, το μάγμα που συμμετείχε περισσότερο ήταν βασικής σύστασης και τύπου ηφαιστειακού τόξου, ενώ το δεύτερο μάγμα, που συμμετείχε λιγότερο, ήταν πυριτικό, ισοτοπικά ραδιογενές ανακτικό μάγμα, ηπειρωτικής προέλευσης (Kalogeropoulos et al. 1990). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί η δημιουργία άλω θερμικής μεταμόρφωσης και η ανάπτυξη Cu-skarn στην επαφή του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, καθώς και των γρανοδιοριτικών – χαλαζοδιοριτικών πετρωμάτων με τα γειτονικά μάρμαρα της ενότητας των Κερδυλίων, σε απόσταση μέχρι και ενός χιλιομέτρου από την επαφή (Gilg & Frei 1994). Τα ορυκτά που σχηματίζονται είναι ασβεστίτης, χαλαζίας, τάλκης, σερπεντίνης, χλωρίτης, αμφίβολλοι και συμμετοχή από σουλφίδια όπως μαγνητοπυρίτης, σιδηροπυρίτης και χαλκοπυρίτης (Gilg & Frei 1994).

Η δεύτερη φάση του Τριτογενούς μαγματισμού συνδέεται με πορφφυτικές φλέβες, με έντονη εξαλλοίωση, και γρανοδιοριτικές ως χαλαζιακές-διοριτικές διεισδύσεις, ηλικίας $25,4 \pm 0,6$ έως $24,4 \pm 0,6$ Ma, σύμφωνα με χρονολογήσεις K/Ar σε βιοτίτες (Gilg & Frei 1994). Οι διεισδύσεις εμφανίζονται στη περιοχή ανάμεσα στη Φυσόκα και τα Άσπρα Χώματα και παρουσιάζουν φυλλιτική εξαλλοίωση, ενώ η ορυκτολογική τους σύσταση περιλαμβάνει αστρίους, βιοτίτη, κεροστίλβη και σπανίως φαινοκρύσταλλους χαλαζία στη κρυπτοκρυσταλλική αστρίων και χαλαζία, ενώ συχνά παρατηρείται αντικατάσταση των αστρίων και των φεμικών ορυκτών από ανθρακικά ορυκτά, χαλαζία, χλωρίτη και σερικήτη (Kockel et al. 1975, Papadakis & Michailidis 1976, Tomprouglou 1981, Περαντώνης 1982). Παράλληλα, κόβουν τους μικρογρανίτες και τους απλίτες του γρανοδιορίτη του Στρατωνίου και σχετίζονται με την υδροθερμική δραστηριότητα στην Ολυμπιάδα, τις Μαύρες Πέτρες και το Μαντέμ Λάκκο (Frei 1992, Gilg & Frei 1994).

Στην τρίτη φάση του Τριτογενούς μαγματισμού ανήκουν διεισδύσεις ανδετικών-προφυριτικών φλεβών, οι οποίες έχουν χρονολογηθεί με τη χρήση της

μεθόδου K/Ar σε βιοτίτες στα $19,1 \pm 0,6$ Ma (Gilg & Frei 1994). Οι φλέβες αυτές αποτελούνται ορυκτολογικά από κεροσίλβη, πλαγιόκλαστο και βιοτίτη μέσα σε κρυπτοκρυσταλλική ως αφανιτική μάζα (Gilg & Frei 1994). Επιπλέον, κάποιες από αυτές τις φλέβες διακόπτει τόσο το ρήγμα του Βαθύλακκα (κοντά στο Μαντέμ Λάκκος), όσο και τη μεταλλοφορία από αντικατάσταση Pb-Zn-Au-Ag σε ανθρακικά πετρώματα, ενώ πιο βόρεια οι φλέβες αυτές διεισδύουν και στο γρανοδιορίτη του Στρατωνίου (Neubauer 1957, Nicolaou 1960).

Παράλληλα, το ρήγμα του Βαθύλακκα διακόπτεται από ένα πυριγενές σώμα πρασινότεφρου χρώματος, το οποίο είναι είτε λαμποφύρης σύμφωνα με τους Kalogeropoulos et al. (1989b), είτε ρυσαδκίτης σύμφωνα με τους Nebel et al. (1991). Η ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος αυτού περιλαμβάνει χαλαζιακούς και δολομιτικούς μαρμάρου ξενόλιθους, ανθρακικά ορυκτά, φυλλώδεις κρυστάλλους Cr-μοσχοβίτη, απατίτη και σουλφίδια σε αφανιτική μάζα ανθρακικών ορυκτών.

3.3. Μεταμορφωτικές συνθήκες

Τα μεταμορφωτικά γεγονότα που παρατηρούνται στην περιοχή είναι τρία. Πιο συγκεκριμένα, η πρώτη μεταμορφωτική δραστηριότητα είναι εκλογιτική μεταμόρφωση υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης (HP-LT, $T=700-1000$ C° και $P=13-14$ kbar) και ηλικίας Παλαιοζωικού. Αυτό υποδεικνύεται από την παρατήρηση κρυστάλλων από τα παλαιότερα βασικά πετρώματα μέσα στα μεταβασικά πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους (Δημητριάδης 1960, Μουντράκης 2010).

Τα εκλογιτικά πετρώματα της πρώτης μεταμόρφωσης επηρεάστηκαν από μια δεύτερη αμφιβολιτική μεταμόρφωση ($T=650-750$ C° και $P=3,5-8,5$ kbar), ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε παραμόρφωση των πετρωμάτων, οδηγώντας στη σχιστοποίηση τους, καθώς επίσης αναπτύχθηκαν τα υπάρχοντα πετρώματα και σχηματίστηκαν γρανίτες και μίγματες. Οι απόψεις για την ηλικία αυτού του μεταμορφωτικού γεγονότος διαφέρουν, με κάποιους ερευνητές να θεωρούν ότι είναι Άνω Παλαιοζωικής ηλικίας ενώ κάποιους άλλους να υποστηρίζουν ότι είναι Ιουραικής ηλικίας (Δημητριάδης 1960, Μουντράκης 2010, Ζαΐμης 2013).

Η τρίτη μεταμορφωτική φάση είναι ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική, με ηλικία Ιουραικό ως Κρητιδικό ή Τριτογενές και συνοδεύεται από τη διείσδυση φλεβών

3.4. Τεκτονική εξέλιξη

Η Σερβομακεδονική Μάζα παρουσιάζει συνεχή και έντονη τεκτονική δραστηριότητα από το Παλαιοζωικό ως το Ηώκαινο-Ολιγόκαινο (Μουντράκης 2010). Σύμφωνα με ραδιοχρονολογήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στον Ελλαδικό χώρο, αποδεικνύεται ότι κατά την Ερκύνια ορογένεση (300Ma), η οποία είναι η πρώτη ορογενετική περίοδος, η πτύχωση των πετρωμάτων ήταν ισοκλινής και μεταμορφωτική με την μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης. Οι πτυχές που δημιουργήθηκαν έχουν διεύθυνση και βυθίζονται προς το βορρά, ενώ ταυτόχρονα σε αυτή τη περίοδο τοποθετείται και η σχιστότητα S_1 που εμφανίζεται στους μιγματίτες (Μουντράκης 2010).

Παράλληλα με την μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης που έλαβε χώρα στο Ιουρασικό, παρατηρείται και η δεύτερη ορογενετική δραστηριότητα στη περιοχή. Η πτύχωση που συνδέεται με αυτή την ορογένεση είναι ισοκλινής και μεταμορφωτική. Οι άξονες των πτυχώσεων που δημιουργήθηκαν είναι ΒΔ-ΝΑ, ενώ παράλληλα δημιουργήθηκε και η κύρια σχιστότητα της Σερβομακεδονικής Μάζας. Η πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωση ηλικίας Α. Ιουρασικού-Κ. Κρητιδικού σχετίζεται με κλειστή, υποϊσοκλινή πτύχωση (Μουντράκης 2010).

Κατά το Α. Κρητιδικό ως το Τριτογενές τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής Μάζας επηρεάζονται από μια πλαστική εκτατική τεκτονική δραστηριότητα (Killias et al. 1999, Φαλαλάκης 2004, Μουντράκης 2010), η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε ημι-πλαστική, κατά το Ηώκαινο-Ολιγόκαινο ως το Κ Μειόκαινο, και με την οποία συνδέεται ο σχηματισμός πυκνών ζωνών διάτμησης με μικρή γωνία κλίσης και κανονική κίνηση προς ΒΑ-ΝΔ, καθώς και σχιστότητα και γράμμωση με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, όπου τοποθετείται παράλληλα ο άξονας εφελκυσμού σ_3 (Killias et al. 1999, Μουντράκης 2010). Η εφελκυστική αυτή τεκτονική οδηγεί σε θραυστιγενείς συνθήκες και δημιουργεί κανονικά ρήγματα, που θεωρούνται ως ενεργά από το Ολιγόκαινο ως και σήμερα (Voidomatis et al. 1990, Παυλίδης 2010, Ζαΐμης 2013).

Τα ρήγματα στη περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής αναπτύσσονται σε τρεις γενικές διευθύνσεις (Pavlidis & Killias 1987, Mountrakis 2006). Το πρώτο σύστημα των ρηγμάτων έχει προσανατολισμό στη κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ, το δεύτερο σύστημα προσανατολίζεται από Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και το τρίτο σύστημα έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Κάποια από τα ρήγματα παρουσιάζουν κατεύθυνση η οποία τείνει σε Β-Ν, ενώ οι εφελκυστικές τάσεις που έχουν κατεύθυνση Β-Ν οδηγούν στη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων με διεύθυνση Α-Δ (Παυλίδης 2010).

Στη περιοχή της ΒΑ Χαλκιδικής χαρακτηριστικό ρήγμα αποτελεί το ρήγμα Στρατωνίου-Βαρβάρας, το οποίο έχει διεύθυνση Α-Δ και εκτείνεται σε μήκος 30km, εκ των οποίων τα μισά βρίσκονται επί ξηράς. Επιπλέον, αποτελεί χαρτογραφικά το όριο μεταξύ της ενότητας των Κερδυλίων και της ενότητας του Βερτίσκου καθώς και με το οφιολιθικό σύστημα Βόλβης-Γοματίου (Dixon & Dimitriadis 1985), χωρίζοντας το ρήγμα σε τρία τμήματα, το ρήγμα του Στρατωνίου, το ρήγμα της Βαρβάρας και το ρήγμα του Γοματίου (Μιχαηλίδου 2005, Χατζηπέτρος κ.α. 2005, Παυλίδης 2010).

3.5. Γεωλογία της περιοχής Ολυμπιάδας

Η μεταλλοφορία σουλφιδίων του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας συνδέεται τοπικά με τεκτονικά λατυποπαγή, πυριγενούς σύστασης, που σχηματίστηκαν μετά τα παραμορφωτικά επεισόδια και βρίσκεται στο κάτω τέμαχος του ρήγματος της Κασσάνδρας (Siron et al., 2018). Τα λατυποπαγή αυτά αποτελούνται από γρανίτες και τμήματα εξαλλοιωμένων μαρμάρων με χαλαζία και ροδοχρωσίτη, το υλικό πλήρωσης τους είναι παρόμοιας σύστασης με τους γραντικούς κλάστες (Siron et al., 2018). Τα σουλφίδια που εμπεριέχονται μέσα στο υλικό πλήρωσης υποδεικνύουν στενή χρονική σχέση μεταξύ του μαγματισμού, της δημιουργίας των λατυποπαγών και της απόθεσης της μεταλλοφορίας. Το μεταλλοφόρο σώμα διακόπτεται από πορφυριτικές διεισδύσεις με αποστρογγυλεμένους φαινοκρυστάλλους (glomerophytic porphyry dikes) (Kalogeropoulos et al., 1989, Siron et al., 2016), που είναι παρόμοιες γεωχημικά με αντίστοιχες Μειοκαινικές διεισδύσεις που διακόπτουν το κοίτασμα του Μαντέμ Λάκκος και της Πιάβιτσα (Gilg & Frei, 1994, Haines, 1998).

Το κοίτασμα της Ολυμπιάδας παρουσιάζει στενή χωρική συσχέτιση με μυλωνικά ως θραυστιγενή ρήγματα που βρίσκονται σε επαφή με τα μάρμαρα μέσα

στα οποία φιλοξενείται (Kalogeropoulos et al., 1989). Μια σειρά από μυλωνιτικές ως πρωτομυλωνιτικές ζώνες διάτμησης εμφανίζονται σε όλη την έκταση του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας και καθορίζουν τα αρχικά στάδια των μεταμορφικών ρηξιγενών γεγονότων στην ευρύτερη περιοχή. Πρόκειται για ζώνες διάτμησης με πλαστική παραμόρφωση, που μεταβαίνουν και στη συνέχεια επικαλύπτονται από νεότερες φάσεις κατά μήκος του ρήγματος της Κασσάνδρας και της ανατολικής ζώνης ρηγμάτων (Siron et al., 2018). Κάθε μια από τις ζώνες ρηγμάτων παρουσιάζει ως και 100m κανονικής μετατόπισης, όπως συμπεραίνεται από τη θέση των μαρμάρων σε σχέση με το γειτονικό χαλαζιο-αστρίουχο βιοτιτικό γνεύσιο (Siron et al., 2018).

Το ρήγμα της Κασσάνδρας παρουσιάζει βύθιση προς τα νοτιοανατολικά, εμφανίζεται στο δυτικό περιθώριο του κοιτάσματος της Ολυμπιάδας και αποτελεί τη λιθοτεκτονική επαφή ανάμεσα στα γραφίτικα μάρμαρα και τους ενδιάμεσους χαλαζιοαστρίουχους βιοτιτικούς γνευσίους, πηγματιτικούς γρανιτικούς γνευσίους και αμφιβολίτες. Οι μυλωνιτικές ως πρωτομυλωνιτικές ζώνες διάτμησης που συνδέονται με το ρήγμα της Κασσάνδρας υποδεικνύουν τα αρχικά στάδια παραμόρφωσης στη περιοχή της Ολυμπιάδας. Οι μυλωνίτες αυτοί εμφανίζονται κυρίως ως μικρής βύθισης διατμητικές ζώνες, με πλάτος λιγότερο από 1 m, μέσα σε πηγματιτικές φλέβες, στα ανώτερα τμήματα της κύριας ενότητας των μαρμάρων και είναι συνήθως υποπαράλληλο με την S_1 σχιστότητα. Οι υφές παραμόρφωσης που εμφανίζονται αποτελούνται από πορφυροκλάστες αστρίων, που περικλείονται από λεπτόκοκκο ως αφαντικό υλικό πλήρωσης, σύστασης ανακρυσταλλωμένου χαλαζία. Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι μοσχοβίτης, χλωρίτης και ανθρακικά ορυκτά, που υποδεικνύουν συνθήκες σχηματισμού πρασινοσχιστολιθικής φάσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4 (Siron et al., 2018). Οι μυλωνιτικές ζώνες διάτμησης μεταβαίνουν πλευρικά και συνήθως επικαλύπτονται από ημιπλαστικές διατμητικές ζώνες. Μη παραμορφωμένες μεταλλοφορίες σουλφιδίων και μεταλλοφόρα πυριτιομένα λατυποπαγή επικαλύπτουν σε τοπικό επίπεδο τις παλαιότερες μυλωνιτικές διατμητικές ζώνες και παρουσιάζουν οξείες και ασύμφωνες επαφές με τις υπάρχουσες τεκτονικές υφές (Siron et al., 2018).

Δεδομένα από γεωλογικές χαρτογραφήσεις στη περιοχή και από γεωτρήσεις στο ανατολικό τμήμα του κοιτάσματος καθορίζουν την ύπαρξη μια ζώνη ρηγμάτων πλάτους 5 ως 20 m, με παράταξη B-N, που εκτείνεται για περισσότερο από 1 km. Στο κάτω τέμαχος της εμφανίζονται μυλωνίτες, όχι όμως με την ίδια αφθονία που εμφανίζονται στο ρήγμα της Κασσάνδρας. Το ανατολικό ρήγμα καθορίζεται από



πτυχωμένες, ημιθραυσιγενείς ζώνες διάτμησης και πυριτιωμένα κατακλαστικά λατυποπαγή.

Επιπλέον, στο νοτιοανατολικό τμήμα του κοιτάσματος εμφανίζονται πυριτιωμένα λατυποπαγή με παράταξη B-N και αποτελούνται από χαλκιδόνιο, είναι πλούσια σε χαλαζία και συνήθως συνοδεύονται από φλέβες χαλαζία-ροδοχρωσίτη. Οι φλέβες αυτές χαρακτηρίζονται από ανθρακί χρώμα και εξαλλοιωμένη εμφάνιση καθώς και μια τοπική πυριτίωση του γειτονικού μεταμορφωμένου πετρώματος (Siron et al., 2018). Τα λατυποπαγή αποτελούνται από υπογωνιώδεις ως γωνιώδεις κλάστες γρανιτικού γενέσιου, που έχουν δεχθεί σερικιτική εξαλλοίωση και τμήματα μαρμάρων και σουλφιδίων ενώ το υλικό πλήρωσης απαρτίζεται από σκούρο τεφρό χαλκηδόνιο-χαλαζία και περιέχει διάσπαρτο ιδιόμορφο σιδηροπυρίτη και ακτινωτό αρσеноπυρίτη. Επιπρόσθετα, τα λατυποπαγή μπορεί να εμφανίζουν αυξημένη περιεκτικότητα σε χρυσό, που τοπικά μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 19 gt/t (Siron et al., 2018).

4. Τύποι μεταλλοφορίας

4.1. Πολυμεταλλικό κοίτασμα της Ολυμπιάδας

Το πολυμεταλλικό κοίτασμα της Ολυμπιάδας βρίσκεται 1 km δυτικά του οικισμού της Ολυμπιάδας και περίπου 6 km βόρεια από το ρήγμα του Στρατωνίου. Παρουσιάζει πολλούς διαφορετικούς τύπους μεταλλοφορίας, όπως παραγένεση σουλφιδίων στα οποία κυριαρχούν οι γαληνίτες-σφαλερίτες και παραγένεση πλούσια σε σιδηροπυρίτη, με σημαντικές περιεκτικότητες σε αρσеноπυρίτη και ίχνη χαλκοπυρίτη. Σύμφωνα με τον Hann et al. (2012), η μεταλλοφορία της Ολυμπιάδας χρονολογείται στο Ολιγόκαινο-Μειόκαινο, με βάση χρονολόγηση Re-Os σε αρσеноπυρίτη που έδωσε ηλικία $26,1 \pm 5,3$ Ma. Η ηλικία αυτή σε συνδυασμό με τις υφές που εμφανίζονται, συμφωνεί με το σχηματισμό μαζώδων σουλφιδίων μετά την Αλπική παραμόρφωση και πιθανώς σχετίζονται με το μεταλλογενετικό γεγονός του Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου. Τοπικά η μεταλλοφορία Ag-Zn-Pb εμφανίζεται μαζώδης ως ταινιωτή και τοπικά μεταβαίνει σε μεταλλοφορία με αρσеноπυρίτη πλούσιο σε Au και πυριτιωμένα τεκτονικά λατυποπαγή (breccia) που φέρουν αρσеноπυρίτη και βουλανζερίτη, μαζί με διάχυτες ζώνες διάσπαρτου σιδηροπυρίτη και αρσеноπυρίτη, που συνδέονται με εξαλλοίωση χαλαζία-ροδοχρωσίτη $\pm$ ροδονίτη (Siron et al., 2018). Στο ανατολικό τμήμα του κοιτάσματος εμφανίζονται φλέβες χαλαζία-ροδοχρωσίτη που περιέχουν σημαντικές περιεκτικότητες αρσеноπυρίτη-βουλανζερίτη (Siron et al., 2016). Επιπλέον, στα βορειότερα τμήματα εμφανίζονται φακοί αρσеноπυρίτη πλούσιοι σε Au και πυριτιωμένα λατυποπαγή, που περιέχουν ροδοχρωσίτη-ροδονίτη.

Τα σουλφίδια εμφανίζουν αδρόκοκκη μορφή φακών που διακόπτουν και αντικαθιστούν τα μάρμαρα μέσα στα οποία φιλοξενούνται. Οι παραπάνω υφές είναι κατά κύριο λόγο ασύμφωνες με τη σχιστότητα και τα μάρμαρα, ωστόσο σε τοπικό επίπεδο γίνονται σύμφωνες και μιμούνται την πτύχωση των μαρμάρων (Kalogeropoulos et al., 1989). Επιπλέον, η παρουσία τους έχει ερμηνευθεί ως αποτέλεσμα ενός προ-παραμορφωτικού γεγονότος, ενώ οι υφές αντικατάστασης που διακόπτουν τα μάρμαρα είναι πολύ πιο συνηθισμένες (Siron et al., 2016). Τα ορυκτά της μεταλλοφορίας δεν εμφανίζουν ενδείξεις παραμόρφωσης υποδεικνύοντας ότι έχουν σχηματιστεί από τη ψευδομορφική αντικατάσταση της προϋπάρχουσας F₂ πτυχής

(Siron et al., 2016). Η γεωμετρία του μεταλλοφόρου σώματος επηρεάζεται σημαντικά από τη μορφολογία της ακολουθίας μαρμάρων-γνευσίων μέσα στην οποία φιλοξενείται (Siron et al., 2018). Ορισμένοι φακοί σουλφιδίων σχηματίζουν επιμήκης μορφές σαν πούρα/τσιγάρα και η επιμηκυσμένη του πλευρά είναι προσανατολισμένη προς τα νοτιοανατολικά (Veligrakis & Dalampiras, 2016).

4.2 Πορφυριτικό σύστημα – Σκουριές

Η πορφυριτική μεταλλοφορία των Σκουριών και συνδέεται με υψηλού K, ασβεσταλκαλικό, χαλαζιακό, μονζονιτικό πορφύρη. Η ηλικία του έχει υπολογιστεί στο Κάτω Μειόκαινο ($20,56 \pm 0,48$ Ma) με γεωχρονολόγηση U-Pb, ενώ η ηλικία της ποτασσικής ζώνης εξαλλοίωσης υπολογίστηκε σε υδροθερμικό βιοτίτη στα $19,9 \pm 0,9$ Ma (Hahn et al., 2012). Ωστόσο αυτού του τύπου μαγματισμός είναι ευρέως διαδεδομένος στη περιοχή. Το πορφυριτικό σύστημα διείσδυσε σε μια μεγάλου πάχους ακολουθία χαλαζιακού αστριο-βιοτιτικού γνευσίου, κοντά στον άξονα κλίσης ενός ΔΒΔ αντικλίνου. Οι υπάρχουσες λιθολογικές και τεκτονικές συνθήκες επέτρεψαν τον περιορισμό των ρευστών σε ένα ευνοϊκό περιβάλλον απόθεσης. Τα μαγματικά-υδροθερμικά ρευστά εγκλωβίστηκαν ανάμεσα στον πορφύρη και το άμεσα γειτονικό πέτρωμα σχηματίζοντας μορφές πλέγματος φλεβιδίων (stockwork), κατακόρυφων φλεβών (sheeted veins) και διάσπαρτης μεταλλοφορίας σουλφιδίων του χαλκού, με Au (Siron et al., 2016). Στο κοίτασμα έχουν παρατηρηθεί τέσσερις φάσεις φλεβών και εξαλλοιώσεων. Οι παλαιότερες φλέβες αποτελούνται από χαλαζία, μαγνητίτη και χαλαζία-μαγνητίτη σε μορφή stockwork και σχετίζονται με εξαλλοίωση διάσπαρτου μαγνητίτη και δευτερογενούς K-αστρίου (Siron et al., 2018). Η παρουσία Au-Cu συνοδεύεται από φλέβες χαλαζία-μαγνητίτη-χαλκοπυρίτη, που συνδέονται με εξαλλοίωση K-αστρίου-βιοτίτη-μαγνητίτη, καθώς και με ένα μεταγενέστερο σύστημα φλεβών χαλαζία-βιοτίτη-χαλκοπυρίτη-βορνίτη ± μαγνητίτη (Kroll et al., 2002, Siron et al., 2016).

4.3 Κοιτάσματα αντικατάστασης: Μαντέμ Λάκκος - Μαύρες Πέτρες

Το κοιτάσμα του Μαντέμ Λάκκος βρίσκεται 2 km ΒΔ του οικισμού του Στρατωνίου και η μεταλλοφορία του εμφανίζεται με τη μορφή αντικατάστασης ή skarn μέσα στα μάρμαρα της ενότητας των Κερδυλίων (Nebel, 1989, Nebel et al., 1991, Gilg, 1993, Gilg & Frei, 1994, Haines, 1998, Hanh et al., 2014, Siron et al., 2016). Επιπλέον, η παρουσία των σουλφιδίων επικεντρώνεται κυρίως στις θέσεις επαφής των γνευσίων με τα μάρμαρα, αλλά και ως σώματα αντικατάστασης μέσα στους γνεύσιους (Haines, 1998). Τα μεταλλοφόρα σώματα ελέγχονται από εκτατικά ρήγματα καθώς και από το ΑΝΑ αντίκλινο που βρίσκεται στο κάτω τέμαχος του ρήγματος του Στρατωνίου (Nebel et al., 1991, Gilg, 1993, Gilg & Frei, 1994, Haines, 1998, Siron et al., 2016). Η μεταλλογενετική ιστορία του κοιτάσματος είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, περιλαμβάνει μια αρχική φάση αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων με σουλφίδια, περιορισμένη εμφάνιση μεταλλοφορίας τύπου skarn και μια νεότερη φάση σουλφιδίων, πλούσια σε χαλαζία (Siron et al., 2018). Η παλαιότερη μεταλλοφορία αποτελείται από γαληνίτη-σφαλερίτη-σιδηροπυρίτη-μαγνητοπυρίτη-αρσеноπυρίτη και επικαλύπτεται μερικώς από τη νεότερη που περιέχει χαλαζία-σιδηροπυρίτη ± αρσеноπυρίτη-σφαλερίτη-γαληνίτη-χαλκοπυρίτη και διάφορα θειοάλατα όπως π.χ. βουλανζερίτη (Siron et al., 2018).

Αντίστοιχα με το Μαντέμ Λάκκος, οι Μαύρες Πέτρες αποτελούν κοιτάσμα αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων και βρίσκεται περίπου 1 km προς τα δυτικά του Μαντέμ Λάκκος. Τα μεταλλοφόρα σώματα περιορίζονται στη ζώνη ρηγμάτων του Στρατωνίου και εμφανίζονται μέσα σε φακούς μαρμάρων, που διαπλέκονται περίπλοκα μαζί με γραφιτικούς χαλαζιο-βιοτιτικούς γνεύσιους και σχιστόλιθους, γρανιτικούς γνεύσιους και αμφιβολίτες (Siron et al., 2018). Η ενότητα των μαρμάρων θεωρείται αντίστοιχη με τα μάρμαρα που φιλοξενούν τα κοιτάσματα στην Ολυμπιάδα και στο Μαντέμ Λάκκο (Kalogeropoulos et al., 1989). Η μεταλλοφορία αποτελείται από μαζώδη ως ταινιωτό, αδρόκοκκο, σιδηροπυρίτη-σφαλερίτη-γαληνίτη και συνοδεύεται από περιορισμένο αρσеноπυρίτη-αντιμονίτη και ίχνη χαλκοπυρίτη.

5. Νομοθεσία και βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα όντας από τους σημαντικότερους και πιο επικίνδυνους ρυπαντές του περιβάλλοντος, οδήγησαν στη θέσπιση κατάλληλου νομοθετικού πλαισίου για τον προσδιορισμό των επιτρεπτών τους ορίων. Στόχος της νομοθεσίας είναι η προστασία τόσο του περιβάλλοντος όσο και της ανθρώπινης υγείας από τα τοξικά αυτά μέταλλα. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ορίσει συγκεκριμένες οδηγίες για τις περιεκτικότητες βαρέων μετάλλων που θεωρούνται αποδεκτές (Πίνακας 5.1). Επιπλέον, κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. προσάρμοσε τις οδηγίες αυτές στα δικά του κριτήρια, χωρίς όμως να αποκλίνουν πολύ από τις αρχικές τιμές.

Η απόφαση της Επιτροπής της 3/11/2006 [E(2006) 5369] με θέμα τον «καθορισμό αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των απαιτήσεων για την αξιολόγηση και την εξακρίβωση περί απονομής κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδαφών» ορίζει τις ανώτερες οριακές τιμές για τα βαρέα μέταλλα (Πίνακας 5.1.1). Οι περιεκτικότητες αυτές ισχύουν για όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. εκτός αν το νομοθετικό πλαίσιο του κάθε κράτους ορίζει αυστηρότερα μέτρα. Πιο συγκεκριμένα, για τα στοιχεία Mo, Se, As και F απαιτούνται δεδομένα μόνο για προϊόντα που προέρχονται από βιομηχανικές διεργασίες.

Πίνακας 5.1.1: Περιεκτικότητες των εδαφοβελτιωτικών σε βαρέα μέταλλα (E [2006] 5369 «περί καθορισμού αναθεωρημένων οικολογικών κριτηρίων και των σχετικών απαιτήσεων αξιολόγησης και εξακρίβωσης για την απονομή κοινοτικού οικολογικού σήματος σε βελτιωτικά εδάφους»).

Στοιχείο	Ξηρό βάρος (mg/kg)	Στοιχείο	Ξηρό βάρος (mg/kg)
Zn	300	Cr	100
Cu	100	Mo	2
Ni	50	Se	1,5
Cd	1	As	10
Pb	100	F	200
Hg	1		

Πίνακας 5.1: Τα επιτρεπτά όρια βαρέων μετάλλων έτσι όπως ορίζονται από το Ευρωπαϊκό και Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο. Οι περιεκτικότητες είναι εκφρασμένες σε mg/kg d.m. (από ORBIT/ECN 2008 και Έκθεση: «Technical report for End of Waste criteria on Biodegradable waste subject to biological treatment» - Παράρτημα 3).

Χώρα	Κανονισμός	Τύπος Προτύπου	Cd (mg/kg d.m)	Hg (mg/kg d.m)	Ni (mg/kg d.m)	Pb (mg/kg d.m)	Zn (mg/kg d.m)	As (mg/kg d.m)
Ελλάδα	ΚΥΑ 114218, ΦΕΚ,1016/Β/17-11-97 (Πλαίσιο προδιαγραφών και γενικά προγράμματα για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων)	Νομοθετικό διάταγμα	10	5	200	500	2000	15
	COM Απόφαση (EC) n° 64/2007 οικολογικό σήμα σε υποστρώματα φύτευσης	Εθελοντικά (μόνο εάν εμπεριέχονται υλικά από βιομηχανικές διεργασίες)	1	1	50	100	300	10
	COM Απόφαση (EC) n° 799/2006 οικολογικό σήμα σε εδαφοβελτιωτικά EC Reg. n° 2092/91. Συμμόρφωση με τα όρια που απαιτούνται για κομποστοποίηση μόνο από βιοαπόβλητα που διαχωρίζονται στην πηγή	Νομοθετημένο	0,7	0,4	25	45	200	-

5.1. Ελληνικό Νομοθετικό Πλαίσιο

Η Υπουργική Απόφαση 80568/4225/91 «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύς που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων (ΦΕΚ 641/Β/7-08-1991)» ορίζει τις οριακές τιμές των βαρέων μετάλλων στο έδαφος και στην ιλύ, που προέρχεται από επεξεργασία λυμάτων, σύμφωνα με την Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Ευρωπαϊκού. Η ιλύς που παράγεται από αστικά και οικιακά λύματα και προορίζεται για χρήση στο γεωργικό τομέα θα πρέπει να τηρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές τόσο για τη περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα, όσο και για τη ποσότητα που μπορεί να προσδώσει στο έδαφος στο οποίο θα τοποθετηθεί. Τα βαρέα μέταλλα που εξετάζονται από τη συγκεκριμένη οδηγία είναι το Κάδμιο, ο Χαλκός, το Νικέλιο, ο Μόλυβδος, Ψευδάργυρος, ο Υδράργυρος και το Χρώμιο.

Στο Παράρτημα Ι Α παρατίθενται οι οριακές τιμές των εξεταζόμενων βαρέων μετάλλων στο έδαφος. Η μέτρηση των τιμών πραγματοποιείται σε mg/kg ξηράς ουσίας αντιπροσωπευτικού δείγματος εδάφους με pH 6-7. Τις χαμηλότερες οριακές τιμές εμφανίζουν το κάδμιο και ο υδράργυρος (1-3 mg/kg και 1-1,5 mg/kg, αντίστοιχα), καθώς αποτελούν δυνητικά τα πιο επικίνδυνα από τα βαρέα μέταλλα τόσο για το περιβάλλον όσο και για τον άνθρωπο, τη πανίδα και τη χλωρίδα της περιοχής. Μέσες τιμές έχουν το νικέλιο και ο χαλκός (30-75 mg/kg και 50-140 mg/kg, αντίστοιχα), και τις υψηλότερες ο μόλυβδος και ο ψευδάργυρος (50-300 mg/kg και 150-300 mg/kg, αντίστοιχα), όπως αναγράφονται στον Πίνακα 5.1.1. Για το χρώμιο δεν έχουν καθοριστεί οριακές τιμές. Με βάση την παρούσα Υπουργική Απόφαση οι υπεύθυνες αρμόδιες αρχές μπορούν να επιτρέψουν την υπέρβαση των οριακών τιμών στη περίπτωση που η ιλύς προορίζεται για χρήση σε εδάφη που καλλιεργούνται προϊόντα αποκλειστικά για τη παραγωγή ζωοτροφών. Επιπλέον, για το χαλκό, το νικέλιο και το ψευδάργυρο επιτρέπεται η υπέρβαση των ορίων μόνο στη περίπτωση που το pH του εδάφους είναι σταθερά μεγαλύτερο του 7. Ωστόσο, δε θα πρέπει οι περιεκτικότητες των μετάλλων να ξεπερνούν το 50% των αρχικών τους οριακών τιμών. Η αρμόδια αρχή θα πρέπει να μεριμνεί να μη προκύψει κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και κυρίως τα υπόγεια ύδατα.

Πίνακας 5.1.1: Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων (mg/kg) στο έδαφος (Υπουργική Απόφαση 80568/4225/91 «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων»).

Παράμετροι	Οριακές (mg/kg)
Cd	1-3
Cu	50-140
Ni	30-75
Pb	50-300
Zn	150-300
Hg	1-1.5
Cr	-

Με βάση το Παράρτημα I B της ίδιας απόφασης ορίζονται οι οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ που χρησιμοποιείται στη γεωργία (Πίνακας 5.1.2). Το κάδμιο και ο υδράργυρος παρουσιάζουν και πάλι τα χαμηλότερα όρια (20-40 και 16-25 mg/kg, αντίστοιχα), το νικέλιο, ο μόλυβδος και ο χαλκός έχουν μέσα όρια (300-400 mg/kg, 750-1200 mg/kg και 100-1750 mg/kg, αντίστοιχα), ενώ ο ψευδάργυρος έχει τα υψηλότερα όρια (2500-4000 mg/kg). Για το χρώμιο δεν έχουν ορισθεί οριακές τιμές.

Πίνακας 5.1.2: Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων (mg/kg) στην ιλύ (Υπουργική Απόφαση 80568/4225/91 «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων»).

Παράμετροι	Οριακές (mg/kg)
Cd	20-40
Cu	1000-1750
Ni	300-400
Pb	750-1200
Zn	2500-4000
Hg	16-25
Cr	-

Επιπρόσθετα, η Υπουργική Απόφαση ορίζει στο Παράρτημα Ι Γ τις οριακές τιμές για τις ποσότητες των βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισάγονται κατ' έτος στα καλλιεργημένα εδάφη με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών (Πίνακας 5.1.3). Για το κάδμιο και τον υδράργυρο ορίζονται οι χαμηλότερες τιμές (0,15 mg/εκτάριο/έτος και 0,1 mg/εκτάριο/έτος, αντίστοιχα), για το νικέλιο οι οριακές τιμές είναι 3 mg/εκτάριο/έτος, για το χαλκό, το μόλυβδο και το ψευδάργυρο ορίζονται οι μεγαλύτερες τιμές (12 mg/εκτάριο/έτος, 15 mg/εκτάριο/έτος και 30 mg/εκτάριο/έτος, αντίστοιχα), ενώ για το χρώμιο δεν έχουν οριστεί τιμές. Αντίστοιχα με το Παράρτημα Ι Α οι αρμόδιες αρχές έχουν τη δυνατότητα να επιτρέψουν την υπέρβαση των οριακών τιμών, σε εδάφη στα οποία καλλιεργούνται προϊόντα για τη παραγωγή ζωοτροφών, μεριμνώντας να μην υπάρχει περιβαλλοντικός κίνδυνος.

Πίνακας 5.1.3: Οριακές τιμές βαρέων μετάλλων (mg/kg) που μπορούν να εισάγονται στο έδαφος κατ' έτος (Υπουργική Απόφαση 80568/4225/91 «Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων»).

Παράμετροι	Οριακές (mg/kg)
Cd	20-40
Cu	1000-1750
Ni	300-400
Pb	750-1200
Zn	2500-4000
Hg	16-25
Cr	-

Στο Παράρτημα ΙΙ Α αναφέρεται ότι πριν τη χρήση της, η ιλύς θα πρέπει να υποβληθεί σε κατάλληλους ελέγχους προκειμένου να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα της σε βαρέα μέταλλα και να είναι εντός των ορίων του Παραρτήματος Ι Α. Επιπλέον, στο Παράρτημα ΙΙ Β ορίζεται ότι το έδαφος στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί η ιλύς θα πρέπει να πληρεί τις απαραίτητες προδιαγραφές.

Πιο συγκεκριμένα, οι αρχές θα πρέπει να πραγματοποιούν τις κατάλληλες αναλύσεις, λαμβάνοντας υπόψιν τα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία για τα χαρακτηριστικά και την ομοιογένεια του εδάφους. Οι παράμετροι που οφείλονται να

εξετάζονται είναι το pH και οι περιεκτικότητες σε κάδμιο, χαλκό, μόλυβδο, νικέλιο, ψευδάργυρο, υδράργυρο και χρώμιο. Η ανάλυση του εδάφους πρέπει να πραγματοποιείται σε αντιπροσωπευτικά δείγματα, που παρασκευάζονται με ανάμειξη 25 πυρήνων γεωτρήσεων. Η δειγματοληψία γίνεται σε έκταση μικρότερη ή ίση με 5 εκτάρια και η οποία καλλιεργείται με ομοιόμορφο τρόπο. Το βάθος από το οποίο γίνεται η απόληψη των δειγμάτων είναι 25 cm, εκτός από την περίπτωση που το καλλιεργήσιμο έδαφος έχει μικρότερο πάχος. Ωστόσο, η δειγματοληψία δε πρέπει να γίνεται σε βάθος μικρότερο των 10 cm. Οι αναλύσεις για τα βαρέα μέταλλα πραγματοποιούνται αφού το δείγμα υποβληθεί σε κατεργασία με ισχυρά οξέα. Ως μέθοδος αναφοράς χρησιμοποιείται η φασματομετρία ατομικής απορρόφησης. Το όριο ανιχνευσιμότητας κάθε μετάλλου δε θα πρέπει να ξεπερνάει το 10% της αντίστοιχης οριακής του τιμής.

Η παραπάνω απόφαση αντικαταστάθηκε από το σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης με θέμα «Μέτρα, όροι και διαδικασίες για τη χρησιμοποίηση της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία αστικών και οικιακών λυμάτων καθώς και ορισμένων υγρών αποβλήτων σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Αντικατάσταση της 80568/4225/1991 κοινής Υπουργικής Απόφασης». Σκοπός του σχεδίου είναι η περαιτέρω εξειδίκευση των διατάξεων που αναφέρονται στο Νόμο 1650/86 άρθρο 11 παράγραφος 3, σε συμμόρφωση με την οδηγία 86/278/ΕΟΚ, καθώς και αντικατάσταση της Υ.Α. 80568/4225/1991, έτσι ώστε να καθοριστούν τα κατάλληλα μέτρα, όροι και διαδικασίες για την αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων στο έδαφος, στο νερό και στην υγεία των ζώων και των ανθρώπων. Επιπρόσθετα, αποσκοπεί στη χρήση της ιλύς στη γεωργία, στη δασοπονία και στην αποκατάσταση, εξασφαλίζοντας παράλληλα ένα υψηλό επίπεδο προστασίας.

Σύμφωνα με το Παράρτημα Ι ορίζεται η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στην ιλύ που προορίζεται για εδαφική χρήση (Πίνακας 5.1.4). Στο Παράρτημα ΙΙ αναγράφονται οι επιτρεπόμενες περιεκτικότητες των στοιχείων για το έδαφος, ωστόσο απαγορεύεται αυστηρά η χρήση της ιλύς στη περίπτωση που το pH του εδάφους είναι μικρότερο του 5 (Πίνακας 5.1.5).

Πίνακας 5.1.4: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στην ιλύ για εδαφική εφαρμογή (Σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Μέτρα, όροι και διαδικασίες για τη χρησιμοποίηση της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων καθώς και ορισμένων υγρών αποβλήτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Αντικατάσταση της 80568/4225/1991 (Β'641) κοινής Υπουργικής απόφασης.»)

Μέταλλο	Μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση (mg/kg ξηράς ουσίας)
Cd	5
Cr (ολικό)	500
Cu	800
Hg	5
Ni	200
Pb	500
Zn	2500

Πίνακας 5.1.5: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων στο έδαφος ώστε να επιτρέπεται εδαφική διάθεση ιλύος (Σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Μέτρα, όροι και διαδικασίες για τη χρησιμοποίηση της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων καθώς και ορισμένων υγρών αποβλήτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Αντικατάσταση της 80568/4225/1991 (Β'641) κοινής Υπουργικής απόφασης.»).

Μέταλλο	mg/kg ξηράς ουσίας		
pH εδάφους	5 ≤ pH ≤ 6	6 ≤ pH ≤ 7	pH ≥ 7
Cd	0,5	1	1,5
Cr (ολικό)	50	75	100
Cu	40	50	100
Hg	0,2	0,5	1
Ni	30	50	70
Pb	50	70	100
Zn	100	150	200

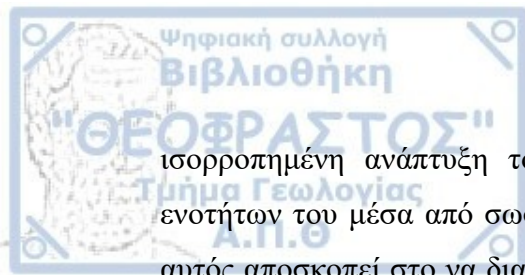
Επιπλέον, στο Παράρτημα ΙΙΙ του σχεδίου ορίζεται η επιτρεπτή φόρτιση των εδαφών από βαρέα μέταλλα σε ετήσια βάση (Πίνακας 5.1.6). Η αδειοδοτούσα αρχή μπορεί να επιτρέψει την υπέρβαση όσο αφορά το χαλκό και το ψευδάργυρο, μόνο όταν οι εδαφικές εκτάσεις παρουσιάζουν σημαντική έλλειψη στα δύο αυτά μέταλλα, καθώς θεωρούνται απαραίτητα για τη σωστή ανάπτυξη των καλλιεργειών. Παράλληλα μπορεί να επιτραπεί η υπέρβαση του ανώτατου ετήσιου ορίου όταν η ιλύς χρησιμοποιείται σε εδάφη για αποκατάσταση ή για αναδάσωση σε περιοχή που απαιτεί επιπλέον προσθήκη οργανικής ύλης και στις δύο περιπτώσεις συνεχίζουν να ισχύουν οι οριακές τιμές που αναφέρονται στα Παραρτήματα Ι και ΙΙ.

Πίνακας 5.1.6: Μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις μετάλλων στο έδαφος από την εδαφική διάθεση ιλύος (Σχέδιο Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Μέτρα, όροι και διαδικασίες για τη χρησιμοποίηση της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων καθώς και ορισμένων υγρών αποβλήτων, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Αντικατάσταση της 80568/4225/1991 (Β'641) κοινής Υπουργικής απόφασης.»).

Μέταλλο	kg/ha/έτος
Cd	0,015
Cr (ολικό)	3
Cu	3
Hg	0,01
Ni	0,75
Pb	1
Zn	7,5

Ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπως η Ολλανδία και η Γαλλία, καθώς και ο Καναδάς και οι Η.Π.Α. έχουν παραπάνω από μια οριακές τιμές, για συγκεκριμένες χρήσεις του εδάφους (Πίνακας 5.1.7).

Επιπλέον, το ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο με τη ψήφιση του Νόμου 1650/86 επιδιώκει την αποτροπή ρύπανσης του περιβάλλοντος με τη λήψη των κατάλληλων μέτρων πρόληψης, την προστασία της ανθρώπινης υγείας από οποιαδήποτε ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς και τη διατήρηση των φυσικών οικοσυστημάτων σε ισορροπία και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, προσδοκεί στην



ισορροπημένη ανάπτυξη του εθνικού χώρου, των γεωγραφικών και οικιστικών ενότητων του μέσα από σωστή διαχείριση του περιβάλλοντος. Παράλληλα, ο νόμος αυτός αποσκοπεί στο να διασφαλίσει τη δυνατότητα ανανέωσης των φυσικών πόρων και την ορθή εκμετάλλευση των μη ανανεώσιμων ή πολύ σπάνιων, με άξονα την προστασία του περιβάλλοντος.

Πίνακας 5.1.7: Οριακές τιμές συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών στο έδαφος (mg/kg)

Στοιχείο	Ολλανδία		Καναδάς		Γαλλία		ΗΠΑ
	Όριο διερεύνησης κινδύνου	Όριο λήψης άμεσων μέτρων	Ανώτατο επιτρεπτό όριο		Συνιστάται αποκατάσταση	Επιβάλλεται αποκατάσταση	Άμεση αποκατάσταση
			Κατοικίες Αναψυχή	Βιομηχανική χρήση			
Sb	-	-	20	40	-	-	14
As	30	50	30	50	100	200	20
Ba	400	2.000	500	2.000	1.000	2.000	700
Be	-	-	4	8	-	-	1-2
B	-	-	-	-	100	200	-
Cd	5	20	5	20	10	20	39
Cr	250	800	250	800	750	1.500	-
Co	50	300	50	300	150	300	-
Cu	100	500	100	500	500	1.000	600
CN	-	-	-	-	-	-	1.100

Πίνακας 5.1.7 (συνέχεια): Οριακές τιμές συγκέντρωση βαρέων μετάλλων και μεταλλοειδών στο έδαφος (mg/kg)

Στοιχείο	Ολλανδία		Καναδάς		Γαλλία		ΗΠΑ
	Όριο διερεύνησης κινδύνου	Όριο λήψης άμεσων μέτρων	Ανώτατο επιτρεπτό όριο		Συνιστάται αποκατάσταση	Επιβάλλεται αποκατάσταση	Άμεση αποκατάσταση
			Κατοικίες Αναψυχή	Βιομηχανική χρήση			
F	-	-	-	-	-	-	2.300
Pb	150	600	500	1.000	500	1.000	400
Mn	-	-	-	-	5.000	10.000	-
Mo	40	200	10	40	20	40	-
Ni	100	500	100	500	250	500	250
Se	-	-	3	10	50	100	63
Ag	-	-	20	40	50	100	110
Sn	50	300	50	300	100	200	-
V	-	-	200	-	500	1000	-
Zn	500	3.000	500	1.500	1.500	3.000	-
S (ολικό)	20	200	-	-	-	-	-

5.2 Περιβαλλοντικές μελέτες

Στην ευρύτερη περιοχή της Ολυμπιάδας, έχουν πραγματοποιηθεί και συνεχίζουν να διεξάγονται μετρήσεις για βαρέα μέταλλα στα πλαίσια του Προγράμματος Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης της Ελληνικός Χρυσός Α.Ε. Το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιεί συνεχείς μετρήσεις όλο το χρόνο τόσο εντός των μεταλλευτικών εγκαταστάσεων όσο και στις γύρω περιοχές. Στους Πίνακες 5.1-5.3, παρατίθενται οι μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί (1998-2020) στα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα, καθώς και στα εδάφη στην Ολυμπιάδα και πιο συγκεκριμένα στο ρέμα Μπασδέκη και πέριξ αυτού (<https://environmental.hellas-gold.com/>).

Πίνακας 5.1: Μετρήσεις βαρέων μετάλλων (μg/L) σε υπόγεια ύδατα στην ευρύτερη περιοχή του ρέματος Μπασδέκη (Θέση OWG105A&B: Συμβολή ρεμάτων Μπασδέκη και Μπαζίνα, Θέση OWG106: Κατάντη εισόδου γραφείων του μεταλλείου Ολυμπιάδας και της OWG108, Θέση OWG108: Κατάντη εισόδου γραφείων του μεταλλείου Ολυμπιάδας)

	As (μg/L)	Cd (μg/L)	Cr (μg/L)	Cu (μg/L)	Fe (μg/L)
OGW105A	0,50-36,64	0,03-0,37	0,003-0,05	0,003-0,01	0,003-0,01
OGW105B	0,50-11,94	0,03-0,37	0,003-0,008	0,003-0,006	0,003-1,00
OGW106	0,50-14,61	0,03-0,73	0,003	0,003	0,003-0,65
OGW108	2,15-33,26	0,03-1,11	0,003-0,01	0,003-0,006	0,003-39,38
	Mn (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Sb (μg/L)	Zn (μg/L)
OGW105A	0,003-0,08	0,003	0,5-27,87	-	0,003-1,49
OGW105B	0,003-0,12	0,003-0,006	0,5-24,29	-	0,003-0,28
OGW106	0,003-0,27	0,003	0,5-35,87	-	0,003-0,24
OGW108	0,003-5,70	0,003-0,10	0,5-54,89	-	0,003-0,20

Πίνακας 5.2: Μετρήσεις βαρέων μετάλλων (μg/L) σε επιφανειακά ύδατα στην ευρύτερη περιοχή του ρέματος Μπασδέκη (Θέση OSW11: Μπασδέκης-Ανάντη Ζώνης Διήθησης, Θέση OSW12: Μπασδέκης-Ανάντη συμβολές με ρέμα Μπαξίνα, Θέση OSW13: Μπασδέκης-Τελική απορροή ρέματος)

	As (μg/L)	Cd (μg/L)	Cr (μg/L)	Cu (μg/L)	Fe (μg/L)
OSW11	0,50-300	0,30-1,33	0,003-0,01	0,01-0,04	0,10-1,55
OSW12	0,50-379,40	0,32-50,00	0,003-0,02	0,002-0,05	0,003-7,62
OSW13	0,50-239,00	0,03-8,73	0,003-0,06	0,003-0,09	0,003-3,55
	Mn (μg/L)	Ni (μg/L)	Pb (μg/L)	Sb (μg/L)	Zn (μg/L)
OSW11	0,007-0,72	0,003-0,04	0,5 -289,50	-	0,003-0,29
OSW12	0,009-7,83	0,003-0,02	2,14-547,10	-	0,009-1,02
OSW13	0,003-9,44	0,003-0,07	0,50-1462,00	-	0,003-0,23

Πίνακας 5.3: Μετρήσεις βαρέων μετάλλων (mg/kg) σε εδάφη στην ευρύτερη περιοχή του ρέματος Μπασδέκη (Θέση OGM05: Όρια εγκαταστάσεων, Θέση OGM07: Οικισμός Ολυμπιάδας-Όρια προς εγκαταστάσεις)

	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Fe (mg/kg)
OGM05	166,80-369,00	0,99-3,30	40,00-171,00	15,00-31,20	19.213-32.130
OGM07	325-969	1,90-3,60	43,00-74,00	22,00-69,00	23.830-45.237
	Mn (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
OGM05	750-1.582	20,00-32,70	-	13,00-41,00	185-399
OGM07	1.625-2.681	19,00-40,00	-	77,00-140	387-945



6. Μεθοδολογία

6.1. Δειγματοληψία

Η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στη περιοχή του ρέματος Μπασδέκη, που εκβάλει στην ακτή της Ολυμπιάδας. Πιο συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν 6 ολικά δείγματα εκ των οποίων 4 είναι δείγματα ιζήματος κατά μήκος του ρέματος (MP 1.1, 1.2, 1.3 και 2) και 2 προέρχονται από παράλια ιζήματα, στη θέση όπου εκβάλει το ρέμα (MP 3.1 και 3.2). Πριν πραγματοποιηθεί η δειγματοληψία, απομακρύνθηκε το επιφανειακό στρώμα του εδάφους προκειμένου το δείγμα να είναι “καθαρό” από προσμείξεις. Στη συνέχεια, η δειγματοληψία έγινε σε βάθος 20cm έτσι ώστε τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά του κάθε εδαφικού ορίζοντα. Μετά την συλλογή τους τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικές σακούλες, πάνω στις οποίες καταγράφονται αναλυτικά ο αριθμός του κάθε δείγματος, η περιοχή με τις συντεταγμένες της, γεωγραφικό μήκος και πλάτος, και το αρχικό βάρος (Πίνακας 6.1.1 και 6.1.2).

Πίνακας 6.1.1: Συντεταγμένες δειγματοληψίας

Δείγμα	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος
MP 1.1	40°35'35''B	23°45'35''A
MP 1.2	40°35'35''B	23°45'35''A
MP 1.3	40°35'35''B	23°45'35''A
MP 2	40°35'35''B	23°46'43''A
MP 3.1	40°35'28''B	23°47'84''A
MP 3.2	40°35'28''B	23°47'84''A

Πίνακας 6.1.2: Αρχικό βάρος δειγμάτων

Δείγμα	Αρχικό Βάρος (g)
MP 1.1	288,0
MP 1.2	505,8
MP 1.3	693,7
MP 2	735,2
MP 3.1	460,2
MP 3.2	600,4



Εικόνα 6.1.1: Γενική άποψη του ρέματος Μπασδέκη



Εικόνα 6.1.2: Θέσεις δειγματοληψίας των δειγμάτων MP 1.1, 1.2 και 1.3 κατά μήκος του ρέματος



Εικόνα 6.1.4: Γενική άποψη του Ρέματος Μπασδέκη και Θέση δειγματοληψίας του δείγματος MP 2.0

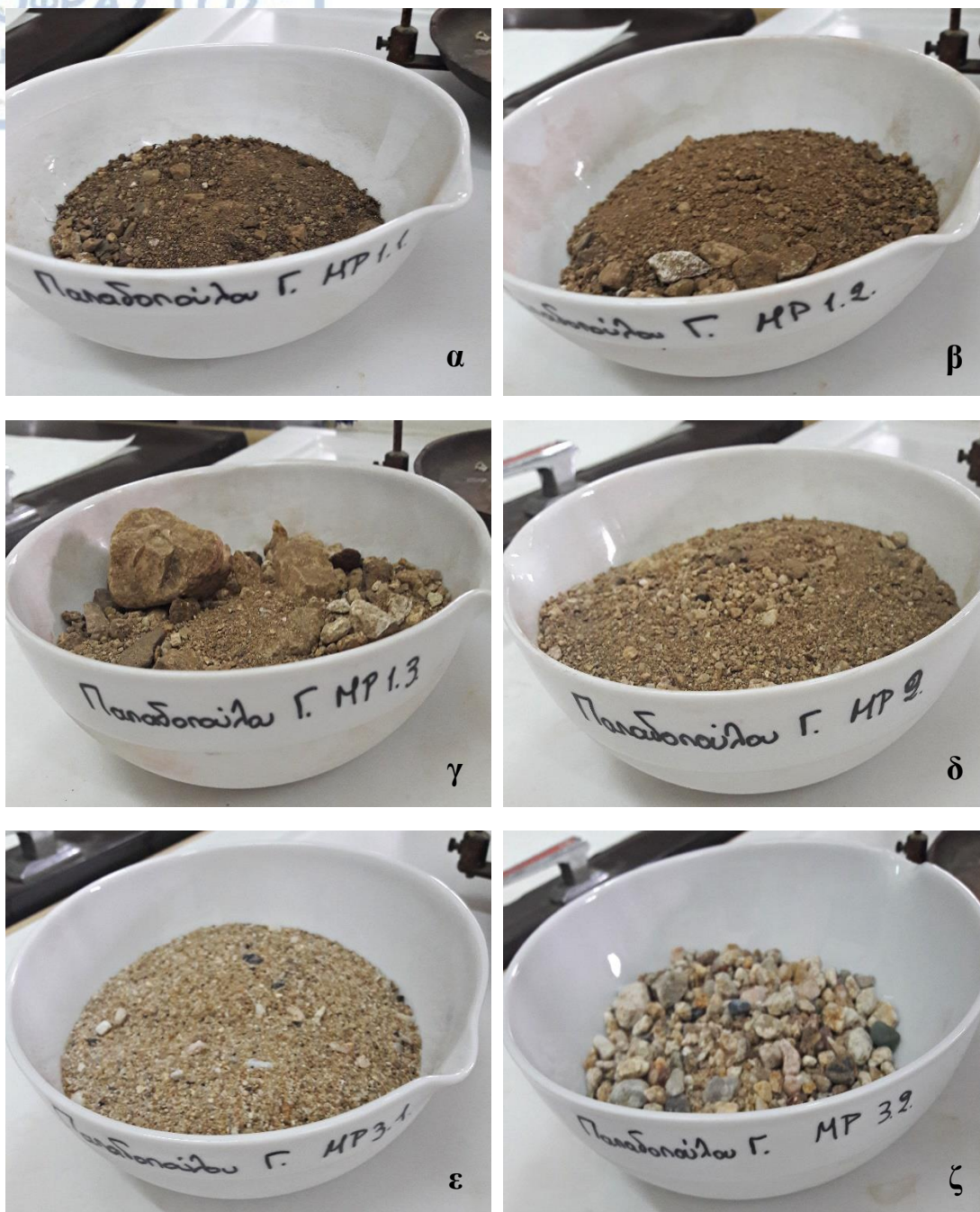


Εικόνα 6.1.5: Θέσεις δειγματοληψίας των παραλιακών δειγμάτων MP 3.1 και MP 3.2

6.2. Προετοιμασία δειγμάτων

Μετά την διαλογή τους, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε μια σειρά σταδίων προετοιμασίας προκειμένου να είναι αντιπροσωπευτικά αλλά και να πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές για τις περαιτέρω αναλύσεις.

Αρχικά τα δείγματα ζυγίστηκαν και καταγράφηκε το αρχικό τους βάρος (Εικόνα 6.2.1). Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ξήρανση τους σε φούρνο, στους 80°C για 48 ώρες για την αφαίρεση της επιφανειακής τους υγρασίας και τον υπολογισμό του καθαρού ξηρού τους βάρους (Πίνακας 6.2.1). Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του σταυρού το δείγμα χωρίζεται σε τέσσερα τεταρτημόρια, στη συνέχεια συγχωνεύονται τα τεταρτημόρια εναλλάξ, δηλαδή το πρώτο με το τρίτο και το δεύτερο με το τέταρτο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάμειξη του δείγματος και τη παρασκευή ενός πιο αντιπροσωπευτικού. Ακολούθησε ένα πρώτο κοσκίνισμα στο κλάσμα της άμμου (< 2 mm), με σκοπό να απομακρυνθούν τα πολύ αδρόκκοκα μέρη του ιζήματος (Πίνακας 6.2.2). Τα δείγματα πέρασαν μια δεύτερη σειρά κοσκινίσματος στο κλάσμα των 0.1 mm (Πίνακας 6.2.2), το υλικό του κλάσματος αυτού που προέκυψε χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή παρασκευασμάτων για παρατήρηση των μεταλλικών ορυκτών τους κάτω από το μεταλλογραφικό, καθώς επίσης και κάτω από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



Εικόνα 6.2.1: α) Δείγμα ΜΡ 1.1, εδαφικό μεσόκοκκο υλικό σκούρου καστανού χρώματος, β) Δείγμα ΜΡ 1.2, εδαφικό μεσόκοκκο υλικό καστανού χρώματος, γ) Δείγμα ΜΡ 1.3, εδαφικό μεσόκοκκο υλικό καστανοκίτρινου χρώματος με έντονη παρουσία κόκκων μεγέθους κροκάλας, δ) Δείγμα ΜΡ 2, εδαφικό μεσόκοκκο προς λεπτόκοκκο υλικό κιτρινωπού χρώματος, ε) Δείγμα ΜΡ 3.1, εδαφικό υλικό μεσόκοκκο προς λεπτόκοκκο από παραλιακή θέση, είναι εμφανή μακροσκοπικά κομμάτια χαλαζία και ασβεστίτη και φύλλα βιοτίτη και μοσχοβίτη, ζ) Δείγμα ΜΡ 3.2, παραλιακό εδαφικό υλικό μέσης κοκκομετρίας, παρατηρούνται μακροσκοπικά κομμάτια χαλαζία, ασβεστίτη, αστρίων, βιοτίτη και μοσχοβίτη.

Πίνακας 6.2.1: Υπολογισμός αρχικού βάρους δειγμάτων και καθαρού ξηρού βάρους ύστερα από ξήρανση σε φούρνο στους 80°C για χρονικό διάστημα 48 ωρών.

Δείγμα	Αρχικό Βάρος (g)	Ξηρό Βάρος (g)
MP 1.1	288,0	282,7
MP 1.2	505,8	499,5
MP 1.3	693,7	690,2
MP 2	735,2	721,7
MP 3.1	460,2	423,0
MP 3.2	600,4	579,5

Πίνακας 6.2.2: Υπολογισμός του βάρους των κοκκομετρικών κλασμάτων 2mm και 0,1mm με τη χρήση των αντίστοιχων κοσκίνων.

Δείγμα	Βάρος > 2mm (g)	Βάρος ≤ 2mm (g)	Βάρος ≤ 0,1mm (g)
MP 1.1	133,6	149,1	22,5
MP 1.2	301,5	198,0	15,9
MP 1.3	521,1	169,1	13,7
MP 2	439,5	282,3	13,4
MP 3.1	28,8	392,7	0,710
MP 3.2	480,1	98,8	0,026

Επιπλέον, στα δείγματα από την εκβολή του χειμάρρου (MP 3.1 και MP 3.2), πραγματοποιήθηκε καύση της περιεχόμενης οργανικής ύλης με τη μέθοδο της ξηρής καύσης. Κατά τη διαδικασία αυτή τοποθετήθηκαν στο φούρνο σε θερμοκρασία 500 °C για 6 ώρες, προκειμένου να απομακρυνθεί η οργανική ύλη και ξανά ζυγίστηκαν για να προσδιοριστεί το ποσοστό του οργανικού υλικού και κοσκινίστηκαν στο κλάσμα 0,1mm (Πίνακας 6.2.3).

Πίνακας 6.2.3: Καύση της οργανικής και υπολογισμός του νέου κλάσματος 0,1mm.

Δείγμα	Βάρος πριν τη ξήρανση (g)	Βάρος μετά τη ξήρανση (g)	Οργανική Ύλη (g)	Βάρος ≤ 0,1 mm (g)
MP 3.1	390,3	389,5	0,8	0,710
MP 3.2	98,4	98,2	0,2	0,046

6.2.1. Προετοιμασία δειγμάτων για Περιθλασιμετρία Ακτίνων Χ (XRD)

Για το προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των ιζημάτων με τη χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD) επιλέχθηκε για όλα τα δείγματα το κλάσμα τον 0,1mm. Αρχικά, με τη χρήση μικρής σπάτουλας πάρθηκε αντιπροσωπευτική ποσότητα, βάρους περίπου 0,5g, από κάθε δείγμα και στη συνέχεια κονιοποιήθηκε σε αχάτινο γουδί προκειμένου το δείγμα να ομοιογενοποιηθεί και να γίνει αναφής σκόνη (Εικόνα 6.2.1.1).



Εικόνα 6.2.1.1: Κονιοποίηση αντιπροσωπευτικού δείγματος στο αχάτινο γουδί μέχρι να γίνει αναφής σκόνη.

Έπειτα, το υλικό τοποθετήθηκε σε ειδικό συλλέκτη (holder) και πακτώθηκε με τη χρήση υάλου για να απομακρυνθεί τυχόν περίσσεια ποσότητας υλικού και να γίνει η επιφάνεια του λεία (Εικόνα 6.2.1.2). Για το δείγμα MP 3.2 χρειάστηκε να

κονιοποιηθεί σε γουδί βολφραμίου επιπλέον ποσότητα από το αρχικό δείγμα, καθώς η ποσότητα του κλάσματος των 0,1mm δεν ήταν αρκετή και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τα υπόλοιπα δείγματα. Μετά τη τοποθέτηση των δειγμάτων όλοι οι συλλέκτες καθαρίστηκαν επιμελώς για να απομακρυνθούν πιθανά υπολείμματα.



Εικόνα 6.2.1.2: Τελικά δείγματα τοποθετημένα στους ειδικούς συλλέκτες για ανάλυση με τη μέθοδο Περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ.

Η μελέτη προσδιορισμού της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων με τη μέθοδο XRD πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας. Πιο συγκεκριμένα, οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW 1820100 που διαθέτει μικροεπεξεργαστή PW1710100, λυχνία Cu και φίλτρο Ni. Η γωνία σάρωσης ($^{\circ}2\theta$) ήταν 3° ως 63° , με βήμα $0,020^{\circ}$. Πριν την ακτινογράφιση του κάθε δείγματος ελέγχεται η ακρίβεια και η ευαισθησία του περιθλασίμετρου για να αποφευχθούν λάθος μετρήσεις.

6.2.2. Προετοιμασία δειγμάτων για ανάλυση σε Σαρωτικό Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο (SEM)

Για τη μελέτη των δειγμάτων με τη χρήση του σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου ακολουθήθηκαν δύο διαφορετικοί τρόποι. Ο πρώτος για να μελετηθεί η μορφολογία και η σύσταση των ορυκτών και ο δεύτερος μετά από τομή και στίλβωση για να μελετηθούν η υφή, τυχόν συμφύσεις και η χημική σύσταση των ορυκτών. Αρχικά πραγματοποιήθηκε μελέτη του κλάσματος της άμμου (2mm) όλων των δειγμάτων με τη χρήση του στερεοσκοπίου (Εικόνα 6.2.2.1). Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν η επιλογή κόκκων που παρουσιάζουν ενδιαφέρον και στη συνέχεια η μελέτη της μορφολογίας τους κάτω από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



Εικόνα 6.2.2.1: Παρατήρηση κόκκων στο στερεοσκόπιο (κόκκοι μοσχοβίτη από το δείγμα MP 3.1)

Για τους κόκκους οι οποίοι δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστούν με ακρίβεια κάτω από το στερεοσκόπιο, μελετήθηκαν και κάτω από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν συνολικά 10 παρασκευάσματα.

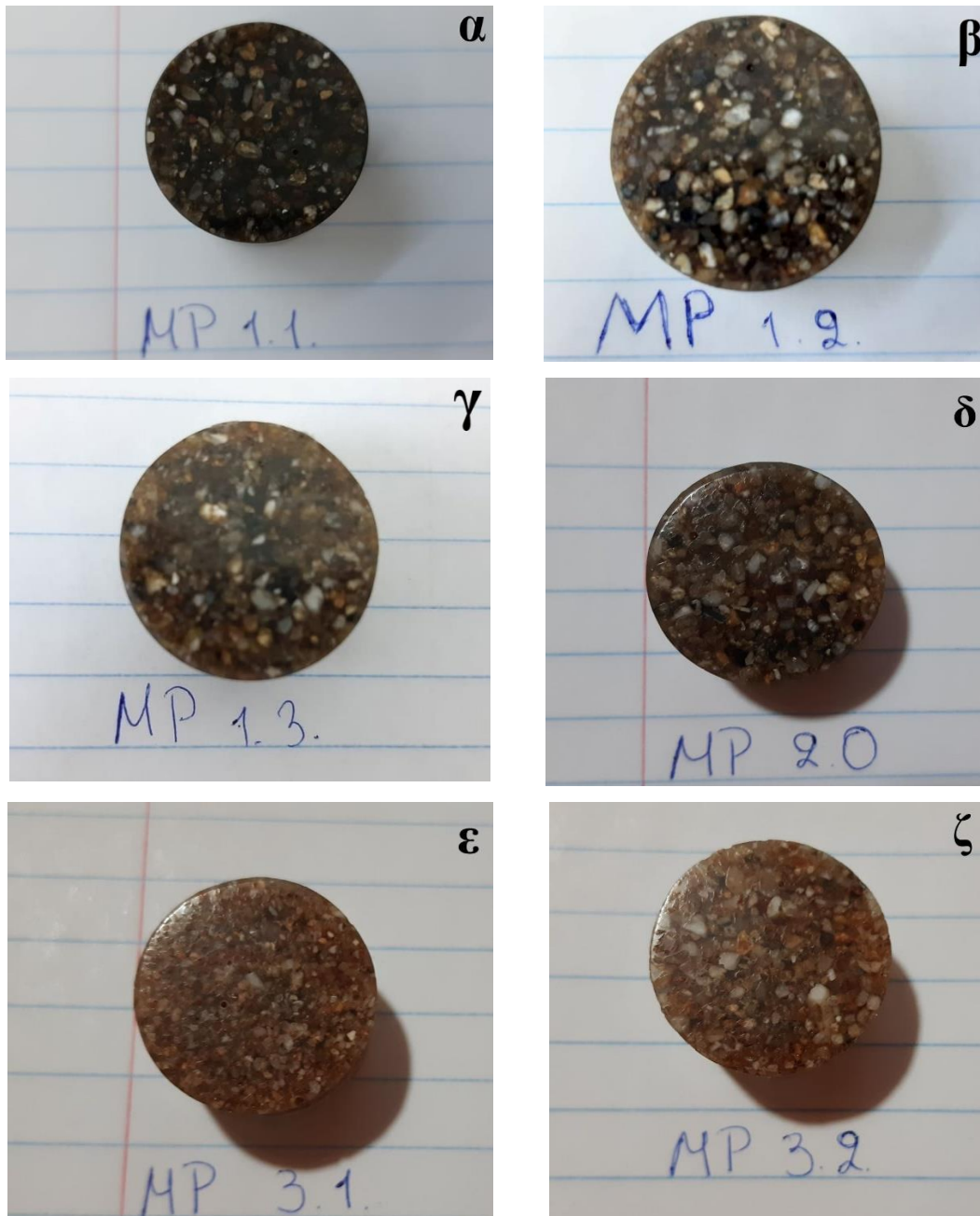
Ακολουθήθηκε η διαδικασία ενανθράκωσης όλων των παρασκευασμάτων, δηλαδή επικάλυψη των δειγμάτων με ένα στρώμα άνθρακα (Εικόνα 6.2.2.2) προκειμένου να μελετηθεί η μορφολογία των επιλεγμένων ορυκτών και η χημική τους σύσταση.



Εικόνα 6.2.2.2: Παρασκεύασμα μετά από τη διαδικασία ενανθράκωσης του δείγματος MP 2.0.

Πέρα από τη μελέτη της μορφολογίας των ορυκτών, για κάθε δείγμα κατασκευάστηκε και μια στιλπνή τομή. Για τη κατασκευή των τομών, αρχικά επιλέχθηκε αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος. Στη συνέχεια εγκιβωτίστηκε και

προστέθηκε ρητίνη για να σταθεροποιηθεί το υλικό. Μετά την ολοκλήρωση του εγκιβωτισμού και της σταθεροποίησης, η τομή στιλβώνεται για καλύτερη παρατήρηση τόσο στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο όσο και στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (Εικόνα 6.2.2.3 α-ζ).



Εικόνα 6.2.3: Στιλπνές τομές όλων των δειγμάτων

7. Αποτελέσματα

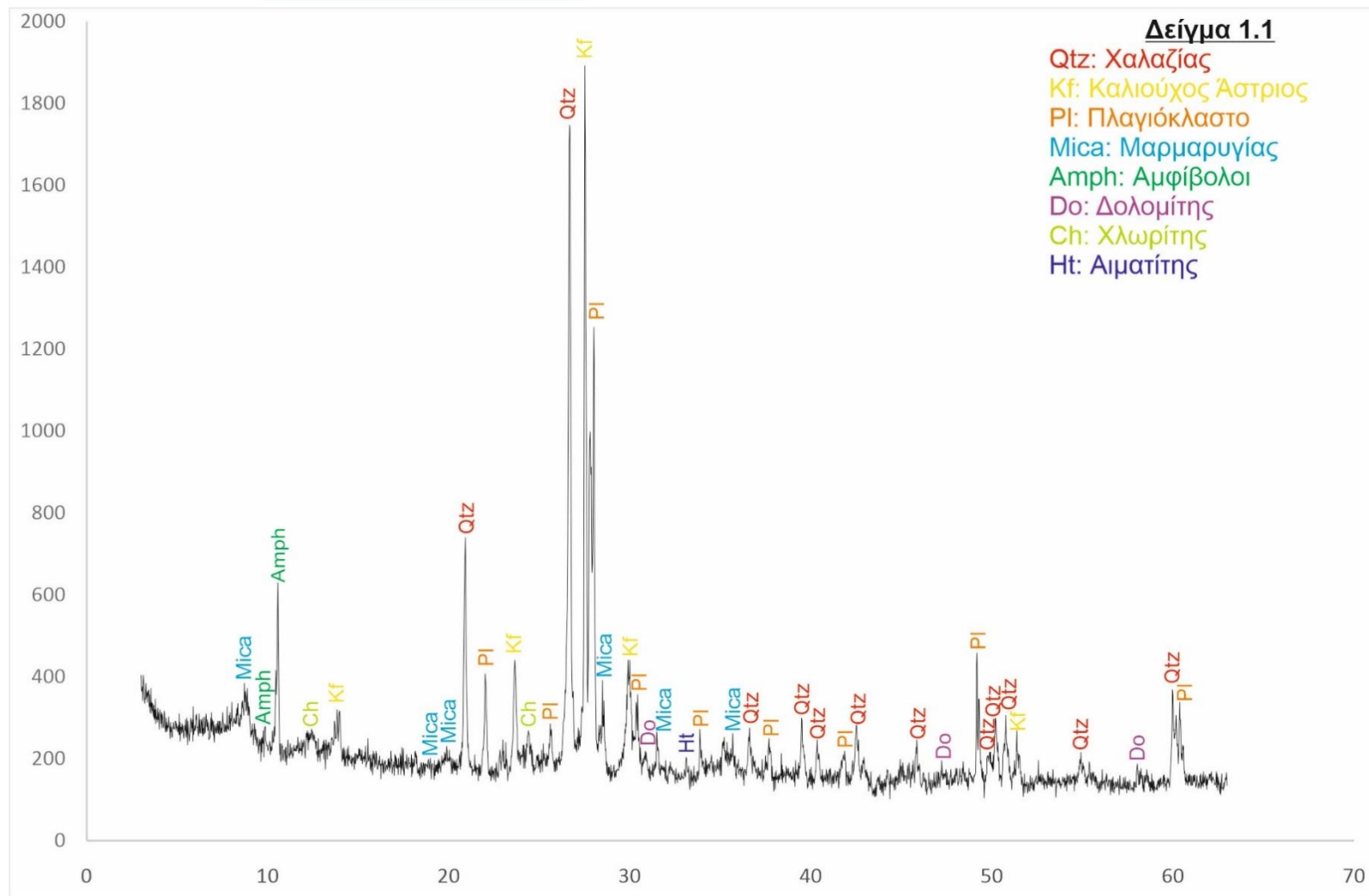
Η ορυκτολογική σύσταση των ιζημάτων προσδιορίστηκε, όπως αναφέρθηκε με τη χρήση σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM), μεταλλογραφικού μικροσκοπίου, καθώς και με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD). Τα μεταλλικά ορυκτά που προσδιορίστηκαν με τη χρήση των παραπάνω μεθόδων είναι σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, σφαλερίτης, μαγνητίτης, οξείδια/υδροξείδια Fe-Mn, ιλμενίτης, λιθάργυρος και σκωρίες, ενώ τα διαφανή ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι χαλαζίας, άστριοι, αμφίβολοι, μαρμαρυγίες, ασβεστίτης, πυρόξενοι, επίδοτο, γύψος, ρουτίλιο και απατίτης.

7.1 Περιθλασιμετρία Ακτίνων X (XRD)

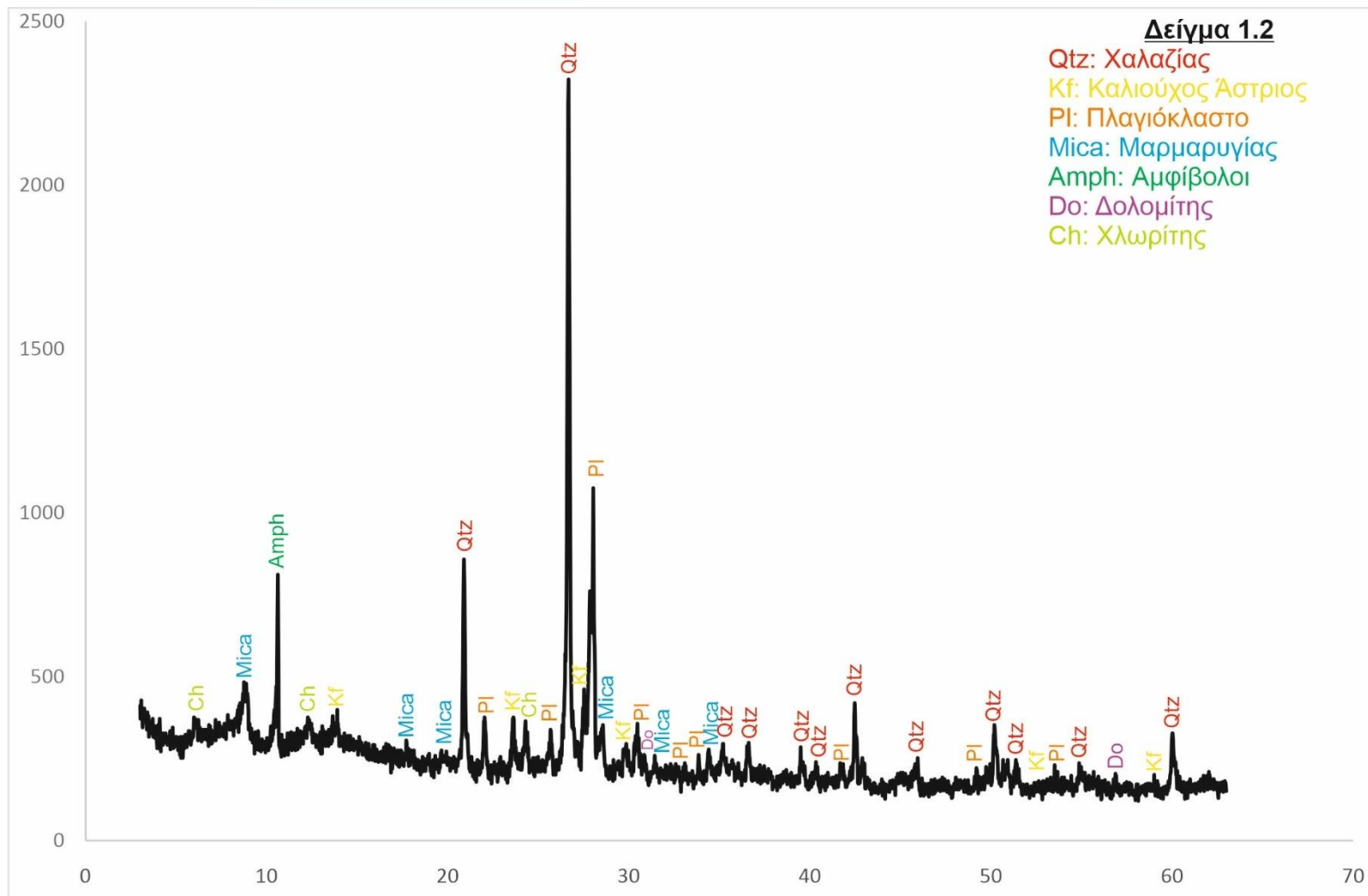
Η ορυκτολογική σύσταση όλων των δειγμάτων μελετήθηκε και με τη χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν τα ορυκτά που προσδιορίστηκαν είναι χαλαζίας, άστριοι (καλιούχοι άστριοι και πλαγιόκλαστο), αμφίβολοι (σιδηροκεροστίλβη), μαρμαρυγίες (βιοτίτης και μοσχοβίτης), ασβεστίτης, δολομίτης, χλωρίτης και αιματίτης. Πιο συγκεκριμένα, ο χαλαζίας, οι άστριοι και οι μαρμαρυγίες είναι τα πιο διαδεδομένα ορυκτά καθώς εμφανίζονται σε μεγάλες περιεκτικότητες σε όλα τα δείγματα, ενώ οι αμφίβολοι, ο ασβεστίτης, ο δολομίτης, ο χλωρίτης και ο αιματίτης εμφανίζονται πιο περιορισμένα σε μερικά από τα δείγματα. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτών παρατίθεται στον Πίνακα 7.1 μαζί με τα αντίστοιχα περιθλασιογράμματα για κάθε δείγμα (Σχμ. 7.1.1-7.1.6.).

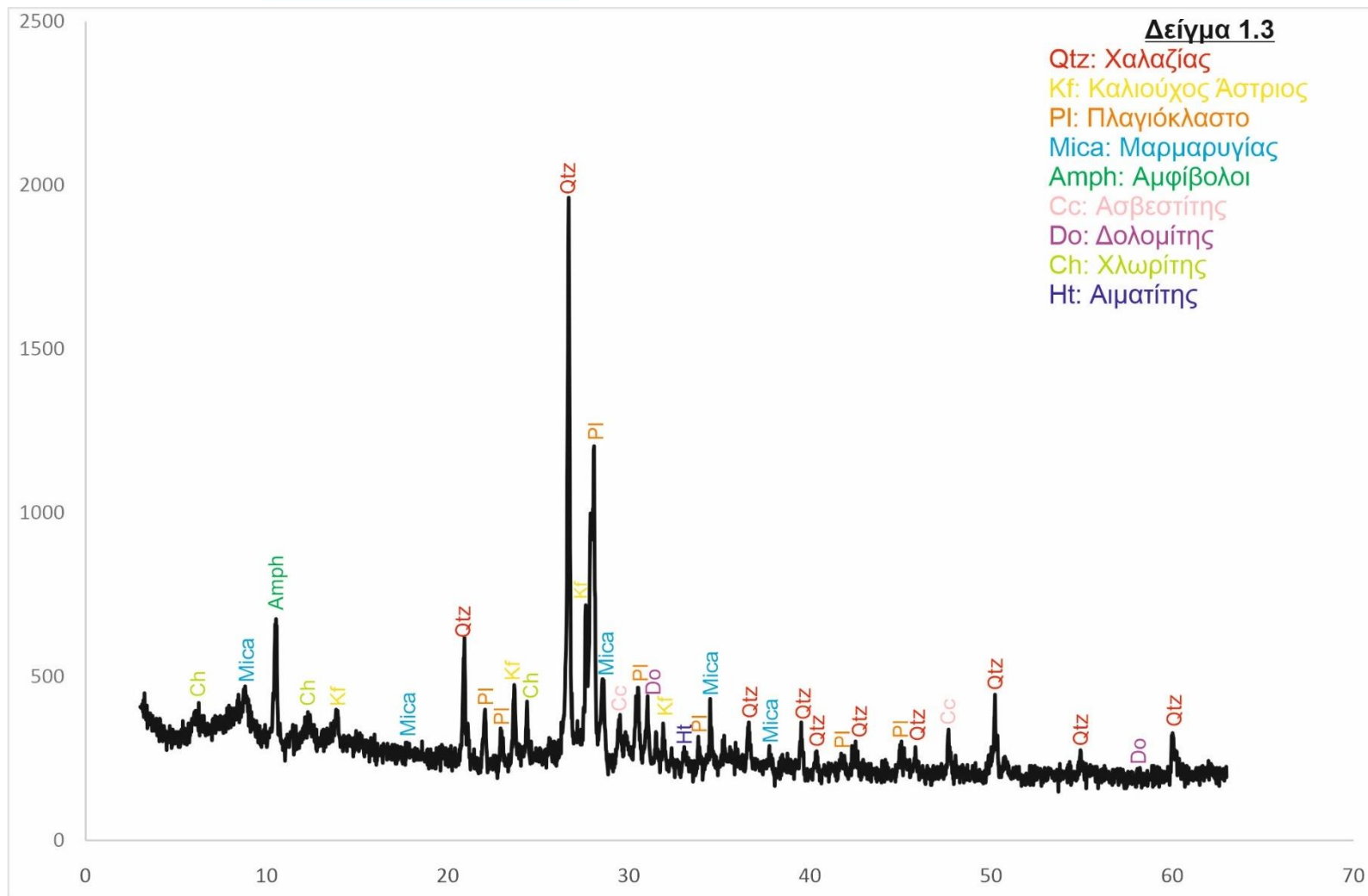
Πίνακας 7.1: Ποσοτικός προσδιορισμό ορυκτών με τη χρήση περιθλασιμετρίας ακτίνων X

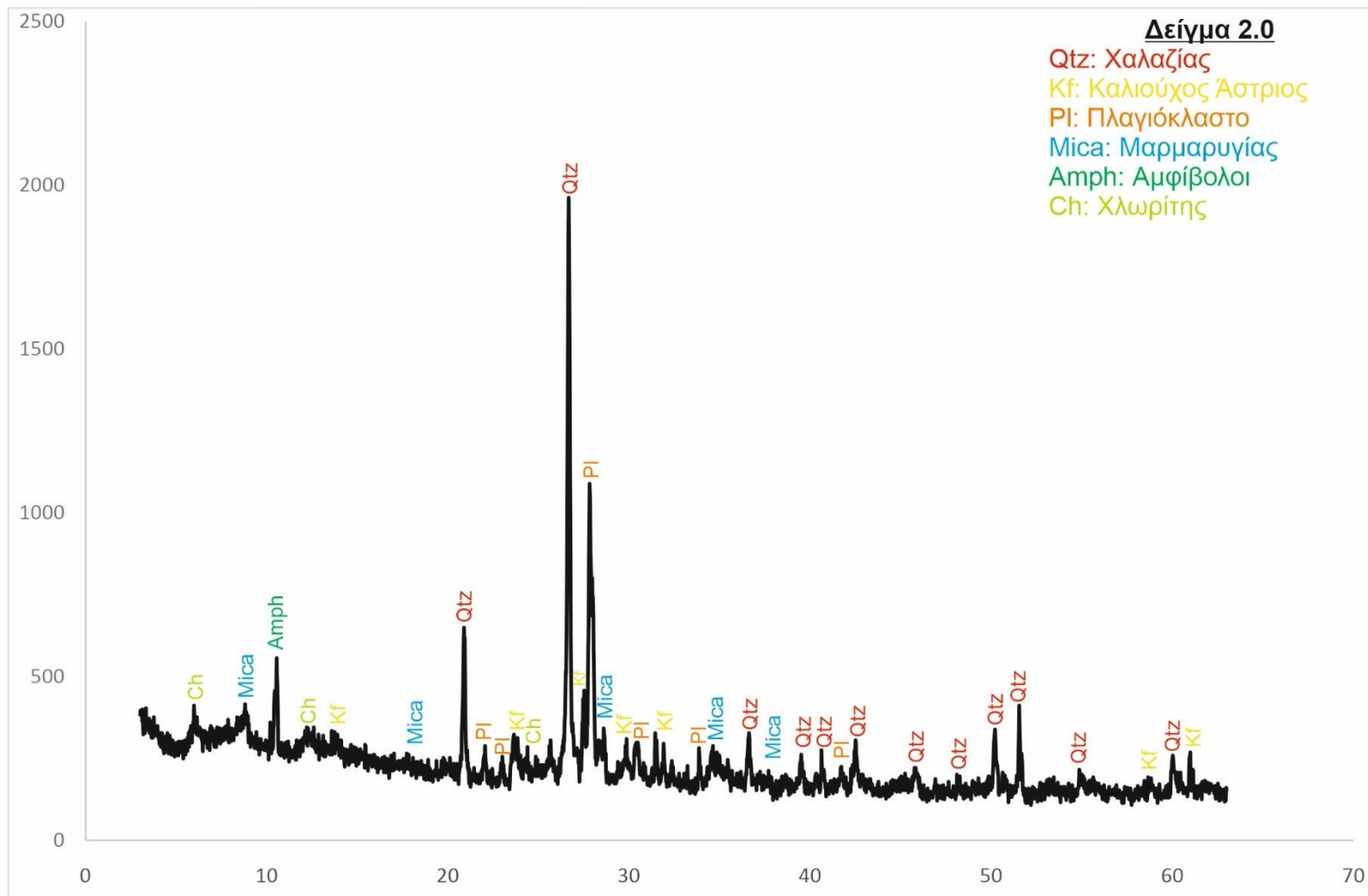
	Qtz	Pl	Kf	M	Cc	Amph	Do	Chl	Ht
MP 1.1	33	16	36	2	-	8	1	2	2
MP 1.2	51	18	7	4	-	15	2	3	-
MP 1.3	34	22	16	4	6	5	6	3	4
MP 2.0	44	21	9	6	-	12	-	8	-
MP 3.1	69	9	19	ίχνη	3	-	-	-	-
MP 3.2	72	10	13	ίχνη	5	-	-	-	-

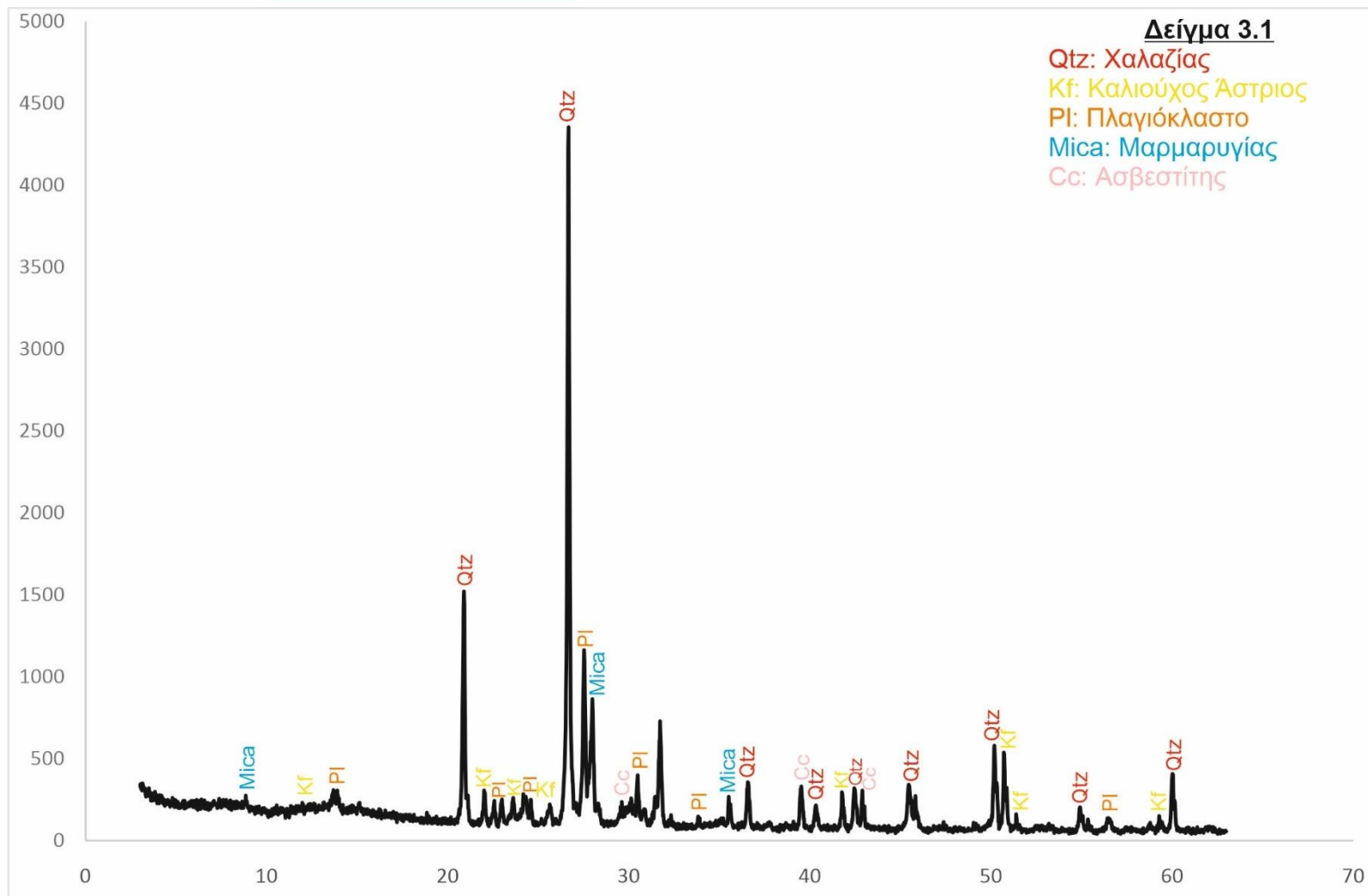


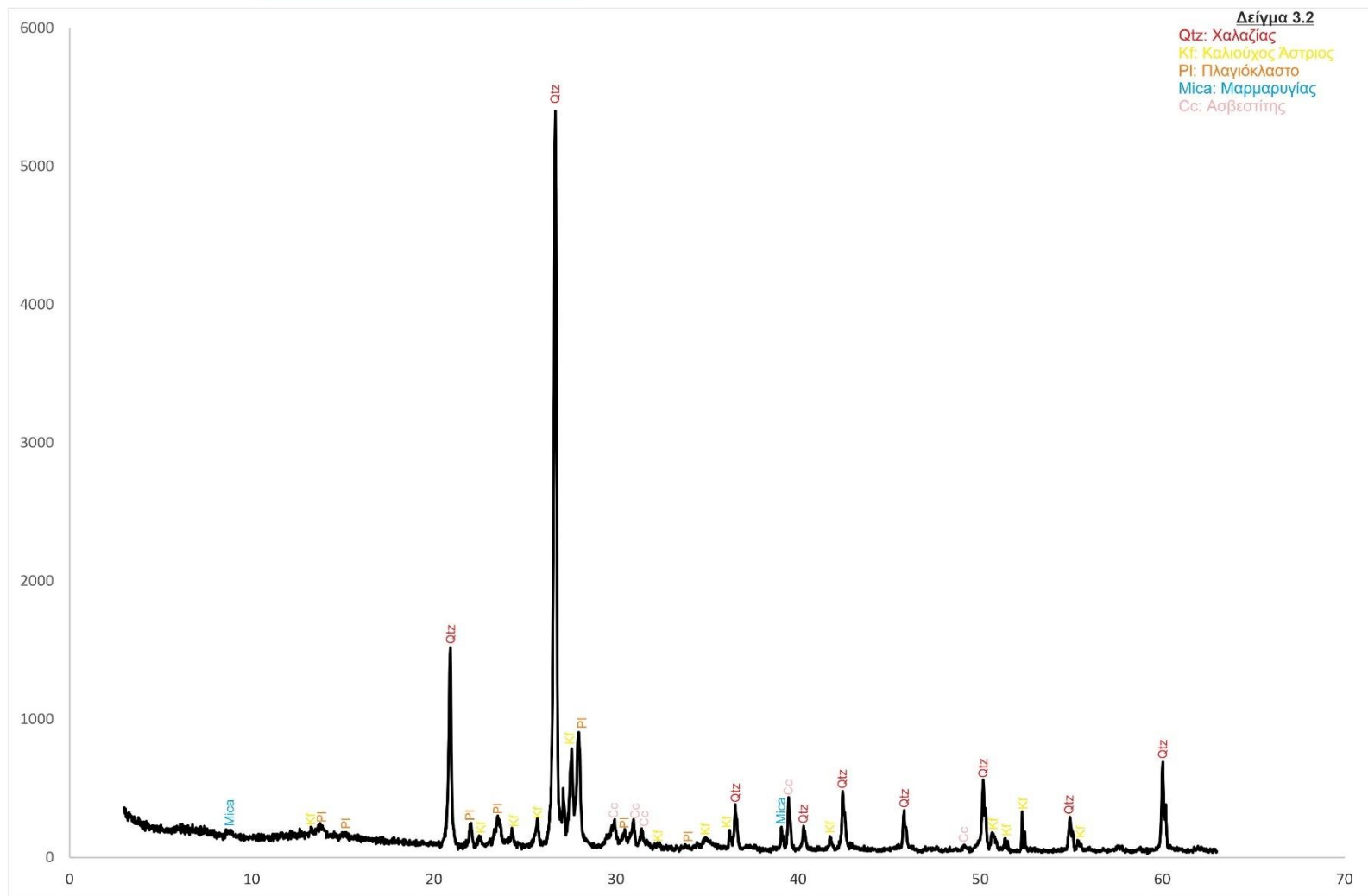
Σχήμα 7.1.1: Περιθλασιόγραμμα ακτίνων X (XRD) για το δείγμα MP 1.1









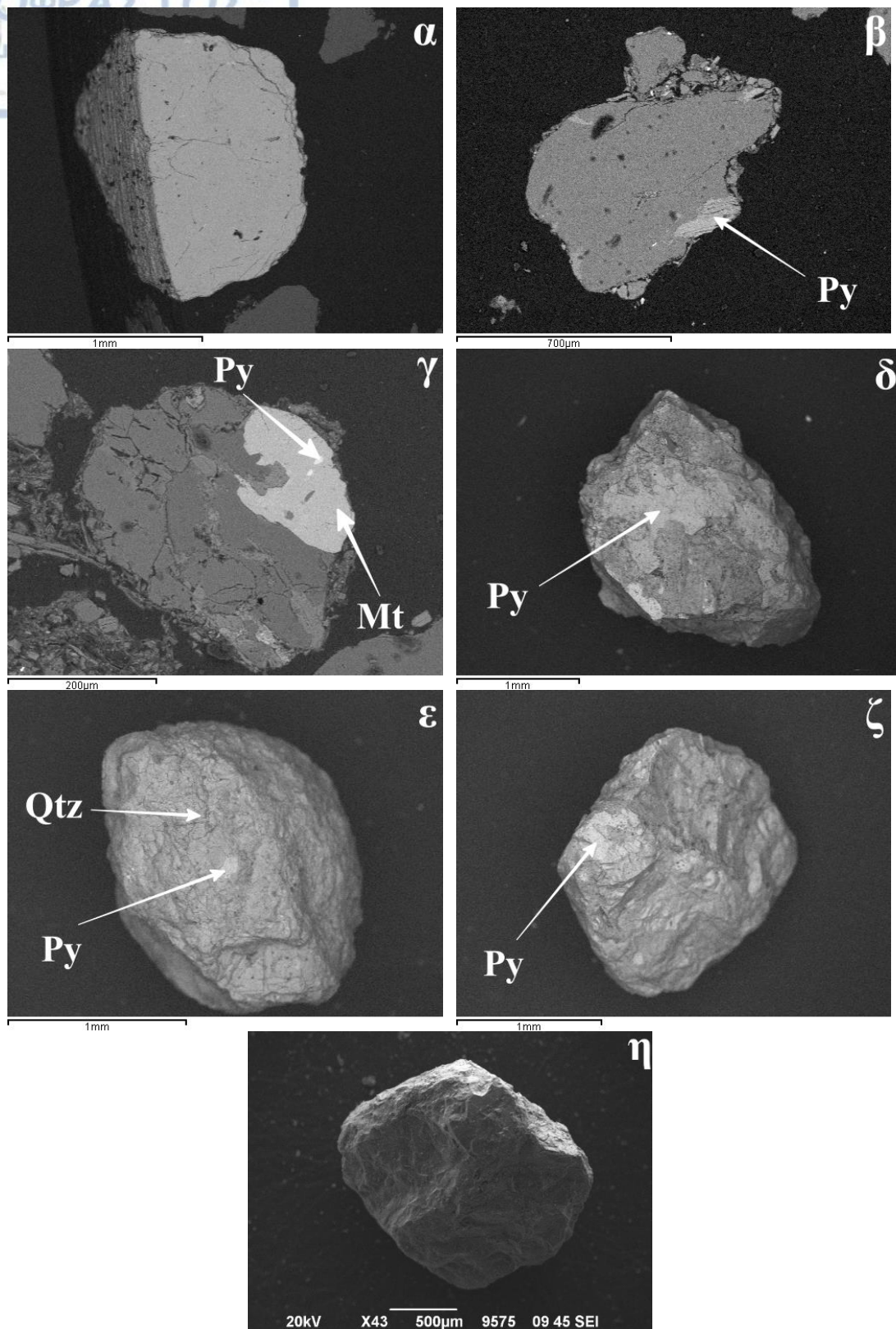


7.2. Μεταλλικά ορυκτά

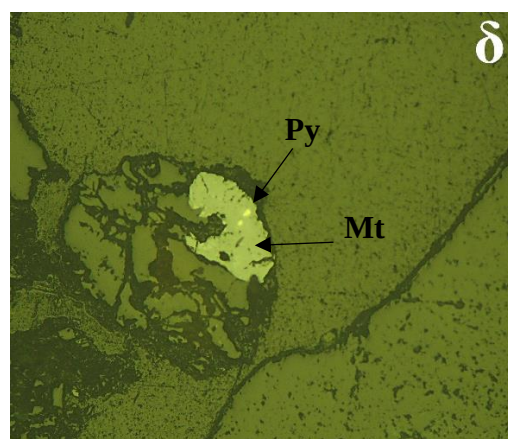
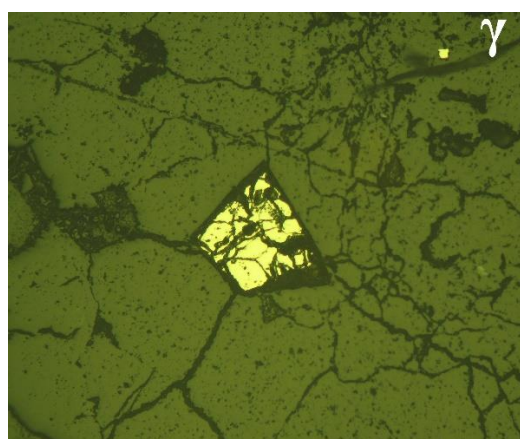
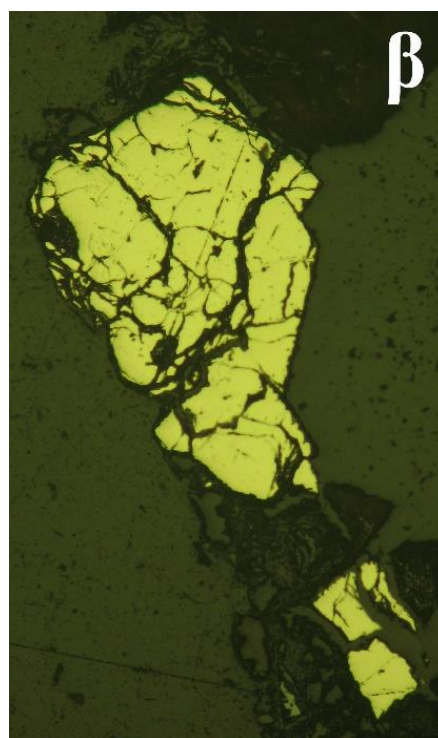
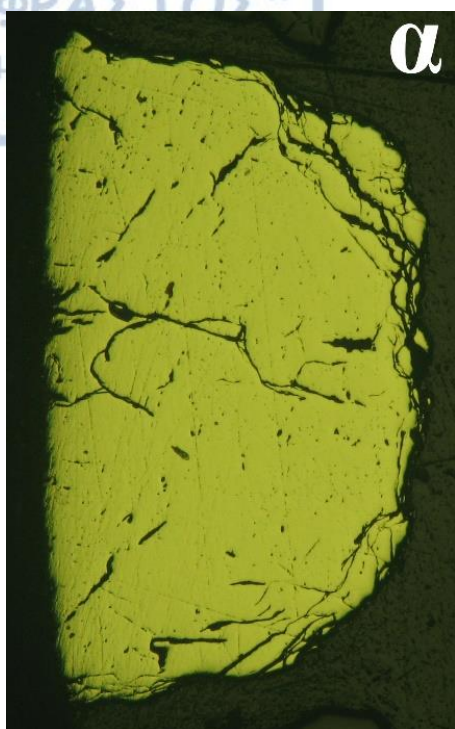
7.2.1. Σιδηροπυρίτης

Ο σιδηροπυρίτης εντοπίστηκε στα δείγματα MP 1.1, 1.2 και 1.3. με μορφή κρυστάλλων συχνά σε σύμφυση με άλλα ορυκτά, καθώς επίσης υπό μορφή εγκλεισμάτων (Εικ. 7.2.1.1.α-ζ, Εικ. 7.1.1.2.α-δ). Το σχήμα του σιδηροπυρίτη είναι ιδιόμορφο (Εικ. 7.2.1.2.γ), ιπιδιόμορφο συχνά αποστρογγυλεμένο ή ισχυρά τεκτονισμένο. Το μέγεθος των κόκκων φτάνει μέχρι και το 1mm ωστόσο οι κόκκοι που βρίσκονται σε σύμφυση ή ως εγκλείσματα είναι πολύ μικρότερων διαστάσεων (<400μm).

Με βάση τις αναλύσεις του σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM) οι περιεκτικότητες σε Fe κυμαίνονται μεταξύ 40,60 wt.% ως και 53,90 wt.% και αυτές σε S από 43,90 wt.% ως 58,08 wt.%. Οι περιεκτικότητες του σε As κυμαίνονται από 1,00 wt.% ως και 2,30 wt.% και σε Ni από 0,50 wt.% ως 1,20 wt.%. Οι χημικές αναλύσεις του σιδηροπυρίτη, καθώς και η μέση χημική σύσταση του παρατίθενται στον Πίνακα 7.2.1.



Εικόνα 7.2.1.1: α) Ιδιόμορφος και αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, β) Έγκλεισμα σιδηροπυρίτη σε σύνδρομο ορυκτό, γ) Εγκλείσματα σιδηροπυρίτη (Py) μέσα σε μαγνητίτη (Mt), δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος σιδηροπυρίτη, ε) Εγκλείσματα σιδηροπυρίτη (Py) μέσα σε χαλαζία (Qtz), ζ) Ακανόνιστος κρύσταλλος σιδηροπυρίτη (Py) , η) Κρύσταλλος σιδηροπυρίτη εν μέρει αποστρογγυλεμένος (ΣΕΜ)

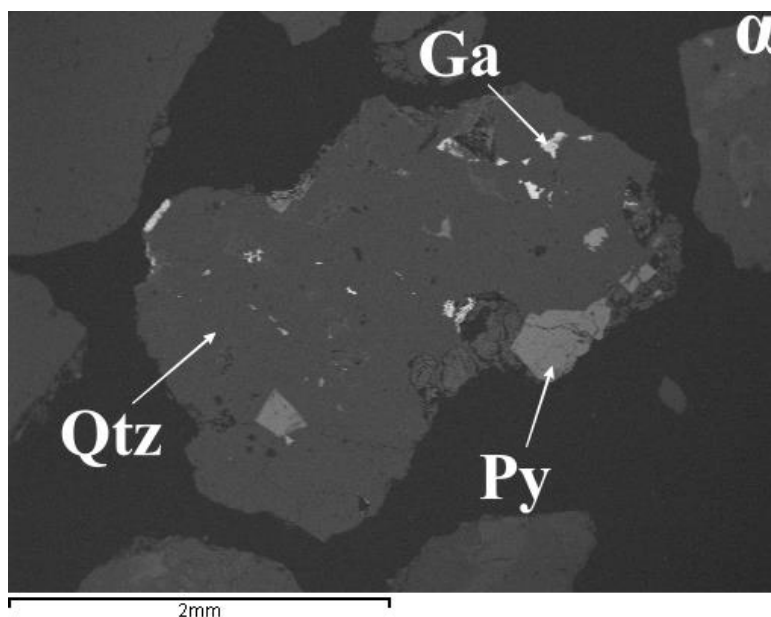


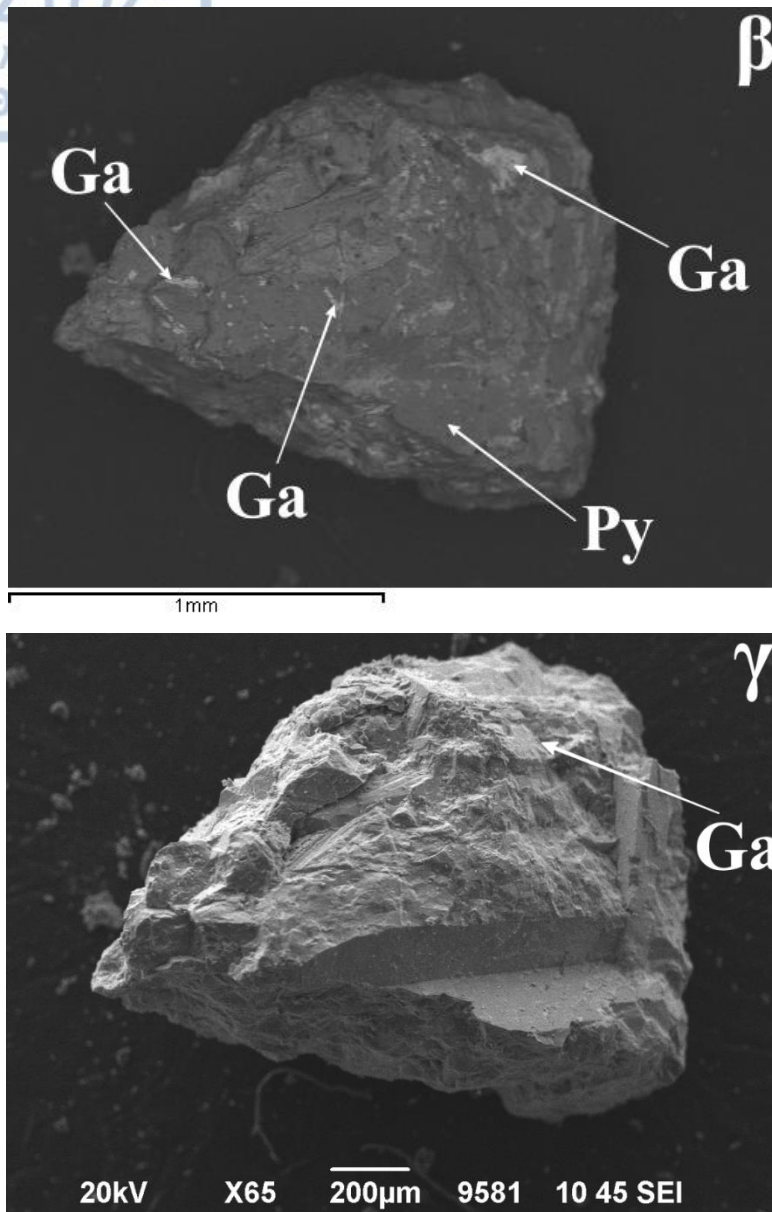
Εικόνα 7.2.1.2: α) Σιδηροπυρίτης σχεδόν ιδιόμορφος και αποστρογγυλεμένος, β) Σιδηροπυρίτης ιδιόμορφος με έντονη τεκτονική δραστηριότητα (σπασίματα), γ) Ιδιόμορφος και γωνιώδης κρύσταλλος, δ) Εγκλείσματα σιδηροπυρίτη (Py) μέσα σε μαγνητίτη (Mt). (μεταλλογραφικό μικροσκόπιο)

Πίνακας 7.2.1: Χημικές αναλύσεις σιδηροπυρίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Element	Weight (%)							M.O
	1	2	3	4	5	6	7	
Fe	42,30	40,60	53,90	43,30	49,0	44,40	42,30	45,10
S	55,70	58,80	43,90	55,80	49,80	52,20	55,70	52,10
As	1,00	0,60	-	2,00	2,10	2,30	1,00	1,50
Ni	-	0,50	1,50	-	-	1,20	-	1,10

Η παρουσία του γαληνίτη είναι περιορισμένη και εμφανίζεται μόνο στα δείγματα MP 1.1 και MP 2.0. Το μέγεθος του είναι πολύ μικρό ($<300\mu\text{m}$, Εικ. 7.2.2.γ) και το σχήμα του ακανόνιστο. Εμφανίζεται μαζί με σιδηροπυρίτη καθώς και ως εγκλείσματα μέσα σε χαλαζία, όπως φαίνεται στις Εικ. 7.2.2.α-γ. Σύμφωνα με τις αναλύσεις του σαρωτικού ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM), ο γαληνίτης παρουσιάζει την τυπική χημική του σύσταση (PbS). Πιο συγκεκριμένα, οι περιεκτικότητες του Pb κυμαίνονται από 45,00 wt.% ως και 64,50 wt.% και αυτές σε S από 11,60 wt.% ως 16,10 wt.%. Οι χημικές αναλύσεις του γαληνίτη, καθώς και η μέση χημική σύσταση του παρατίθενται στον Πίνακα 7.2.2.



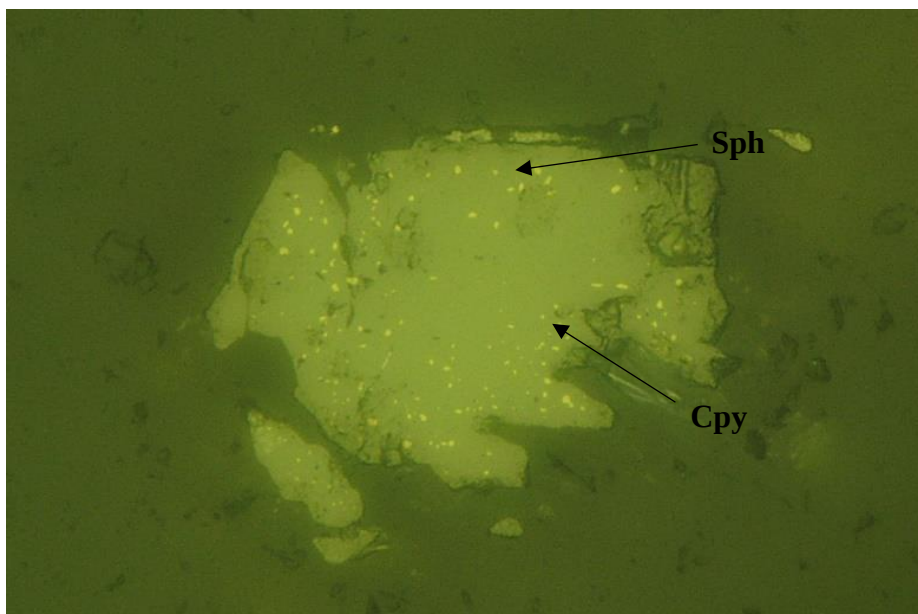


Εικόνα 7.2.2: α) Σύμφυση γαληνίτη (Ga), σιδηροπυρίτη (Py) και χαλαζία (Qtz) σε στιλπνή τομή, β) Ακανόνιστοι κρύσταλλοι γαληνίτη (Ga) μέσα σε γωνιώδη υπιδιόμορφος κρύσταλλο σιδηροπυρίτη (Py), γ Ιδιόμορφος κρύσταλλος γαληνίτη (Ga) σε κρύσταλλο σιδηροπυρίτη

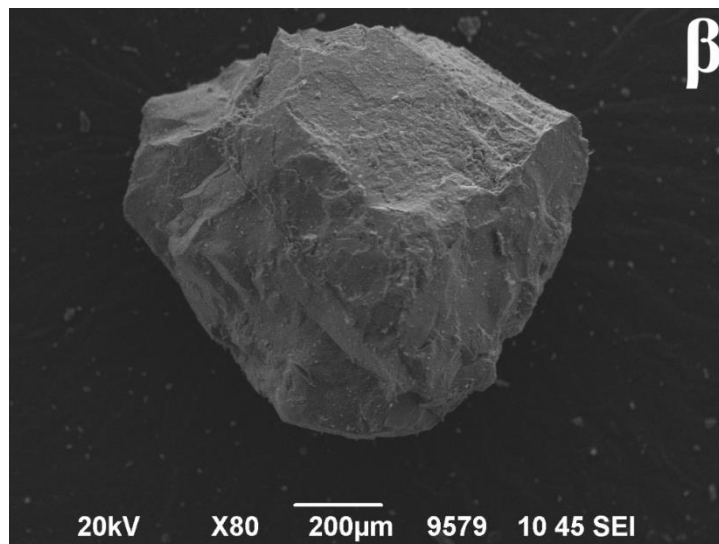
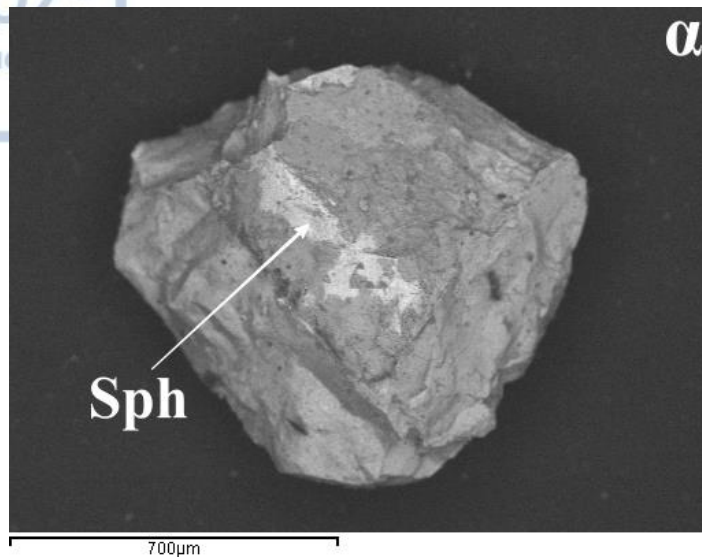
Πίνακας 7.2.2: Χημικές αναλύσεις γαληνίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Element	Weight (%)			M.O.
	1	2	3	
S	11,60	16,10	11,60	13,10
Pb	64,50	45,00	63,60	57,70

Ο σφαλερίτης παρατηρήθηκε στα δείγματα MP 1.1 (Εικ. 7.2.3.1), και στο MP 2.0 (Εικ. 7.2.3.2). Το μέγεθος του δε ξεπερνάει τα 700μm και το σχήμα του είναι ακανόνιστο, Χαρακτηριστική είναι η παρουσία σταγονιδίων χαλκοπυρίτη μέσα στο σφαλερίτη, φαινόμενο γνωστό ως ασθένεια του χαλκοπυρίτη (Εικ. 7.2.3.1). Ο σφαλερίτης συχνά είναι οξειδωμένος. Η περιεκτικότητα του σε Fe ανέρχεται σε 7,6 wt% γεγονός που δείχνει ότι έχει σχηματιστεί κάτω από υψηλές θερμοκρασίες. Η χημική ανάλυση του σφαλερίτη παρατίθεται στον Πίνακα 7.2.3.



Εικόνα 7.2.3.1: Ακανόνιστος κρύσταλλος σφαλερίτη (Sph) με σταγονίδια χαλκοπυρίτη (Cpy), φωτογραφεία από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο



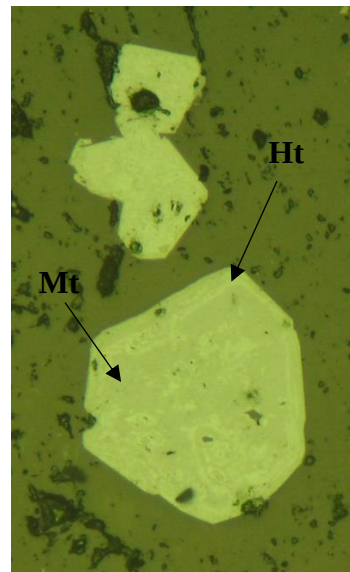
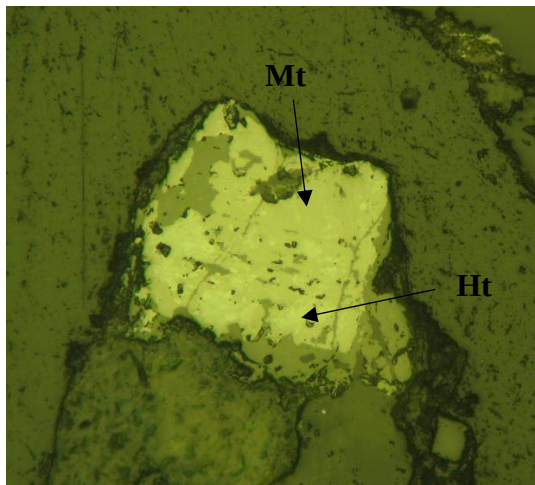
Εικόνα 7.2.3.2: α) Υπολείμματα οξειδωμένο κρυστάλλου σφαλερίτη και β) Ακανόνιστος κρύσταλλος σφαλερίτη (SEM)

Πίνακας 7.2.3: Χημική ανάλυση σφαλερίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

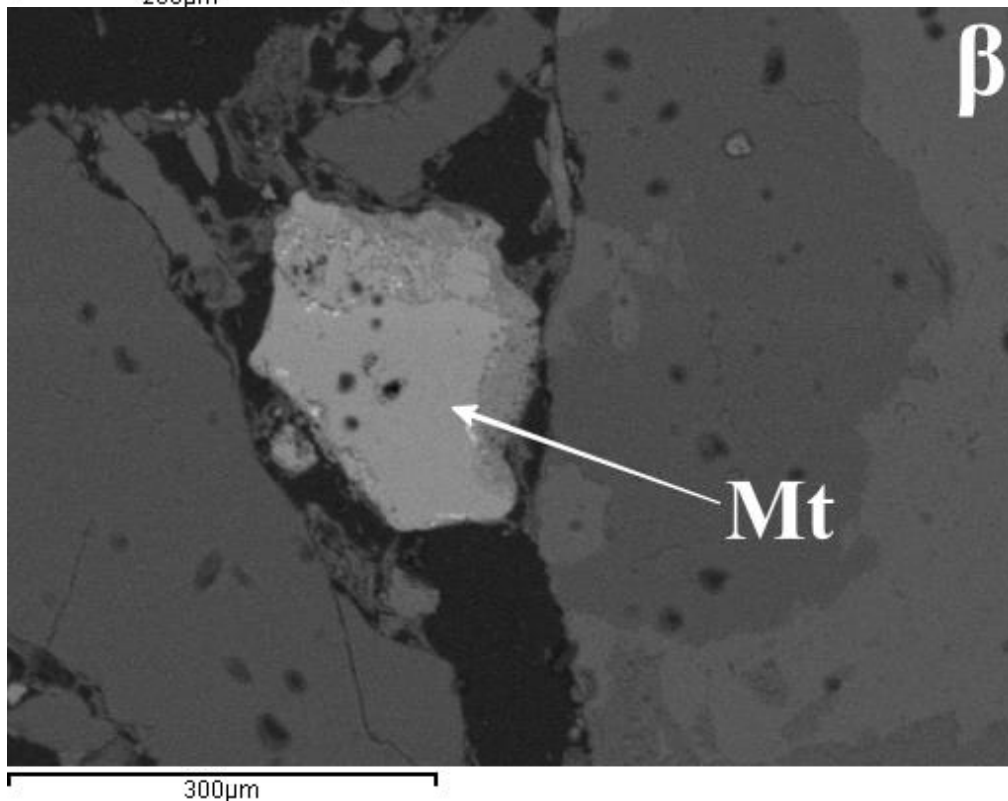
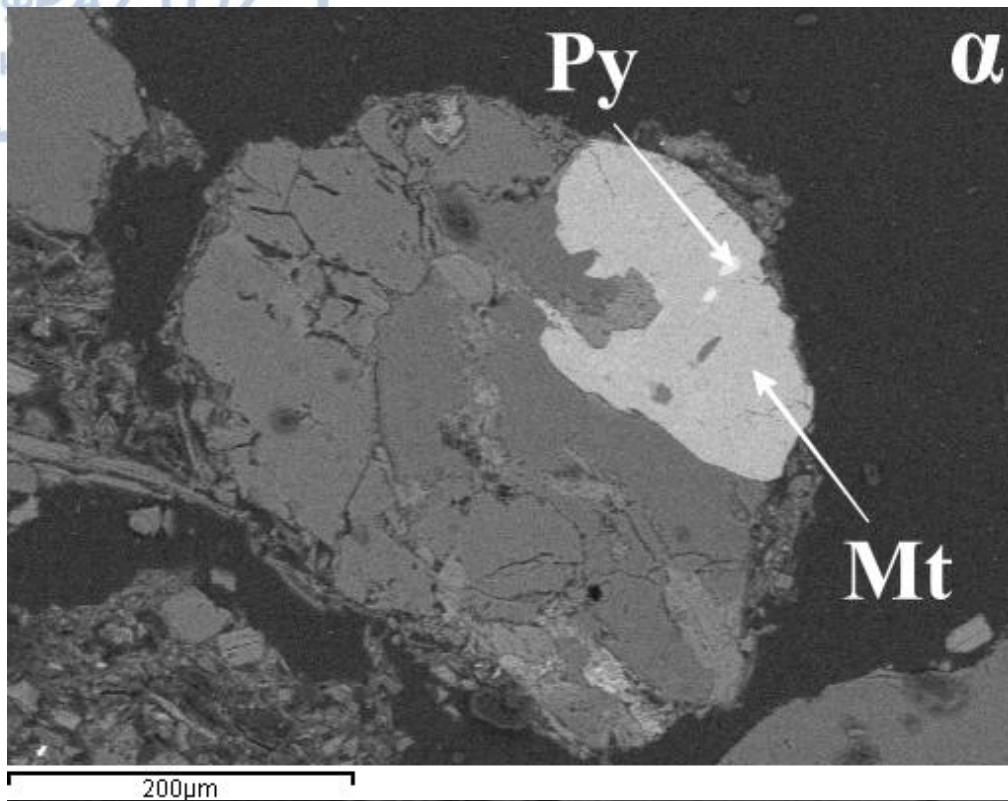
Element	Weight (%)
S	18,60
Zn	35,30
Fe	7,60

7.2.4 Μαγνητίτης

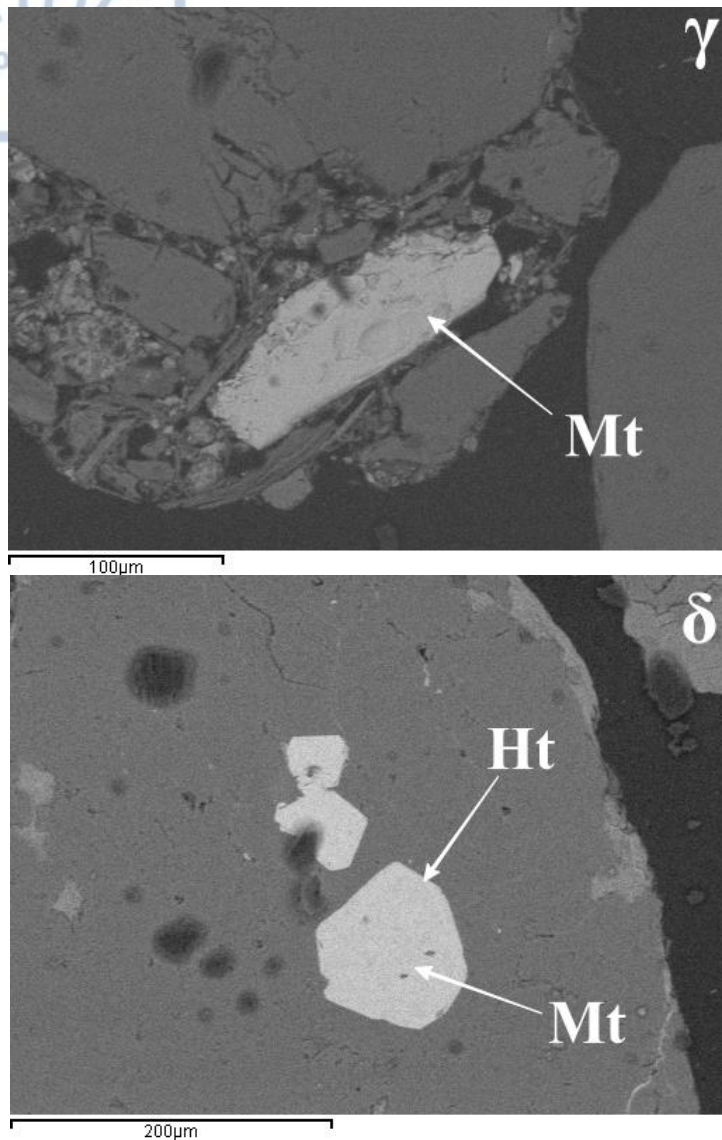
Ο μαγνητίτης εντοπίστηκε σε όλα τα δείγματα κατά μήκους του ρεύματος (ΜΡ 1.1, 1.2 και 1.3) με το μέγεθος του να κυμαίνεται στα 200μm και το σχήμα του είναι αλλοτριόμορφο ως ιδιόμορφο (Εικ. 7.2.4.2.α-δ). Επιπλέον παρατηρήθηκαν και εγκλείσματα σιδηροπυρίτη στο εσωτερικών ορισμένων κρυστάλλων (Εικ. 7.2.4.2.α). Με βάση τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν η περιεκτικότητα του σε FeO είναι από 91,40 wt% ως 94,60 wt%. Οι περιεκτικότητες σε MnO κυμαίνονται από 0,50 wt% ως 1,30 wt%, καθώς επίσης προσδιορίστηκαν περιεκτικότητες σε ψευδάργυρο (Zn) κατά μέσο όρο 1,00 wt% πιθανώς λόγω μικροσκοπικών συμφύσεων μαγνητίτη με σφαλερίτη. Χαρακτηριστική είναι και η παρουσία μαρτιτίωσης, δηλαδή η περιφερειακή μετατροπή του μαγνητίτη σε αιματίτη, η οποία είναι εμφανής στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (Εικ. 7.2.4.1.α-β) και στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Εικ. 7.2.4.2.δ). Οι χημικές αναλύσεις του μαγνητίτη και η μέση χημική του σύσταση παρατίθενται στον Πίνακα 7.2.4.



Εικόνα 7.2.4.1: Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι μαγνητίτη (Mt) που έχουν οξειδωθεί μερικώς σε αιματίτη (Ht) (μεταλλογραφικό μικροσκόπιο)



Εικόνα 7.2.4.2: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος μαγνητίτη (Mt) με εγκλείσματα σιδηροπυρίτη (Py),
β) Ακανόνιστος κρύσταλλος (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)



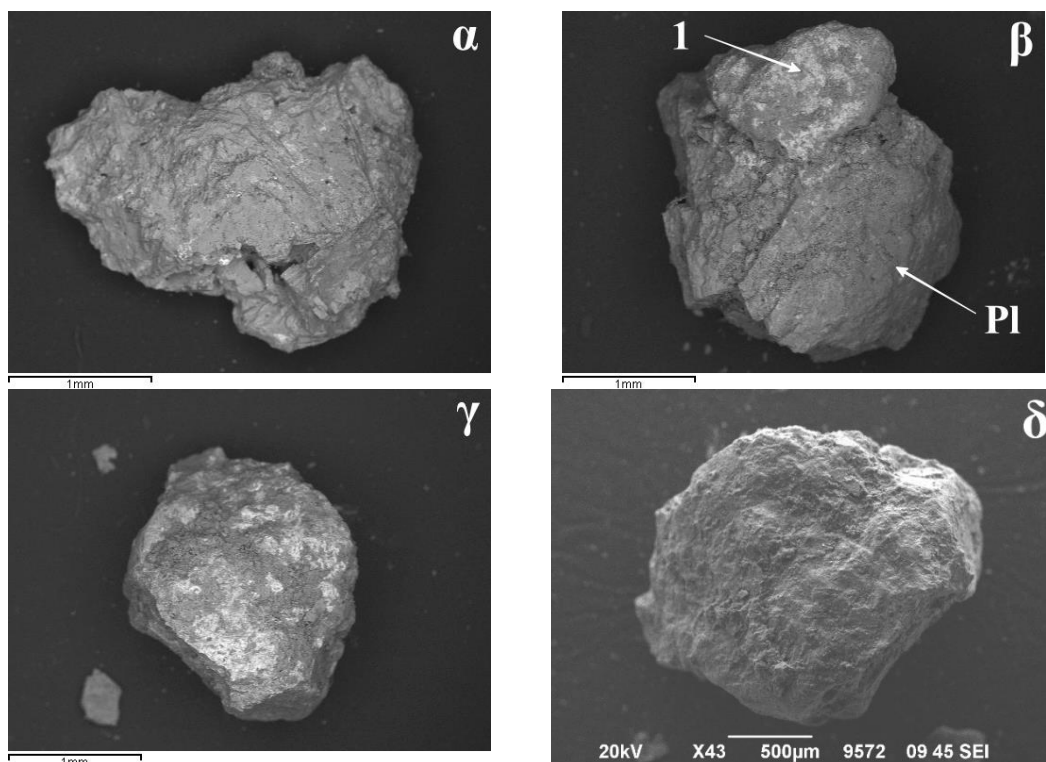
Εικόνα 7.2.4.2 (συνέχεια): γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, δ) Ιδιόμορφος κρύσταλλος μαγνητίτη (Mt) που έχει μετατραπεί περιφερειακά σε αιματίτη (Ht) (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)

Πίνακας 7.2.4: Χημική ανάλυση μαγνητίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

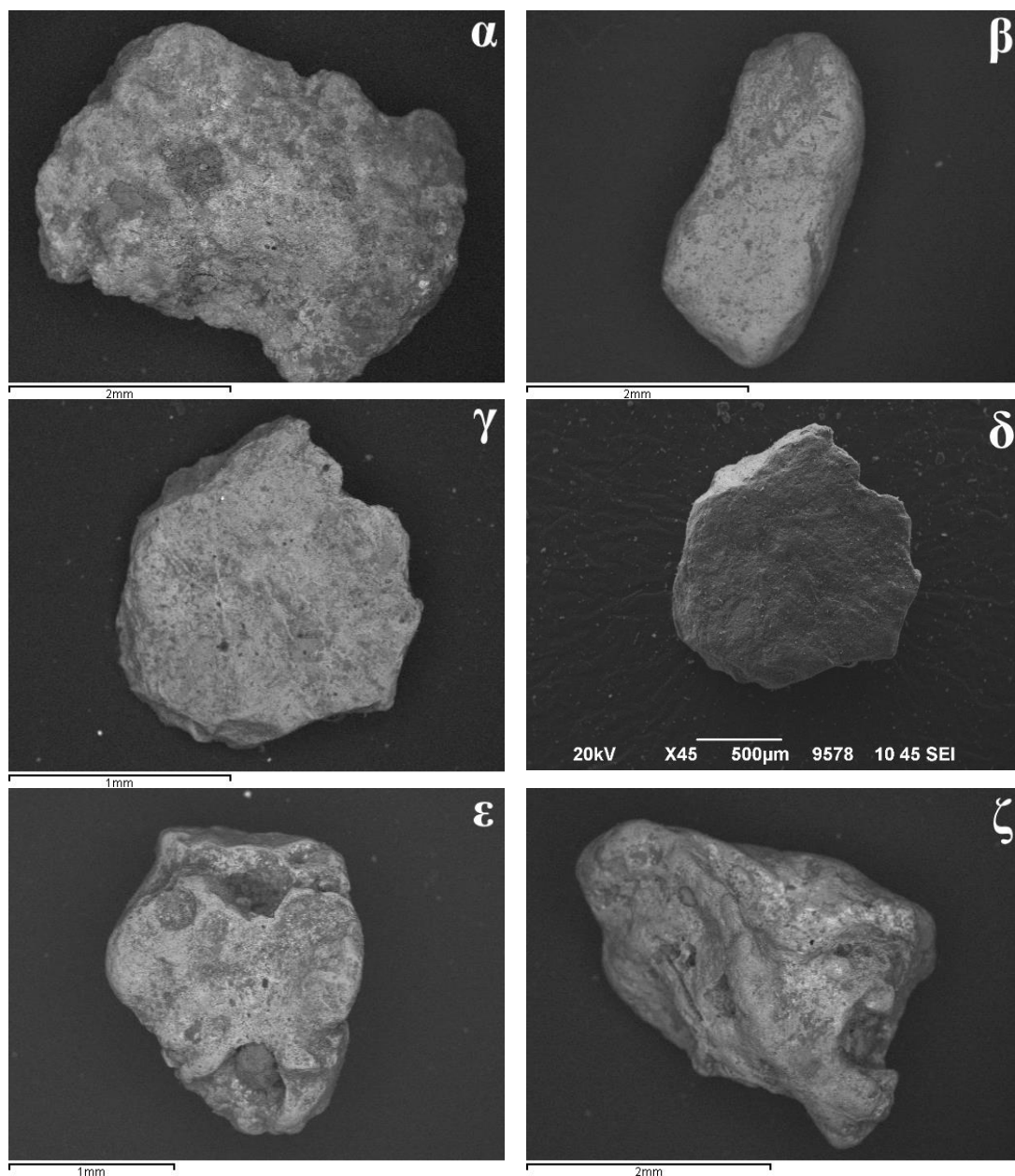
Element	Weight (%)				M.O
	1	2	3	4	
FeO	93,80	91,40	94,60	91,90	92,90
MnO	-	0,70	1,30	0,50	0,80

7.2.5 Οξείδια-υδροξείδια Fe/Mn

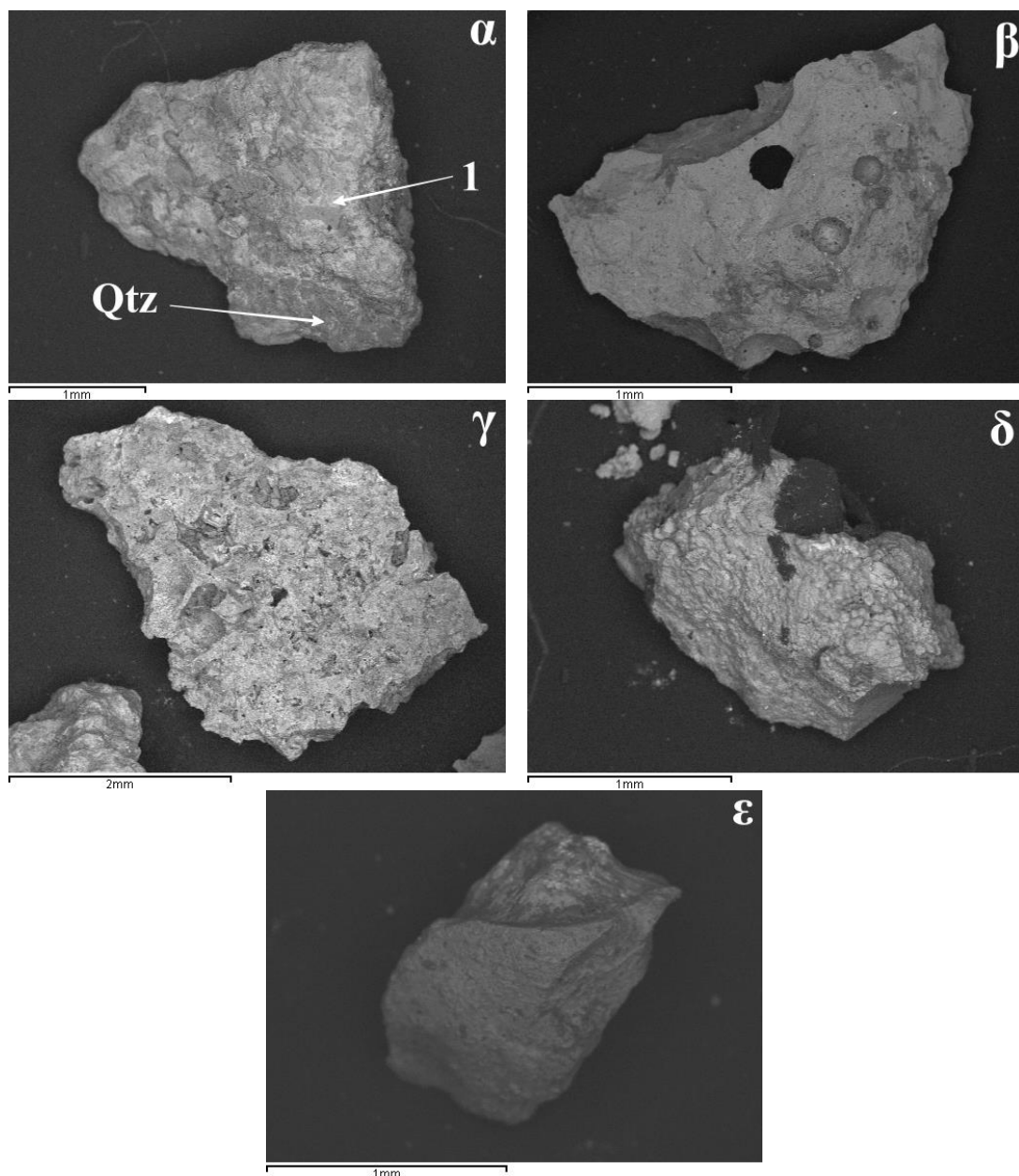
Τα οξείδια-υδροξείδια του σιδήρου και μαγγανίου είναι το πιο διαδεδομένα ορυκτά καθώς εμφανίζονται σε μεγάλες ποσότητες τόσο στα δείγματα κατά μήκους του ρέματος όσο και στα δείγματα στην εκβολή του ρέματος αλλά και στα παραλιακά δείγματα. Οι κόκκοι που εντοπίστηκαν στα δείγματα του ρέματος έχουν ακανόνιστο σχήμα με κατά βάση γωνιώδεις απολήξεις (Εικ. 7.2.5.1-7.2.5.3) ενώ στα παραλιακά δείγματα οι κόκκοι είναι πιο αποστρογγυλεμένοι, λόγω της συνεχούς δράσης των κυμάτων της θάλασσας (Εικ. 7.2.5.4). Το μέγεθος των κόκκων, με μερικές εξαιρέσεις, είναι μεγαλύτερο του 1mm. Με βάση τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο SEM, τα οξείδια/υδροξείδια Fe-Mn έχουν περιεκτικότητες σε FeO 5,40 wt% ως 88,00 wt% και MnO 9,60 wt% ως 79,20 wt%, ενώ περιέχουν και Pb 0,80 wt% ως 4,80 wt%, Zn 1,30 wt% ως 4,20 wt%, As 0,60 wt% ως 4,20 wt%, ενώ σε ορισμένους κόκκους προσδιορίστηκε και Ba ως 3,20 wt%. Χαρακτηριστική είναι επίσης η παρουσία αλίτη στα δείγματα της παραλίας.



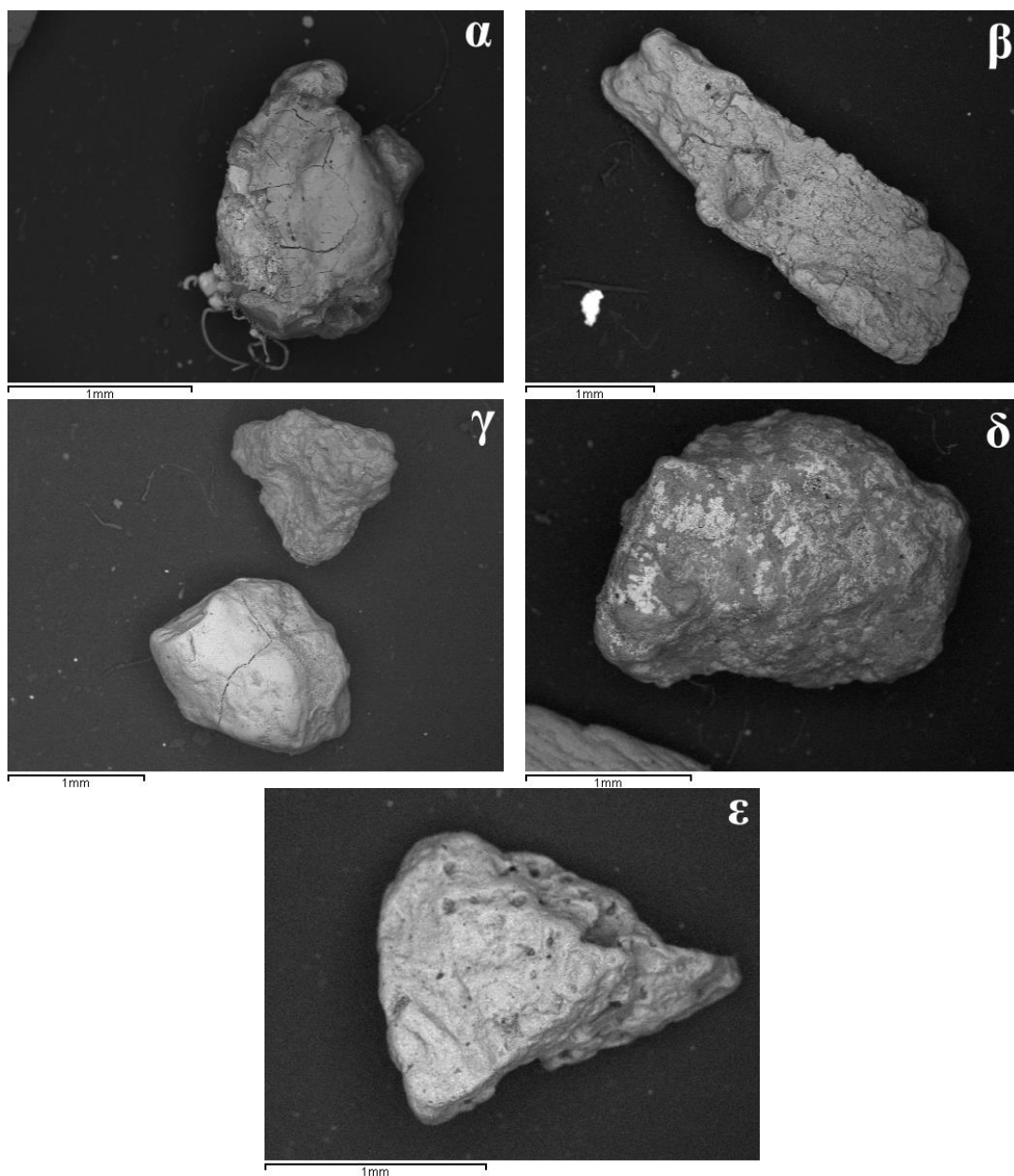
Εικόνα 7.2.5.1: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe-Mn με Zn και Ba, β) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe (1) μαζί με πλαγιόκλαστο (pl), γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe-Mn με Pb,As και Zn, δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe-Mn με Pb,As και Zn



Εικόνα 7.2.5.2: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn με Pb, Zn και As, β) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe, γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb και Zn, δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb και Zn, ε) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb και Zn, ζ) Οξείδιο Mn-Fe με Pb, Zn και As



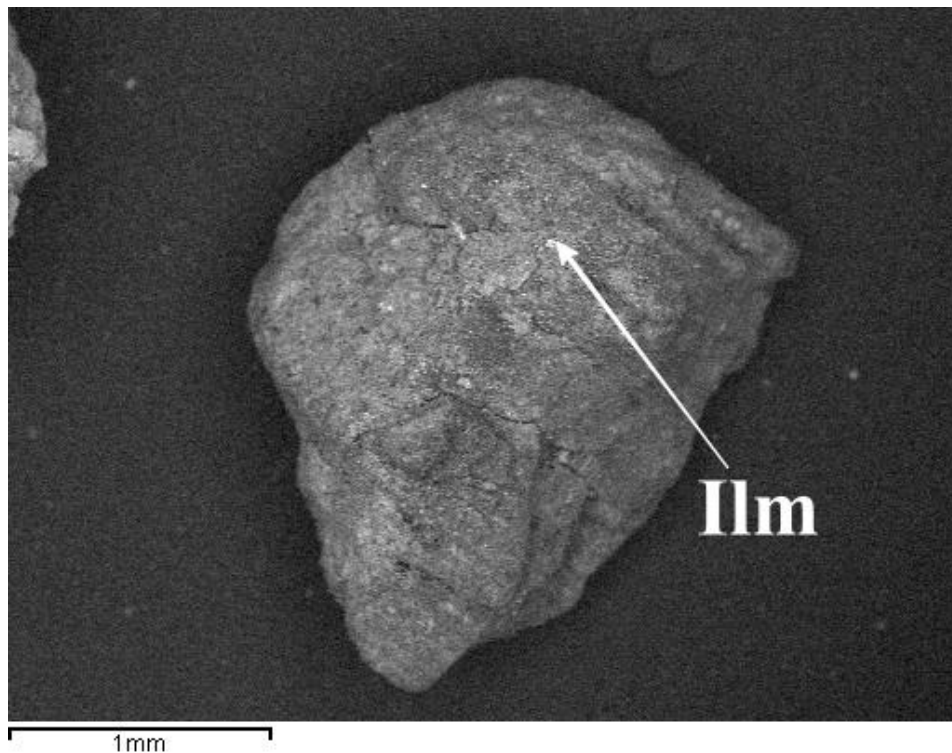
Εικόνα 7.2.5.3: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb, Zn και As (1) μαζί με χαλαζία (Qtz), β) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe-Mn με Pb, γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb και Zn, δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb και Zn, ε) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Mn-Fe με Pb, Zn, As και P



Εικόνα 7.2.5.4: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe με Pb, Zn και As, β) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe, γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe, δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe, ε) Ακανόνιστος κρύσταλλος, οξείδιο Fe-Mn

7.2.6 Ιλμενίτης

Ο ιλμενίτης παρατηρήθηκε μόνο σε ένα δείγμα κατά μήκος του ρέματος Μπασδέκη (MP 1.2) με τη μορφή εγκλείσματος μέσα σε αργιλοπυριτικά ορυκτά (Εικ. 7.2.6). Η ανάλυση του στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM) έδωσε περιεκτικότητες σε TiO_2 50,80 wt%, FeO 41,60 wt%, MnO 3,10 wt%, CaO και MgO 0,40 wt%. Η χημική ανάλυση του ιλμενίτη παρατίθεται στον Πίνακα 7.2.6.



Εικόνα 7.2.6: Έγκλεισμα ιλμενίτη (Ilm) μέσα σε αργιλοπυριτικό ορυκτό

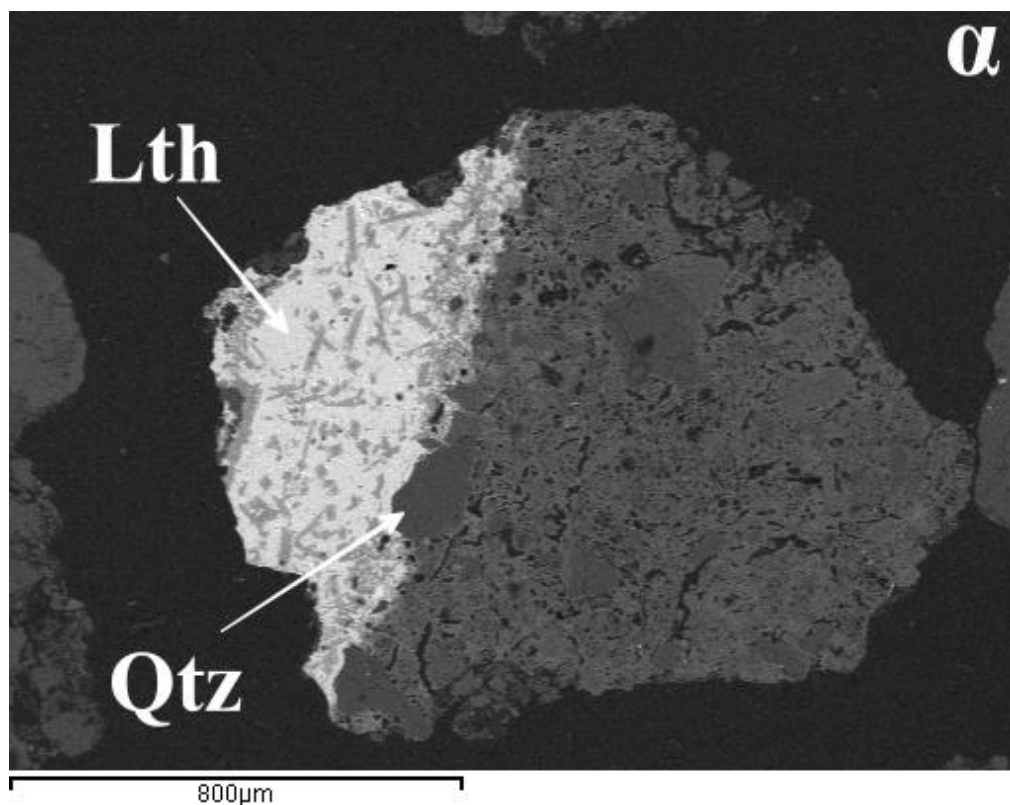
Πίνακας 7.2.6: Χημική ανάλυση ιλμενίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

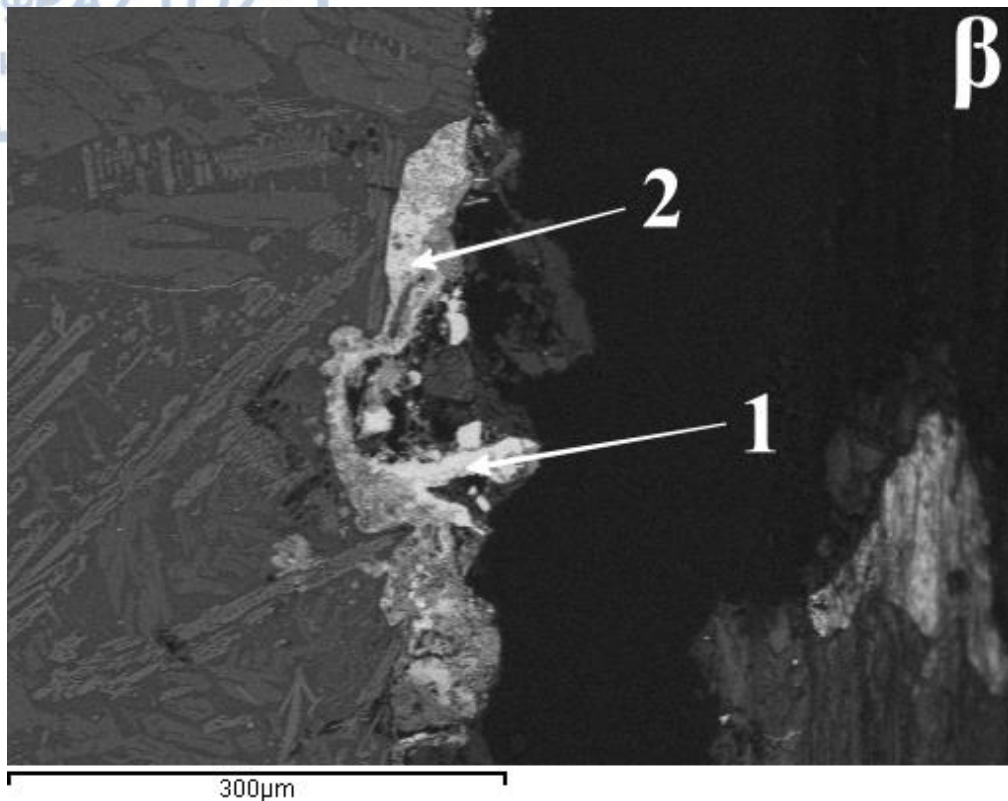
Element	Weight (%)
TiO₂	50,80
FeO	41,60
MnO	3,10
CaO	0,40
MgO	0,40

7.2.7 Λιθάργυρος

Ο λιθάργυρος είναι το μονοξείδιο του μόλυβδου και προκύπτει από τη μεταλλουργία αργύρου από μολυβδο-αργυρούχα ορυκτά. Παρατηρήθηκε περιορισμένα σε ένα από τα δείγματα του ρέματος (MP 1.1). Εμφανίζεται ακανόνιστος ενώ το μέγεθος του δεν ξεπερνάει τα 800μm. Παρατηρείται κυρίως μέσα σε κόκκους σκωριών (Εικ. 7.2.7.α-β).

Σύμφωνα με τις αναλύσεις, ο λιθάργυρος περιέχει Pb από 39,90 wt% ως 72,10 wt%, με μέσο όρο 59,70 wt% καθώς και As 1,50 wt% ως 14,10 wt% με μέσο όρο 7,80 wt%, Sb 17,00 wt%, Zn 6,50 wt% και Fe από 2,40 wt% ως 11,60 wt% με μέσο όρο 7,20 wt%. Οι χημικές αναλύσεις του λιθάργυρου και η μέση χημική του σύσταση παρατίθενται στον Πίνακα 7.2.7.





Εικόνα 7.2.7: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος λιθάργγρου (Lth) μαζί με χαλαζία (Qtz) μέσα σε σκωρία , β) Ακανόνιστος κρύσταλλος μέσα σε σκωρία, στη θέση 1 ο λιθάργγρος είναι πλούσιος σε αντιμόνιο και στη θέση 2 είναι πλούσιος σε αρσενικό

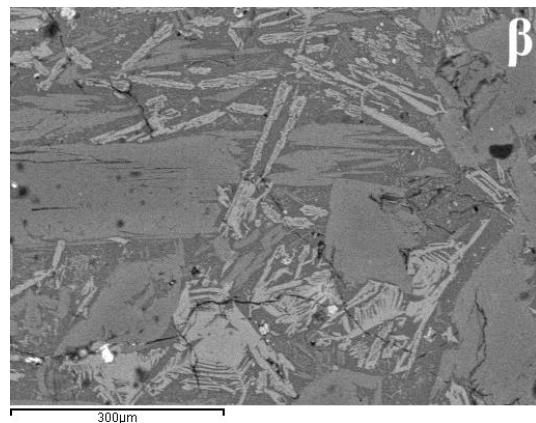
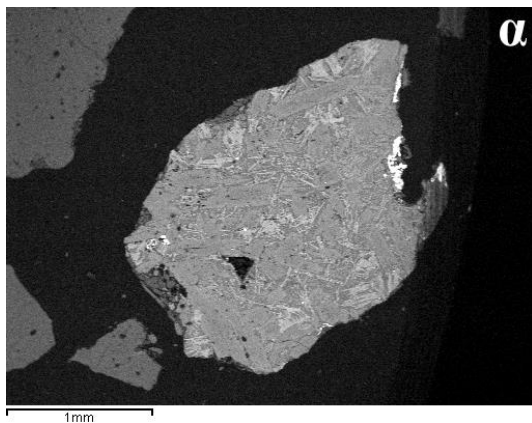
Πίνακας 7.2.7: Χημικές αναλύσεις λιθάργγρου από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

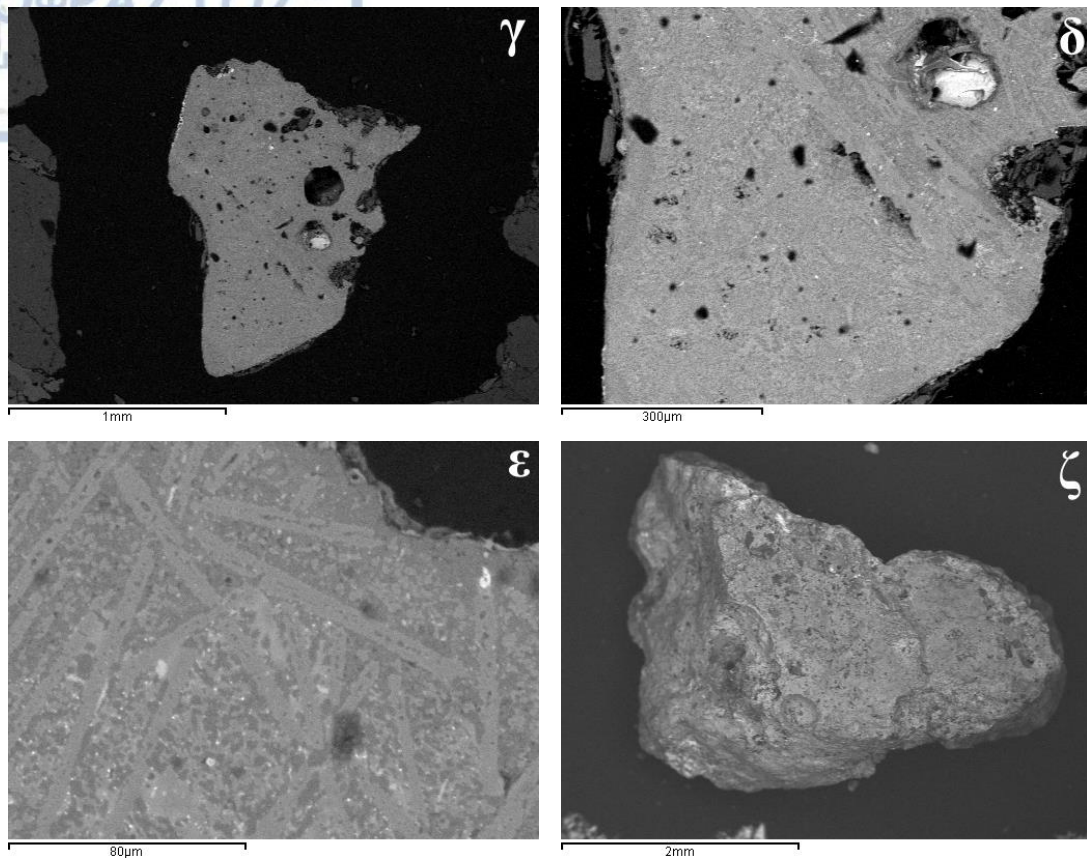
Element	Weight (%)				M.O.
	1	2	3	4	
Pb	64,00	62,60	72,10	39,90	59,70
As	1,50	-	14,10	-	7,80
Sb	-	17,00	-	-	17,00
Zn	-	-	-	6,50	6,50
Fe	-	7,50	2,40	11,60	7,20

7.2.8 Σκωρίες

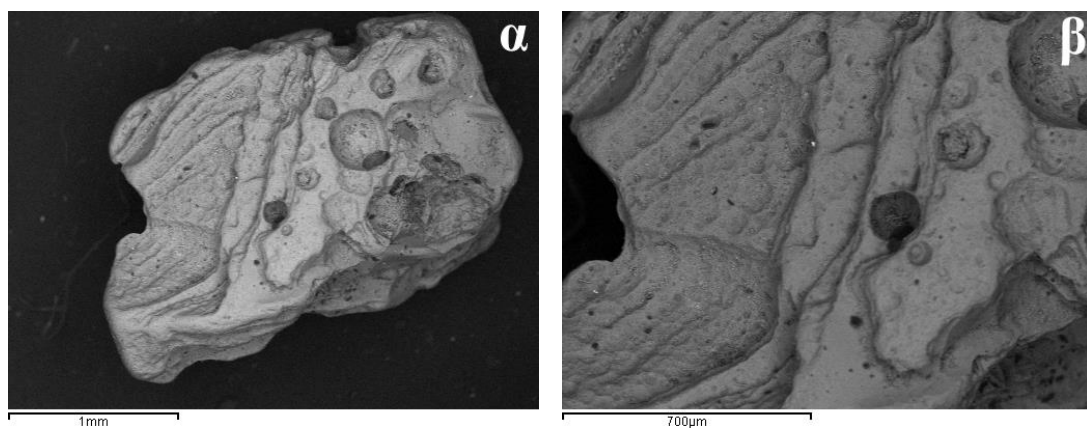
Η μεταλλουργική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή της Ολυμπιάδας είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή σκωριών, ως υποπροϊόν της επεξεργασίας των ορυκτών της ομάδας μεικτών θειούχων για την εξαγωγή μόλυβδου και ψευδάργυρου. Σύμφωνα με τις αρχαιολογικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή (Vavelidis 1983, Βαβελίδης 2000) οι σκωρίες είναι τύπου Spreiss.

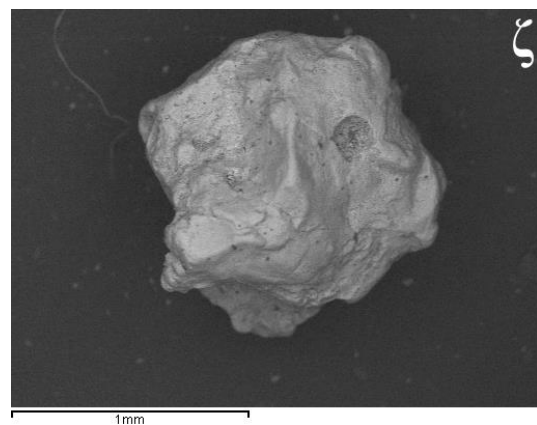
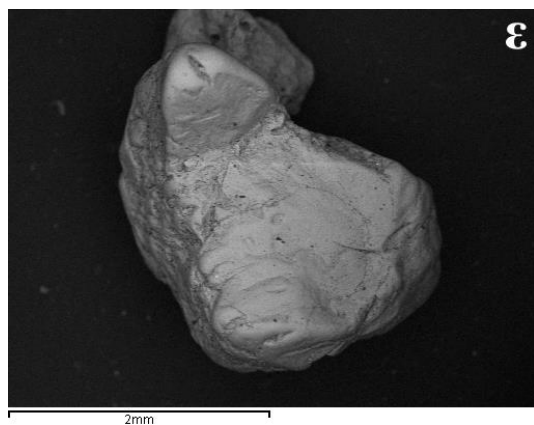
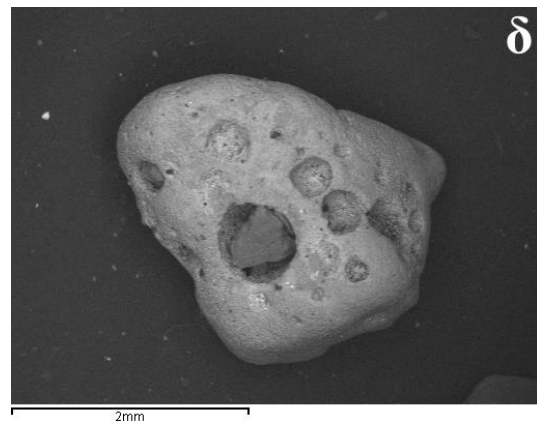
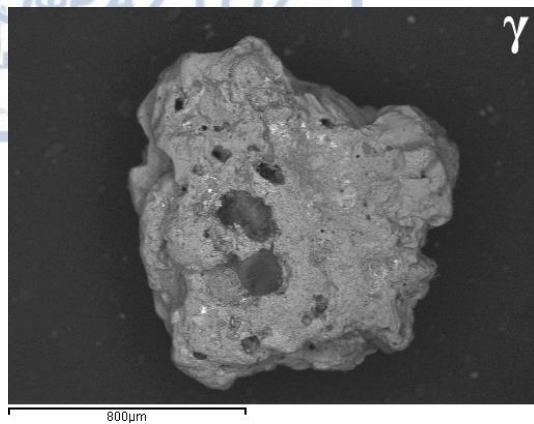
Οι σκωρίες παρατηρήθηκαν κατά κύριο λόγο στα δείγματα της παραλίας (Εικ. 7.2.8.2) αλλά και σε μερικά δείγματα από το ρέμα (MP 1.1 και 1.3, Εικ. 7.2.8.1), είναι ακανόνιστου σχήματος με γωνιώδεις ως υπογωνιώδεις απολήξεις και πιο αποστρογγυλεμένα στις παραλιακές θέσεις. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 1mm ως και 2mm, ενώ μερικοί κόκκοι ξεπερνούν τα 3mm. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι η ύπαρξη κενών και οπών. Επιπλέον, στις φωτογραφίες που πάρθηκαν από τις στιλπνές τομές, οι σκωρίες εμφανίζουν λεπιδόμορφους σχηματισμούς. Οι μορφές αυτές είναι εμφανής τόσο στο μεταλλογραφικό όσο και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Εικ. 7.2.8.1.α-ε, Εικ. 7.2.8.3.α-γ). Σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, οι σκωρίες έχουν περιεκτικότητα σε Fe 7,90 wt% ως 41,10 wt% και Mn 0,4 wt% ως 28,5 wt%, ενώ περιέχουν και Pb 4,20 wt% ως 72,10 wt%, Zn 3,00 wt% ως 31,80 wt%, As 3,50 wt% ως 41,10 wt%, Ba 2,10 wt% ως 21,20 wt% ενώ σε ορισμένους κόκκους προσδιορίστηκε και Cu ως 3,20 wt%, Co ως 0,70 wt% και Ni ως 0,5 wt%.



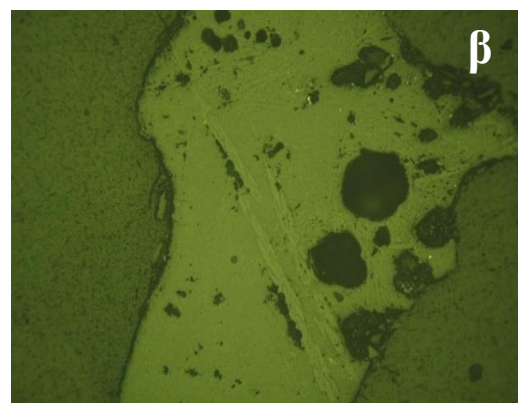
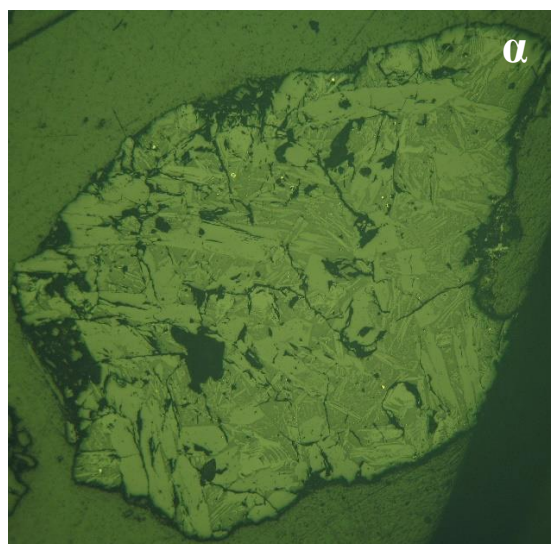


Εικόνα 7.2.8.1: α) Ακανόνιστη σκωρία με γωνιώδεις ως υπογωνιώδεις απολήξεις, β) Λεπιδόμορφοι σχηματισμοί στη σκωρία, γ) Ακανόνιστη σκωρία με γωνιώδεις απολήξεις, δ) Παρουσία οπής στη σκωρία, ε) Λεπιδόμορφοι σχηματισμοί στη σκωρία (ΣΕΜ)





Εικόνα 7.2.8.2: α) Ακανόνιστη σκωρία, β) Παρουσία οπών στη σκωρία γ) Ακανόνιστη σκωρία με γωνιώδεις απολήξεις, δ) Αποστρογγυλεμένη σκωρία, ε) Ακανόνιστη σκωρία, ζ) Ακανόνιστη σκωρία με γωνιώδεις απολήξεις (ΣΕΜ)



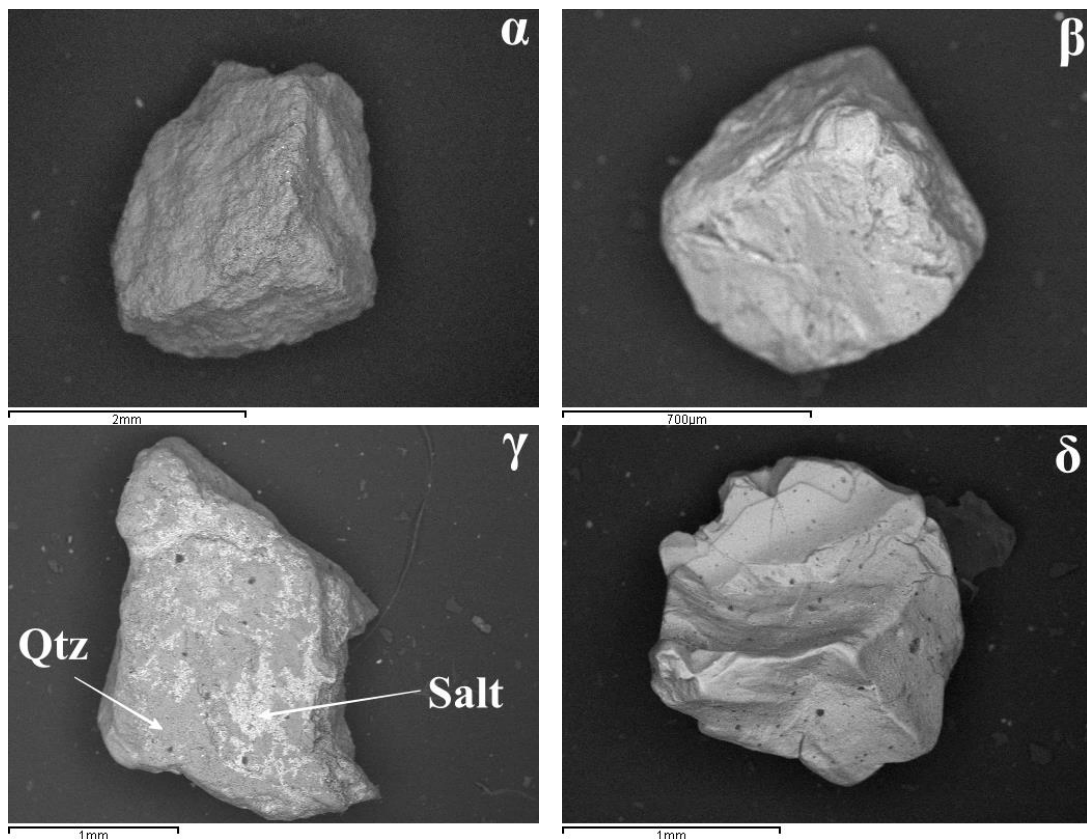
Εικόνα 7.2.8.2: α) Ακανόνιστη σκωρία με παρουσία λαμέλων διαφορετικού σχήματος και χρώματος, β) Ακανόνιστη σκωρία με γωνιώδεις απολήξεις (μεταλλογραφικό μικροσκόπιο)

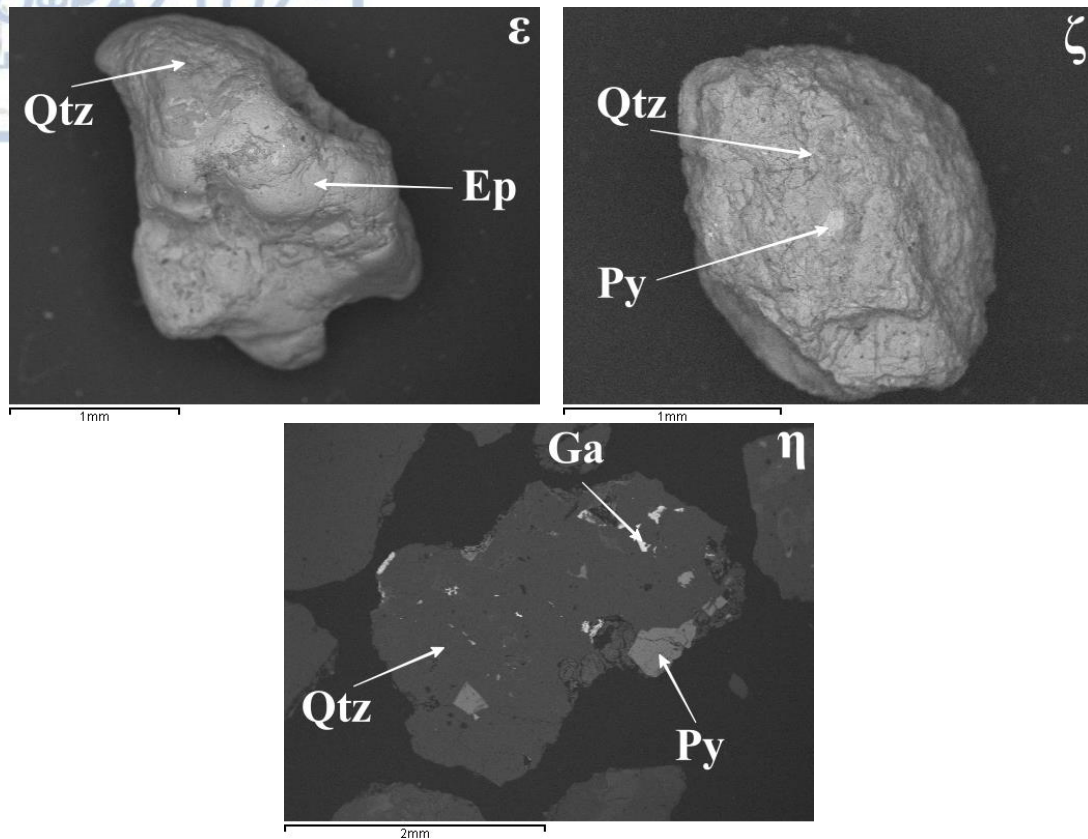
7.3. Διαφανή ορυκτά

7.3.1 Χαλαζίας

Από τα σύνδρομα ορυκτά που παρατηρήθηκαν στα δείγματα, ο χαλαζίας αποτελεί το συνηθέστερο, καθώς απαντάται τόσο στα δείγματα του ρέματος όσο και της παραλίας. Το μέγεθος του κυμαίνεται από 1mm ως 2mm, ενώ σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνά τα 2mm.

Κατά βάση οι κόκκοι του είναι ακανόνιστου σχήματος με γωνιώδεις ως αποστρογγυλεμένες απολήξεις (Εικ. 7.3.1.γ-η), ειδικά στα παραλιακά δείγματα, ωστόσο εμφανίζεται και ιδιόμορφος (Εικ. 7.3.1.α-β). Παρατηρήθηκε σαν ελεύθερος κρύσταλλος, σε σύμφυση με επίδοτο (Εικ. 7.3.1.ε) καθώς και με την παρουσία εγκλεισμάτων σιδηροπυρίτη και γαληνίτη (Εικ. 7.3.1.ζ-η).



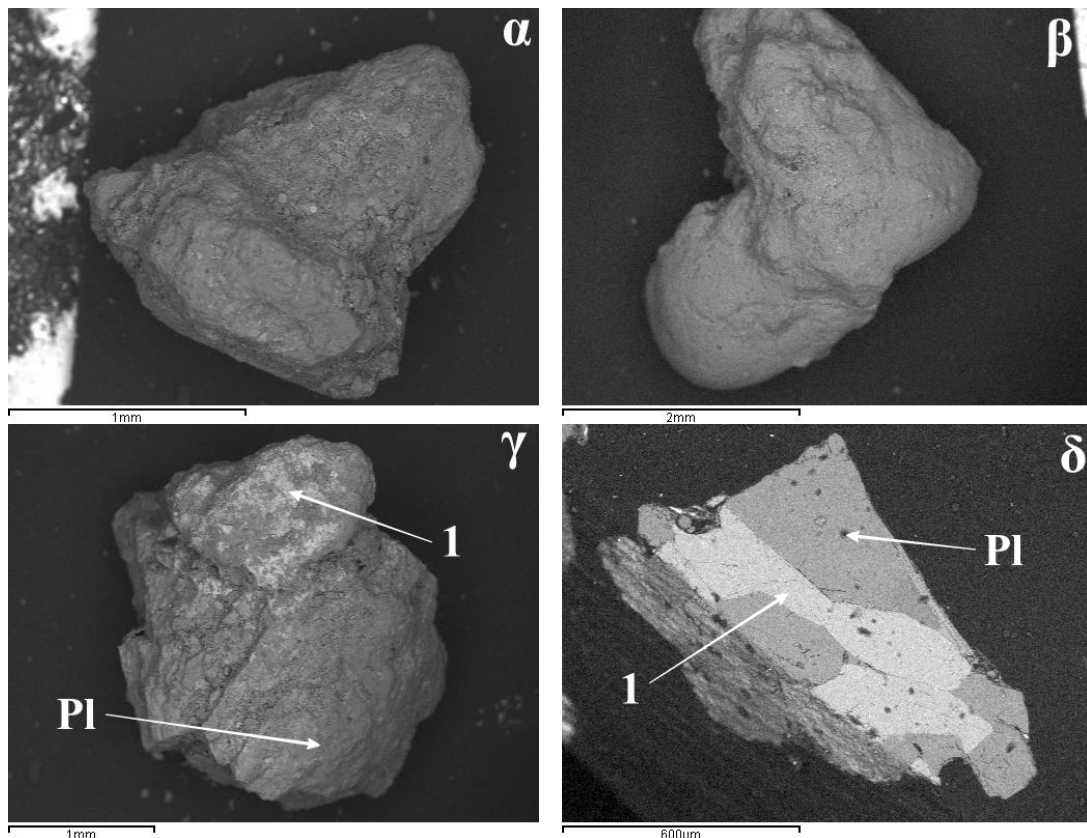


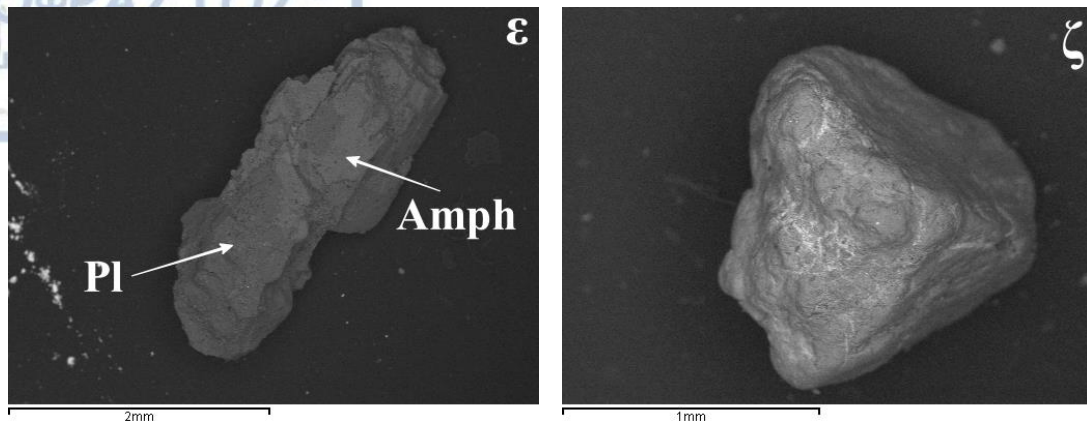
Εικόνα 7.3.1.: α) Ιδιόμορφος κρύσταλλος με γωνιώδεις απολήξεις, β) Ιδιόμορφος κρύσταλλος με αποστρογγυλεμένες απολήξεις, γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος χαλαζία (Qtz) επικαλυμμένος από αλίτη, δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος με κογχώδη θραυσμό, ε) Ακανόνιστος κρύσταλλος χαλαζία (Qtz) μαζί με επίδοτο (Ep), ζ) Ακανόνιστος κρύσταλλος χαλαζία (Qtz) με έγκλεισμα σιδηροπυρίτη (Py), η) Ακανόνιστος κρύσταλλος χαλαζία (Qtz) με εγκλείσματα σιδηροπυρίτη (Py) και γαληνίτη (Ga) (ΣΕΜ)

7.3.2 Άστριοι

Οι άστριοι μαζί με το χαλαζία αποτελούν τα πιο συνηθισμένα διαφανή ορυκτά που παρατηρήθηκαν σε όλα τα δείγματα. Προσδιορίστηκαν δύο ορυκτά που ανήκουν στην γενική ομάδα των αστρίων, το ορθόκλαστο (Εικ. 7.3.2.α-β) που είναι καλιούχος άστριος και το πλαγιόκλαστο, πιο συγκεκριμένα ολιγόκλαστο-ανδεδίνης (Εικ. 7.3.2.γ-ζ). Όσο αφορά το πλαγιόκλαστο, η ανάλυση του στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο υποδεικνύει ότι είναι ανδεδίνης. Οι χημικές αναλύσεις Κ-αστρίου και πλαγιοκλάστου και η μέση χημική σύσταση τους παρατίθενται στον Πίνακα 7.3.2

Εμφανίζονται ως ελεύθεροι κόκκοι μεγέθους 600μm ως 4mm, ακανόνιστοι ως υπιδιόμορφοι, ενώ μερικοί κρύσταλλοι εμφανίζουν τη χαρακτηριστική διδυμία Carlsbad (Εικ. 7.3.2.β). Παράλληλα, εντοπίστηκαν κόκκοι μαζί με οξείδια σιδήρου (Εικ. 7.3.2.γ).





Εικόνα 7.3.2: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος ορθόκλαστου, β) Διδυμία Carlsbad σε ορθόκλαστο, γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος πλαγιόκλαστου (Pl) μαζί με οξείδιο Fe (1), δ) Ακανόνιστος κρύσταλλος πλαγιόκλαστου (Pl) μαζί με οξείδιο Fe (1), ε) Ακανόνιστος κρύσταλλος πλαγιόκλαστου (Pl) μαζί με αμφίβολο (Amph), ζ) Υπιδιόμορφος κρύσταλλος πλαγιόκλαστου (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)

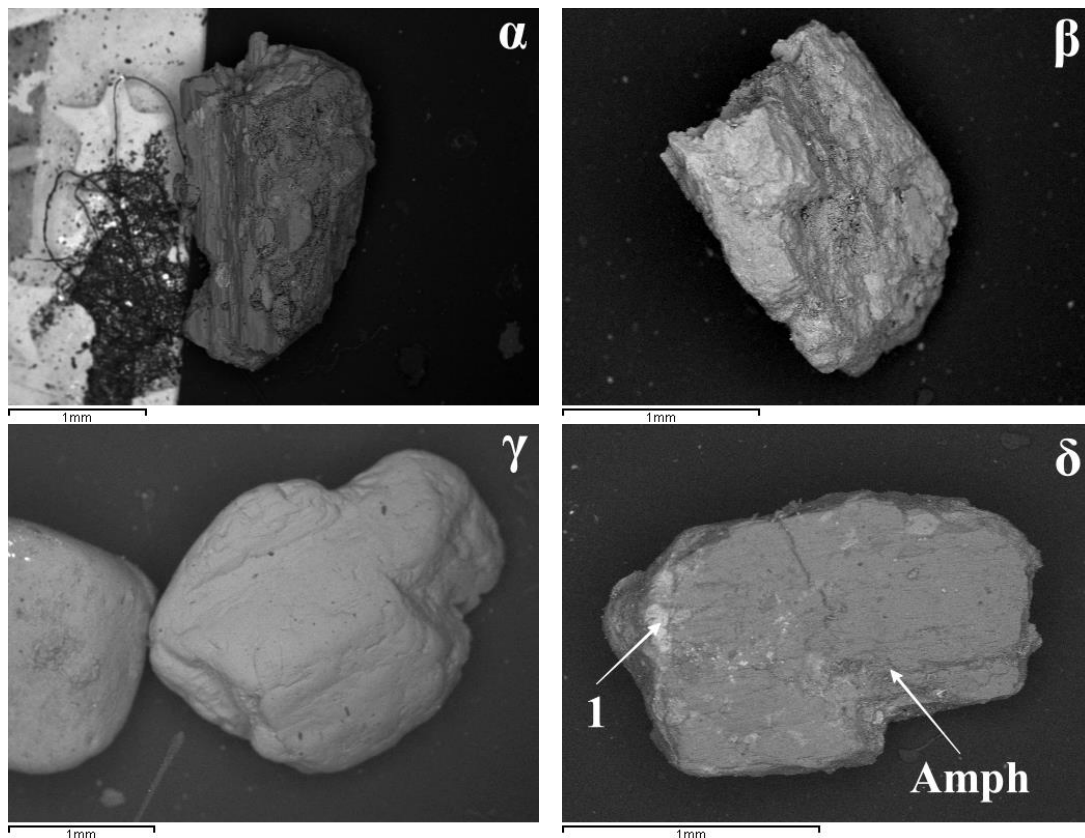
Πίνακας 7.3.2: Χημικές αναλύσεις αστρίων από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

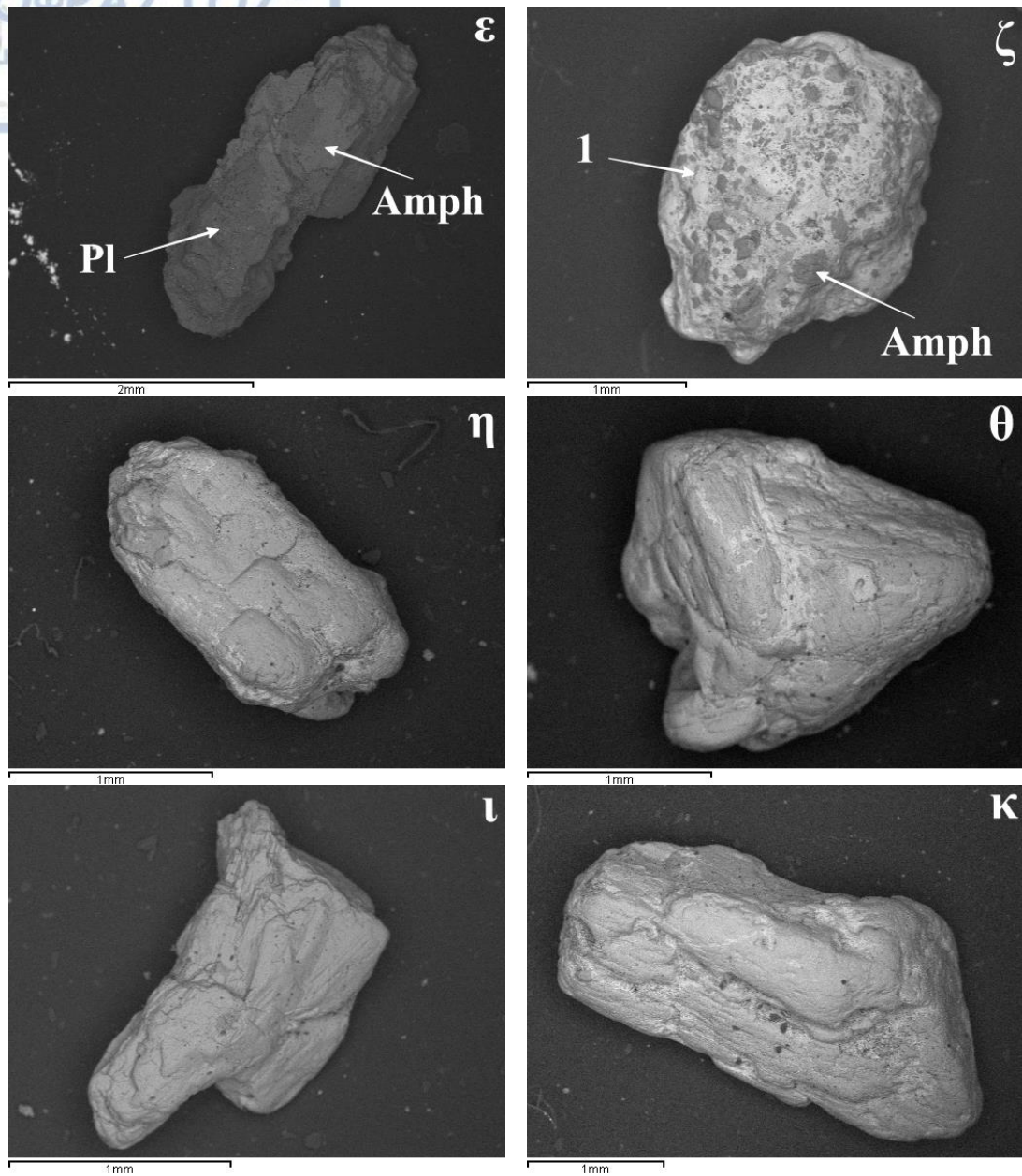
Element	Weight (%)								
Κ-άστριος				Πλαγιόκλαστο					
	1	2	M.O.	1	2	3	4	5	M.O.
SiO₂	63,90	58,00	61,00	61,70	61,80	65,90	63,46	75,50	65,70
Al₂O₃	20,20	30,30	25,30	24,10	24,00	20,90	22,20	15,40	21,30
K₂O	12,20	11,70	12,00	0,10	0,20	3,00	2,60	0,80	1,30
CaO	0,50	-	0,50	6,70	5,00	2,00	0,40	1,20	3,10
Na₂O	0,60	-	0,60	6,90	8,40	6,30	9,70	6,40	7,50
FeO	2,10	-	2,10	0,30	0,80	0,40	1,70	-	0,80
BaO	0,50	-	0,50	0,30	-	1,40	-	0,70	0,80

7.3.3 Αμφίβολοι

Αμφίβολοι βρέθηκαν σε όλα τα δείγματα, εκτός από το MP 1.2, και σύμφωνα με τις αναλύσεις τους προσδιορίστηκε ότι είναι σιδηροκεροσίλβη. Το σχήμα τους είναι ακανόνιστο ως ιδιόμορφο, με γωνιώδεις ως αποστρογγυλεμένες απολήξεις (Εικ. 7.3.3.α-κ). Εντοπίστηκαν ως ελεύθεροι κρύσταλλοι, μαζί με άλλα ορυκτά όπως πλαγιόκλαστο (Εικ. 7.3.3.ε) καθώς και με οξείδια Fe-Mn, ενώ στα δείγματα MP 3.1 και MP 3.2 έχουν και επανθίματα από αλίτη στην εξωτερική τους επιφάνεια.

Με βάση τις αναλύσεις του SEM οι αμφίβολοι περιέχουν SiO₂ 46,60 wt% ως 57,60 wt%, Al₂O₃ 2,60 wt% ως 14,50 wt%, FeO 5,10 wt% ως 18,50 wt%, MgO 8,50 wt% ως 19,00 wt%, Na₂O 0,20 wt% ως 1,70 wt%, K₂O 0,20 wt% ως 1,90 wt%, MnO 0,10 wt% ως 1,10 wt%, CaO 9,40 wt% ως 14,30 wt% και TiO₂ 0,10 wt% ως 1,10 wt%. Η μέση χημική σύσταση και το εύρος των στοιχείων παρατίθενται στον Πίνακα 7.3.3.





Εικόνα 7.3.3: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος, β) Ακανόνιστος κρύσταλλος, γ) Αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, δ) Κρύσταλλος αμφιβόλου (Amph) μαζί με οξειδία Fe-Mn (1), ε) Κρύσταλλος αμφιβόλου (Amph) μαζί με πλαγιόκλαστο (Pl), ζ) Συσσωμάτωμα αμφιβόλου (Amph) με οξειδία Fe (1), η) Αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, θ) Αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, ι) Ακανόνιστος κρύσταλλος με υπογωνιώδεις απολήξεις, κ) Παρουσία σχισμού σε αποστρογγυλεμένο κρύσταλλο (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)

Πίνακας 7.3.3: Χημικές αναλύσεις αμφιβόλου από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Element	Weight (%)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO₂	46,60	51,90	57,60	56,20	49,30	55,50	52,00	55,0	48,80	51,70	50,40
Al₂O₃	9,40	7,00	6,60	5,60	14,50	3,70	9,50	9,00	13,20	8,80	12,40
K₂O	0,80	0,60	0,20	0,40	1,30	0,20	0,80	0,40	0,50	0,90	1,00
CaO	10,60	12,80	11,60	12,10	9,40	14,0	11,00	10,20	11,90	10,30	9,90
Na₂O	0,70	1,20	0,20	0,60	0,90	0,50	1,10	1,10	1,20	1,20	1,60
FeO	18,50	17,80	5,10	6,20	10,90	12,40	12,20	8,80	10,70	9,70	10,40
MgO	12,30	8,50	18,50	19,00	12,20	13,90	11,20	14,70	12,80	16,00	13,10
MnO	0,10	-	0,30	0,30	0,10	0,20	1,10	0,40	0,40	-	0,20
TiO₂	0,70	0,60	0,10	0,10	0,90	0,10	0,80	0,50	0,80	0,50	0,50

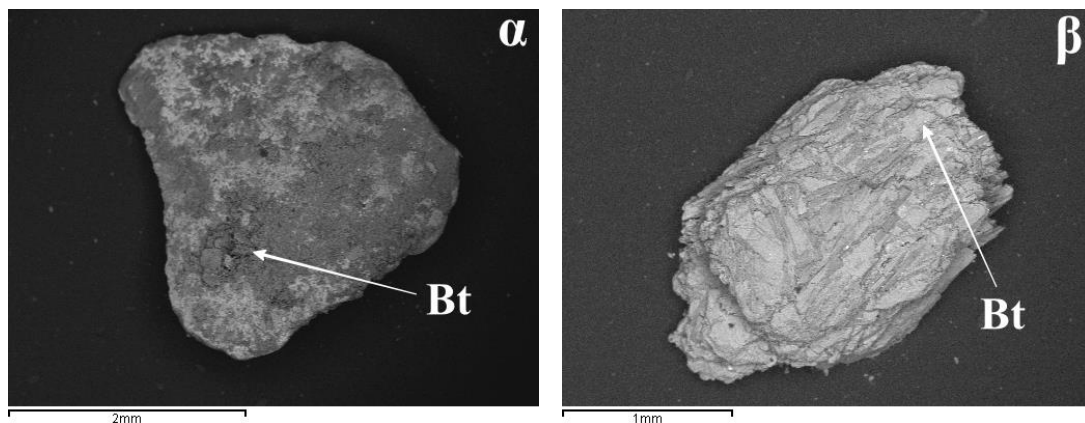
Πίνακας 7.3.3 (συνέχεια): Χημικές αναλύσεις αμφιβόλου από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

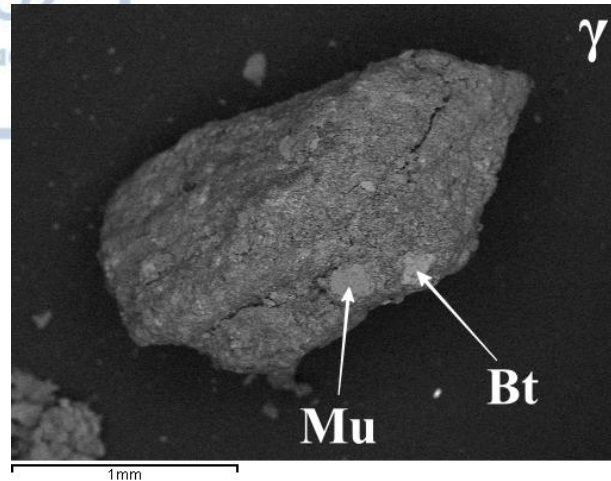
Element	Weight (%)											M.O.
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
SiO₂	51,10	48,70	54,00	57,40	47,70	52,10	51,60	52,60	51,00	54,30	49,00	52,00
Al₂O₃	10,70	10,80	5,90	2,60	9,60	8,60	7,70	8,90	7,80	8,70	10,20	8,70
K₂O	1,10	1,20	0,40	0,30	1,50	0,50	1,00	0,90	0,60	0,60	1,90	0,80
CaO	11,90	12,00	12,00	12,40	14,30	11,60	12,00	11,00	12,00	10,30	13,50	11,70
Na₂O	1,60	1,50	0,50	1,10	1,00	0,70	0,50	1,70	1,20	1,40	1,50	1,00
FeO	7,90	9,60	10,00	6,90	11,70	12,20	12,60	8,50	8,60	7,60	11,00	10,40
MgO	15,10	14,80	16,60	18,40	12,40	12,70	12,60	16,00	17,40	17,30	13,00	14,50
MnO	0,10	0,50	0,10	-	-	1,00	0,50	-	0,30	0,20	-	0,30
TiO₂	0,80	0,80	0,10	0,70	1,10	0,10	0,70	0,30	0,30	0,30	0,70	0,50

7.3.4 Μαρμαρυγίες

Οι μαρμαρυγίες που παρατηρήθηκαν είναι κυρίως βιοτίτες, ενώ η παρουσία του μοσχοβίτη είναι πολύ περιορισμένη (Εικ. 7.3.4.γ). Εμφανίζονται ως συσσωματώματα μαζί με άλλα αργιλοπυριτικά ορυκτά (Εικ. 7.3.4.α-γ). Οι κρύσταλλοι τους είναι ακανόνιστοι ενώ σε μερικά συσσωματώματα είναι εμφανές το φυλλόμορφο σχήμα τους.

Με βάση τις αναλύσεις του SEM ο βιοτίτης περιέχει SiO_2 38,30 wt% ως 51,20 wt% με μέσο όρο 43,90 wt%, Al_2O_3 17,20 wt% ως 23,60 wt% με μέσο όρο 21,00 wt%, FeO 12,50 wt% ως 27,70 wt% με μέσο όρο 19,40 wt%, MgO 5,60 wt% ως 7,70 wt% με μέσο όρο 6,70 wt%, K_2O 3,50 wt% ως 7,80 wt% με μέσο όρο 5,80 wt%, MnO 0,50 wt% ως 1,20 wt% με μέσο όρο 0,90 wt%, CaO 0,70 wt% ως 1,40 wt% με μέσο όρο 1,00 wt% και TiO_2 1,00 wt% ως 2,20 wt% με μέσο όρο 1,70 wt%. Αντίστοιχα ο μοσχοβίτης περιέχει SiO_2 51,90 wt%, Al_2O_3 34,20 wt%, FeO 2,20 wt%, K_2O 10,40 wt%, Na_2O 0,70 wt% και MgO 0,70 wt%. Οι χημικές αναλύσεις και η μέση χημική σύσταση του βιοτίτη, καθώς και η χημική ανάλυση του μοσχοβίτη παρατίθενται στον Πίνακα 7.3.4.





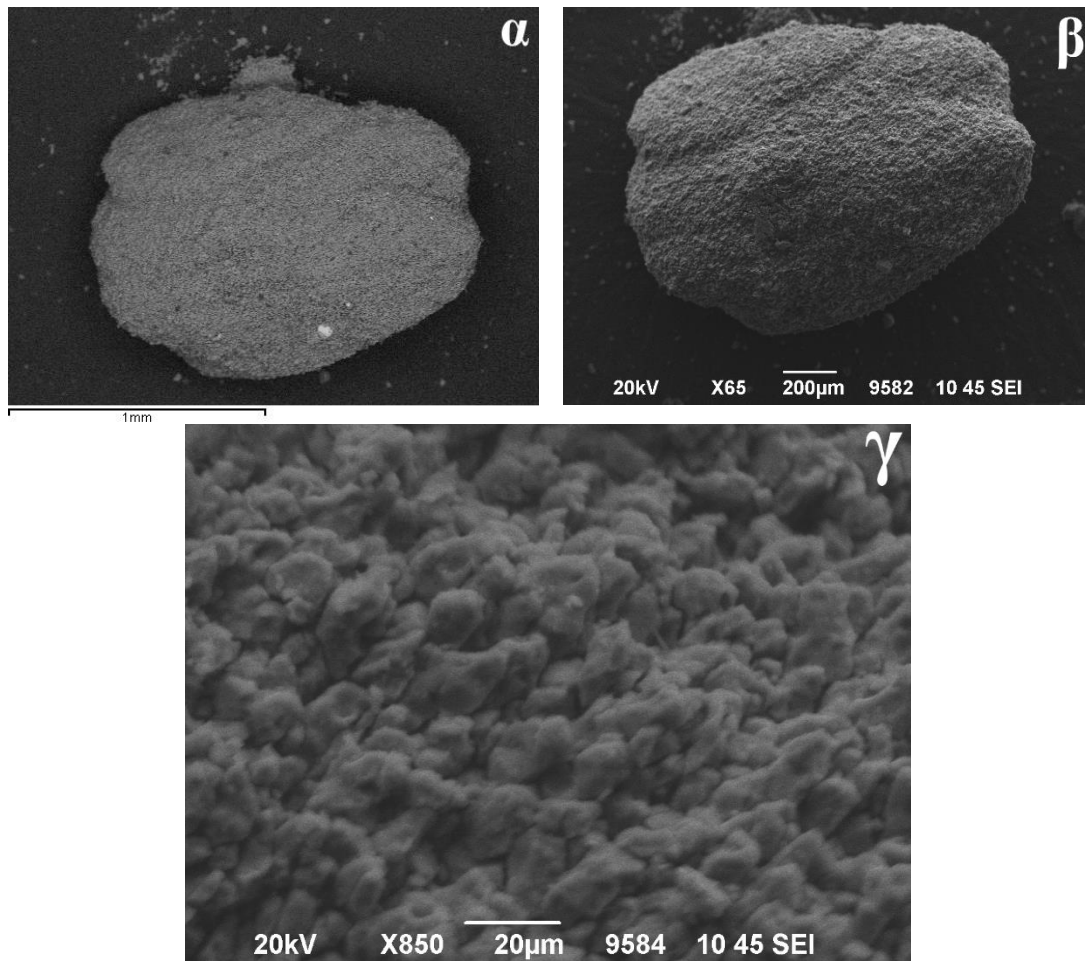
Εικόνα 7.3.4: α) Συσσωματώματα βιοτίτη μαζί με αργιλοπυριτικά ορυκτά, β Συσσωματώματα βιοτίτη μαζί με αργιλοπυριτικά ορυκτά, γ) Φυλλόμορφοι κρύσταλλοι βιοτίτη (Bt) και μοσχοβίτη (Mu) (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)

Πίνακας 7.3.4: Χημικές αναλύσεις βιοτίτη και μοσχοβίτη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

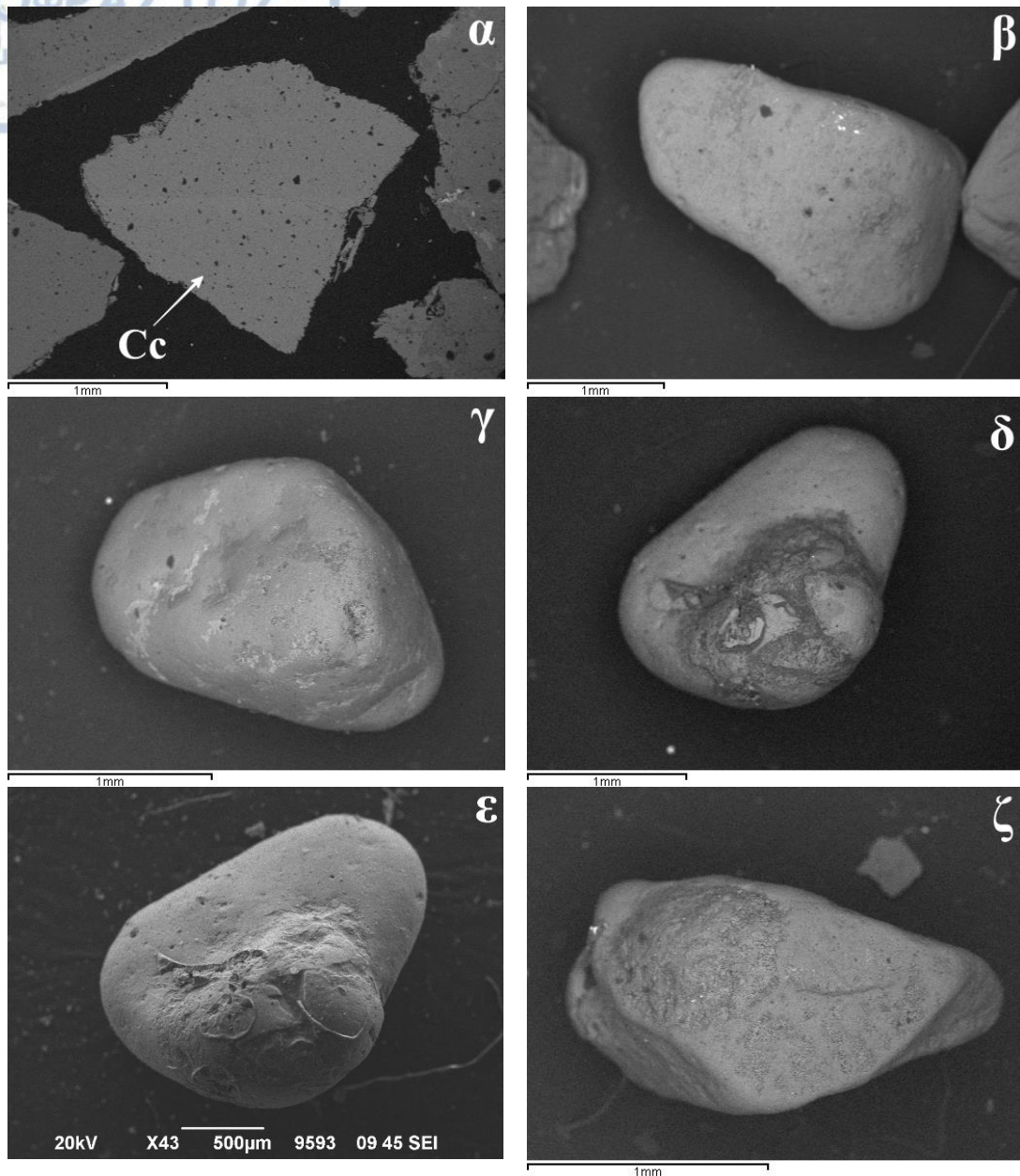
Element	Weight (%)			
	Βιοτίτης		Μοσχοβίτης	
	1	2	M.O.	
SiO₂	42,10	38,20	40,20	51,90
Al₂O₃	22,30	17,20	19,80	34,20
K₂O	6,00	7,80	6,90	10,40
CaO	0,80	0,80	0,80	-
Na₂O	-	-	-	0,70
FeO	17,80	27,70	22,80	2,20
MgO	-	-	-	0,70
MnO	0,50	-	0,50	-
TiO₂	2,20	1,80	2,00	-

7.3.5 Ασβεστίτης

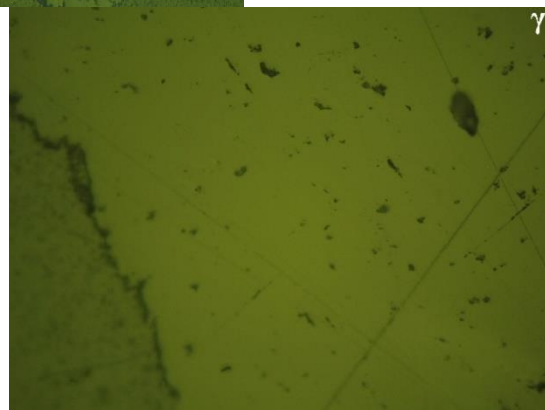
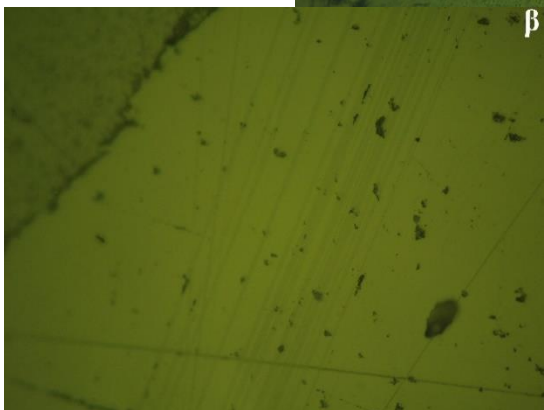
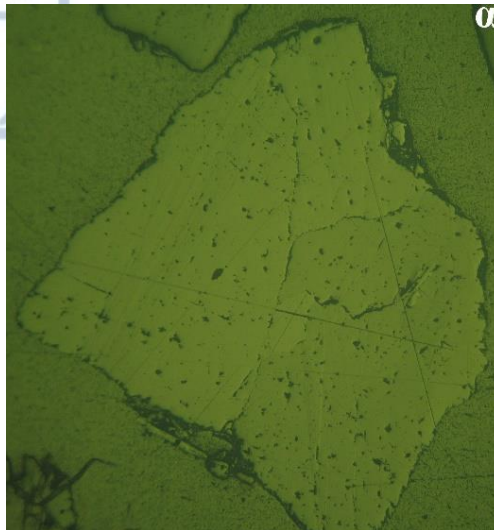
Ο ασβεστίτης παρατηρήθηκε κυρίως στα δείγματα τους παραλίας, ενώ η παρουσία του κατά μήκος του ρέματος είναι περιορισμένη. Εντοπίστηκε με τη μορφή συσσωματωμάτων (Εικ. 7.3.5.1.α-γ), αλλά και ως ελεύθεροι κρύσταλλοι, το μέγεθος των οποίων ξεπερνά τα 2mm και το σχήμα τους είναι ακανόνιστο και γωνιώδες ως αποστρογγυλεμένο (Εικ. 7.3.5.2.α-ζ). Επιπλέον, σε ορισμένους κρυστάλλους είναι εμφανής ο σχισμός του ασβεστίτη κάτω από μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (Εικ. 7.3.5.3.α-γ).



7.3.5.1: α) Συσσωμάτωμα κρυστάλλων ασβεστίτη, β) Μορφολογική φωτογραφία του κόκκου (α), γ) Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι ασβεστίτη μέσα στο συσσωμάτωμα (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)



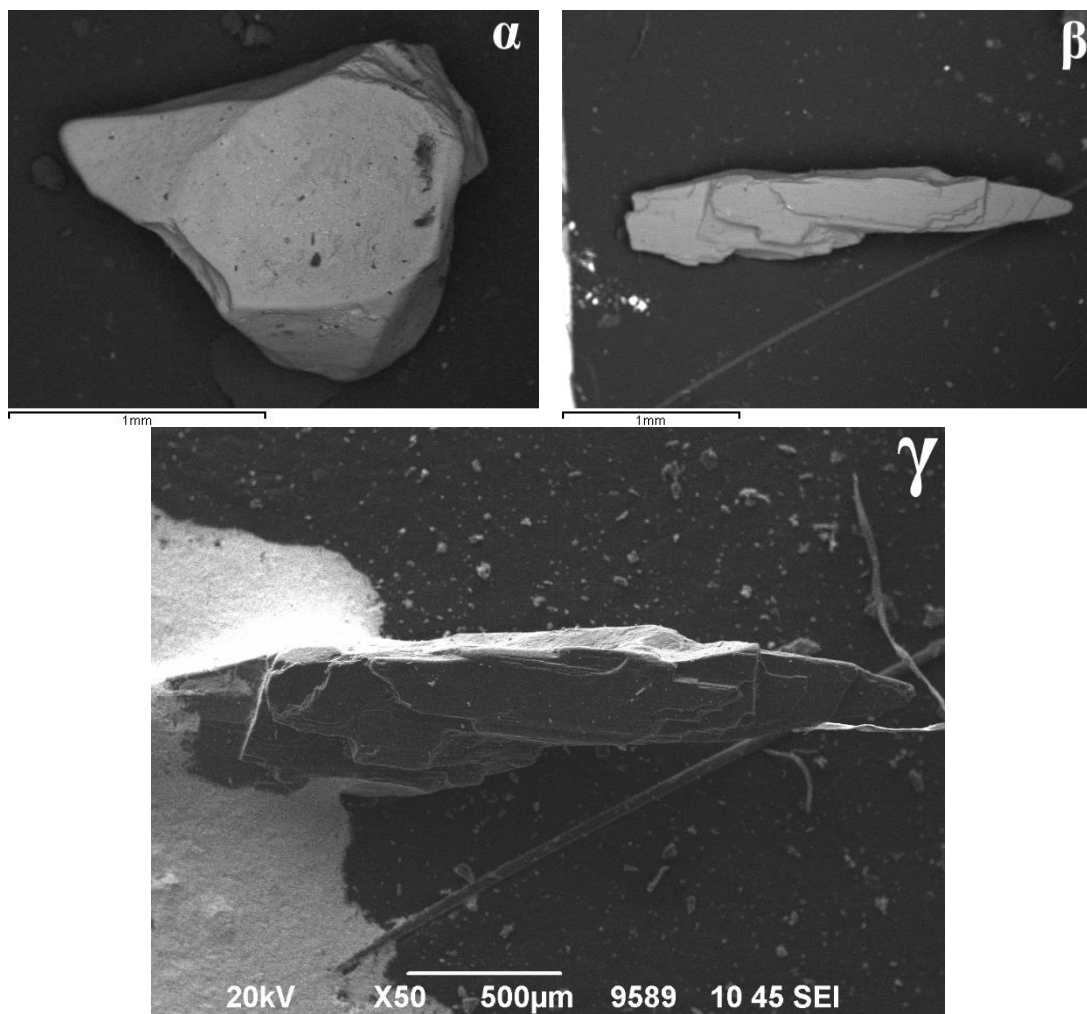
7.3.5.2: α) Ακανόνιστος γωνιώδης κρύσταλλος ασβεστίτη (Cc), β) Ακανόνιστος αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, γ) Ακανόνιστος αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, δ) Ακανόνιστος αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, ε) Μορφολογική εικόνα του κόκκου (δ), ζ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, με υπογωνιώδεις απολήξεις (φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο)



7.3.5.3:α) Κρύσταλλος ασβεστίτη σχεδόν ιδιόμορφου σχήματος με παρουσία γραμμών διαφορετικού χρώματος, περιστροφή του κρυστάλλου οδηγεί στην εμφάνιση (β) και εξαφάνιση (γ) των γραμμών (φωτογραφίες από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο)

7.3.6 Πυρόξενι

Οι πυρόξενι εμφανίζονται μόνο στο δείγμα MP 3.1 και σύμφωνα με την ανάλυση τους στο σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο πρόκειται για διοψίδιο (Εικ. 7.3.6.α) και φερροσιλίτη (Εικ. 7.3.6.β-γ). Οι κρύσταλλοι είναι ακανόνιστοι ως υπιδιόμορφοι με γωνιώδεις απολήξεις που ξεπερνούν τα 2mm σε μέγεθος. Επιπλέον, ο φερροσιλίτης, που ανήκει στην ομάδα των ορθοπυρόξενων, περιέχει SiO_2 47,00 wt%, Al_2O_3 3,50 wt%, FeO 38,90 wt%, MgO 2,90 wt%, K_2O 1,50 wt%, CaO 3,13 wt%, Na_2O 1,50 wt%. Αντίστοιχα ο διοψίδιος, ο οποίος ανήκει στην ομάδα των κλινοπυρόξενων, περιέχει SiO_2 59,00 wt%, Al_2O_3 0,40 wt%, FeO 7,20 wt%, MgO 18,00 wt%, CaO 14,10 wt%, MnO 0,60 wt%, ενώ παρουσιάζει και μικρή περιεκτικότητα σε νικέλιο, 0,42 wt%. Οι χημικές αναλύσεις του διοψιδίου και του φερροσιλίτη παρατίθενται στον Πίνακα 7.3.6.



Εικόνα 7.3.2.6: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος διοψιδίου, β) Ακανόνιστος κρύσταλλος υπερσθενή, γ) Μορφολογική εικόνα του κρύσταλλου (β) (SEM)

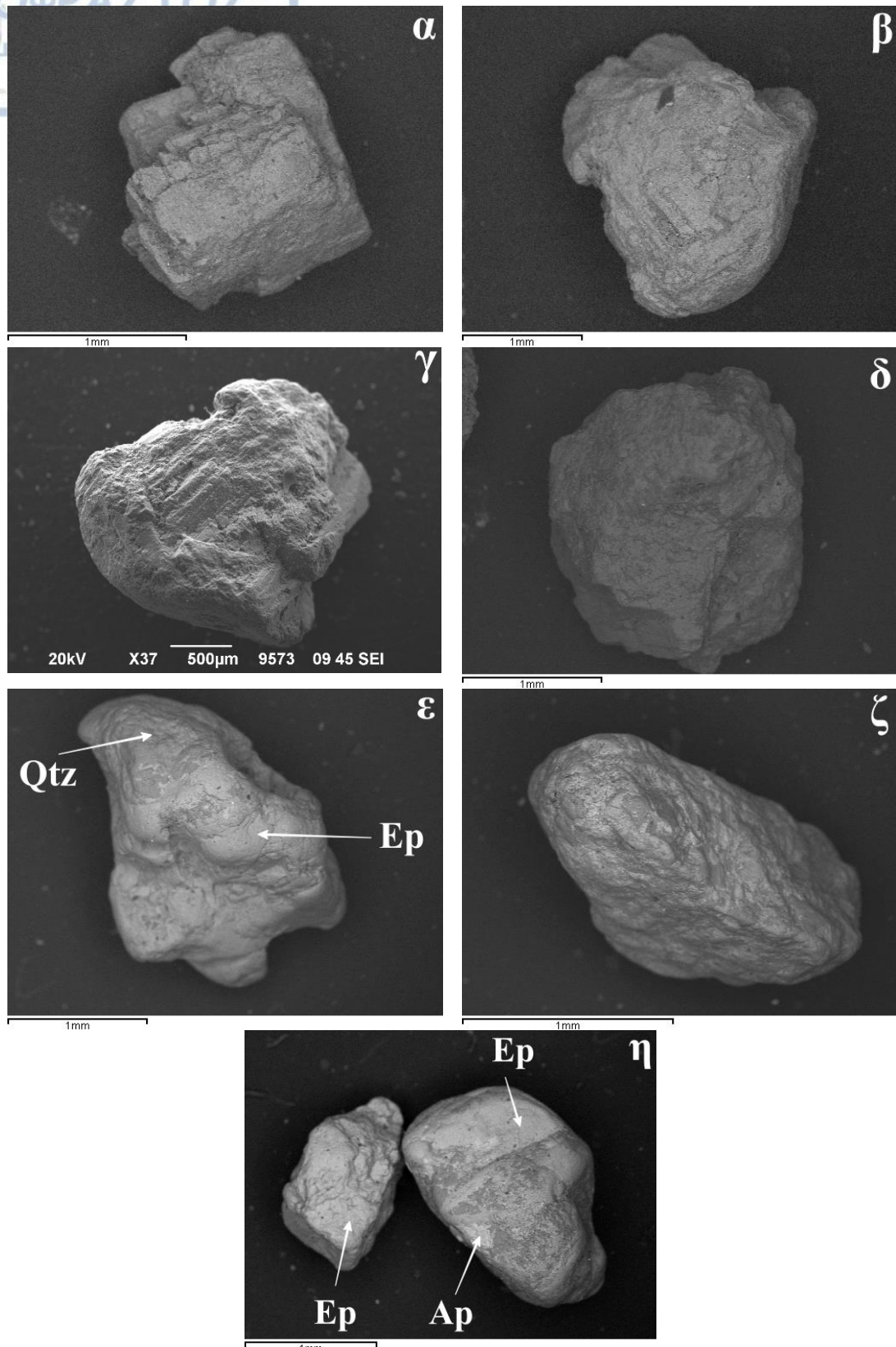
Πίνακας 7.3.6: Χημικές αναλύσεις φερροσιλίτη και διοψίδιου από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Element	Weight (%)	
	Φερροσιλίτης	Διοψίδιος
SiO₂	47,00	59,00
Al₂O₃	3,50	0,40
K₂O	1,50	-
CaO	3,10	14,10
Na₂O	1,50	0,10
FeO	38,90	7,20
MgO	2,90	18,00
MnO	-	0,60
Ni	-	0,40

7.3.7 Επίδοτο

Το επίδοτο παρατηρήθηκε στα μισά από τα δείγματα, ως ελεύθεροι κόκκοι μεγέθους 1-2mm και ακανόνιστου ως ιδιόμορφου σχήματος (Εικ. 7.3.7.α-η). Επιπλέον, εμφανίζεται σε σύμφυση με χαλαζία (Εικ. 7.3.7.ε), καθώς και με εγκλείσματα απατίτη (Εικ. 7.3.8.η). Οι χημικές αναλύσεις και η μέση χημική σύσταση του επιδότου παρατίθενται στον Πίνακα 7.3.7.

Με βάση τις αναλύσεις του SEM το επίδοτο περιέχει SiO₂ 41,50 wt% ως 45,80 wt% με μέσο όρο 44,30 wt%, Al₂O₃ 22,30 wt% ως 27,70 wt% με μέσο όρο 25,40 wt%, FeO 6,10 wt% ως 17,20 wt% με μέσο όρο 9,70 wt%, MgO 0,20 wt% ως 1,90 wt% με μέσο όρο 0,70 wt%, K₂O 0,30 wt% ως 2,80 wt% με μέσο όρο 1,60 wt%, MnO 0,30 wt% ως 0,40 wt% με μέσο όρο 0,40 wt%, CaO 7,90 wt% ως 21,30 wt% με μέσο όρο 19,10 wt% και Na₂O 0,60 wt% ως 1,00 wt% με μέσο όρο 0,70 wt%.



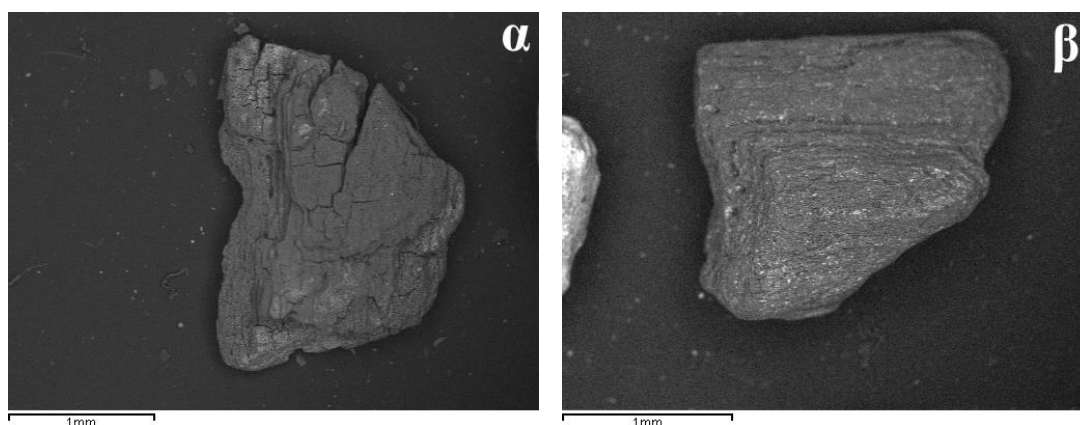
Εικόνα 7.3.7: α) Ιδίομορφος κρύσταλλος επιδότου με εμφανή σχισμό, β) Ακανόνιστος κρύσταλλος επιδότου, γ) Ακανόνιστος κρύσταλλος επιδότου, εμφανής ο σχισμός, δ) Ακανόνιστος αποστρογγυλεμένος κρύσταλλος, ε) Κρύσταλλος επιδότου (Ep) μαζί με χαλαζία (Qtz), ζ) Ακανόνιστος κρύσταλλος, η) Υπιδίομορφος (αριστερά) και ακανόνιστος (δεξιά) κρύσταλλος με έγκλεισμα απατίτη (SEM)

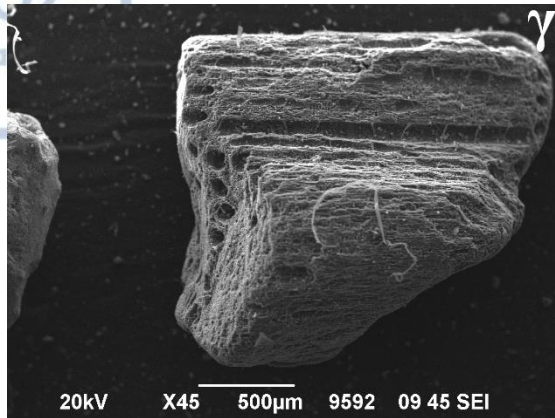
Πίνακας 7.3.7: Χημικές αναλύσεις επιδότου από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Element	Weight (%)								M.O.
	1	2	3	4	5	6	7	8	
SiO₂	45,80	45,00	41,50	45,00	44,40	45,10	43,20	44,00	44,20
Al₂O₃	25,10	24,80	22,30	27,70	27,00	26,80	24,10	25,30	25,40
K₂O	2,80	-	0,30	-	-	-	-	-	1,60
CaO	7,90	20,90	23,00	18,60	20,20	19,80	21,30	21,10	19,10
Na₂O	1,00	-	-	0,53	-	0,70	0,60	0,60	0,70
FeO	17,20	9,20	11,60	6,10	7,40	6,90	10,20	8,90	9,70
MgO	0,80	0,20	0,70	1,90	0,70	0,30	0,50	-	0,70
MnO	-	-	-	0,40	0,30	-	-	-	0,40

7.3.8 Γύψος

Η γύψος βρέθηκε μόνο στα δείγματα της παραλίας, το σχήμα της είναι ακανόνιστο ως ιδιόμορφο και ξεπερνά τα 2mm σε μέγεθος. Επιπλέον, στις φωτογραφίες από το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο είναι ευδιάκριτος ο σχισμός των κρυστάλλων (Εικ. 7.3.8.α-γ).

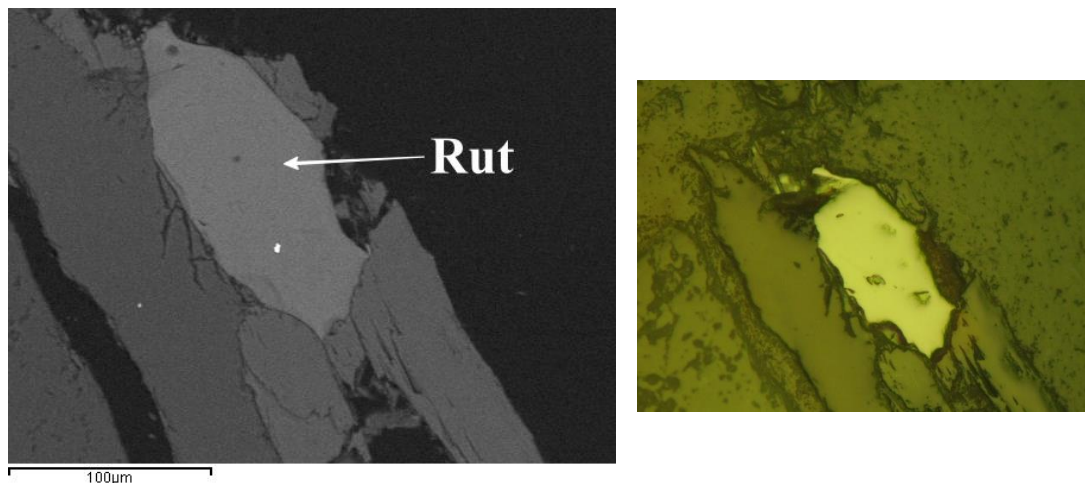




Εικόνα 7.3.8: α) Ακανόνιστος κρύσταλλος με σπασίματα, β) Ιδιόμορφος κρύσταλλος, γ) Παρουσία σχισμού στο κρύσταλλο (β)

7.3.9 Ρουτίλιο

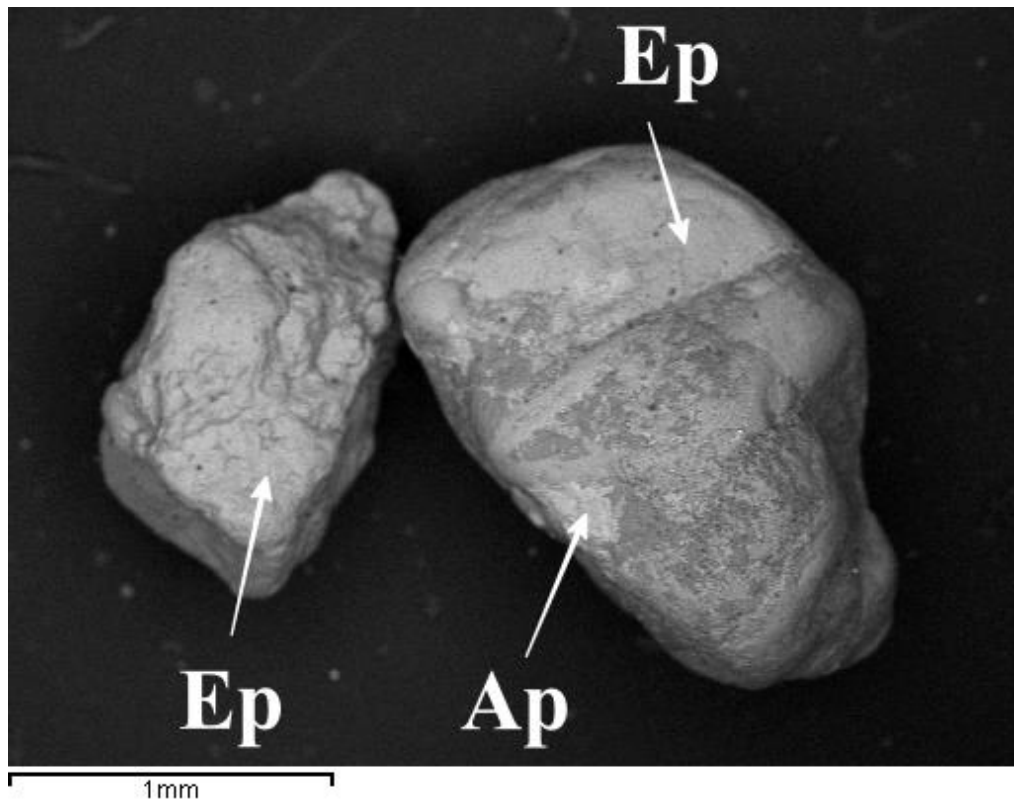
Το ρουτίλιο εντοπίστηκε μόνο σε ένα δείγμα κατά μήκους του ρέματος (MP 1.3) με ακανόνιστο σχήμα και μέγεθος περίπου 100μm (Εικ. 7.3.9). Σύμφωνα με την ανάλυση του SEM περιέχει TiO_2 σε ποσοστό 98,90 wt% καθώς και ελάχιστο σίδηρο με περιεκτικότητα 0,30 wt%.



Εικόνα 7.3.9: Ακανόνιστος κρύσταλλος ρουτίλιου (Rut) από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (αριστερά) και από το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο (δεξιά)

7.3.10 Απατίτης

Ο απατίτης παρατηρήθηκε μόνο στο δείγμα MP 3.1 με τη μορφή εγκλείσματος μέσα σε επίδοτο (Εικ. 7.3.10). Με βάση τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, ο απατίτης περιέχει CaO 11,20 wt.%, P_2O_5 9,30 wt.%, ενώ το Cl wt.% δεν προσδιορίστηκε καθώς ο κρύσταλλος είναι επικαλυμμένος με αλίτη στην εξωτερική του επιφάνεια.



Εικόνα 7.3.10: Έγκλεισμα απατίτη μέσα σε κρύσταλλο επιδότου

- Τα διαφανή/σύνδρομα ορυκτά που παρατηρήθηκαν στα δείγματα των ιζημάτων είναι χαλαζίας, άστριοι και πιο συγκεκριμένα καλιούχοι άστριοι (ορθόκλαστο) και πλαγιόκλαστο, αμφίβολοι (σιδηροκεροσίλβη), μαρμαρυγίες, κατά βάση βιοτίτη και περιορισμένο μοσχοβίτη, ασβεστίτη, πυρόξενους (υπερσθενή και διοψίδιο), επίδοτο, γύψος, ρουτίλιο και απατίτης.
- Τα μεταλλικά ορυκτά που εντοπίστηκαν στα δείγματα ιζημάτων από το ρέμα είναι σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, σφαλερίτης, μαγνητίτης, οξειδία-υδροξείδια Fe-Mn, ιλμενίτης, λιθάργυρος και σκωρίες
- Τα μεταλλικά ορυκτά που εντοπίστηκαν στα δείγματα ιζημάτων από τη παραλία είναι οξειδία-υδροξείδια Fe-Mn και σκωρίες
- Οι κόκκοι των ορυκτών είναι κατά βάση ακανόνιστου σχήματος, ωστόσο μερικά ορυκτά, όπως ο χαλαζίας, ο σιδηροπυρίτης, οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι και οι άστριοι εμφανίζουν και ιδιόμορφο σχήμα. Στα ιζήματα από το ρέμα τα ορυκτά παρουσιάζουν πιο γωνιώδεις απολήξεις οι οποίες γίνονται πιο αποστρογγυλεμένες στα ιζήματα της παραλίας λόγω της συνεχούς δράσης των κυμάτων.
- Χαρακτηριστική είναι η επικάλυψη από αλίτη των ορυκτών από τα δείγματα της παραλίας
- Ιδιαίτερη είναι η παρουσία των σκωριών στα παραλιακά ιζήματα, γεγονός που υποδεικνύει τη μεταφορά τους από το ρέμα και την εναπόθεσή τους στις εκβολές του και κατ' επέκταση στα ιζήματα της παραλίας
- Τα οξειδία-υδροξείδια Fe-Mn περιέχουν συχνά περιεκτικότητες σε Pb, Zn, As και Ba, οι οποίες ανέρχονται σε 0,90 ως 25 wt% για το Pb, 1,60 ως 33,40 wt% για το Zn, 0,80 ως 5,60 wt% για το As και ως 3,20 wt% για το Ba
- Οι σκωρίες έχουν περιεκτικότητες σε Fe 7,90 wt% ως 41,10 wt%, Mn 0,40 wt% ως 28,50 wt%, Pb 4,20 wt% ως 72,10 wt%, Zn 3 wt% ως 31,80 wt%, As 3,50 wt% ως 41,10 wt%, Ba 2,10 wt% ως 21,20 wt%, Cu ως 3,20 wt%, Co ως 0,70 wt% και Ni ως 0,50 wt%
- Σύμφωνα με το ποσοτικό προσδιορισμό ο χαλαζίας εμφανίζεται στα δείγματα με περιεκτικότητα 33-72 wt%, το πλαγιόκλαστο 9-22 wt%, οι καλιούχοι άστριοι 7-36 wt%, οι αμφίβολοι 8-15 wt%, ο δολομίτης 1-6 wt%, ο χλωρίτης 2-8 wt% και ο αιματίτης 2-4 wt%

Περίληψη

Το ρέμα Μπασδέκη βρίσκεται στη ΒΑ Χαλκιδική, πιο συγκεκριμένα στον οικισμό της Ολυμπιάδας, τον οποίο και διασχίζει ως τις εκβολές του στην παραλία. Για την παρούσα εργασία συλλέχθηκαν 6 ολικά δείγματα ιζημάτων, εκ των οποίων τα 4 προέρχονται από θέσεις κατά μήκος του ρέματος και τα υπόλοιπα 2 από τις εκβολές του ρέματος στη θάλασσα. Τα δείγματα μετά την επεξεργασία τους μελετήθηκαν μακροσκοπικά, κάτω από το πολωτικό και το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο καθώς επίσης με τη χρήση και περιθλασιόμετρου ακτίνων X (XRD). Η μορφολογία και η ορυκτολογική σύσταση των ορυκτών προσδιορίστηκε με τη χρήση ηλεκτρονικού σαρωτικού μικροσκοπίου (SEM). Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, τα μεταλλικά ορυκτά που προσδιορίστηκαν στα δείγματα κατά μήκος του ρέματος είναι σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, σφαλερίτης, μαγνητίτης, οξείδια-υδροξείδια Fe-Mn, ιλμενίτης, λιθάργυρος και σκωρίες, ενώ στα δείγματα από τις εκβολές και τη παραλία προσδιορίστηκαν οξείδια-υδροξείδια Fe-Mn και σκωρίες. Τα οξείδια-υδροξείδια Fe-Mn περιέχουν συχνά περιεκτικότητες σε Pb, Zn, As και Ba, οι οποίες ανέρχονται σε 0,80 ως 4,80 wt% για το Pb, 1,30 ως 4,20 wt% για το Zn, 0,60 ως 4,20 wt% για το As και ως 3,20 wt% για το Ba, ενώ παρατηρείται και παρουσία αλίτη στα δείγματα από τη παραλία. Οι σκωρίες έχουν περιεκτικότητες σε Fe 7,90 wt% ως 41,10 wt%, Mn 0,40 wt% ως 28,50 wt%, Pb 4,20 wt% ως 72,10 wt%, Zn 3,00 wt% ως 31,80 wt%, As 3,50 wt% ως 41,10 wt%, Ba 2,10 wt% ως 21,20 wt%, Cu ως 3,20 wt%, Co ως 0,70 wt% και Ni ως 0,50 wt%. Τα διαφανή ορυκτά που παρατηρήθηκαν στα δείγματα είναι χαλαζίας, άστριοι (καλιούχοι άστριοι και πλαγιόκλαστα), αμφίβολοι (σιδηροκεροσίλβη), μαρμαρυγίες (βιοτίτης και μοσχοβίτης), ασβεστίτης, επίδοτο ρουτίλιο, πυρόξενοι (υπερσθενής και διοψίδιος), γύψος και απατίτης.



Abstract

The Mpasdeki stream is located in NE Chalkidiki, more specifically in the settlement of Olympiada, which it crosses and it flows out at the coast. For the present thesis, 6 total sediment samples were collected, of which 4 came from places along the stream and the remaining 2 from the estuary to the sea. After being processed, the samples were studied macroscopically, under the polarizing and metallographic microscope as well as using an X-ray diffractometer (XRD). The morphology and mineralogical composition of the minerals were determined using a scanning electron microscope (SEM). Based on the results of the present thesis, the metallic minerals that were identified in the sample along the stream are pyrite, galena, sphalerite, magnetite, mineral phases of Fe and Mn oxyhydroxides, ilmenite, litharge and slags, while in the samples from the estuary the metallic minerals that were identified are mineral phases of Fe and Mn oxyhydroxides and slags. The mineral phases of Fe and Mn oxyhydroxides show Pb, Zn, As and Ba contents, more specifically 0.80 to 4.80 wt% Pb, 1.30 to 4.20 wt% Zn, 0.60 up to 4.20 wt% As and up to 3.20 wt% Ba, while the presence of halite is observed in the samples from the beach. The slags have Fe contents of 7.90 wt% to 41.10 wt%, Mn 0.40 wt% to 28.50 wt%, Pb 4.20 wt% to 72.10 wt%, Zn 3.00 wt% to 31.80 wt%, As 3.50 wt% to 41.10 wt%, Ba 2.10 wt% to 21.20 wt%, Cu up to 3.20 wt%, Co up to 0.70 wt% and Ni up to 0.50 wt%. The non-metallic minerals that are observed in all the samples are quartz, feldspars (alkali feldspars and plagioclase), amphibole (hornblende), mica (biotite and muscovite), calcite, epidote. Pyroxene (hypersthene and diopside), gypsum and apatite.

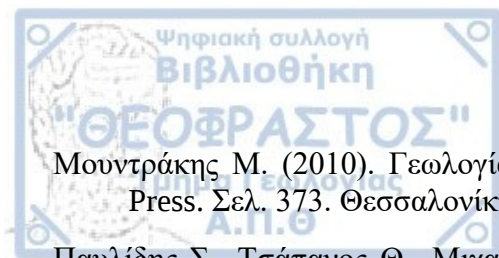
Βιβλιογραφία

- Davies O. (1935). Roman mines in Europe. Oxford, Clarendon Press.
- Dixon J. E. & Dimitriadis S. (1985). Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbo- Macedonian Massif, near Lake Volvi, north-east Greece. Geol. Soc. London, Spec. Pub., 17,349-359.
- Echtler H., Matte P., & Maluski H. (1987). Large southwestward ductile thrusting in the alpine Serbo-Macedonian belt. Terra Cognita, 7, p. 106.
- Frei R. (1992). Isotope (Pb-Rb-Sr-S-O-C-U-Pb) geochemical investigations of Tertiary intrusions and related mineralizations in the Serbo-Macedonian (Pb-Zn, Sb + Cu-Mo metallogenetic) province in northern Greece. Unpublished Ph.D. thesis, ETH Zürich, 231 p.
- Frei R. (1995). Evolution of mineralizing fluid in the porphyry copper system of the Skouries deposit, northeast Chalkidiki (Greece): Evidence from combined Pb-Sr and stable isotope data. Economic Geology 90, 746–762.
- Frei R. (1996). The extent of inner mineral isotope equilibrium: A systematic bulk U-Pb and Pb step leaching (PbSL) isotope study of individual minerals from the Tertiary granite of Jerissos (northern Greece): European Journal of Mineralogy, v. 8, p. 1175–1189.
- Gilg H.A. (1993) Geochronology (K-Ar), fluid inclusion, and stable isotope (C, H, O) studies of skarn, porphyry copper, and carbonate-hosted Pb-Zn (Ag, Au) replacement deposits in the Kassandra mining district (eastern Chalkidiki, Greece). Unpublished Ph.D. thesis, ETH Zürich, 153.
- Gilg H.A. & Frei R. (1994). Chronology of magmatism and mineralization in the Kassandra mining area, Greece: The potentials and limitations of dating hydrothermal illites. Geochimica et Cosmochimica Acta 58, 2107–2122.
- Hahn A., Naden J., Treloar P.J., Kiliass S.P., Rankin A.H. & Forward P. (2012). A new time frame for the mineralization in the Kassandra mine district, N Greece: Deposit formation during metamorphic core complex exhumation. European Mineralogical Conference, v. 1, 1EMC2012-742.
- Haines H.S. (1998). A structural synthesis for sector Vb of the Madem Lakkos polymetallic sulfide deposit—northeast Greece. Unpublished M.Sc. thesis, University of London, 81.
- Harre W., Kockel F., Kreuzer H., Lenz H., Muller P. & H.W., W. (1968). Über Rejuvenation im Serbo-Mazedonischen Massiv (Deutung radiometrischen Altersbestimmungen). 23 *Int Geol Congr*, (pp. 223-236). Praga
- Himmerkus F., Reischmann T. & Kostopoulos D.K. (2006). Late Proterozoic and Silurian basement units within the Serbo-Macedonian massif, northern Greece: The significance of terrane accretion in the Hellenides. Geological Society of London Special Publication 260, 35–50.
- Himmerkus F., Anders B., Reischman, T. & Kostopoulos D. (2007). Gondwana-derived terranes in the northern Hellenides. Geological Society of America Memoir 200, 379–390.

- Kalogeropoulos S., Chorianopoulos E., Bitzios D., & Hellingwerf R. (1989a). A study of the mineralogical and geochemical changes of the Kerdilia marbles in relation to the Pb-Zn (Au,Ag) sulphide ore deposits. Unpub. report, I.G.M.E., 21.
- Kalogeropoulos S.I., Kiliass S.P., Bitzios D.C., Nicolaou M. & Both R.A. (1989b). Genesis of the Olympias carbonate-hosted Pb-Zn (Au, Ag) sulfide ore deposit, eastern Chalkidiki Peninsula, northern Greece. *Economic Geology* 84, 1210–1234.
- Kalogeropoulos S., Economou G., Gerouki F., Karamanou E., Kougoulis C., & Perlikos P. (1989c). The mineralogy and geochemistry of the Stratoní granodiorite and its metallogenetic significance. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 23(2), pp. 225-243.
- Kalogeropoulos S., Frei R., Nikolaou M., & Gerouki F. (1990). Origin and metallogenetic significance of the Tertiary Stratoní "granodiorite", Chalkidiki N. Greece: Isotopic and chemical evidence. *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXVI (23), pp. 23-38.
- Kockel F., & Walther H. (1965). Die Strimonlinie als Grenze zwischen Serbo – Mazedonischen und Rila-Rhodope Massiv in Ost-Mazedonien. *Geol. Jb.*, 83, pp. 575-602.
- 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 Serbomazedonischen massivs und seines mesozoischen Rahmes (Nord-Griechenland). *Geologisches Jahrbuch der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*, 89, 529–551.
- Kockel F., Mollat H., & Gundlach H. (1975). Hydrothermally altered and (copper) mineralized porphyritic intrusions in the Serbo-Macedonian Massif (Greece). *Mineral. deposita*, 10, pp. 195-204
- Kockel F., Mollat H. & Walther H. (1977). Erläuterungen zur geologischen karte der Chalkidiki und agrenzender Gebiete 1:100,000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 1–119.
- Kroll T., Müller D., Seifert T., Herzi P.M. & Schneider A. (2002). Petrology and geochemistry of the shoshonite-hosted Skouries porphyry Cu-Au deposit, Chalkidiki, Greece. *Mineralium Deposita* 37, 137–144.
- Melfos V., Voudouris P.C., 2012. Geological, Mineralogical and Geochemical Aspects for Critical and Rare Metals in Greece. *Minerals*, 2, 300-317.
- Merciel J. (1966). Etude geologique des zones internes des Hellenides en Macedoine centrale. *Ann. Geol. des Pays Hell.*, 20, pp. 1-793.
- 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. (1960). L' intrusion granitique dans la region de Stratoní-Olympiade et sa relation avec la metallogenese. *Annal. Geol. des Pays Helleniques*, 11, pp. 214-265.

- Nebel M.L. (1989). Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakkos polymetallic sulfide deposit, Chalkidiki, Greece. Unpublished Ph.D. thesis, Golden, Colorado, Colorado School of Mines, 215.
- Nebel M.L., Hutchinson R.W. & Zartman, R.E. (1991). Metamorphism and polygenesis of the Madem Lakkos polymetallic sulfide deposit, Chalkidiki, Greece. *Economic Geology* 86, 81–105.
- Neubauer W. (1957). Geologie der blei-zinkreichen Kieslagerstätten von Kassandra (Chalkidike, Griechenland). *Berg und Huttenmannische Mh.*, 102, pp. 1-16.
- Papadakis A. & Michailidis K. (1976). Hydrothermal alteration and porphyry copper type mineralization in the subvolcanic rocks of eastern Chalkidiki (Greece). *Sci. Annals, Fac. Phys. and Mathem., Univ. Thessaloniki*, 16, pp. 451-473.
- Papanikolaou D. (2013). Tectonostratigraphic models of the Alpine terranes and subduction history of the Hellenides. *Tectonophysics* 595–596, 1–24.
- Pavlidis S. & Kiliadis A. (1987). Neotectonic and active faults along the Serbomacedonian zone (Chalkidiki, N. Greece). *Annales Tectonicae*, 1, pp. 97- 104.
- Sakellariou D. (1989). Geologie des Serbomazedonischen Massivs in der nordöstlichen Chalkidiki, N.-Griechenland-Deformation und Metamorphose. *Geological Monographs. National and Kapodistrian University of Athens, Dept. of Geology, Dynamic, Tectonic, Applied Geology*, 2, pp. 1-177.
- Siron C.R., Thompson J.F.H., Baker T., Friedman R., Tsitsanis P., Russell S., Randall S. & Mortensen J. (2016). Magmatic and metallogenic framework of Au-Cu porphyry and polymetallic carbonate-hosted replacement deposits of the Kassandra Mining District, Northern Greece. *Society of Economic Geologists Special Publication* 19, 29–55.
- Siron C.R., Rhys D., Thompson J.F.H., Baker T., Veligrakis T., Camacho A. & Dalampiras L. (2018). Structural Controls on Porphyry Au-Cu and Au-Rich Polymetallic Carbonate-Hosted Replacement Deposits of the Kassandra Mining District, Northern Greece. *Economic Geology* 113, 309-345.
- Spiering E., Pevida L., Maldonado C., Gonzalez S., Garcia J., Varela A., Martin-Izard A. (2000). The gold belts of western Asturias and Galicia (NW Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 71(2), pp. 89-101.
- Tobey E., Schneider A., Algeria A., Olcay L., Perantonis G., & Quiroga J. (1998). Skouries porphyry copper-gold deposit, Chalkidiki, Greece: Setting, mineralization, and resources. *Porphyry and hydrothermal copper and gold deposits: A global perspective: Adelaide, PGC Publishing*, 175–184.
- Tompouloglou C. (1981). Les mineralisations tertiaires, type cuivre porphyrique, du massif Serbo-Macedonien (Macedoine Grece) dans leur contexte magmatique (avec un traitement geostatistique pour les donnees du prospect d' Alexia). Ph.D. Thesis, Ecole National Supérieure des Mines de Paris.

- Tompoulouglou C., Campiglio C. & Bellon H. (1986). Les manifestation magmatiques dans le Massif Serbo-Macedonien (Greece) a l' Oligo-Miocene; Precisions apportees par l' analyse radiometrique 40K-40Ar. Comp. Rend. Acad. Sci., 302, pp. 431-436.
- 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.
- Vavelidis M. (1989). Das Au-Ag Vorkommen von Metagitsi. Chalkidiki (Nordgriechenland). Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft. Beih. z. Eur. J. Mineral. Vol.1.
- Veligrakis T. & Dalampiras L. (2016). 3-D modeling contribution for producing near mine exploration targets at Olympias gold-rich polymetallic carbonate replacement deposit, Halkidiki, N. Greece. SEG 2016 Conference: Tethyan Tectonics and Metallogeny, Çes, me, Turkey, September 25–28, 2016, Extended Abstracts.
- Wagner G., Pernicka E., Vavelidis M., Baranyi I., & Bassiakos I. (1986). Archaeometallurgische Untersuchungen auf Chalkidiki. Anschnitt, 38(5-6), pp. 166-186.
- Βαβελίδης Μ. (1993). Πρόδρομη μελέτη των αρχαίων μεταλλευτικών και μεταλλουργικών εργασιών στην Κηπουρίστρα Ολυμπιάδας Χαλκιδικής. TVX-ΕΛΛΑΣ.
- 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 (17-86). Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ.
- Δημητριάδης, Σ. (1974). Πετρολογική μελέτη των μιγματιτικών γενεσίων και αμφιβολιτών των περιοχών Ρεντίνας - Ασπροβάλτας, Σταυρού - Ολυμπιάδος. Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ζαΐμης Ζ. (2013). Ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα σε θέσεις αποκατάστασης του παλαιού τέλματος στη μεταλλευτική περιοχή Ολυμπιάδος, ΒΑ Χαλκιδική. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- Καρέτου Α. (2018). Ορυκτολογική και γεωχημική έρευνα στην περιοχή του ρέματος Καρβουνόσκαλλα, Στρατώνι, ΒΑ Χαλκιδική. Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- Κασώλη-Φουρναράκη Α. (1981). Συμβολή στην ορυκτολογική κι πετρολογική μελέτη αμφιβολιτικών πετρωμάτων της Σερβομακεδονικής Μάζας. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- Κονοφάγος Κ. (1980). Το αρχαίο Λαύριο και η Ελληνική τεχνική παραγωγής του αργύρου. Αθήνα: Εκδοτική Ελλάδος Α.Ε.
- Μιχαηλίδου Α. (2005). Μορφοτεκτονική ανάλυση με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), και μικροτεκτονική των ρηγμάτων Στρατωνίου-Βαρβάρας και Γοματίου (Ανατολική Χαλκιδική). Διατριβή Ειδίκευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.



Μουντράκης Μ. (2010). Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press. Σελ. 373. Θεσσαλονίκη.

Παυλίδης Σ., Τσάπανος Θ., Μιχαηλίδου Α., Χατζηπέτρος Α. (2010). Ειδική σεισμοτεκτονική μελέτη των ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας. ENVECO A.E., Θεσσαλονίκη.

Περαντώνης Γ. (1982). Γένεση των πορφυριτικών κοιτασμάτων Χαλκιδικής και Δυτικής Θράκης. Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Φαλαλάκης Γ. (2004). Κινηματική ανάλυση και παραμόρφωση στο όριο των κρυσταλλοσχιτών μαζών της Σερβομακεδονικής και της Ροδόπης (όρη Κερκίνης, Βροντούς-Μακεδονία) Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.

Χατζηπέτρος Α., Μιχαηλίδου Α., Τσάπανος Θ., Παυλίδης Σ. (2005). Μορφοτεκτονική-Σεισμοτεκτονική μελέτη του ρήγματος Στρατωνίου και Γοματίου (Αν. Χαλκιδική). Επιστημονική Συνεδρία της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας: Γεωλογία της Θράκης – Σεισμοτεκτονική του ΒΑ Αιγαίου.

Χιονίδης Γ. (1977). Οι Μακεδόνες πρόσφυγες της Σκοπέλου. Μακεδονικά, 17, σσ. 135-136.

Διαδικτυακές Πηγές

https://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

<https://environmental.hellas-gold.com/>