



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

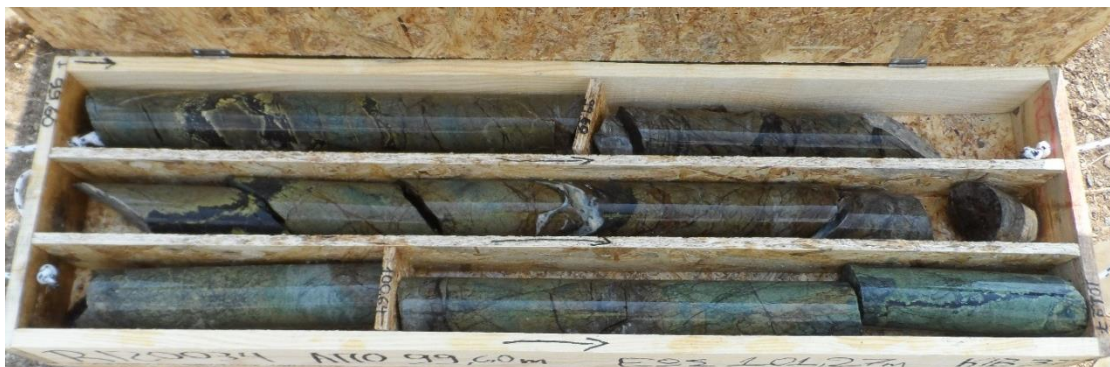


ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ- ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΛΕΝΗ Κ. ΚΟΝΤΑΝΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ
ΣΥΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΧΡΩΜΙΤΗ ΣΤΟ
ΡΙΖΟ ΓΡΕΒΕΝΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019





ΕΛΕΝΗ Κ. ΚΟΝΤΑΝΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ
ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΧΡΩΜΙΤΗ ΣΤΟ ΡΙΖΟ ΓΡΕΒΕΝΩΝ

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Υπεύθυνοι καθηγητές :

Μέλφος Βασίλειος

Καντηράνης Νικόλαος

© Κοντάνη Κ. Ελένη, 2019

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ
ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΧΡΩΜΙΤΗ ΣΤΟ ΡΙΖΟ ΓΡΕΒΕΝΩΝ



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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ

Περίληψη	6
Abstract.....	7
Πρόλογος.....	8
1.Εισαγωγή	10
2.Οφιόλιθοι	12
2.1 Οι οφιόλιθοι στην Ελλάδα.....	13
3. Γεωλογία της περιοχής Βούρινου	16
4. Τα κοιτάσματα χρωμίτη στο Βούρινο	20
4.1 Κοίτασμα Βοϊδόλακκα.....	22
4.2 Κοίτασμα Κουρσουμίων (Β. Βούρινος).....	24
4.3 Κοίτασμα στη θέση Ριζό (Β. Βούρινος).....	25
4.4 Κοίτασμα Κερασίτσας (Ν. Βούρινο).....	27
4.5 Κοίτασμα Αετοράχης (Ν. Βούρινος).....	28
4.6 Κοίτασμα Ξερολίβαδου (Ν. Βούρινος)	29
5. Ιστορική αναδρομή στην εκμετάλλευση χρωμίτη στο Βούρινο.....	30
5.1 Τεχνική εξόρυξης του χρωμίτη από το παρελθόν ως και σήμερα.....	33
6. Δειγματοληψία και μέθοδος έρευνας.....	35
6.1 Γεωτρήσεις	35
6.2 Δειγματοληψία επιφανειακών δειγμάτων.....	37
6.3 Ορυκτολογική ανάλυση.....	38
6.4 Χημικές αναλύσεις	38
6.5 Διαδικασία τιτλοδότησης	38
6.6 Διαδικασία υπολογισμού περιεκτικότητας με την μέθοδο XRF (Φασματοσκοπία με φθορισμό των ακτίνων Χ)	43
7. Αποτελέσματα	47
7.1 Περιγραφή γεωτρήσεων	47
7.2 Ορυκτολογία μεταλλεύματος	65
7.3 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων	67
8. Συζήτηση	76
9. Συμπεράσματα.....	80
10. Βιβλιογραφία	81



Περίληψη

Περιγραφή ερευνητικών γεωτρήσεων και χημική σύσταση μεταλλεύματος του κοιτάσματος χρωμίτη στο Ριζό Γρεβενών.

Ελένη Κ. Κοντάνη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται στοιχεία από την ερευνητική δραστηριότητα της εταιρείας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» που περιλαμβάνει περιγραφές κάποιων ερευνητικών γεωτρήσεων και χημικών αναλύσεων από αντιπροσωπευτικά δείγματα μεταλλοφορίας της θέσης Ριζό Γρεβενών του όρους Βούρινου. Οι χημικές αναλύσεις αφορούν αντιπροσωπευτικά δείγματα κάθε τύπου μεταλλοφορίας, όπως επίσης και των τυπικών σχηματισμών που συναντώνται στην θέση αυτή. Τα δείγματα ελήφθησαν κατά τη διάρκεια της γεωλογικής χαρτογράφησης από την Εταιρεία, σε επιλεγμένες εκλεκτικές θέσεις με βάση παλαιότερη χαρτογράφηση της περιοχής. Επιπλέον, αναλύθηκαν ακόμη δύο δείγματα των οποίων η δειγματοληψία έγινε κατά την διάρκεια της επιφανειακής εξόρυξης μεταλλεύματος στην θέση αυτή. Οι αναλύσεις των πρώτων δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν σε εξωτερικό πιστοποιημένο εργαστήριο, και περιλαμβάνουν μετρήσεις για όλα τα στοιχεία και ιχνοστοιχεία του μεταλλεύματος. Ενώ τα δεύτερα αναλύθηκαν στο εργαστήριο της εταιρείας και επικεντρώνονται στην μέτρηση της περιεκτικότητας σε Cr_2O_3 (%). Από την περιγραφή των γεωτρήσεων προκύπτει ότι στην περιοχή κυριαρχεί ο χαρτσβουργίτης με στρώματα δουνίτη. Μέσα στον δουνίτη φιλοξενείται η μεταλλοφορία. Κύριος τύπος μεταλλοφορίας είναι σε ταινίες (Schlieren), διάσπαρτος, μερικές φορές συμπαγής, όπως επίσης κυρίως στον κεντρικό τομέα της θέσης αυτής υπάρχουν ίχνη λεοπαρδάλεως. Με βάση τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικά υψόμετρα με το υψηλότερο να ξεκινάει στα 767 μέτρα, η μεταλλοφορία αναπτύσσεται μεταξύ των 705 με 640 μέτρων, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη δεν είναι γνωστό αν υπάρχει μεταλλοφορία λόγω έλλειψης δεδομένων. Η περιοχή διατρέχεται από ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ με αποτέλεσμα οι σχηματισμοί να είναι αρκετά τεκτονισμένοι και εξαλλοιωμένοι. Από την χημική σύσταση του μεταλλεύματος προκύπτει ότι στην περιοχή επικρατεί μεγάλο ποσοστό MgO με εύρος από 15.47 έως 47.68% όπως επίσης και SiO_2 (8.06-72.07%) ενώ η περιεκτικότητα του μεταλλεύματος σε Cr_2O_3 και Fe_2O_3 είναι κατά μέσο όρο 10% περίπου. Τέλος, μικρότερη περιεκτικότητα παρουσιάζεται στο Al_2O_3 ενώ η πυκνότητα του μεταλλεύματος κυμαίνεται σε ένα εύρος μεταξύ 3.11 και 4.24 gr/cm^3 .



Abstract

Description of the exploration drillings and the chemical composition of the Chromite deposit at Rizo Grevena, NW Greece.

ELENI K. KONTANI

This study focuses on the chromite deposit at Vourinos in Rizo of Grevena and the data obtained from the exploration drillings of the company “Hellenic Mines S.A”. The main goal was to describe the mineralization and the chemical composition of the ore at representative chromite samples. Chemical analyses were collected from the disseminated, the schlieren, the nodular and the massive chromite outcrops and from the altered and fresh dunites, hartzburgites and pyroxenites of the host rocks. Additional samples were collected during the company’s geological mapping and were analyzed at a certified lab in Finland for a large number of elements. Two more samples were collected from the surface mining site and the chemical analysis was performed at the laboratory of the company focusing only in Cr_2O_3 . The description of the drillings shows that hartzburgite is the dominant rock with layers of dunite. The chromite deposit is found in the dunite layers. The most common types of chromite are schlieren, disseminated and sometimes massive, whereas in the middle sector of the site, nodular type can be found. According to the drilling logging chromite can be found at a depth between 705 and 640 meter. However there are no data below this depth. In this area, there are many faults with a W-E direction which have affected the mineralization and the host rocks. The chemical composition of the deposit shows that the dominant components of the mineralization are the MgO which ranges between 15.47 to 47.68 wt%, and SiO_2 (8.06-72.07 wt%). The average concentration of Cr_2O_3 and Fe_2O_3 is 10 wt%. The content of Al_2O_3 is low and the density of the chromite ore ranges from 3.11 to 4.24 gr/cm^3 .

Πρόλογος

Η περιοχή του Βούρινου έχει την τύχη να φιλοξενεί το μεγαλύτερο χρωμιτικό κοιτάσμα στην Ελλάδα. Για τον λόγο αυτό, εκεί πραγματοποιήθηκε από το 1970 έως 1991 μεταλλευτική δραστηριότητα με εξόρυξη του χρωμίτη. Σήμερα η περιοχή ξαναβιώνει μεταλλευτική δραστηριότητα από την εταιρεία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» αφού τα αποθέματα που υπάρχουν στην περιοχή σύμφωνα με παλαιότερες και πρόσφατες μελέτες είναι ικανά να στηρίξουν ανάλογη και μακροβιότερη δραστηριότητα.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής μελέτης είναι η περιγραφή των ερευνητικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στο Ριζό Γρεβενών, από την εταιρία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.», και της χημικής σύστασης του μεταλλεύματος της θέσης αυτής. Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό

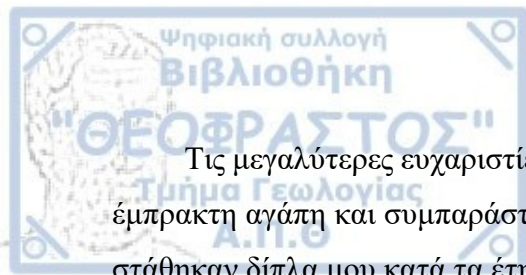
- Τον προσδιορισμό της θέσης του κοιτάσματος χρωμίτη στο Ριζό.
- Την απεικόνιση του υπεδάφους για την απόληψη του μεταλλεύματος με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, επιφανειακά ή υπόγεια.
- Την επιβεβαίωση της ύπαρξης μεταλλοφορίας στην περιοχή, σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες.
- Τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης του μεταλλεύματος στην θέση αυτή.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην περάτωση της παρούσας εργασίας, ως ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες καθηγητές του τομέα Ορυκτολογίας- Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας κ. Μέλφο Βασίλειο και κ. Καντηράνη Νικόλαο για την ανάθεση του θέματος, επίβλεψη, τις χρήσιμες συμβουλές, το ενδιαφέρον, τις υποδείξεις και σχόλια.

Ευχαριστώ θερμά την εταιρεία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» και τα στελέχη της για την άδεια μελέτης του συγκεκριμένου θέματος και παραχώρησης δεδομένων του αρχειακού της υλικού στα πλαίσια της εργασίας μου εκεί. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γάτσιο Αχιλλέα, Μεταλλειολόγο Μηχανικό, και όλους τους συνεργάτες για την βοήθεια, συνεργασία, στήριξη και αποδοχή.

Ξεχωριστά θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην επικεφαλής γεωλόγο Μπατσή Άννα για την πολύτιμη βοήθειά της, τις χρήσιμες συμβουλές και καθοδήγησή της, όχι μόνο στα πλαίσια της παρούσης εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω κατοίκους του Χρωμίου Κοζάνης για τις πληροφορίες που μου δώσανε σχετικά με την παλαιότερη μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή.



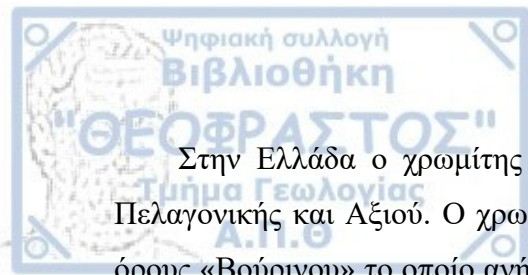
Τις μεγαλύτερες ευχαριστίες μου οφείλω στην οικογένειά μου για την πολύτιμη στήριξη, έμπρακτη αγάπη και συμπαράστασή της όλα αυτά τα χρόνια. Όπως επίσης και σε φίλους που στάθηκαν δίπλα μου κατά τα έτη αυτά.

1.Εισαγωγή

Η Ελλάδα είναι μία χώρα πλούσια σε ορυκτό πλούτο καθώς διαθέτει μεγάλη ποικιλία ορυκτών και μεταλλευμάτων με σημαντικό βιομηχανικό ενδιαφέρον. Ο ορυκτός πλούτος διαιρείται σε, βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα, στις ενεργειακές πρώτες ύλες, στα μεταλλικά ορυκτά και στις κρίσιμες πρώτες ύλες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται η προσπάθεια για περιγραφική ανάλυση του κοιτάσματος χρωμίτη στην περιοχή του Βούρινου Κοζάνης και συγκεκριμένα στην θέση «Ριζό», σύμφωνα με ερευνητικές διεργασίες οι οποίες διεξήχθησαν εκεί την περίοδο Ιουλίου-Οκτωβρίου 2018.

Ο χρωμίτης, με γενικό τύπο $(Cr,Al,Fe^{3+})_2O_3(Mg,Fe^{2+})O$, ανήκει στην ομάδα των σπινελλίων και κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα, ο ίδιος αποτελεί την μοναδική πηγή Cr αφού είναι και το βασικό συστατικό του. Το χρώμα του είναι τεφρό έως μαύρο με μεταλλική λάμψη και η γραμμή κόνεως του είναι καφέ, ενώ μπορεί να κοκκινίζει σε περίπτωση που είναι πλούσιο σε Fe, η συνήθης αναλογία Fe-Cr είναι 1:3. Ένα επιπλέον χαρακτηριστικό του χρωμίτη είναι το βάρος του, το οποίο κυμαίνεται από 4,5 έως 5,00 g/cm³, ενώ η σκληρότητα του σύμφωνα με την κλίμακα Mohs κυμαίνεται από 5,5 έως 6,00 πράγμα το οποίο σημαίνει ότι είναι ένα πολύ εύθρυπτο ορυκτό ενώ μαγνητίζεται ελαφρώς.

Ο ίδιος συναντάται σε βασικά και υπερβασικά πυριγενή πετρώματα όπως επίσης και σε μεταμορφωμένα. Τα συνοδά πετρώματα είναι ο δουνίτης, χαρτσβουργίτης, περιδοτίτης, πυροξενίτης, σερπεντινίτης και γενικά σε πετρώματα τα οποία είναι πλούσια σε μαγνήσιο (Mg). Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού του ο χρωμίτης εντοπίζεται ως ταινιωτός, διάσπαρτος με αραιούς κόκκους Cr, με την μορφή λεοπαρδάλεως όπου αποτελείται από κονδύλους Cr, και συμπαγής. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα χρωμίτη ανά τον κόσμο εντοπίζονται στην Ν. Αφρική, στην Ζιμπάμπουε, στις Η.Π.Α., στη Ρωσία, στην Αλβανία, στην Ινδία, στην Τουρκία, στην Φιλανδία και στην Ελλάδα, καθορίζοντας την παγκόσμια παραγωγή γύρω στο 90%, με την Ελλάδα να συμβάλλει σε πολύ μικρό ποσοστό. Η εμπορική χρήση του χρωμίτη εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε Cr₂O₃ και διαχωρίζεται σε μεταλλουργικό (>46% Cr₂O₃), πυρίμαχο (30-40% Cr₂O₃), χημικό (>44% Cr₂O₃) καθώς επίσης και στην άμμο χυτηρίου. Ο μεταλλουργικός χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το Fe-Ni στην παραγωγή ανοξειδωτου χάλυβα. Ο πυρίμαχος προϋποθέτει την ύπαρξη Al₂O₃ και MgO και χρησιμοποιείται στην κατασκευή πυρίμαχων υλικών. Και τέλος, ο χημικός χρησιμοποιείται στην βυρσοδεψία, την επιχρωμίωση και την παραγωγή χρωμάτων χρωμίου.



Στην Ελλάδα ο χρωμίτης εμφανίζεται στις ζώνες Ωλονού-Πίνδου, Υποπελαγονικής, Πελαγονικής και Αξιού. Ο χρωμίτης που εξετάζεται ανήκει στο οφιολιθικό σύμπλεγμα του όρους «Βούρινου» το οποίο ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και συγκεκριμένα, η θέση «Ριζό» ανήκει στο Νότιο τομέα του Βόρειου Βούρινου. Σημαντικό κοίτασμα χρωμίου υπάρχει επίσης στην περιοχή του Δομοκού ενώ εμφανίσεις στον ελλαδικό χώρο βρέθηκαν σε Εύβοια, Βέρμιο, Σουφλί, Δ. Χαλκιδική, Πίνδο, νησιά Αιγαίου, Κρήτη και Θράκη. Η μοναδική ενεργή εξορυκτική διαδικασία αυτή την στιγμή στην Ελλάδα γίνεται στο Βούρινο, στις θέσεις Αετοράχες και Ριζό από το 2018, ενώ λειτουργούν νέες εγκαταστάσεις εμπλουτισμού χρωμίτη στην θέση Βεγγίστρες στην Βάρη Γρεβενών από την εταιρεία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.».

2.Οφιόλιθοι

Ο όρος οφιόλιθος έχει ελληνική ρίζα καθώς προέρχεται από τις λέξεις «όφις» και «λίθος» λόγω της παρομοίωσής του με δέρμα φιδιού, όπως διατύπωσε πρώτος ο Brogniart (1813) για τους σερπεντινίτες. Αργότερα, κατά το 1827 ο ίδιος συμπεριέλαβε και άλλα πετρώματα όπως γάββρους, διαβάσεις και άλλα ηφαιστειακά στον όρο αυτό. Γενικά διατυπώθηκαν αρκετές απόψεις από πολλούς ερευνητές για τους οφιολίθους μέχρι να καταλήξουν σε ένα γενικά αποδεκτό συμπέρασμα. Κατά το 1886 και 1909 αναγνωρίστηκε η ύπαρξη των πετρωμάτων αυτών σε γεωλογικούς σχηματισμούς των Άλπεων και Απένινων Όρεων από τους Lotti και Suess αντίστοιχα.

Ο Steinmann (1905,1927) υποστήριξε πως στον σχηματισμό των οφιολίθων ανήκουν τρεις κατηγορίες τις οποίες ονόμασε «Τριάδα του Steinmann» και περιλαμβάνει περιδοτίτες-σερπεντινίτες, γάββρους και διαβάσεις-σπηλίτες που συνδέονται με ιζηματογένεση βαθιάς θάλασσας, όπως ραδιολαρίτες και ασβεστολίθους.

Σύμφωνα με τον Moores (1982, 2003), υπήρξαν τρεις σχολές που προσπάθησαν να ερμηνεύσουν την προέλευση των οφιολίθων, στις αρχές του 1960. Η πρώτη ήταν η Ευρωπαϊκή σχολή η οποία εκπροσωπούνταν από Γάλλους κυρίως ερευνητές που εργάστηκαν στην Μεσόγειο. Ο Juteau (2003) υποστήριξε πως η προέλευση των οφιολίθων οφείλονταν σε υποθαλάσσιες εκχύσεις βασικού μάγματος υπό μορφή θύλακα, κατά μήκος ρηγμάτων και σε πολύ μεγάλο βάθος κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η Αμερικανική σχολή στελεχώθηκε από ερευνητές οι οποίοι εκπροσωπούσαν τις ιδέες του Hess (1955). Οι ίδιοι υποστήριξαν πως δεν υπάρχει σχέση μεταξύ των περιδοτιτών και συμπλεγμάτων περιδοτιτών-γάββρων αλπικού τύπου και των ηφαιστειακών πετρωμάτων με τους περιδοτίτες-γάββρους. Η τρίτη σχολή, με σκοπό να εξηγήσει την προέλευση των οφιολίθων βασίστηκε στην θεωρία κλασματικής κρυστάλλωσης του Bowen (1927).

Από το 1960 και μετά αναπτύχθηκε ένα καινούργιο μοντέλο γέννησης των οφιολίθων το οποίο βασίστηκε στην θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών και τη θεωρία μαγματικής κρυστάλλωσης του Bowen. Έπειτα από σημαντική μελέτη αρκετά αξιόλογων ερευνητών γεωλόγων οργανώθηκε το διεθνές συνέδριο «Penrose» (Anonymous 1972) της Αμερικανικής γεωλογικής εταιρείας όπου αποφασίστηκε η γενική ερμηνεία του όρου «Οφιόλιθοι». Σύμφωνα με τα συμπεράσματα του συνεδρίου:

➤ Οι οφιόλιθοι αποτελούν ευδιάκριτες ακολουθίες βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων

➤ Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την χαρτογράφηση ο όρος «Οφιόλιθος» ως όνομα πετρώματος ή λιθολογικής ενότητας

➤ Όταν είναι πλήρως ανεπτυγμένη μία οφιολιθική ακολουθία, οι πετρογραφικοί τύποι συναντώνται με συγκεκριμένη σειρά (από τα κατώτερα προς τα ανώτερα μέλη) :

➤ Υπερβασικοί σερπεντινωμένοι τεκτονίτες οι οποίοι φιλοξενούν κυρίως λοβόμορφα χρωμιτικά σώματα τα οποία περιβάλλονται κυρίως από δουνιτικά πετρώματα.

➤ Σωρειτικά υπερβασικά πετρώματα

➤ Γαββρικά πετρώματα σωρειτικού χαρακτήρα

➤ Συστήματα βασικής σύστασης πολλών μικρογαββρικών φλεβών που διασχίζουν τους τεκτονίτες και τους σωρείτες κυρίως στα ανώτερα στρώματά τους.

➤ Ηφαιστειακές σειρές βασικής σύστασης με μαξιλαροειδείς δομές (Pillow lavas)

➤ Πελαγικές ιζηματογενείς ακολουθίες που υπέρκεινται των μαξιλαροειδών δομών

➤ Επίσης συναντώνται κερατόλιθοι, λεπτές διαστρώσεις αργιλικών σχιστών, ασβεστόλιθοι και ραδιολαρίτες.

Οι Moores et al. (1980) και Moores (1982) πρόσθεσαν στην μελέτη (1982), στην βάση της ακολουθίας και τα οφιολιθικά mélange, τα οποία είναι μίγματα μεταμορφωμένων πετρωμάτων υψηλής θερμοκρασίας και πρότειναν τον συσχετισμό κάποιων οφιολιθικών συμπλεγμάτων με ιζήματα νηριτικής φάσης εκτός των πελαγικών. Έτσι ολοκληρώθηκε η στρωματογραφική ακολουθία η οποία γίνεται αποδεκτή από αρκετές περιοχές παγκοσμίως με μόνη ένσταση την απουσία, σε κάποιες περιπτώσεις, των ανώτερων σχηματισμών η οποία οφείλεται σε πιθανή διάβρωση αυτών.

2.1 Οι οφιόλιθοι στην Ελλάδα

Οι οφιόλιθοι στην Ελλάδα αποτελούν μια συνέχεια παράλληλα επωθημένων ενοτήτων ωκεάνιου και ηπειρωτικού φλοιού με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Σχηματίζεται μία ανατολική και μία δυτική ζώνη με την κυριότερη ανάπτυξή τους στις ζώνες Υποπελαγονικής και Αξιού. Η Πελαγονική χρησιμοποιείται ως διαχωριστική ζώνη μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών Ελληνίδων οι οποίες δεν διαφέρουν μόνο γεωγραφικά αλλά παρουσιάζουν γεωλογικές, γεωχημικές και πετρολογικές διαφορές.

Στην δυτική ζώνη περιλαμβάνονται οι οφιόλιθοι της ζώνης Πίνδου η οποία εκτείνεται σε Ελλάδα, Αλβανία, Σερβία, Βοσνία και Κροατία (Robertson and Karamata 1994, Hoeck et al. 2002, Smith and Rassios 2003, Koller et al. 2006, Dilek et al. 2008).

Οι κυριότερες εμφανίσεις της δυτικής ζώνης των οφιολίθων είναι αυτές της Πίνδου.(π.χ. Caperdri et al. 1980,1981, 1982, Kostopoulos 1988, Rassios 1991, Jones and Robertson 1991, Jones et al. 1991, Saccani and Photiades 2004, Prichard et al. 2008, Κασιώτης 2008), του Βούρινου (Moore 1969a, Rassios et al. 1983a, b, Beccaluva et al. 1984, Baumgartner 1985, Κωνσταντοπούλου 1990, Konstantopoulou and Economou-Eliopoulos 1990, Rassios and Smith 2000, Κασιώτης 2008), της Όθρυος (π.χ. Smith et al. 1975, Economou and Naldrett 1984, Μιγκίρος 1990, Rassios and Konstantopoulou 1993, Djikstra et al. 2001, Barth et al. 2008, Barth and Gluhak 2009, Κουτσοβίτης 2009), και της Εύβοιας (π.χ. Simantov and Bertrand 1987, Gartzos et al. 1990, Robertson 1990, Robertson 1991, De Bono 1998, Danelian and Robertson 2001).

Μικρότερες εμφανίσεις οφιολίθων στην δυτική ζώνη εμφανίζονται στην περιοχή Κόζιακα (Ferrière 1982, Caperdi et al. 1985, Λέκκας 1988, Pomonis et al. 2002, 2004, Πομώνης 2003, Pomonis 2008), Αργολίδας (Baumgartner 1985, Hatzipanagiotou 1990, Dostal et al. 1991, Clift and Dixon 1998, Bortolotti et al. 2002, 2003), Καστοριάς (Mountrakis 1982, 1984, 1986), Βερμίου (Economou 1983, Economou et al. 1986, Saccani et al. 2008), Ανατολικής Θεσσαλίας (Migiros and Economou 1988), της Εδέσσης (Μπαντή 2002) και της Οίτης- Καλλίδρομου (Celet 1962, Wigniolle 1977a, 1977b, Mitropoulos et al. 1987, Robertson et al. 1991, Καρίπη 2004, Karipi et al. 2006, 2007).

Στην ανατολική ζώνη η οποία ονομάζεται ζώνη Βαρδάρη- Αξιού συναντώνται οφιολίθοι οι οποίοι έχουν χαρακτηριστεί ως «Οφιολίθοι της ζώνης Βαρδάρη» ή « Εσωτερικοί ελληνικοί οφιολίθοι» (Smith 1993). Στην ζώνη Αξιού περιλαμβάνονται οι περιοχές Γευγελής, Ωραιοκάστρου, Κεντρικής Χαλκιδικής, Κασσάνδρας και Σιθωνίας (haenel- Remy and Bebien 1985, 1987, Mussallam and jung 1986, Mussallam 1991, Zachariadis 2007, Saric et al. 2009).

Εκτός από την ανατολική και δυτική ζώνη υπάρχουν κι άλλες εμφανίσεις μικρότερης έκτασης οι οποίες βρίσκονται στην Μάζα της Ροδόπης,(Μαγγανάς 1988, Magganas et al. 1991, Τσικούρας 1992, Tsikouras and Hatzipanagiotou 1998, Magganas 2002), κατά μήκος της Σερβομακεδονικής ζώνης, (Dixon and Dimitriadis 1984) καθώς επίσης και σε διάφορα νησιά του Κεντρικού και Νοτίου Αιγαίου (Hatzipanagiotou 1988, Βακόνδιος 1997, Migiros et al. 2000, Koepke et al. 2002, Koglin et al. 2009, Κοκκαλιάρη 2015).

Η τοποθέτηση των ελληνικών οφιολίθων έχει προσδιοριστεί κατά το Ιουρασικό-Κρητιδικό (Brunn 1956, Spray and Roddick 1980, Robertson and Dixon 1984, Smith and Spray 1984, Jones and Robertson 1991, Pe- Piper and Piper 1991, Robertson 1994, Hatzipanagiotou and Pe- Piper 1995, Robertson and Mountrakis 2006, Rassios and Dilek 2009, Papanikolaou 2009). Γενικά η ηλικία των πετρωμάτων προσδιορίζεται μέσω της μεθόδου των

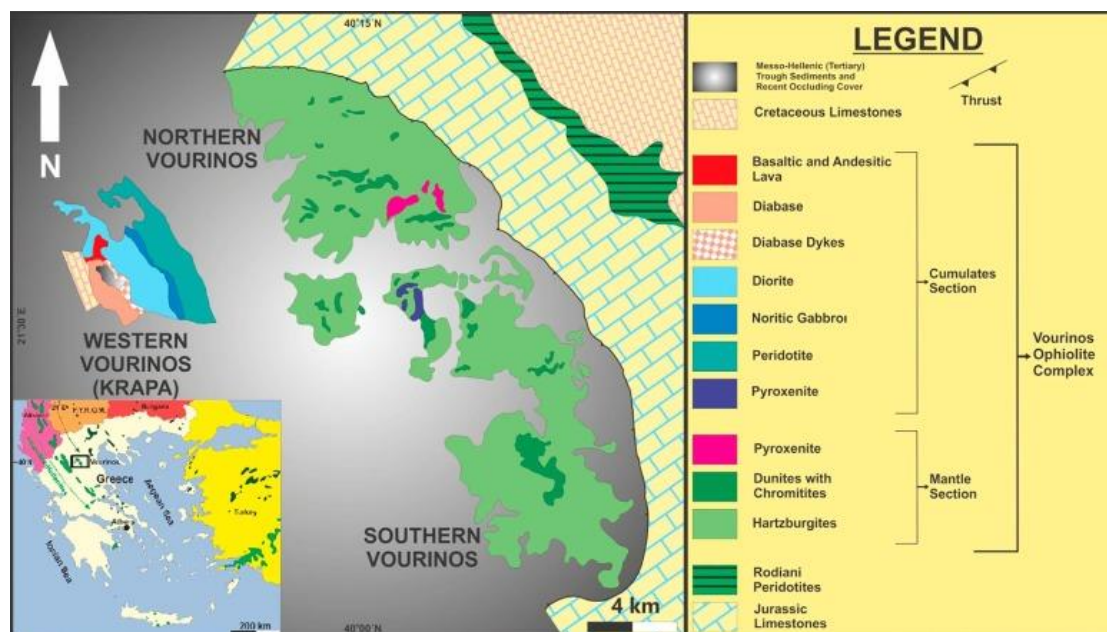


ραδιοχρονολογήσεων ή μέσω της χρήσης καθοδηγητικών απολιθωμάτων των γεωλογικών ιζηματογενών σχηματισμών, ακόμη και της αμφιβολιτικής σόλας εφόσον υπάρχουν.

Μετά από μελέτη που έγινε στην περιοχή του Βούρινου, με την μέθοδο ραδιοχρονολόγησης, χρησιμοποιώντας Pb^{206}/U^{238} σε ζirkόνια από πλαγιογρανίτες και γάββρους προέκυψε πως η ηλικία τους είναι 172,9 Ma και 168,5 Ma αντίστοιχα (Liati et al. 2004). Ενώ στην ζώνη της Πίνδου όπου εφαρμόστηκε η ίδια μέθοδος σε γάββρους προέκυψε πως χρονολογούνται στα 171 Ma (Liati et al. 2004).

3. Γεωλογία της περιοχής Βούρινου

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου βρίσκεται μεταξύ Κοζάνης και Γρεβενών ενώ εκτείνεται 250 km ΝΔ της οροσειράς Βούρινου και 30 km ΒΑ της. Διαχωρίζεται σε τρία τμήματα τα οποία είναι το Βόρειο ή κυρίως Βούρινο με ομώνυμη κορυφή τα 1866 m, το Νότιο Βούρινο ή Φλάμπουρο και ο Κίσσαβος (Σχ. 3.1).



Εικόνα 3.1: Γεωλογία Βούρινου (Grieco et al. 2018)

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα αποτελείται από μια πλήρη ακολουθία πετρωμάτων (Anonymou, 1972) της Μεσοζωικής Τηθύος της Ανατολικής Μεσογείου, η οποία είναι μεταμορφωμένη και τεκτονικά διαμελισμένη (Brunn 1956, Zachos 1964, Aubouin 1965, Moores 1969). Η έκταση που καταλαμβάνει είναι περίπου 450 τ. χλμ. και βρίσκεται μεταξύ της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης ενώ εντάσσεται στην δυτική οφιολιθική λωρίδα. Ο Βούρινος αποτελεί ανατολικό τμήμα ενός μεγαλύτερου Ιουρασικού οφιολιθικού σχηματισμού γνωστό και ως «Μεσοελληνικοί Οφιόλιθοι», ενώ η Πίνδος αποτελεί το δυτικό τμήμα αυτού (Rassios and Dilek 2009).

Μπορεί το οφιολιθικό σύμπλεγμα του Βούρινου να απέχει πάνω από 30 χλμ. από αυτό της Πίνδου, φαίνεται όμως να είναι τμήματα του ίδιου βασικού- υπερβασικού τεμάχους το οποίο είναι συνεχές κάτω από το ιζηματογενές κάλυμμα της Μεσοελληνικής αύλακας, (Saccani and Photiades 2004, Rassios and Moores 2006, Rassios and Dilek 2009). Τόσο στο Βούρινο όσο και στην Πίνδο υπάρχουν οφιολιθικά mélange τα οποία δείχνουν λιθολογική

ομοιότητα (Ghikas et al. 2010). Σύμφωνα με τα τεκτονικά, γεωχημικά και κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά, θεωρείται ότι οι οφιόλιθοι του Βούρινου, της Πίνδου και της Όθρυος συνδέονται γενετικά και τοποθετήθηκαν προς τα ΒΑ, κατά το Α. Ιουρασικό, από την ωκεάνια λεκάνη της Πίνδου η οποία βρισκόταν δυτικά της Πελαγονικής Ζώνης (Smith 1979, Rassios et al. 1999, Rassios and Moores 2006, Rassios and Dilek 2009).

Η λιθολογική ενότητα του Βούρινου απαρτίζεται από μανδυακά πετρώματα κυρίως (τεκτονίτες), και από μία διατηρημένη μαγματική ακολουθία η οποία κλίνει, ή έχει ανατραπεί, προς τα δυτικά με αποτέλεσμα η δομική ακολουθία να εμφανίζεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά (Moores 1969a, Jackson et al. 1975, Rassios et al 1983b, Smith 1993, Rassios and Moores 2006, Ghikas et al. 2010). Οι κυριότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή, σύμφωνα με τον Κασιώτης (2008) είναι από τους κατώτερους προς τους ανώτερους οι εξής: πελαγονικό υπόβαθρο (Ορδοβίσιο- Δεβόνιο), μάρμαρα (Τριαδικό- Ιουρασικό), οφιολιθική ακολουθία, ασβεστόλιθοι (Τιθώνιο- Βεριάσιο), ασβεστόλιθοι (Κιμμερίδιο- Άλβιο), ασβεστόλιθοι (Άλβιο- Τουρώνιο και Τουρώνιο- Σενώνιο), φλύσχης και μεταφλύσχης (Α. Μαιστρίχτιο) και τέλος μολασικοί σχηματισμοί (Μειόκαινο) της μεσοελληνικής αύλακας, χαλαροί ιζηματογενείς Πλειο- Τεταρτογενείς σχηματισμοί

➤ **Πελαγονικό υπόβαθρο (Ορδοβίσιο- Δεβόνιο)**

Περιλαμβάνει γνεύσιους και σχιστόλιθους που σχηματίστηκαν κατά την Ερκύνεια μεταμόρφωση σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής- αμφιβολιτικής φάσης (Moores 1969a).

➤ **Μάρμαρα (Τριαδικού- Ιουρασικού)**

Στους ανώτερους ορίζοντες βρίσκεται η ενότητα Αγίου Νικολάου η οποία αποτελείται από πελαγονικούς σχηματισμούς παθητικού περιθωρίου (Naylor and Harle 1976). Σε αυτή την ενότητα περιλαμβάνονται σχηματισμοί όπως άργιλοι, αργιλοσαμμίτες, τόφφοι, τουρβιδίτες, κερατόλιθοι, φυλλίτες, ολισθοστρώματα, και ραδιολαρίτες που έχουν μεταμορφωθεί κατά την πρασινοσχιστολιθική φάση.

➤ **Οφιολιθική ακολουθία**

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα είναι επωθημένο ΒΑ επάνω στα μάρμαρα και τα μετα-ιζηματογενή των προηγούμενων σχηματισμών. Η επιφάνεια επώθησης είναι εμφανής σε πολλά σημεία από το βόρειο μέχρι και το νοτιοανατολικό τμήμα του οφιολιθικού

Στα ανώτερα επίπεδα της σωρευτικής ενότητας εμφανίζονται συμπαγείς διορίτες με διεισδύσεις πλαγιογρανιτών και σμηνοειδών μπονιτικών φλεβών, διαβάσεις, δακίτες και γραφύρες (Bortolotti et al. 1969, Beccaluva et al. 1984).

Τέλος, εμφανίζονται έκχυτοι ηφαιστίτες συμπαγούς και μαξιλαροειδούς δομής (pillow lavas) και βασαλτικής- ανδεσιτικής σύστασης οι οποίοι επικαλύπτονται τοπικά ή είναι ενδιαστωμένοι με ραδιολαριτικούς κερατόλιθους και ασβεστόλιθους Κιμμερίδιας ηλικίας (Mavrides et al. 1979, Baumgartner 1985).

➤ **Ασβεστόλιθοι (Τιθώνιο- Βεριάσιο)**

Παρουσιάζουν περιορισμένη ανάπτυξη και συγκεκριμένα στην περιοχή του Λυκοπήγαδου καλύπτοντας ασύμφωνα τους οφιολιθικούς σχηματισμούς. (Brunn 1956, Pichon and Lys)

➤ **Ασβεστόλιθοι (Κιμμερίδιο- Άλβιο)**

Αποτέθηκαν με επίκλυση και εμφανίζουν υφαλογενείς φάσεις οι οποίες αποδεικνύουν περιβάλλον ηπειρωτικής κατωφέρειας πριν από την Άνω Κρητιδική επίκλυση και απόθεση της μολάσσας (Pichon and Lys 1976).

➤ **Ασβεστόλιθοι (Άλβιο- Τουρώνιο και Τουρώνιο- Σενώνιο)**

Αποτελούν μέρος της ασβεστολιθικής σειράς Λαγκαδάκκια (Άλβιο- Τουρώνιο) και Ζυγόστη (Τουρώνιο- Σενώνιο) όπου προέκυψαν από επικλυσιογενή απόθεση.

➤ **Φλύσχης και Μεταφλύσχης (Α. Μαιστρίχτιο)**

Η σειρά αυτή βρίσκεται ΒΔ της Ροδιανής και αποτελείται από οφιολιθικά κροκαλοπαγή, σερπεντινίτες, ρουδιστοφόρους ασβεστόλιθους Α. Κρητιδικού και φλύσχη (Chiari et al. 2003).

➤ **Μολασικοί σχηματισμοί (Μειόκαινο) της Μεσοελληνικής αύλακας**

Η σειρά αυτή περιλαμβάνει λιμναίες, μαργαϊκές και ψαμμιτομαργαϊκές αποθέσεις που καλύπτουν μεγάλο μέρος των οφιολιθικών εμφανίσεων (Chiari et al. 2003, Bortolotti et al. 2004, Rassios and Moores 2006).

➤ **Χαλαροί ιζηματογενείς Πλειο- Τεταρτογενείς σχηματισμοί**

Εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση κυρίως στο ανατολικό Βούρινο.

4. Τα κοιτάσματα χρωμίτη στο Βούρινο

Ο Βούρινος χαρακτηρίζεται για τα μεγαλύτερα αποθέματα σε χρωμίτη σε σχέση με τις υπόλοιπες εμφανίσεις στην Ελλάδα. Στην περιοχή έχουν εντοπιστεί περισσότερες από 700 εμφανίσεις (Ζάχος 1954, Zachos 1964, 1969, Βραχάτης και Γρίβας 1980, Κωνσταντοπούλου 1990) με ελάχιστες σχετικά με αυτές να είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμες. Σύμφωνα με παλαιότερες μελέτες που έγιναν στην περιοχή, το πλουσιότερο απόθεμα φαίνεται να είναι στο Ξερολίβαδο (Ν. Βούρινο) το οποίο διαθέτει 4 εκατομμύρια τόνους κοιτάσματος χρωμίτη (Σταμούλης 1990) σύμφωνα με παλαιότερες έρευνες.

Εκτός από το Ξερολίβαδο εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα χρωμίτη στην περιοχή είναι:

- Στο **Βόρειο Βούρινο** στις περιοχές:

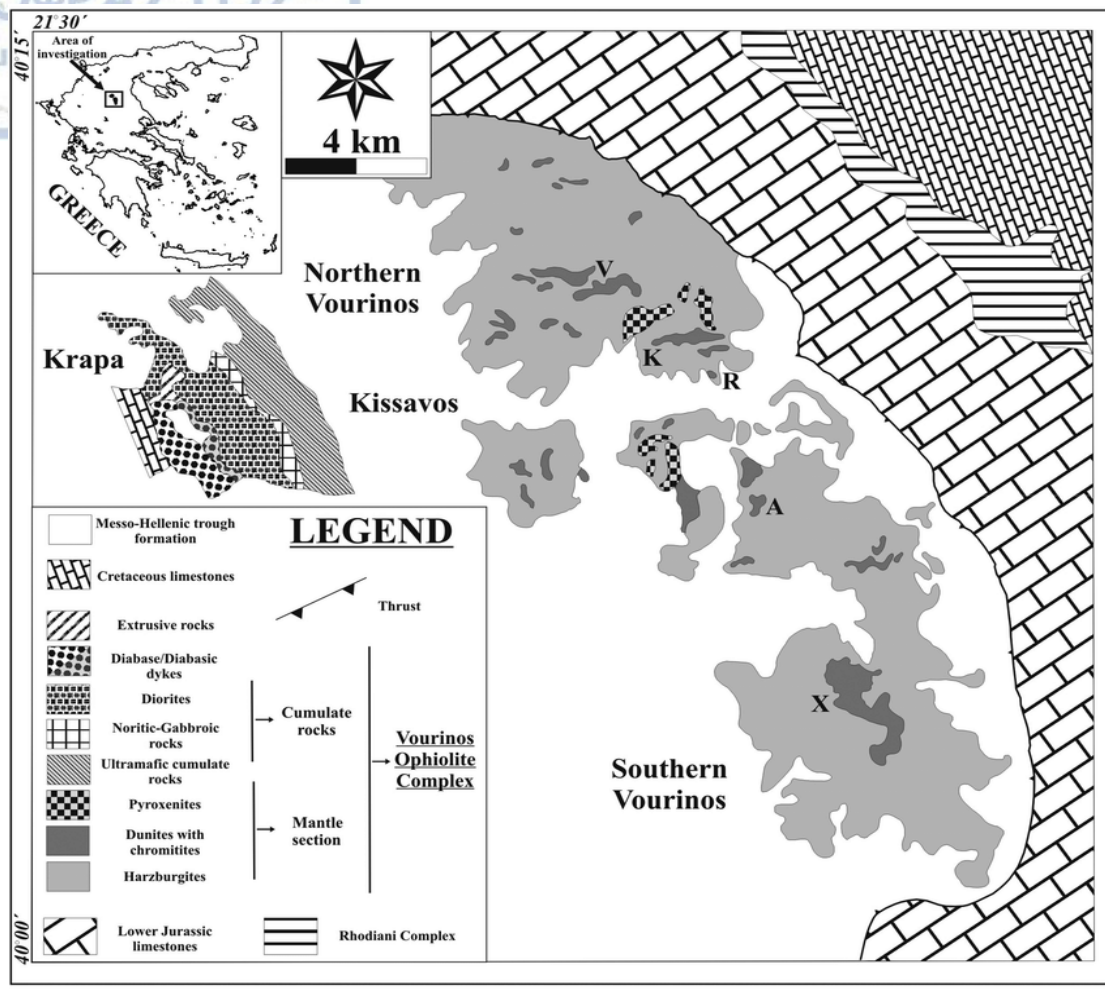
Ριζό, το οποίο αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, Κουρσούμια, Κερασίτσα, Βοϊδόλακκας, Αγά Κουρή, Πεύκα και Άγιος Κωνσταντίνος

- Στο **Νότιο Βούρινο** στις περιοχές:

Μουτσάρα, Σκούμτσα, Κονιβός, Αετοράχες, Κοκκινόδρομος, Ντουμαράχη και Αγριάτσες.

- Στον **Κίσσαβο**
- Στη **Ροδιανή**
- Και στην μαγματική σειρά στις περιοχές **Τσούκα** και **Ταξιάρχη**.

Παρακάτω περιγράφονται κάποιες από τις πιο σημαντικές εμφανίσεις χρωμίτη. (Σχ. 4.1)



Εικόνα 4.1: Γεωλογικός χάρτης Βούρινου που απεικονίζει τις θέσεις της μεταλλοφορίας (V:Βοϊδόλλακας, K:Κορσούμια, R:Ριζό, A: Αετοράχες και X:Ξερολίβαδο) (Καψιώτης 2013)

4.1 Κοίτασμα Βοϊδόλακκα

Στον Βοϊδόλακκα βρίσκεται το δεύτερο μεγαλύτερο σε έκταση κοίτασμα του Βούρινου μετά το Ξερολίβαδο το οποίο έχει έκταση περίπου ενός χιλιομέτρου (1 km). Ο κύριος τύπος του κοιτάσματος είναι συμπαγής και εντοπίζεται μέσα σε δουνίτη. Ο χρωμίτης σχηματίζει αρκετά μεγάλους κρυστάλλους σχηματίζοντας πυκνά συσσωματώματα με ελάχιστη συμμετοχή του ολιβίνη. Εκτός από συμπαγής τύπος μεταλλοφορίας εμφανίζεται και τύπος λεοπαρδάλεως όπου οι κόνδυλοι φαίνεται να είναι παραμορφωμένοι με επιμήκυνση προς συγκεκριμένη διεύθυνση. Λόγω της παραμόρφωσης αυτής, από σφαιροειδή συσσωματώματα μετατρέπονται σε ελλειψοειδή με μέγιστη διάμετρο έως και 1,5 cm και με πολύ μικρή απόσταση μεταξύ τους δίνοντας την εντύπωση συμπαγούς δομής. Τέτοιες αλλαγές παρατηρούνται κοντά σε διατμητικές ζώνες. Η πιο συνηθισμένη ιστολογική διαδοχή στην θέση «Βοϊδόλακκας» είναι αρχικά ο διάσπαρτος τύπος χρωμίτη ο οποίος μεταβαίνει σε τύπο λεοπαρδάλεως, σχηματίζει αργότερα μεγαλύτερους κονδύλους και καταλήγει στον συμπαγή τύπο χρωμίτη όπου εμφανίζεται πιο συχνά στην περιοχή (ΙΓΜΕ, 1992).

Η επαφές χρωμίτη και δουνίτη ποικίλουν από απότομες σε μεταβατικές επιφάνειες οι οποίες διαχωρίζουν το κοίτασμα από τον δουνίτη. Ο σχηματισμός της επαφής εξαρτάται από τον τύπο ανάπτυξης του, δηλαδή αν αναπτύσσεται υπό μορφή θυλάκων ή με μορφή κοίτης. Στην πρώτη περίπτωση δημιουργούνται μεταβατικές επαφές ενώ στην δεύτερη απότομες. (Ριγόπουλος, 2009).

Ο δουνίτης που συναντάται στην περιοχή παρουσιάζει δύο μορφές, τον λεπτοκρυσταλλικό ο οποίος αναπτύσσεται στην περιοχή της φακοειδούς ανάπτυξης χρωμίτη ενώ ο αδροκρυσταλλικός περιβάλλει την περιοχή αυτή. Γενικά στον Βοϊδόλακκα υπάρχουν αυτές οι κατηγορίες, λεπτοκρυσταλλικού και αδροκρυσταλλικού, όμως υπερέχει ο λεπτοκρυσταλλικός.

Στο ανατολικό τμήμα του Βοϊδόλακκα εμφανίζεται σερπεντινωμένος δουνίτης ο οποίος έρχεται σε επαφή με τον χαρτσβουργίτη τεκτονικά. Η γενική διαδοχή στην περιοχή είναι χρωμίτης, λεπτοκρυσταλλικός δουνίτης, αδροκρυσταλλικός δουνίτης, χαρτσβουργίτης και κλινοπυροξενικός χαρτσβουργίτης, ο οποίος δεν εμφανίζεται συχνά. Επίσης στη θέση αυτή συναντώνται πυροξενικές φλέβες, μικρότερες σε αριθμό από αυτές που υπάρχουν στις γύρω θέσεις του συμπλέγματος.

Στους αδροκρυσταλλικούς δουνίτες της συγκεκριμένης θέσης όπως και αλλού, (π.χ. Ξηρολίβαδο, Ριζό, Αετοράχες) εντοπίζονται κρύσταλλοι διαμέτρου έως και 0,5cm λόγω της

ανακρυστάλλωσης του ολιβίνη που προέκυψε μέσω της πλαστικής παραμόρφωσης (Christiansen & Roberts 1986).

Οιαδροκρυσταλλικοί δουνίτες, με την χρήση του δικτύου Schmidt πρέκυψε πως η γενική διεύθυνσή τους είναι ΒΔ-ΝΑ με ΝΔ κλίση και σε μικρότερο βαθμό ΒΑ-ΝΔ με ΒΔ κλίση. Οι ορθοπυρόξενοι και οι σπινέλλιοι παρουσιάζουν φολίδωση εντός των μυλονιτικών ζωνών κυρίως όπου και ακολουθούν τον προσανατολισμό τους. Όσο απομακρύνονται από τις μυλονιτικές ζώνες δεν ισχύει η ίδια τάση προσανατολισμού.

Παρόλο που η φολίδωση του σπινέλλιου του αδρόκοκκου δουνίτη παρουσιάζει συγκεκριμένο προσανατολισμό δεν ισχύει το ίδιο και για τον σπινέλλιο στον λεπτόκοκκο δουνίτη. Εκεί, έπειτα από μελέτες που έγιναν, δεν προσδιορίστηκε κάποιος συγκεκριμένος προσανατολισμός. Η διαφορά αυτή μεταξύ αδρόκοκκου και λεπτόκοκκου δουνίτη δείχνει δύο διαφορετικές φάσεις σχηματισμού. Αντίστοιχα συμπεράσματα βγήκαν και στις περιοχές Αγά Κουρή και Δραμάλας της Πίνδου από τους Rassios & Kostopoulos (1990) και Rassios & Moores (2006) αντίστοιχα. Οι τεκτονικές επαφές μεταξύ αδρόκοκκου δουνίτη και χαρτσβουργίτη διακρίνονται από τις μυλονιτικές ζώνες.

Τα ρήγματα που υπάρχουν στην περιοχή είναι κανονικά και ανάστροφα και διακρίνονται σε δύο ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει κανονικά και ανάστροφα με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση και με κλίση άλλοτε ΒΑ και άλλοτε ΝΔ. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει κανονικά ρήγματα τα οποία είναι ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης και ΝΝΑ κλίσης. Οι διακλάσεις που σχηματίζονται στις ζώνες αυτές εξαρτώνται από την διεύθυνση ανάπτυξης των ρηγμάτων που υπάγονται στις παραπάνω ομάδες (Κωνσταντοπούλου, 1990).

4.2 Κοίτασμα Κουρσουμίων (Β. Βούρινος)

Στα Κουρσούμια το κοίτασμα συναντάται σε δουνιτικό πέτρωμα το οποίο αναπτύσσεται με διεύθυνση Δ-Α. Και οι δουνιτικοί φακοί που αναπτύσσονται στο νότιο και δυτικό τμήμα της περιοχής παρουσιάζουν ίδια ανάπτυξη. Ο χρωμίτης εντοπίζεται κυρίως στο δυτικό τμήμα και σε μικρότερο βαθμό στο νότιο τμήμα της περιοχής αυτής, ενώ τρόπος με τον οποίο αναπτύσσεται το κοίτασμα είναι με μορφή φλεβών και μικρών θυλάκων. Ο επικρατέστερος τύπος ιστού είναι κυρίως λεοπαρδάλεως ενώ απαντώνται στην περιοχή και τύποι διάσπαρτου χρωμίτη, κατά πλάκες και σπανιότερα συμπαγούς (Κωνσταντοπούλου, 1990).

Στον ιστό λεοπαρδάλεως ο χρωμίτης είναι σφαιροειδής ή ελλειψοειδής και έχει διάμετρο 1cm περίπου, ενώ από την περιφέρεια απομακρύνονται λεπτές επιμηκυσμένες ταινίες διάσπαρτου χρωμίτη οι οποίες περιστρέφονται γύρω από τους χρωμιτικούς κονδύλους. Στον κατά πλάκες τρόπο ανάπτυξης χρωμίτη εναλλάσσονται χρωμιτικές ζώνες μερικών εκατοστών με λεπτοκρυσταλλικό δουνίτη ο οποίος περιέχει αραιούς διάσπαρτους κόκκους χρωμίτη. Σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρείται μετάβαση από χρωμίτη τύπου κατά πλάκες σε τύπο λεοπαρδάλεως, όπως επίσης και από τύπο λεοπαρδάλεως σε συμπαγή τύπο χρωμίτη στο ίδιο χρωμιτικό σώμα. Η μετάβαση από τύπο λεοπαρδάλεως σε συμπαγή προέκυψε πιθανώς, από την αυξημένη συγκέντρωση και συνένωση σφαιροειδών κόκκων χρωμίτη κατά την κατακρήμνισή του από το μάγμα (Matveev & Ballhaus 2002). Ο διάσπαρτος τύπος εμφανίζεται κυρίως στο δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης και παρουσιάζει μικρά ποσοστά περιεκτικότητας.

Γενικά στην περιοχή των Κουρσουμίων επικρατούν αδροκρυσταλλικά κοιτάσματα τα οποία διαχωρίζονται από τον λεπτοκρυσταλλικό δουνίτη με απότομες μεταβάσεις. Επίσης υπάρχουν και σταδιακές μεταβάσεις από διάσπαρτο ιστό σε μορφή λεοπαρδάλεως ο οποίος μπορεί να καταλήξει και σε συμπαγή χρωμίτη. εκτός από δουνίτη υπάρχει και χαρτσβουργίτης όπως επίσης και μεγάλη εμφάνιση πυροξενίτη με ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνση. Επίσης εντοπίζεται μικρός αριθμός πυροξενικών και γαββρικών φλεβών στα πετρώματα της περιοχής. Ο χρωμίτης στρωματώνεται με δύο διαφορετικές διευθύνσεις, μία ΒΔ-ΝΑ και άλλη Δ-Α σχεδόν. Και στις δύο περιπτώσεις αναπτύσσονται αντίθετες κλίσεις λόγω της πολυπτυχωμένης περιοχής (Κωνσταντοπούλου, 1990).

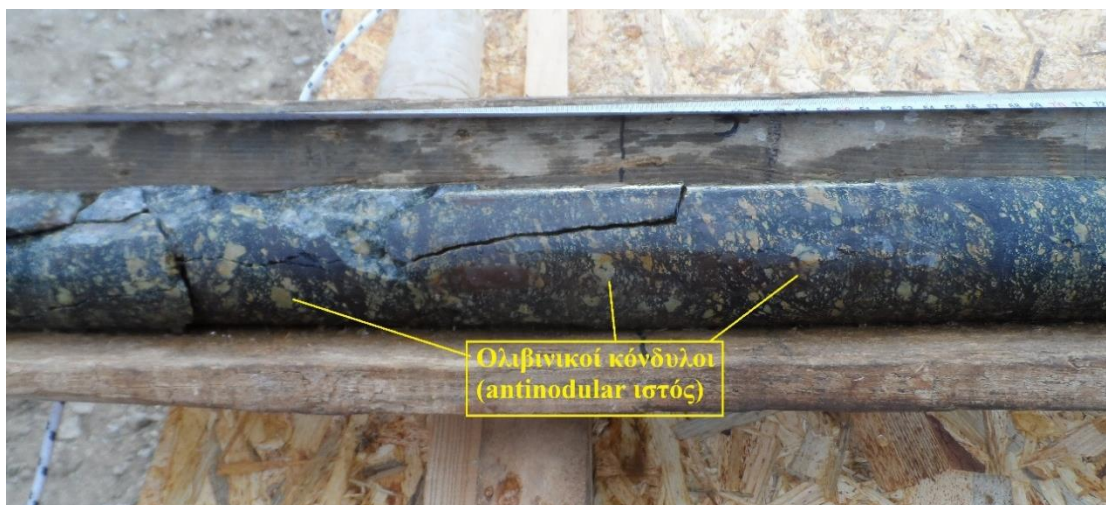
Τα περισσότερα ρήγματα στην περιοχή μετά από μελέτη των χρωμιτικών ζωνών και των πυροξενικών φλεβών έχει αποδειχτεί πως έχουν κοινή ανάπτυξη και συγκεκριμένα ΒΔ-ΝΑ με κλίση προς τα ΝΔ, ενώ είναι κανονικά.

4.3 Κοίτασμα στη θέση Ριζό (Β. Βούρινος)

Το κοίτασμα του Ριζού βρίσκεται 4 km δυτικά του χωριού Χρώμιο, το οποίο πήρε και το όνομα του από τον χρωμίτη που εντοπίστηκε στην περιοχή, και 1 km νότια των Κουρσουμίων. Τοποθετείται στο νοτιοανατολικό τμήμα του Βόρειου Βούρινου, δηλαδή στο άκρο της μεταλλοφόρου ζώνης της περιοχής. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μεταλλοφορίας εντοπίζονται στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της περιοχής. Το κοίτασμα στο Ριζό εκτείνεται παράλληλα στη βάση επώθησης του οφιολιθικού συμπλέγματος.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των υπερκείμενων στρωμάτων που καλύπτει την περιοχή είναι αλλούβια και ελλούβια ενώ κατευθυνόμενοι νότια, υπερκείμενα αποτελούν νεογενείς αποθέσεις, και συγκεκριμένα ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας. Τα πετρώματα που επικρατούν στην περιοχή είναι κυρίως δουνίτης, χαρτσβουργίτης και πυροξενίτης. Ο δουνίτης εκεί ακολουθεί την διεύθυνση Δ-Α όπως συμβαίνει και με την μεταλλοφορία (Κωνσταντοπούλου, 1990).

Το μετάλλευμα εντοπίζεται στον λεπτοκρυσταλλικό σερπεντινωμένο δουνίτη με κύριο ιστολογικό τύπο τον διάσπαρτο χρωμίτη ο οποίος μεταβαίνει σε schlieren μερικών εκατοστών και συμπαγή. Επίσης παρατηρήθηκε πως εντός των χρωμιτικών ζωνών εντοπίστηκαν δουνιτικοί κόνδυλοι οι οποίοι δίνουν την εντύπωση antinodular ιστού (Σχ. 4.3.1), δηλαδή αποτελούν την αντίθετη μορφή λεοπαρδάλεως (nodular) όπου υπάρχουν κόνδυλοι χρωμίτη μέσα στον δουνίτη. Σε μικρό βαθμό βρέθηκαν εμφανίσεις οζώδους τύπου μεταλλεύματος τα οποία αποτελούνται από σφαιροειδή συσσωματώματα χρωμίτη διαμέτρου μικρότερης των 0,5 cm.



Εικόνα 4.3.1: Κόνδυλοι ολιβίνοι μέσα σε συνεκτικά σφαιροειδή συσσωματώματα (antinodular ιστός), τμήμα από πυρήνα γεώτρησης στην θέση Ριζό.(ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)



Στην περιοχή ο χρωμίτης είναι λεπτόκκοκος και βρίσκεται κυρίως εντός λεπτοκρυσταλλικού σερπεντινωμένου δουνίτη ενώ η επαφή μεταξύ αυτού και του χρωμίτη είναι μεταβατική καθώς αυξάνεται σταδιακά το ποσοστό μεταλλοφορίας από διάσπαρτο σε πιο συμπαγή. Το μετάλλευμα είναι μεταλλουργικού τύπου με περιεκτικότητα η οποία κυμαίνεται από 6-18 % σε Cr_2O_3 ενώ τα αποθέματα του υπολογίζονται σε 625.000 MT σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες του ΙΓΜΕ.

4.4 Κοίτασμα Κερασίτσας (Ν. Βούρινο)

Το κοίτασμα της Κερασίτσας τοποθετείται 1.5 km νοτιοανατολικά του Βοϊδόλακκα. Σύμφωνα με έρευνα που έγινε στην περιοχή με υπαίθρια χαρτογράφηση και γεωτρήσεις βρέθηκαν αρκετές επιφανειακές εμφανίσεις, ενώ εντοπίστηκε και το κυρίως κοίτασμα. Βασιζόμενοι σε αυτές τις έρευνες υπολόγισαν πως τα αποθέματα σε καθαρό χρωμίτη ανέρχονται γύρω στους 500.000 τόνους. Το συγκεκριμένο κοίτασμα δεν εκμεταλλεύθηκε ως τώρα λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε χρωμίτη αλλά και λόγω της δύσκολης έως τότε απόληψής του οφειλόμενη στο μικρό μέγεθος των χρωμιτικών κόκκων (Κωνσταντοπούλου, 1990).

Χαρακτηριστικό δείγμα στην περιοχή είναι η έλλειψη μεγάλων δουνιτικών μαζών αφού δεν ξεπερνάν σε συνέχεια τα 20 μέτρα, ενώ αντίθετα υπερισχύει ο χαρτσβουργίτης και αμέσως μετά ο πυροξενίτης ο οποίος εμφανίζεται με την μορφή φλεβών αλλά και συμπαγών δομών κυρίως παράλληλα στην επαφή δουνίτη-χαρτσβουργίτη. Ο δουνίτης συναντάται σε πολύ λεπτές ζώνες από 1cm έως και 1m ενδιάμεσα του χαρτσβουργίτη ενώ η περιεκτικότητα σε χρωμίτη είναι πάρα πολύ μικρή σε αυτά τα στρώματα. Ο δουνίτης έχει υποστεί εξαλλοίωση κι έχει σερπεντινωθεί όπως επίσης παρουσιάζεται και σχιστοποιημένος.

Στην επιφάνεια ο χρωμίτης συναντάται ως λεπτόκοκκος διάσπαρτος και με αραιωμένες εμφανίσεις τύπου schlieren. Όπου παρατηρείται εμφάνιση χρωμίτη συναντώνται και φλέβες πυροξένου ως τον κύριο σχηματισμό, οι φλέβες αυτές όμως δεν κόβουν τον χρωμίτη απλά αποτίθενται παράλληλα στην στρώση. Σύμφωνα με παλαιότερη έρευνα, τα ποσοστά εύρεσης του χρωμίτη ανέρχονται στο 12% περίπου (Ριγόπουλος, 2009).

Η περιοχή είναι αρκετά τεκτονισμένη με τα κύρια ρήγματα να έχουν διεύθυνση Α-Δ η οποία είναι παράλληλη στην στρώση του δουνίτη και φύλλωση του σπινέλλιου μέσα σε αυτόν όπως επίσης και στην στρώση του χρωμίτη. Οι χρωμιτικές ζώνες βυθίζονται με ΔΒΔ διεύθυνση και 26-60° γωνία ενώ ο χρωμίτης φαίνεται πως έχει δεχτεί πλαστική παραμόρφωση καθώς παρατηρείται μερική πτύχωση και επιμήκυνση των χρωμιτικών κόκκων.

4.5 Κοίτασμα Αετοράχης (Ν. Βούρινος)

Ο δουνίτης των Αετοραχών εκτείνεται κατά διεύθυνση Β-Ν ενώ η χρωμιτική μεταλλοφορία την οποία περικλείει φαίνεται πως κατευθύνεται από το νότιο προς το κεντρικό τμήμα του. Ο δουνίτης της περιοχής είναι αρκετά αποσαθρωμένος επιφανειακά, παρουσιάζοντας ένα κίτρινο έως κόκκινο χρώμα ενώ είναι και αρκετά σερπεντινωμένος. Επίσης εντοπίζονται πολύ μεγάλοι κρύσταλλοι ολιβίνη σαν σφήνα μέσα στο μετάλλευμα, πράγμα το οποίο σημαίνει πως έχει ανακρυσταλλωθεί λόγω της πλαστικής παραμόρφωσης του οφιολίθου (Christiansen and Roberts 1986). Χαρακτηριστική είναι και η διείσδυση πυροξενιτικών φλεβών οι οποίες διακόπτουν την ομαλή συνέχεια της μεταλλοφορίας προκαλώντας μικρή μετατόπιση τοπικά.

Ο τύπος χρωμίτη που επικρατεί στις ανώτερες στρωματογραφικές ζώνες είναι διάσπαρτος μέσα σε δουνιτικούς φακούς. Επίσης υπάρχουν εμφανίσεις λεοπαρδάλεως, ενώ κυριαρχεί ο τύπος schlieren με ζώνες πάχους έως και 0,5m μέσα σε σερπεντινωμένο λεπτοκρυσταλλικό δουνίτη ο οποίος περιέχει διάσπαρτο χρωμίτη. Η επαφή του μεταλλεύματος με τον δουνίτη είναι μεταβατική κυρίως και αυξάνεται η συγκέντρωση καθώς κατευθυνόμαστε από τον Νότο προς τον Βορρά όπου μπορεί να υπάρξουν θέσεις στις οποίες είναι σχεδόν συμπαγής. Στην schlieren μορφή είναι συνηθισμένη η πτύχωση με μεγαλύτερη συγκέντρωση στα ανώτερα στρώματα. Όπως και στο Ριζό έτσι και στις Αετοράχες διαπιστώθηκαν θέσεις στις οποίες μεταξύ των στρωματογενών ζωνών χρωμίτη υπάρχουν κόνδυλοι ολιβίνη αναπτύσσοντας antinodular ιστό.

Η επαφή μεταξύ χρωμίτη και λεπτοκρυσταλλικού δουνίτη είναι μεταβατική κανονική και πολύ σπάνια απότομη. Η επαφή μεταξύ δουνίτη και χαρτσβουργίτη είναι απότομη έως μεταβατική κανονική. Χαρακτηριστικό της περιοχής είναι οι πτυχωμένες ζώνες μεταλλοφορίας οι οποίες έχουν άξονα που βυθίζεται προς τα ΝΔ και μεγαλύτερη συγκέντρωση χρωμίτη στην οροφή της πτυχής. Επίσης ρήγματα ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνσης που αναπτύχθηκαν στην περιοχή φαίνεται πως μετατόπισαν το κοίτασμα κατά τόπους.

4.6 Κοίτασμα Ξερολίβαδου (Ν. Βούρινος)

Στο Ξερολίβαδο βρίσκεται το νοτιότερο τμήμα της οφιολιθικής εμφάνισης όλης της μανδυακής ενότητας και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του οφιολιθικού συμπλέγματος της οροσειράς Βούρινου, περίπου στα 3km. Θεωρείται πως διαθέτει το μεγαλύτερο κοίτασμα στην περιοχή. Στην συγκεκριμένη θέση έχει διαπιστωθεί πως έχουν δημιουργηθεί πολλαπλοί τύποι κοιτάσματος με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και ΒΔ κλίσης, σύμφωνα με μελέτες που έγιναν στην περιοχή (Apostolides et al. 1980).

Ο κυριότερος τύπος που επικρατεί είναι schlieren με το πάχος των ζωνών του να είναι πολύ μικρό και να εναλλάσσεται με στρώσεις δουνίτη ο οποίος περιέχει διάσπαρτο χρωμίτη. Στην δυτική περιοχή του Ξερολίβαδου ο τύπος της μεταλλοφορίας γίνεται πιο συμπαγής και ο δουνίτης δεν εναλλάσσεται πια τόσο αρμονικά. Οι κόκκοι του χρωμίτη ποικίλουν από πολύ λεπτοί, όταν είναι διάσπαρτος, έως πιο αδρόκοκκοι, όπου η μεταλλοφορία γίνεται πιο συμπαγής. Το κοίτασμα παρουσιάζει θερμική παραμόρφωση υψηλής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να είναι πτυχωμένο και να εμφανίζεται μεγαλύτερο πάχος χρωμίτη στις κορυφές των πτυχώσεων (Wright 1986). Μέσα στην εμφάνιση αναπτύσσονται μεγάλοι κρύσταλλοι ολιβίνη οι οποίοι πιθανώς οφείλονται στην ανακρυστάλλωσή του κατά την πλαστική παραμόρφωση του οφιολίθου. (Christiansen and Roberts 1986) Στο βορειοανατολικό τμήμα του δουνιτικού σώματος υπάρχει μικρή εμφάνιση διάσπαρτου χρωμίτη σε ικανοποιητικές συγκεντρώσεις.

Τα πετρώματα της περιοχής είναι κυρίως δουνίτης και χαρτσβουργίτης ενώ παρεμβάλλονται και κάποιες φλέβες πυροξένου. Η επαφή μεταξύ δουνίτη και χρωμίτη χαρακτηρίζεται ως μεταβατική ενώ η επαφή με τον χαρτσβουργίτη χαρακτηρίζεται ως απότομη. Μόνο οι φλέβες πυροξένου φαίνεται πως έμειναν ανεπηρέαστες από την πλαστική παραμόρφωση πράγμα το οποίο δείχνει πως διείσδυσαν αργότερα.

Στην περιοχή συναντώνται τρία κύρια ρήγματα τα οποία χωρίζουν το κοίτασμα σε τέσσερις τομείς, τον Βόρειο, Κεντρικό, Νότιο και Νοτιοδυτικό προκαλώντας άλλοτε οριζόντιες και άλλοτε κατακόρυφες μετατοπίσεις προς τα ΔΒΔ. Οι χρωμιτικές μάζες είναι σχεδόν παράλληλες μεταξύ τους με πάχος από ένα έως και πέντε μέτρα ανά τομέα ενώ η κατακόρυφη ανάπτυξή τους φτάνει τα 150 μέτρα (Apostolidis et al. 1980, Σταμούλης 1984). Η ποιότητα του υλικού ανά τομέα κυμαίνεται σύμφωνα με δεδομένα του τότε υπάρχοντος

μεταλλεύου: για τον Βόρειο τομέα στο 18%, τον Κεντρικό 18-25%, και το πλουσιότερο μέταλλευμα στον Νότιο τομέα όπου κυμαίνεται από 25-37%.

5. Ιστορική αναδρομή στην εκμετάλλευση χρωμίτη στο Βούρινο.

Ο ορεινός όγκος Βούρινος της Δυτικής Μακεδονίας στα σύνορα των Νομών Κοζάνης-Γρεβενών τυχαίνει να είναι ο πιο πλούσιος σε κοίτασμα χρωμίτης για τον ελλαδικό χώρο, ενώ αποτελεί εδώ και χρόνια την μοναδική πηγή εκμετάλλευσης και εμπλουτισμού συμπυκνώματος με σκοπό την εξαγωγή του σε άλλες χώρες. Η μεταλλευτική δραστηριότητα ξεκίνησε από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα έως και τα τέλη του 20^{ου} ενώ τελευταία απόπειρα εξόρυξης ξεκίνησε τα τελευταία χρόνια.

Σύμφωνα με αρχειακό υλικό του πολιτιστικού συλλόγου Χρωμίου και μαρτυρίες κατοίκων, προκύπτει ότι, η εκμετάλλευση ξεκίνησε επί τουρκοκρατίας με την εμφάνιση Εβραίων μεταλλοβιομηχάνων οι οποίοι εξόρυσσαν το προϊόν και το εξήγαγαν στην Γερμανία. Λόγω των περιορισμένων μέσων εκμετάλλευσης τότε η εξόρυξη βασιζόταν σε χειρωνακτική εργασία ενώ η μεταφορά γινόταν με μουλάρια μέχρι τον σιδηροδρομικό σταθμό Αμυνταίου (Εύροβιτς) απ' όπου και ξεκινούσε για την Γερμανία.

Το 1935 στην περιοχή έφτασε η εταιρεία «Παπασωτηρίου» με δυναμική εξορυκτική δραστηριότητα και εργοταξιακές εγκαταστάσεις με γραφεία στο χωριό Χρώμιο προσφέροντας ζωή αφού σύμφωνα με μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής δόθηκαν θέσεις εργασίας και αναπτύχθηκε πολιτισμός μέσα σε ένα συνηθισμένο κτηνοτροφικό χωριό.

Κατά το 1941-1944 κατέφθασαν Γερμανοί κατακτητές οι οποίοι με ληστρική εξόρυξη λεηλάτησαν τις στοές σε Βοϊδόλακκα και Μπούρινο, παραλαμβάνοντας το πιο πλούσιο υλικό το οποίο και αποθήκευαν σε ξύλινες παράγκες- αποθήκες στο χωριό προκειμένου να το στείλουν στην Γερμανία όπου χρησιμοποιούνταν από τις πολεμικές βιομηχανίες.

Το 1954-1956 στην περιοχή άρχισε την εξόρυξη η εταιρία «Μποδοσάκης». Κατασκεύασε το πρώτο εργοστάσιο-πλυντήριο για τον εμπλουτισμό του ορυκτού στην τοποθεσία «Τσιαρίδα» η οποία βρίσκεται 500 μέτρα νότια του οικισμού Χρωμίου και σήμερα ονομάζεται «πλυντήρια» (Σχ. 5.1). Την ίδια περίοδο κατασκευάστηκε ακόμη ένα παρόμοιο εργοστάσιο στην περιοχή «Σκούμτσα», 7 km νότια του οικισμού από τον επιχειρηματία «Ηλιόπουλο». Η δράση τους ήταν αρκετά οργανωμένη, αφού έγιναν οι ανάλογες γεωτρήσεις (Σχ. 5.2), υπόγειες στοές ενώ διανοίχθηκαν δρόμοι για τις μεταλλευτικές εργασίες. Στην περιοχή εκτός από τους δύο αυτούς επιχειρηματίες υπήρχαν κι άλλοι μεταλλειοκτήτες όπως ο Αποστολίδης στο Ριζό και ο Σκαλιστήρης στη Ροδιανή. Όποιος τύχαινε να περάσει από το Χρώμιο κατά το 1954 είχε

το προνόμιο του ρεύματος πράγμα το οποίο ήταν σπάνιο στην περιοχή αφού υπήρχε μόνο εκεί και στην Κοζάνη. Σύμφωνα με μαρτυρίες κατοίκων μέχρι και το 2004 στο μεταλλείο της Σκούμτσας γινόταν συντήρηση από περιορισμένο εργατικό προσωπικό.

Και πάλι, κάτοικοι λένε πως το 1966 επισκέφθηκαν το Χρώμιο Σουηδοί ερευνητές, πιθανώς γεωλόγοι, οι οποίοι ανέβαιναν με γαϊδούρια στο βουνό από όπου και παίρνανε δείγματα να μελετήσουν από τις ήδη υπάρχουσες στοές. Λόγω της δικτατορίας όμως διακόπηκε οποιαδήποτε συζήτηση για συνεργασία.

Από το 1984-1992 έγινε ευρεία μελέτη της περιοχής, για λογαριασμό του ελληνικού δημοσίου, η οποία περιλάμβανε υπαίθρια χαρτογράφηση και γεωτρήσεις από τις εταιρείες ΓΕΜΕΕ- ΕΤΒΑ (Γενική Εταιρεία Μεταλλευτικών Ερευνών και Εκμεταλλεύσεων – Ελληνική Τράπεζα Βιομηχανικής Ανάπτυξης) όπως επίσης και από τον ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών).

Παράλληλα με τις έρευνες το μεταλλείο του Βοϊδόλακκα εξορύσσει κανονικά μετάλλευμα από τις στοές του το οποίο αποτίθεται σε αποθήκες και αποστέλλεται στον Αλμυρό Βόλου όπου το 1983 ξεκίνησε η μεταλλουργική βιομηχανία Ελληνικά Σιδηροκράματα (ΕΛ.ΣΙ).

Κατά το 1990 ξεκινάει νέο εργοστάσιο εμπλουτισμού χρωμίτη στην θέση «Αγριάντζες» στα σύνορα Χρωμίου Κοζάνης και Βάρης Γρεβενών. Η επένδυση αυτή βασιζόταν αποκλειστικά στο κοίτασμα της θέσης «Ριζό» υλικό του οποίου προερχόταν από επιφανειακή αλλά και υπόγεια εκμετάλλευση μέσω της στοάς που συνέδεε τις θέσεις, «Ριζό- Κουρσούμια». Μετά από λίγους μήνες λειτουργίας έγινε αναστολή εργασιών λόγω της παγκόσμιας κρίσης στην τιμή του χρωμίτη, βάση της οποίας διακόπηκε οποιαδήποτε δραστηριότητα όσον αφορά τον τομέα αυτό στην Ελλάδα.

Βασιζόμενοι στα βέβαια αποθέματα χρωμίτη στην περιοχή, κατά το 2016 ξεκίνησαν δραστηριότητες για την επαναλειτουργία εργοστασίου εμπλουτισμού ώστε να εκμεταλλευθεί ο πλούτος της περιοχής, από την εταιρεία «Ελληνικά Μεταλλεία Α. Ε.» του μεταλλειολόγου μηχανικού κ. Κούτρα, στην θέση «Βεγγίστρες» στην Βάρη Γρεβενών. Έτσι κατά το 2018 ολοκληρώθηκε η κατασκευή του νέου εργοστασίου εμπλουτισμού χρωμίτη καθώς ξεκίνησε και η λειτουργία του κάνοντας χρήση του υλικού που προκύπτει, για την ώρα, από επιφανειακή εξόρυξη από τις θέσεις «Αετοράχες» και «Ριζό» ενώ γίνεται έρευνα και για επέκταση και σε άλλες μεταλλευτικές θέσεις όπως Κουρσούμια, Κερασίτσα, Βοϊδόλακκα, Κοκκινόδρομο και Ξερολίβαδο.



Εικόνα 5.1: Εργοστάσιο Μποδοσάκη, «Πλυντήρια» (Πολιτιστικός σύλλογος Χρωμίου).



Εικόνα 5.2: Γεωτρύπανο εποχής στην περιοχή χρωμίου εκτελεί δειγματοληψία (Πολιτιστικός σύλλογος Χρωμίου).

5.1 Τεχνική εξόρυξης του χρωμίτη από το παρελθόν ως και σήμερα

Η μέθοδος έρευνας και εξόρυξης του χρωμίτη παραμένει σχεδόν ίδια εδώ και πολλά χρόνια, ενώ το μόνο που αλλάζει είναι τα μέσα που χρησιμοποιούνται καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία. Έτσι, καθώς περνάνε τα χρόνια μειώνεται η ανάγκη σε εργατικό προσωπικό γιατί την θέση του έχουν πάρει πλέον τα σύγχρονα μηχανήματα, όπως επίσης μειώνονται και τα ατυχήματα λόγω της προσοχής που δίνεται πλέον στα μέτρα ασφαλείας.

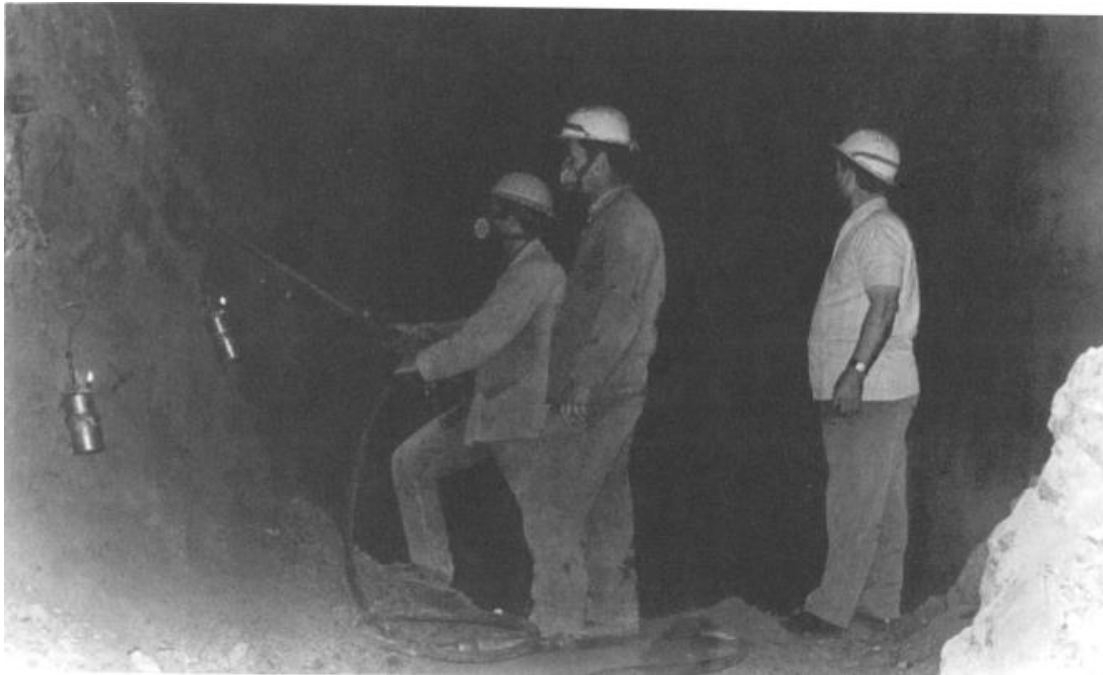
Μέχρι και το 1954 που εμφανίστηκε στην περιοχή ο «Μποδοσάκης» και ο «Ηλιόπουλος» δεν υπήρχε στην Ελλάδα εργοστάσιο επεξεργασίας και εμπλουτισμού του χρωμίτη, με αποτέλεσμα να εξορύσσεται και να εξάγεται υλικό το οποίο ήταν πλούσιο σε χρωμίτη. Μέχρι τότε όλη η εκμετάλλευση του πρωταρχικού υλικού πραγματοποιούνταν χειρωνακτικά και τοποθετούνταν σε δερμάτινα καλάθια, τα οποία ονόμαζαν «ζιμπίλια», φορτωνόταν σε μουλάρια και απομακρυνόταν από την στοά προκειμένου να φτάσει στο σιδηροδρομικό σταθμό Φλώρινας ώστε να γίνει η εξαγωγή του.

Όταν λειτούργησε το πρώτο εργοστάσιο, εξελίχθηκε και ο τρόπος εκμετάλλευσης. Κατά την εργασία αναπτύχθηκε η συνεργασία και ο συντονισμός. Πριν την διάνοιξη της στοάς ξεκινούσαν οι εργασίες για κατασκευή πηγαδιών με σκοπό την ανακύκλωση του αέρα μέσα στην στοά ώστε να μπορεί να εργάζεται το προσωπικό. Την στοά φώτιζαν λάμπες ασετυλίνης τις οποίες διέθετε ατομικά ο κάθε εργαζόμενος. Η διάνοιξη της στοάς επιτυγχάνεται με την χρήση εκρηκτικών υλών, και κυρίως δυναμίτη. Αρχικά περνούσε ο πιστολαδότης ο οποίος άνοιγε τις οπές κι έπειτα ο γεμιστής ο οποίος τις γέμιζε με δυναμίτη ώστε να γίνει η ανατίναξη (Σχ. 5.1.1), ενώ η απομάκρυνση του υλικού πραγματοποιούνταν από τους εργάτες οι οποίοι τοποθετούσαν το υλικό σε βαγονέτα που κινούνταν πάνω σε σιδηροδρομικές ράγες με σκοπό να βγουν στην επιφάνεια. Η μεταφορά από την στοά στο εργοστάσιο εμπλουτισμού, που στεγάζεται στην θέση «Αγριάντζες», γινόταν με ειδικά φορτηγά για την εποχή, ανθεκτικά στις δύσκολες συνθήκες. Ενώ εκεί εκτός γινόταν και χειροδιαλογή από γυναίκες, συνήθως τις συζύγους των μεταλλωρύχων, για τον διαχωρισμό του πιο πλούσιου μεταλλεύματος.

Το φορτηγό άδειαζε το υλικό της τροφοδοσίας σε ένα μεγάλο τσιμεντένιο σιλό από το οποίο απομακρυνόταν μέσω ταινιοδρόμου σε έναν σπαστήρα ο οποίος είχε την δυνατότητα να το σπάσει σε μέγεθος περίπου 4 εκατοστών, ενώ έπειτα από αυτή την θραύση μεταφερόταν και πάλι μέσω ταινίας σε επόμενο σπαστήρα ο οποίος είχε την δυνατότητα να το κάνει σκόνη. Έπειτα ξεκινούσε η διαδικασία έκπλυσης και εμπλουτισμού όπου γινόταν ο διαχωρισμός του καθαρού μεταλλεύματος από το στείρο το οποίο περιείχε συνοδά ορυκτά του χρωμίτη. Έτσι

μετά την συλλογή του τελικού προϊόντος γινόταν η μεταφορά στον σιδηροδρομικό σταθμό Κοζάνης όπου και αποθηκεύονταν με σκοπό να μεταφερθεί στον Αλμυρό Βόλου.

Στην ίδια λογική βασίζεται και το σημερινό εργοστάσιο εμπλουτισμού του χρωμίτη το οποίο βρίσκεται στην θέση «Βεγγίστρες» της Βάρης Γρεβενών με την χρήση πιο σύγχρονων μέσων για την παραγωγή του τελικού συμπυκνώματος το οποίο και πάλι αποθηκεύεται και διαχέεται στις μεγάλες αγορές ζήτησης, κυρίως την Κίνα.



Εικόνα 5.1.1: Διαδικασία εξόρυξης του χρωμίτη μέσα στην στοά (Πολιτιστικός σύλλογος Χρωμίου)

6. Δειγματοληψία και μέθοδος έρευνας

Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στην περιγραφή των ερευνητικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στην θέση Ριζό όπως επίσης και στην χημική σύσταση του μεταλλεύματος χρωμίτη στην περιοχή. Η λήψη των αποτελεσμάτων αυτών προήλθε από την μακροσκοπική περιγραφή των ερευνητικών γεωτρήσεων που έγιναν στην περιοχή και μέσω κάποιων χημικών αναλύσεων αντιπροσωπευτικών επιφανειακών δειγμάτων από in situ θέσεις στρατηγικά επιλεγμένες βασιζόμενες σε παλαιότερες μελέτες.

6.1 Γεωτρήσεις

Σκοπός, της έρευνας είναι ο προσδιορισμός του κοιτάσματος χρωμίτη στην θέση Ριζό για την απόληψή του με τον καλύτερο δυνατόν τρόπο, όσον αφορά την επιφανειακή ή υπόγεια εξόρυξη. Έπειτα από χαρτογράφηση της περιοχής, αναζήτηση παλαιότερων εργασιών, γεωλογικών χαρτών που αφορούν την συγκεκριμένη περιοχή, και εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων έρευνας, προσδιορίστηκαν αρκετές θέσεις πιθανών γεωτρήσεων στην περιοχή και πραγματοποιήθηκαν 11 γεωτρήσεις με μέγιστο βάθος τα 163,21 μέτρα. Η έναρξή τους πραγματοποιήθηκε μετά την διευθέτηση όλων των απαραίτητων διαδικασιών για τις αδειοδοτήσεις με σκοπό την πλήρη μεταλλειοκτησία από την εταιρία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε».

Για την πραγματοποίηση της κάθε γεώτρησης χρησιμοποιήθηκε αυτοκινούμενο δειγματολειτουργικό γεωτρύπανο (Σχ. 6.1.1), τύπου Cassagrande wagon drill, με τεχνικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται στο Σχ. 6.1.2.



Εικόνα 6.1.1: Αυτοκινούμενο δειγματοληπτικό γεωτρύπανο κατά την διάρκεια της έρευνας (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

C6-2	EU
Engine power	119 kW
Width of crawler	2250 mm
MAST	
Stroke of rotary head	4100 / 7100 mm
Extraction force	85 kN
Crowd force	85 kN
CLAMPS	
Diameters	40 ÷ 254 mm
ROTARY HEAD	
Torque	15200 Nm
Max. Drilling speed	400 rpm
WEIGHT	
Weight in working condition	15000 kg

Εικόνα 6.1.2 : Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών γεωτρύπανου Casagrande C6.

Τα πρώτα βήματα που χρειάζεται να γίνουν πριν ξεκινήσει μία γεώτρηση είναι η διαμόρφωση δρόμου και χώρου, προκειμένου να καταφέρει να περάσει και να στηθεί το γεωτρύπανο ώστε να ξεκινήσει η γεώτρηση με την προσχεδιασμένη κλίση της. Είναι απαραίτητο να έχει ισοπεδωθεί και να έχει οριζοντιωθεί το πραινές πριν την έναρξη της

γεώτρησης. Ένα επιπλέον σημαντικό χαρακτηριστικό για την διεξαγωγή μίας γεώτρησης, είναι η εξασφάλιση δικτύου νερού. Έτσι, στην συγκεκριμένη περίπτωση εγκαταστάθηκαν δύο δεξαμενές οι οποίες ήταν συνδεδεμένες με το γεωτρύπανο και τροφοδοτούνταν συνεχώς από υδροφόρο βυτίο. Η τελική διαμόρφωση που απαιτείται στον χώρο αφορά την διάνοιξη αυλακιών για την κανονική ροή των επιστρεφόμενων νερών της γεώτρησης.

Η μέθοδος διάτρησης είναι περιστροφική όπου περιστρέφεται η γεωτρητική στήλη, με χρησιμοποιούμενο κοπτικό άκρο, την αδαμαντοκορώνα λόγω των σκληρών πετρωμάτων της περιοχής. Η ανάκτηση του δείγματος είναι 1.5 μέτρο ενώ ο δειγματολήπτης είναι μονού σωλήνα. Τα διατρητικά στελέχη που χρησιμοποιούνται, έχουν μήκος 3 μέτρα με ομοιόμορφη εξωτερική διάμετρο, ενώ τοποθετούνται πάνω σε καβαλέτα κοντά στο γεωτρύπανο, όσο είναι εφικτό, για την ευκολότερη μεταφορά τους. Για την ομαλή εξέλιξη της γεώτρησης είναι απαραίτητη η συνεχής φροντίδα για επισκευή η αντικατάσταση των κοπτικών άκρων ή στελεχών από τους βοηθούς του γεωτρυπανιστή. Αναπόφευκτα είναι κάποιες φορές και τα φρακαρίσματα της διατρητικής στήλης στην περίπτωση εύρεσης κάποιου ρήγματος.

Αφού ολοκληρωθεί όλη η απαραίτητη προεργασία ξεκινάει η διάτρηση βάζοντας τα πρώτα διατρητικά στελέχη ενώ παράλληλα γίνεται δειγματοληψία ανά 1.5 μέτρο από τον δειγματολήπτη που εισέρχεται στην σωλήνωση επένδυσης με μικρότερη διάμετρο από αυτή, έως ότου φτάσει το προβλεπόμενο βάθος. Αφού βγει ο πυρήνας της γεώτρησης, καταγράφεται το μήκος του δείγματος, υπολογίζεται το ποσοστό ανάκτησης και το RQD (Rock- Quality Designation) ενώ παράλληλα γίνεται η περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που συναντάμε σε κάθε βάθος και η καταγραφή των διακλάσεων ή σπασιμάτων αντίστοιχα. Μετά την καταγραφή του δείγματος φωτογραφίζεται κατά μήκος ο πυρήνας της γεώτρησης και θαποθηκεύεται σε ξύλινα κιβώτια συνολικής χωρητικότητας 3 μέτρων. Πάνω στο κιβώτιο αναγράφεται το όνομα της γεώτρησης, το βάθος από όπου ξεκινάει και καταλήγει το περιεχόμενό του και ο αριθμός του κιβωτίου, ώστε να είναι ευκολότερη η κατάταξή τους κατά την αποθήκευση.

6.2 Δειγματοληψία επιφανειακών δειγμάτων

Παράλληλα με την χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε από την εταιρεία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» έγινε και δειγματοληψία 57 δειγμάτων, κυρίως από in situ θέσεις οι οποίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τύπων ιστολογικής ανάπτυξης του χρωμίτη όπως: διάσπαρτου, λεοπαρδάλεως και schlieren μέσα στον δουνίτη, και βασίζονται σε επιλεκτικές θέσεις από παλαιότερες χαρτογραφήσεις. Επίσης, κατά τον ίδιο τρόπο συλλέχθηκαν

αντιπροσωπευτικοί για την περιοχή σχηματισμοί όπως χαρτσβουργίτες και πυροξενίτες για την ανάλυση της περιεκτικότητάς τους.

6.3 Ορυκτολογική ανάλυση

Τα αποτελέσματα προκύπτουν από μικροσκοπική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών), για λογαριασμό της εταιρείας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.», σε λεπτές στιλπνές τομές που μελετήθηκαν σε πολωτικό μικροσκόπιο (ανακλώμενου και διερχόμενου φωτισμού) τύπου LEICA DMLP.

6.4 Χημικές αναλύσεις

Τα 57 δείγματα που συλλέχθηκαν, στάλθηκαν με ευθύνη της εταιρείας σε πιστοποιημένο εργαστήριο αναλύσεων, και συγκεκριμένα στο Eurofins Labtium Oy το οποίο βρίσκεται στη Φιλανδία, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην έρευνα. Τα αποτελέσματα προέκυψαν έπειτα από ανάλυση η οποία έγινε χρησιμοποιώντας την μέθοδο XRF (Φασματοσκοπία με φθορισμό των ακτίνων X) μετά από λειοτρίβηση των πετρωμάτων και μετατροπής συγκεκριμένης ποσότητας δείγματος σε μορφή συμπιεσμένων δισκίων (pellet pressed).

Εκτός από τα δείγματα που στάλθηκαν στη Φιλανδία, έγινε χημική ανάλυση στο εργαστήριο της εταιρείας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» σε δύο δείγματα από την θέση όπου μελετάται. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις της παραγωγής του εργοστασίου στο χημείο της εταιρείας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» είναι δυνατή μόνο η ανάλυση των δειγμάτων σε Cr_2O_3 (%). Η ανάλυση γίνεται με τη διαδικασία τιτλοδότησης η οποία απαιτεί αρκετό χρόνο, θεωρείται όμως και η πιο αξιόπιστη. Παράλληλα με την διαδικασία της τιτλοδότησης ήταν δυνατή και η λήψη αποτελεσμάτων περιεκτικότητας σε Cr_2O_3 από χειροκίνητη συσκευή XRF (Φασματοσκοπία με φθορισμό των ακτίνων X), το μοντέλο S1 TITAN and Tracer 5.1 της Bruker. Για την δημιουργία των συμπιεσμένων δισκίων (pellet press) χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο Pellet Press PP 35 της Retsch.

6.5 Διαδικασία τιτλοδότησης

Προκειμένου να διεξαχθεί η διαδικασία της τιτλοδότησης ομαλά και να θεωρηθεί αξιόπιστη η μέτρηση είναι απαραίτητη η εξασφάλιση σταθερής θερμοκρασίας στον χώρο, γύρω στους 20-21 °C. Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της ανάλυσης όπως επίσης και στην ζύγιση του δείγματος προς ανάλυση όπου εκεί προστίθενται επιπλέον

παράμετροι όπως, η μόνωση της ζυγαριάς για την απουσία πιθανών ρευμάτων λόγω αέρα όπως επίσης και δονήσεων που μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος μέτρηση.

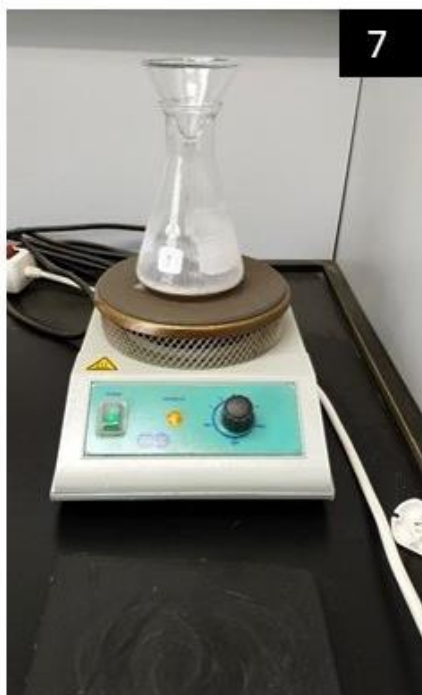
1. Αρχικά το δείγμα τοποθετείται σε σπαστήρες με σιαγόνες οι οποίοι του δίνουν το μέγεθος του 1mm. (Σχ. 6.5.1.1)
2. Αμέσως μετά γίνεται η λήψη αντιπροσωπευτικής ποσότητας με την διαδικασία του τετραμερισμού όπου πραγματοποιείται και η ταυτόχρονη ανάδευσή του. (Σχ. 6.5.1.2)
3. Έπειτα περνάμε στο βήμα της ξήρανσης κατά την οποία αποδεσμεύεται η εσωτερική υγρασία. (Σχ. 6.5.1.3)
4. Αφού κρυώσει το δείγμα μας, λαμβάνεται μερική ποσότητα από διάφορα σημεία, η οποία τοποθετείται στο «pulveriser» με σκοπό την κονιορτοποίησή του καταλήγοντας σε μορφή πούδρας με μέγεθος $<0,2\text{mm}$. (Σχ. 6.5.1.4) (Σχ. 6.5.1.5)
5. Και πάλι με την διαδικασία τετραμερισμού γίνεται η λήψη της απαραίτητης ποσότητας δείγματος προς ανάλυση. (Σχ. 6.5.1.6)
6. Στην συνέχεια ξεκινάει η διαδικασία της χημικής ανάλυσης με την μέθοδο βρασμού (Σχ. 6.5.1.7)
7. Αφού το διάλυμά περάσει από όλα τα στάδια και καταλήξει στην τελική του μορφή πραγματοποιείται η μέτρησή του με την χρήση ειδικών διαλυμάτων (Σχ. 6.5.1.8), (Σχ. 6.5.1.9), (Σχ. 6.5.1.10), (Σχ. 6.5.1.11)
8. Τέλος, με τις απαραίτητες μετατροπές καταλήγουμε στον υπολογισμό της περιεκτικότητας του δείγματος σε Cr_2O_3 (%).



Εικόνα 6.5.1.: Φωτογραφίες από την διαδικασία της τιτλοδότησης (6.5.1.1) Σπαστήρας που χρησιμοποιείται στο 1^ο βήμα, (6.5.1.2) ποσότητα δείγματος 1 mm που προέκυψε με την μέθοδο τετραμερισμού, (6.5.1.3) Ειδικός ξηραντήρας που χρησιμοποιείται στο 3^ο βήμα, (6.5.1.4) Pulveriser για το 4^ο βήμα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



Εικόνα 6.5.1.: (6.5.1.5) και (6.5.1.6) δείγμα <0.2 mm που εφαρμόζεται η μέθοδος τετραμερισμού για την λήψη του δείγματος, (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



Εικόνα 6.5.1.: (6.5.1.7) και (6.5.1.8) βήματα κατά την διαδικασία βρασμού
(ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



Εικόνα 6.5.1.: (6.5.1.9) και (6.5.1.10) βήματα κατά την διαδικασία βρασμού (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



11

Εικόνα 6.5.1.: Τελικό στάδιο μέτρησης για τον υπολογισμό περιεκτικότητας σε Cr_2O_3 . (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)

6.6 Διαδικασία υπολογισμού περιεκτικότητας με την μέθοδο XRF (Φασματοσκοπία με φθορισμό των ακτίνων X)

Όσον αφορά στη μέθοδο του χειροκίνητου XRF οι απαιτήσεις μειώνονται σχετικά με την σταθερή θερμοκρασία, διότι ο χειριστής μπορεί να το χρησιμοποιήσει και κατά την υπαίθρια εργασία όπου δεν είναι δυνατόν κάτι τέτοιο. Απαραίτητη προϋπόθεση για την χρήση του είναι, η ένδυση με τον απαραίτητο εξοπλισμό όταν χρησιμοποιείται στην ύπαιθρο με σκοπό την αποφυγή έκθεσής του από την ελάχιστη εκπεμπόμενη ακτινοβολία. Πριν την διαδικασία της μέτρησης, έγινε βαθμονόμηση της συσκευής με βάση 20 δείγματα, εκ των οποίων μερικά μετρήθηκαν από την SGS και την Eurofins Labtium Oy και τα υπόλοιπα μετρήθηκαν από το εργαστήριο του εργοστασίου και διασταυρώθηκαν με πιστοποιημένα αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι είναι απαραίτητη η τακτική ενημέρωση της συγκεκριμένης καμπύλης και αναβάθμισής της με πρόσθετα στοιχεία με σκοπό την μεγαλύτερη αξιοπιστία του οργάνου. Η εξασφάλιση σταθερής καμπύλης και γνώσης της ενημέρωσής της επιτυγχάνεται με την καθημερινή μέτρηση ενός συγκεκριμένου δείγματος.

Για την διαδικασία της μεθόδου XRF τα 5 πρώτα βήματα είναι ακριβώς ίδια με την διαδικασία της τιτλοδότησης

1. Αρχικά το δείγμα τοποθετείται σε σπαστήρες με σιαγόνες που αποδίδουν τεμάχια μεγέθους 1mm. (Σχ. 6.5.1.1)
2. Αμέσως μετά γίνεται η λήψη αντιπροσωπευτικής ποσότητας με την διαδικασία του τετραμερισμού όπου πραγματοποιείται και η ταυτόχρονη ανάδευση του δείγματος. (Σχ. 6.5.1.2)
3. Ακολουθεί η φάση της ξήρανσης στους 200° C, σε ειδικό ξηραντήρα, κατά την οποία αποδεσμεύεται η εσωτερική υγρασία. (Σχ. 6.5.1.3)
4. Αφού κρυώσει το δείγμα, λαμβάνεται μερική ποσότητα από διάφορα σημεία, η οποία τοποθετείται στο «pulveriser» με σκοπό την κονιορτοποίησή του καταλήγοντας σε μορφή πούδρας με μέγεθος <0,2mm. (Σχ. 6.5.1.4)
5. Και πάλι με την διαδικασία τετραμερισμού γίνεται η λήψη της απαραίτητης ποσότητας δείγματος προς ανάλυση. (Σχ. 6.6.1.1)
6. Έπειτα, γίνεται η ανάδυσή του με την ιδανική ποσότητα συγκολλητικής ουσίας (Σχ. 6.6.1.2)
7. Τοποθετείται στην ειδικά σχεδιασμένη πρέσα από όπου και λαμβάνεται συμπιεσμένο το δείγμα (pellet pressed), έτοιμο για ανάλυση. (Σχ. 6.6.1.3), (Σχ. 6.6.1.4)

8. Τέλος, αφού καθαριστεί η επιφάνεια του δείγματος από πιθανή παρουσία κόνεως τοποθετείται στην ειδική θέση του οργάνου με σκοπό να γίνει η μέτρηση έπειτα από 4 λεπτά (240 sec) δίνοντάς μας ως αποτέλεσμα την περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 (%). (Σχ. 6.6.1.5), (Σχ. 6.6.1.6), (Σχ. 6.6.1.7) και (Σχ. 6.6.1.8)



Εικόνα 6.6.1: Φωτογραφίες από την διαδικασία της μέτρησης με XRF από το 5^ο βήμα και μετά (6.6.1.1) Διαδικασία τετραμερισμού και λήψη απαραίτητης ποσότητας δείγματος, (6.6.1.2) προσθήκη συγκολλητικής ουσίας (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



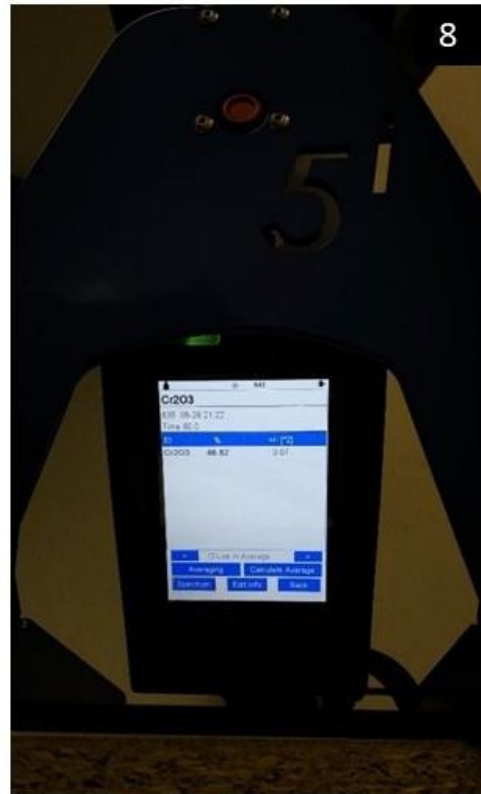
Εικόνα

6.6.1: (6.6.1.3) μεταφορά του δείγματος σε ειδικό δισκίο μέσα στην πρέσσα, **(6.6.1.4)** συμπιεσμένο δισκίο έτοιμο για ανάλυση(ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



Εικόνα

6.6.1: (6.6.1.5) και **(6.6.1.6)** τοποθέτηση δισκίου στην σχεδιασμένη προς μέτρηση επιφάνεια (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



Εικόνα 6.6.1: (6.6.1.7) μέτρηση δείγματος και (6.6.1.8) ανάγνωση αποτελεσμάτων από την οθόνη της συσκευής μέτρησης (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)

7. Αποτελέσματα

7.1 Περιγραφή γεωτρήσεων

Με γνώμονα παλαιότερες δραστηριότητες εκμετάλλευσης και έρευνας στην θέση «Ριζό» ξεκίνησαν τον Ιούλιο του 2018 επιφανειακές, ερευνητικές γεωτρήσεις από την εταιρία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» με σκοπό τον προσδιορισμό της θέσης του κοιτάσματος ώστε να επιτευχθεί η απόληψή του με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, επιφανειακά ή υπόγεια. Από την εταιρία επιλέχθηκαν συγκεκριμένες, στρατηγικές θέσεις γεωτρήσεων σε 11 σημεία με βάθος που κυμαίνεται από 85 έως 125 μέτρα και συνολικό μήκος 1121.99 μέτρα. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά μερικές από τις γεωτρήσεις όπου διεξάχθηκαν στον Δυτικό τομέα της θέσης Ριζό (Σχ. 7.1.1).



Εικόνα 7.1.1: Χάρτης προσδιορισμού θέσεων γεωτρήσεων στην περιοχή «Ριζό» (ΕΛΛΗΜΕΤ-Μπατσά Α. 2018).

RIZO034

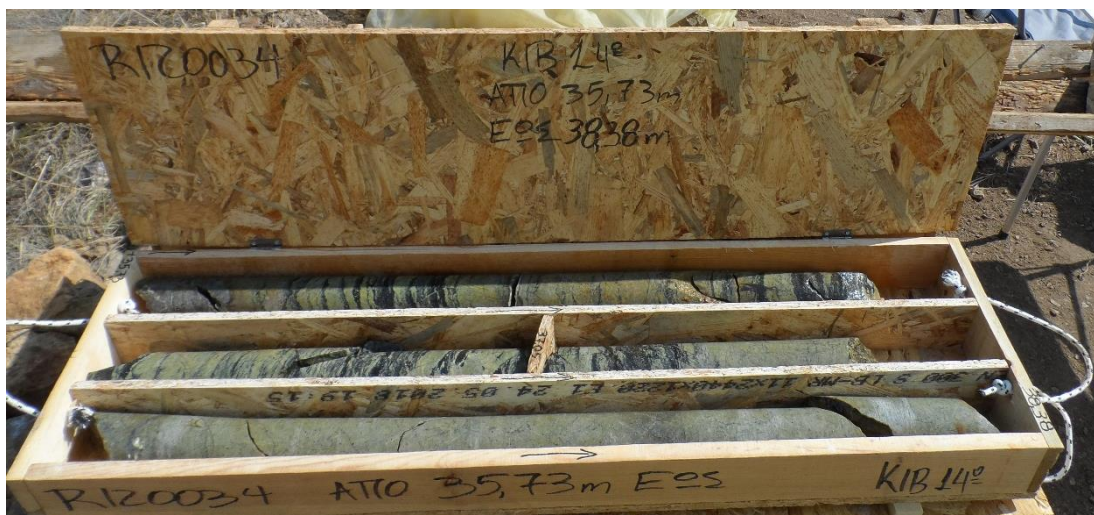
Αρχικά, η γεώτρηση RIZO034 με συντεταγμένες: **x:** 304206.6 **y:** 4444481 **z:** 747.88 πραγματοποιήθηκε με αζιμούθιο 40° και η γωνία με την οποία πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση είναι 70°. Η γεώτρηση αυτή έφτασε τα 125 μέτρα βάθος, επομένως ως εκεί φτάνει η γεωλογική πληροφορία των σχηματισμών. Η διάτρηση διήρκεσε 6 μέρες αφού ξεκίνησε στις 29/08/2018 και ολοκληρώθηκε στις 03/09/2018.

Τα πρώτα μέτρα της γεώτρησης περιλαμβάνουν δουνίτη με αραιή εμφάνιση διάσπαρτων κόκκων χρωμίτη. Ο δουνίτης είναι σερπεντινωμένος, ελαιοπράσινος και κατά τόπους οξειδωμένος αφού το χρώμα του μεταβαίνει σε καστανές αποχρώσεις. Κατά μήκος των πυρήνων της γεώτρησης υπάρχουν τομές-«σπασίματα» τα οποία είναι κατακόρυφα ή διαγώνια και οφείλονται σε ρήγματα ή διακλάσεις που συναντώνται κατά την διάτρηση, και αρκετές φορές είναι πληρωμένα με οπάλιο πάχους μερικών χιλιοστών έως μερικών εκατοστών.

Πιο συγκεκριμένα, η θέση αυτή αποτελείται κυρίως από δουνίτη που εναλλάσσεται με μικρά στρώματα χαρτσβουργίτη μέχρι τα 27.67 μέτρα με κάποιες φλέβες πυροξένου και εμφάνιση πυροξενίτη στα 35.43-35.81 μέτρα, ενώ στα 35.81 και έως τα 37.23 μέτρα εμφανίζεται χρωμίτης ταινιωτός (Schlieren) όπως παρουσιάζεται (Σχ. 7.1.2, 7.1.3).



Εικόνα 7.1.2: Μετάβαση από Πυροξενίτη σε Δουνίτη με Χρωμίτη τύπου Schlieren (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)



Εικόνα 7.1.3: Δουνίτης με χρωμίτη τύπου Schlieren (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Από τα 37.23 μέχρι και τα 66.64 μέτρα συνεχίζει σερπεντινωμένος δουνίτης, συμπαγής με παρουσία φλεβών πυροξενίτη μερικών εκατοστών και οπαλλίου στις διακλάσεις. Από τα 66.64 έως και τα 67.46 μέτρα υπάρχει σχηματισμός τύπου Breccia (λατυποαγές) (Σχ. 7.1.4), ενώ εμφανίζεται και λευκόλιθος (Σχ. 7.1.5) λόγω πιθανούς ρηξιγενούς ζώνης στο βάθος αυτό όπως φαίνεται και παρακάτω.



Εικόνα 7.1.4: Αρχή ρηξιγενούς ζώνης, παρουσία Breccia σε βάθος 66.62-67.16 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



Εικόνα 7.1.5: Συνέχεια Breccia και λευκόλιθος σε βάθος 67.16-67.60 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Η ρηξιγενής ζώνη η οποία φαίνεται να επηρέασε αρκετά τον δουνίτη, (Σχ. 7.1.6) αφού είναι λισαρδιτιωμένος, καφέ χρώματος με αρκετά φλεβίδια οπαλλίου όπως και πυροξένου. Ενώ παρουσιάζει και αρκετά σπασίματα όπου εμφανίζεται σερπεντινίτης.



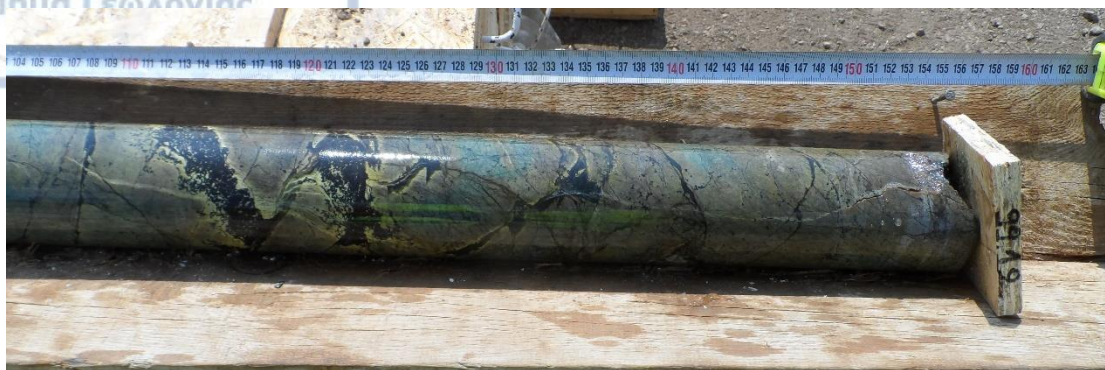
Εικόνα 7.1.6: Πυρήνες στους οποίους διακρίνεται ο εξαλλοιωμένος, οξειδωμένος δουνίτης με φλέβες οπαλλίου και εμφάνιση Breccia (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Μέσα σε αυτή την ζώνη διακρίνονται επίσης πυκνά συσσωματώματα διάσπαρτου χρωμίτη σε βάθος 73.90 έως 75.25 μέτρα (Σχ. 7.1.7).



Εικόνα 7.1.7: Συγκεντρώσεις χρωμίτη μέσα σε εξαλλοιωμένο δουνίτη με φλέβες οπαλλίου, σε βάθος 74.51-75.06 (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Από τα 75.25 έως και τα 82.95 μέτρα συνεχίζει η μάζα συμπαγούς δουνίτη με αραιούς, διάσπαρτους κόκκους χρωμίτη και ενδιάμεσα φλέβες πυροξένου καθώς και κάποια ίχνη οπαλλίου που πληρώνουν τις διακλάσεις και τα σπασίματα. Σε βάθος 82.95 με 83.10 μέτρα υπάρχει και πάλι σχηματισμός Breccia και εξαλλοιωμένος δουνίτης λόγω ρήγματος. Καθώς συνεχίζει η γεώτρηση συναντώνται οι ίδιοι σχηματισμοί ενώ σε βάθος 95.18 έως 95.61 μέτρα παρεμβάλλεται χαρτσβουργίτης. Σε βάθος 99.70 με 99.81 μέτρα εμφανίζονται συγκεντρώσεις συμπαγούς χρωμίτη μέσα στον δουνίτη (Σχ. 7.1.8).



Εικόνα 7.1.8: Συγκέντρωση χρωμίτη μέσα σε συμπαγή δουνίτη σε βάθος 99.70- 99.81 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)

Από τα 99.81 μέτρα βάθος μέχρι και το τέλος της γεώτρησης συνεχίζει συμπαγής δουνίτης με αραιό διάσπαρτο χρωμίτη και φλέβες πυροξένου πάχους μερικών εκατοστών. Παρακάτω απεικονίζεται και η τομή της γεώτρησης με όνομα RIZO034.

RIZO020

Μεταφερόμενοι πιο κεντρικά (Εικ. 7.1.1), ξεκίνησε η γεώτρηση με όνομα RIZO020 η οποία πραγματοποιήθηκε από τις 13/07/2018 έως τις 18/07/2018 και έφτασε στα 110.87 μέτρα βάθος. Οι συντεταγμένες της γεώτρησης είναι **x:** 304343 **y:**4444532 και **z:** 766.9 ενώ το αζιμούθιο είναι 183° και η γωνία με την οποία πραγματοποιήθηκε η γεώτρηση είναι 71°.

Η λιθολογία και σε αυτή την θέση συνεχίζει να είναι ίδια δηλαδή, από τα πρώτα κιόλας μέτρα επικρατεί ο δουνίτης ο οποίος είναι σερπεντινωμένος, οξειδωμένος κατά τόπους και κατακερματισμένος λόγω πιθανού ρήγματος. Ο δουνίτης περιέχει αραιούς κόκκους διάσπαρτου χρωμίτη ενώ εμφανίζεται μεγαλύτερη συγκέντρωση στα βάθη 11.32 με 11.60 και 15.83 έως 16.09 μέτρα. Επίσης στον δουνίτη όλες οι διακλάσεις είναι πληρωμένες με οπάλλιο μερικών χιλιοστών και σε κάποιες περιπτώσεις σερπεντίνη όπως στο βάθος των 24.03 έως 24.15 μέτρων. Η βασική εικόνα του δουνίτη που συναντάται στην θέση αυτή φαίνεται στο Σχ. 7.1.9.



Εικόνα 7.1.9.: Χαρακτηριστική εμφάνιση δουνίτη σερπεντινωμένου, οξειδωμένου, ρηγματωμένου με διάσπαρτους κόκκους χρωμίτη και οπάλλιο στις διακλάσεις (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Σε βάθος 22.10 με 23.85 μέτρα δεν ήταν δυνατή η λήψη δείγματος λόγω πιθανώς λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού το οποίο δεν κατάφερε να συγκρατηθεί στον πυρήνα ώστε να φτάσει στην επιφάνεια και απομακρύνθηκε με την πίεση του νερού, έτσι ήρθε στην επιφάνεια μορφή Breccia με δευτερογενή οπάλλιο να περιβάλλει τμήματα δουνίτη (Σχ. 7.1.10, 7.1.11).



Εικόνα 7.1.10: Έλλειψη δείγματος από 19^η βουτιά σε βάθος 22.10 έως 23.25 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



Εικόνα 7.1.11: Έλλειψη δείγματος από 20^η βουτιά σε βάθος 23.25 έως 23.85 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Κι ενώ συνεχίζει κερματισμένος κι εξαλλοιωμένος ο δουνίτης μέχρι το βάθος των 32.14 μέτρων εκεί αυξάνεται η συγκέντρωση του διάσπαρτου χρωμίτη κατά τόπους (Σχ. 7.1.12) μέχρι και το βάθος των 35.30 μέτρων. Επίσης αυξάνεται η παρουσία πυροξενικών φλεβών από το βάθος των 35.30 μέτρων.



Εικόνα 7.1.12: Εμφανίσεις χρωμίτη μέσα σε συμπαγή σερπεντινωμένο δουνίτη (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Η ζώνη εξαλλοίωσης του δουνίτη συνεχίζεται και φαίνεται πως σταματάει στα 40 μέτρα περίπου, όπου μέχρι και τα 53 μέτρα επικρατεί συμπαγής, ελαφρώς σερπεντινωμένος, ελαιοπράσινος δουνίτης με αραιούς κόκκους διάσπαρτου χρωμίτη και εναλλαγές με φρέσκο κατά τόπους δουνίτη.(Σχ. 7.1.13, 7.1.14).



Εικόνα 7.1.13: Συμπαγής, ελαφρώς σερπεντινωμένος, ελαιοπράσινος δουνίτης με διάσπαρτο χρωμίτη (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



Εικόνα 7.1.14: Εναλλαγές σερπεντινωμένου και φρέσκου δουνίτη με διάσπαρτο χρωμίτη (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Από το βάθος των 53.10 μέτρων ξεκινά και πάλι ρηξιγενής ζώνη – ζώνη εξαλλοίωσης όπου ο δουνίτης είναι πλήρως εξαλλοιωμένος, οξειδωμένος και κατακερματισμένος με παρουσία οπαλλίου στα σπασίματα και στις διακλάσεις (Σχ. 7.1.15).



Εικόνα 7.1.15: Εξαλλοιωμένος δουνίτης με στρώσεις οπαλλίου και φλέβα πυροξένου σε βάθος 56 έως 56.10 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Μέσα στην ζώνη αυτή και σε βάθος 57 μέτρων έως τα 58 μέτρα συναντάται μεγάλη συγκέντρωση διάσπαρτου χρωμίτη (Σχ. 7.1.16) στον δουνίτη ο οποίος είναι ρηγματωμένος και εναλλάσσεται από στρώσεις οπαλλίου στα σπασίματα όπως φαίνεται και παρακάτω.



Εικόνα 7.1.16: Συγκέντρωση διάσπαρτου χρωμίτη μέσα σε εξαλλοιωμένο δουνίτη με παρουσία οπαλλίου (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Έως και τα 70 μέτρα βάθος συνεχίζει η ζώνη εξαλλοίωσης του δουνίτη με κερματισμένες ζώνες και δευτερογενή ορυκτά. Εκεί εμφανίζεται πιο συμπαγής, υγής δουνίτης ο οποίος φέρει κόκκους διάσπαρτου χρωμίτη. Οι κόκκοι αυτοί αυξάνονται σε βάθος 81.34 έως 81.76 (Σχ. 7.1.17) κατά μήκος του πυρήνα όπως επίσης εμφανίζεται μεγάλη συγκέντρωση από 83.68 έως 85.59.



Εικόνα 7.1.17: Συγκέντρωση χρωμίτη μέσα στον δουνίτη σε βάθος 84.18 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Στην συνέχεια ο δουνίτης υγής, συμπαγής ο οποίος εναλλάσσεται με εξαλλοιωμένο δουνίτη, ενώ παράλληλα παρεμβαίνουν και πυροξενικές φλέβες μέχρι και το βάθος των 89.24 μέτρων. Από τα 89.24 έως και τα 96.80 μέτρα ο δουνίτης εμφανίζει αυξημένες συγκεντρώσεις λεπτόκοκκου διάσπαρτου χρωμίτη (Σχ. 7.1.18) ενώ στο διάστημα 93.42 έως 93.61 μέτρα παρεμβάλλεται πυροξενίτης και σερπεντίνης.



Εικόνα 7.1.18 : Τυπική εικόνα δουνίτη συμπαγούς με μεγάλη συγκέντρωση διάσπαρτου χρωμίτη σε βάθος 92.60-93.21 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Σε βάθος 96.80 έως 97.09 μέτρα παρεμβάλλεται χαρτσβουργίτης ενώ μέχρι και τα 110.87 μέτρα κυριαρχεί δουνίτης συμπαγής με συγκεντρώσεις διάσπαρτου λεπτόκοκκου χρωμίτη και

εμφανίσει λιζαρδίτη κατά τόπους (Σχ. 7.1.19), ενώ παρεμβάλλονται και πυροξενικές φλέβες (Σχ. 7.1.20) μερικών εκατοστών.



Εικόνα 7.1.19: Εξαλλοιωμένος και φρέσκος δουνίτης (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)



Εικόνα 7.1.20: Πυροξενικές φλέβες μέσα στον δουνίτη.(ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)

RIZO022

Κατευθυνόμενοι πιο ανατολικά (Εικ. 7.1.1), πραγματοποιήθηκαν τέσσερις γεωτρήσεις, μία εκ των οποίων ήταν και η γεώτρηση με όνομα RIZO022. Η θέση της έχει συντεταγμένες **x**: 304557.9 **y**: 4444479 και **z**: 761.2 και αζιμούθιο 179°, ενώ η διάτρηση έγινε με γωνία 62°. Το βάθος της έφτασε μέχρι και τα 83.55 μέτρα. Η διαδικασία ξεκίνησε στις 19/09/2018 και ολοκληρώθηκε στις 26/09/2018, συνολικά όμως η διάτρηση διήρκησε 7 εργάσιμες ημέρες, παρόλο που τα μέτρα ήταν λίγα λόγω συνεχόμενων ρηξιγενών ζωνών, υπήρχε δυσκολία περιστροφής κατά την διάρκειά της.

Στα πρώτα μέτρα της γεώτρησης εμφανίζεται δουνίτης κερματισμένος (Σχ. 7.1.22) σερπεντινωμένος, με διάσπαρτους, αραιούς κόκκους χρωμίτη, ενώ σε κάποια από τα σπασίματα υπάρχουν ενδείξεις ανθρακικών αλάτων (Σχ. 7.1.21).



Εικόνα 7.1.21: Σχηματισμός ανθρακικών αλάτων μέσα στον ρηγματωμένο δουνίτη (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



Εικόνα 7.1.22: Τυπική εικόνα ρηγματωμένου δουνίτη για τα πρώτα μέτρα της γεώτρησης (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Καθώς κινούμαστε μέσα στον σχηματισμό, συναντώνται και φλέβες πυροξένου όπως επίσης και λεπτές ζώνες με οπάλλιο (Σχ. 7.1.23).



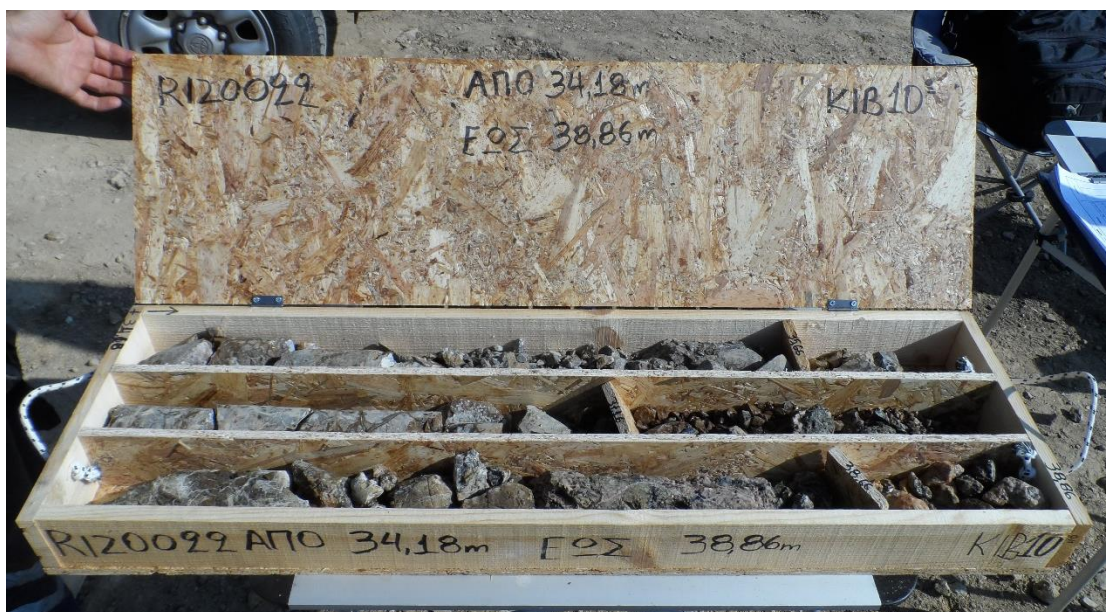
Εικόνα 7.1.23: Χαρακτηριστική ανάπτυξη οπαλλίου μέσα στο ρήγμα που «κόβει» τον δουνίτη (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Έως και τα 62.75 μέτρα βάθος ο μοναδικός σχηματισμός που συναντάται είναι δουνίτης εξαλλοιωμένος και αρκετά κερματισμένος λόγω της ύπαρξης μεγάλων ρηξιγενών ζωνών ο

οποίος φέρει πάνω του πυροξενικές φλέβες και μεγάλες συγκεντρώσεις χρωμίτη σε διάφορα βάθη. Η ρηξιγενής ζώνη ξεκινάει από 21.60 έως 56.75 μέτρα, όπου είναι κατακερματισμένος και πλήρως εξαλλοιωμένος ο δουνίτης. Ενώ σε βάθος 23.54 μέχρι και το βάθος 24.58 μέτρα εμφανίζεται Breccia όπου μέσα στον οπάλλιο υπάρχουν κομμάτια δουνίτη (Σχ. 7.1.24). Λόγω της έντονης τεκτονικής στην θέση αυτή σημαντικά τμήματα του πυρήνα έφτασαν στην επιφάνεια ελλειπή, χωρίς να φέρουν ολόκληρο το δείγμα, για τον λόγο αυτό και στην παρακάτω εικόνα το κιβώτιο συνολικής χωρητικότητας 3 μέτρων περιλαμβάνει δείγμα 4.68 μέτρων (Σχ. 7.1.25).



Εικόνα 7.1.24: Σχηματισμός τύπου Breccia και κερματισμένος σερπεντινωμένος δουνίτης μέσα στην ζώνη του ρήγματος ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



Εικόνα 7.1.25: Τυπική εμφάνιση κατακερματισμένου, εξαλλοιωμένου δουνίτη μέσα στην ζώνη 21.60-56.05 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Σε βάθος 56.75 έως 62.75 μέτρα ξεκινά ζώνη κοιτάσματος χρωμίτη σχεδόν συμπαγής ο οποίος συνοδεύεται από κονδύλους δουνίτη (antinodular δομή) και συνεχίζει να είναι ρηγματωμένος όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Σχ. 7.1.26).



Εικόνα 7.1.26: Μεγάλη συγκέντρωση διάσπαρτου χρωμίτη μέσα στον εξαλλοιωμένο δουνίτη (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Σε βάθος 62.75 έως 63.37 μέτρα παρεμβάλλεται χαρτσβουργίτης (Σχ. 7.1.27) ο οποίος στα 63.00 με 63.05 μέτρα περιέχει δουνίτη πλούσιο σε χρωμίτη. Έπειτα έως και τα 67.90 μέτρα εναλλάσσεται εξαλλοιωμένος, ρηγματωμένος δουνίτης πλούσιος σε χρωμίτη (Σχ. 7.1.28) με μερικές πυροξενικές φλέβες. Από τα 67.90 μέχρι και τα 72.00 μέτρα συνεχίζει ο δουνίτης, ενώ από τα 71.50 έως και τα 74.60 μέτρα επικρατεί χρωμίτης μέσα στον ρηγματωμένο δουνίτη (Σχ. 7.1.29).



Εικόνα 7.1.27: Εναλλαγή χρωμιτούχου δουνίτη με χαρτσβουργίτη στα 62.75 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



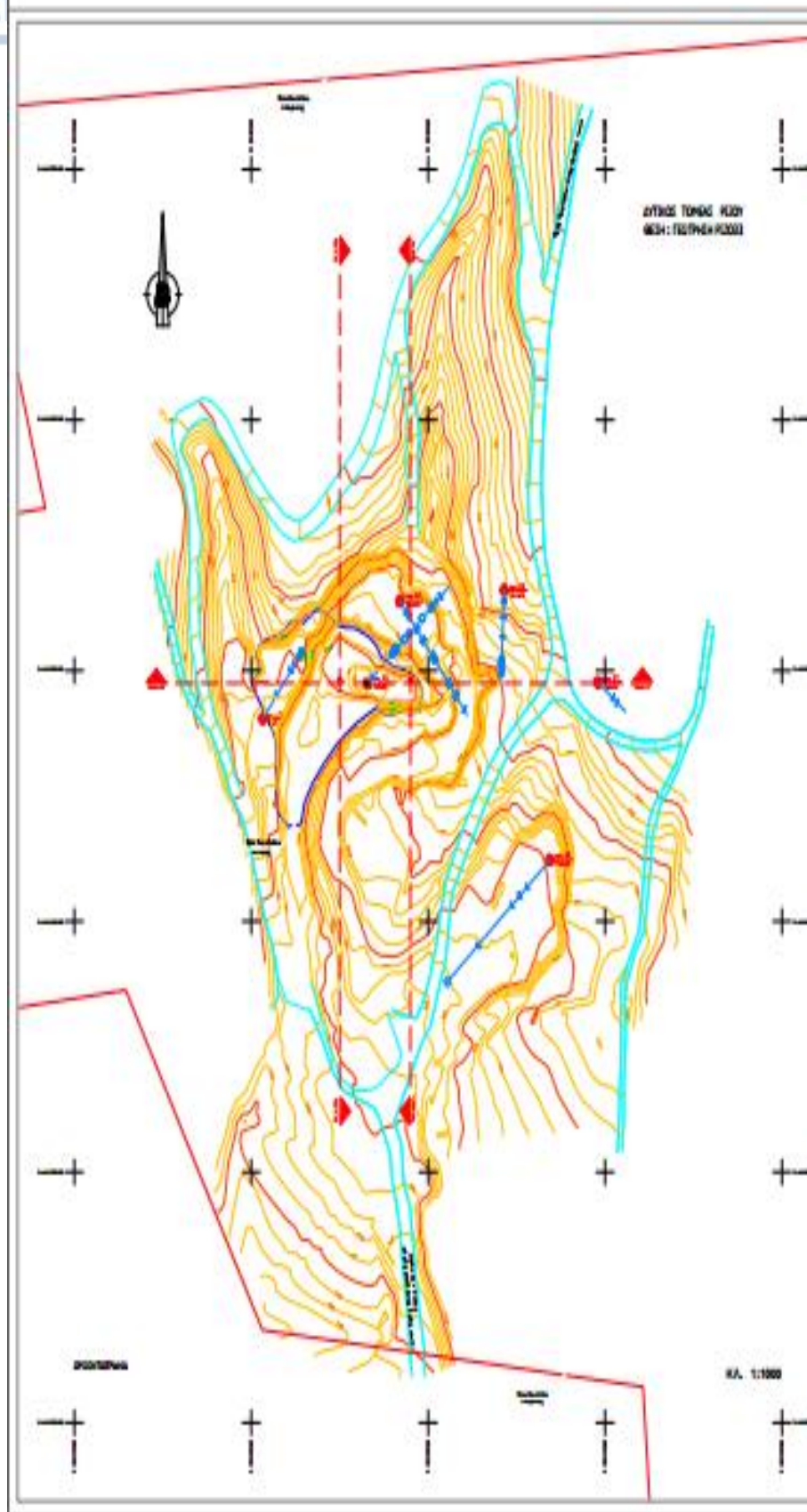
Εικόνα 7.1.28: Κόνδυλοι δουνίτη μέσα στον χρωμίτη (antinodular ιστός) σε βάθος 64.05- 64.53 μέτρα.(ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).



Εικόνα 7.1.29: Χρωμιτούχος δουνίτης σε βάθος 73.06- 74.00 μέτρα (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018).

Από τα 74.60 έως τα 75.15 μέτρα υπάρχει δουνίτης, ενώ από 75.15 έως 75.95 χαρτσβουργίτης. Συνεχίζουν μέχρι και τα 78.40 μέτρα εναλλασσόμενα ρήγματα στο δουνιτικό σώμα με αποτέλεσμα να έχει εξαλλοιωθεί, ενώ από τα 78.40 μέτρα μέχρι και το τέλος της γεώτρησης επικρατεί συμπαγής δουνίτης, ελαφρώς σερπεντινωμένος κατά τόπους με κόκκους διάσπαρτου χρωμίτη.

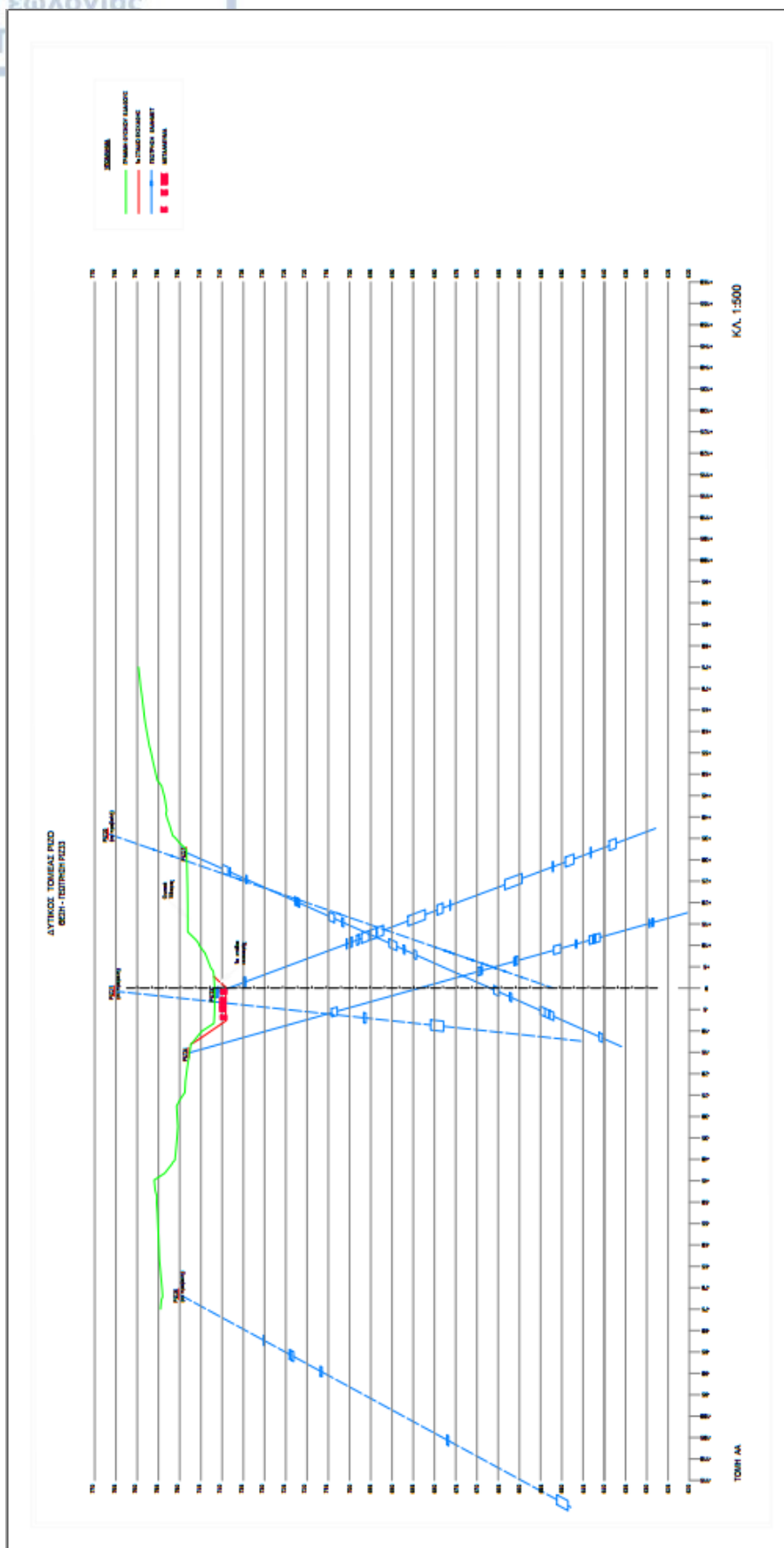
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της περιγραφής όλων των γεωτρήσεων προκύπτουν τομές οι οποίες απεικονίζουν τα βάθη στα οποία εντοπίστηκε η μεταλλοφορία χρωμίτη στο Ριζό (Ει. 7.1.31-33, γαλάζια τετράγωνα. Οι τομές βασίζονται στον χάρτη ο οποίος απεικονίζει την οριζοντιογραφία της περιοχής (Εικ. 7.1.30). Έχουν κατασκευαστεί τρεις τομές που προβάλλουν τις γεωτρήσεις στις θέσεις αυτές με διαφορετικό προσανατολισμό. Η τομή ΑΑ (Εικ. 7.1.31) απεικονίζει την δυτική όψη των γεωτρήσεων εκεί. Η τομή ΒΒ (Εικ. 7.1.32) την ανατολική ενώ η τομή ΓΓ (Εικ. 7.1.33) την βόρεια.



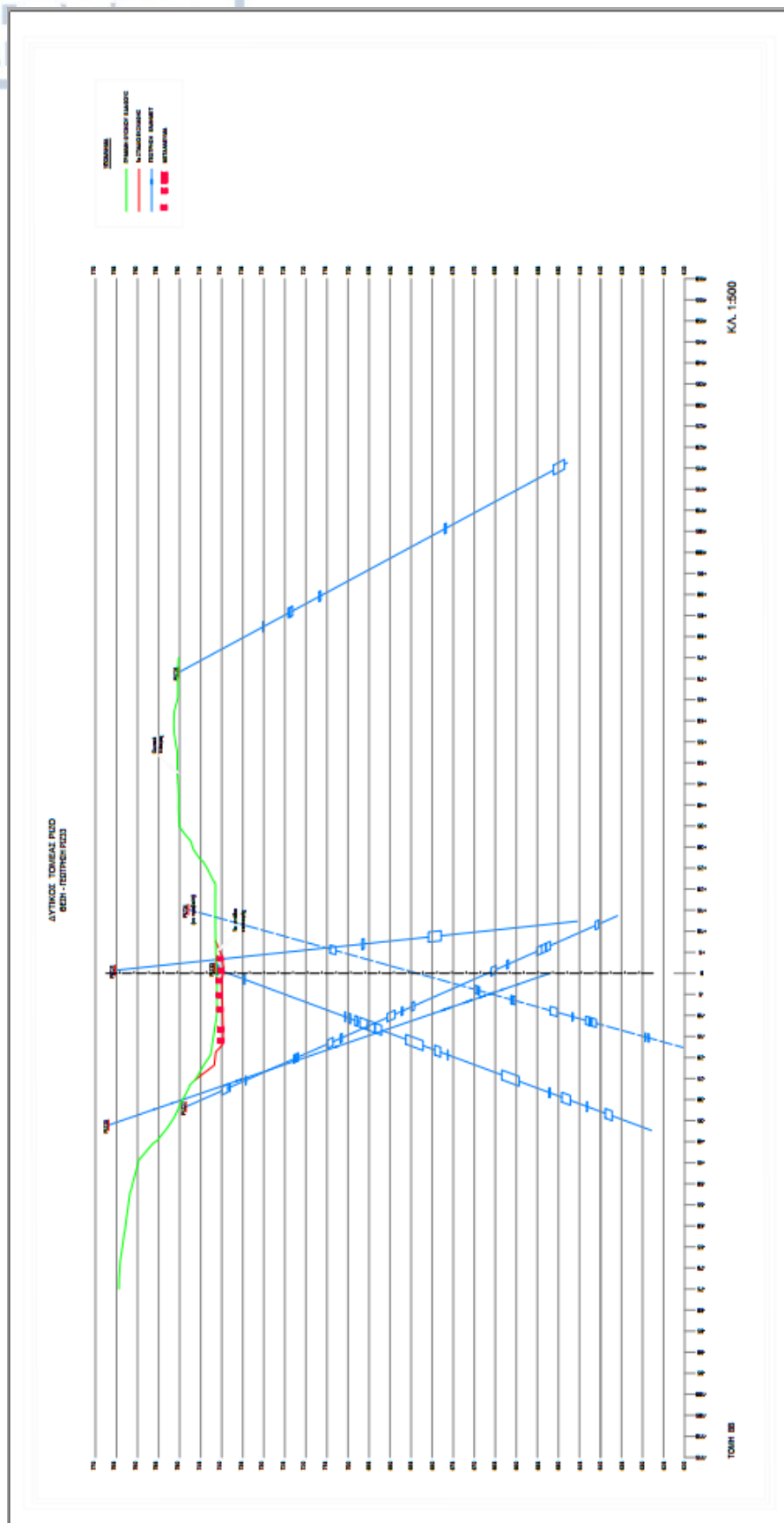
Εικόνα

7.1.30:

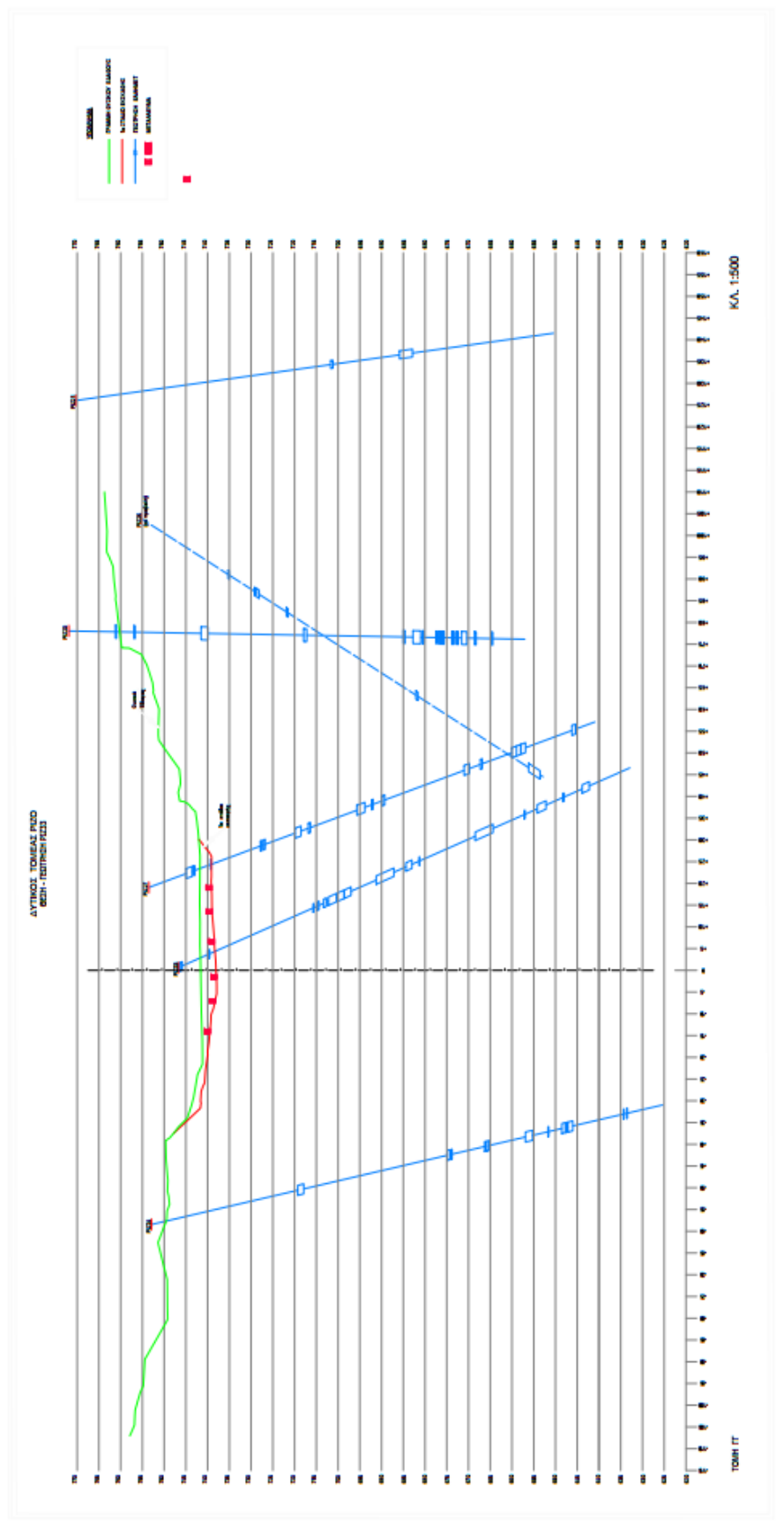
Οριζοντιογραφία της θέσης Ριζό (ΕΛΛΗΜΕΤ Πέτρου Γ.-Μπατσά Α. 2019)



Εικόνα 7.1.31: Τομή ΑΑ (ΕΛΛΗΜΕΤ- Πέτρου Γ.- Μπατσή Α. 2019)



Εικόνα 7.1.32: Τομή ΒΒ (ΕΛΛΗΜΕΤ Πέτρου Γ. -Μπατσή Α. 2019)



Εικόνα 7.1.33: Τομή ΓΓ (ΕΛΛΗΜΕΤ Πέτρου Γ.- Μπατσή Α. 2019).

7.2 Ορυκτολογία μεταλλεύματος

Μέσα στον δουνίτη φιλοξενείται ο χρωμίτης ο οποίος είναι κυρίως λεπτόκκοκος έως μεσόκκοκος με ιστολογική ανάπτυξη κατά Schlieren (Εικ. 7.2.1), διάσπαρτος, σε μερικές περιπτώσεις συμπαγής, ενώ στον κεντρικό τομέα του Ριζού υπάρχουν ίχνη ιστού λεοπαρδάλεως που παρεμβάλλονται στον ταινιωτό χρωμίτη (Schlieren). Η επικρατούσα μορφή στην παρούσα θέση είναι διάσπαρτος και ταινιωτός χρωμίτης.

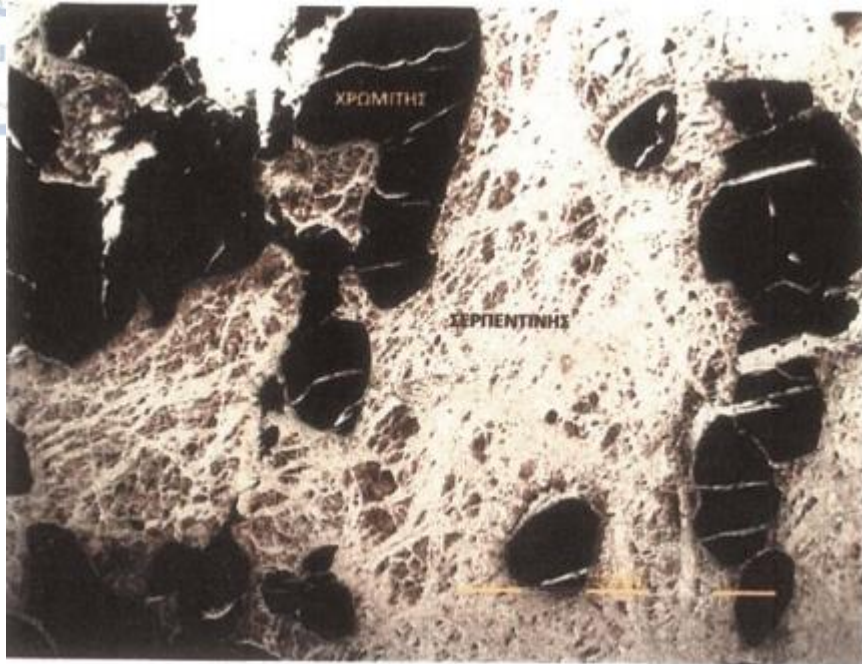
Σύμφωνα με ορυκτολογικές αναλύσεις που έχουν γίνει ανά περιόδους στην περιοχή προκύπτει ότι ο δουνίτης αποτελείται από ολιβίνη τύπου φορστερίτη, χρωμίτη, διάφορων ιστολογικών τύπων, σερπεντίνη, χλωρίτη και σε μικρή συγκέντρωση από ασβεστίτη κατά τόπους (Παππά 1996).

Σύμφωνα με πρόσφατη ορυκτολογική ανάλυση που έγινε από το ΙΓΜΕ, για λογαριασμό της εταιρείας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» επιβεβαιώνεται ότι ο πρόκειται για υπερβασικό πέτρωμα σερπεντινωμένου δουνίτη με μεγάλη συγκέντρωση χρωμίτη.

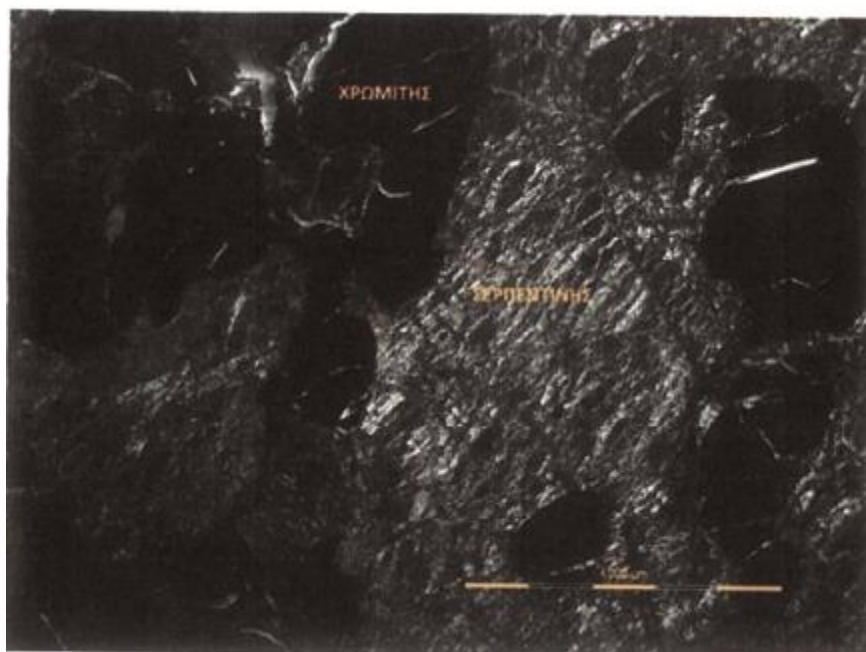


Εικόνα 7.2.1: Ταινιωτός χρωμίτης μέσα σε σερπεντινωμένο δουνίτη, δείγμα 5. (ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης έπειτα από μικροσκοπική ανάλυση του παραπάνω δείγματος (Σχ. 7.2.1), προκύπτει ότι αποτελείται μόνο από σερπεντίνη και χρωμίτη. Ο σερπεντίνης είναι δευτερογενές ορυκτό που προκύπτει από εξαλλοίωση πρωτογενών ορυκτών που υπάρχουν στο πέτρωμα. Παρακάτω παρουσιάζονται και εικόνες από το πολωτικό μικροσκόπιο (ΙΓΜΕ, 2018)



Εικόνα 7.2.2: Μελέτη του δείγματος 5 σε πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός με παράλληλα nicols όπου απεικονίζονται τα ορυκτά που απεικονίζεται χρωμίτης και σερπεντίνης (ΙΓΜΕ - ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)



Εικόνα 7.2.3: Μελέτη του δείγματος 5 σε πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός με κάθετα nicols όπου απεικονίζονται τα ορυκτά που απεικονίζεται χρωμίτης και σερπεντίνης (ΙΓΜΕ- ΕΛΛΗΜΕΤ 2018)

7.3 Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων

Ενδεικτικά αποτελέσματα των δειγμάτων που στάλθηκαν στην Φιλανδία, και συγκεκριμένα στο εργαστήριο Eurofins Labtium Oy, παρουσιάζονται στους πίνακες 1-4. Τα δείγματα που επιλέχθηκαν για παρουσίαση αφορούν αναλύσεις που έγιναν σε δουνίτες με χρωμίτη Schlieren, διάσπαρτο αραιό και πυκνά συσσωματώματα αυτού, συμπαγή χρωμίτη, σερπεντινωμένο δουνίτη με πυροξενικές φλέβες όπως επίσης και φρέσκο προς ελαφρώς εξαλλοιωμένο

Όλα τα στοιχεία αναφέρονται στην περιεκτικότητα επί της εκατό (%) εκτός από το Ni το οποίο μετριέται σε ppm (parts per million). Οι παράμετροι που αναλύθηκαν σε αυτά είναι το ειδικό βάρος, και η περιεκτικότητα στα παρακάτω χημικά στοιχεία και ενώσεις όπως: As, Ba, Bi, Ce, Cl, Cr, Cu, Ga, La, Mo, Nb, Ni, Pb, S, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, U, V, Y, Zn, Zr, Cr₂O₃, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, MnO, NiO, ZnO, Na₂O, P₂O₅, SiO₂, TiO₂.

Τα σημαντικότερα στοιχεία που προσέχουμε όσον αφορά τον χρωμίτη και τα συνοδά πετρώματα είναι SiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, Fe₂O₃, MgO, όπως επίσης είναι ιδιαίτερα σημαντική η αναλογία Fe/Cr.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψαν και μερικά διαγράμματα τα οποία δείχνουν την σχέση της περιεκτικότητας μερικών από τα στοιχεία που αναλύθηκαν με την περιεκτικότητα σε Cr₂O₃ όπως είναι το SiO₂-Cr₂O₃, Fe₂O₃-Cr₂O₃, MgO-Cr₂O₃, Al₂O₃-Cr₂O₃, επίσης η αναλογία Fe/Cr-Cr₂O₃ και η σχέση πυκνότητας- Cr₂O₃(Σχ. 7.1-7.6). Τα διαγράμματα τα επιμελήθηκε ο Καθηγητής του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Δημήτριος Κωστόπουλος ο οποίος συνεργάστηκε με την εταιρεία «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.» στα πλαίσια της κοιτασματολογικής έρευνας.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα δείγματα 78, 89, 91 (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

	78	89	91
	dunite	dunite	dunite
	Rizo	Rizo	Rizo
	chromitite-lumpy	chromite disseminated, schlieren	chromitite
Parameter	78	89	91
SiO ₂	29.61	38.75	8.06
TiO ₂	0.04	<0.003	0.1
Al ₂ O ₃	2.85	0.39	7.39
Cr ₂ O ₃	16.48475738	2.357470845	52.42997621
Fe ₂ O ₃	10.35	8.72	16.01
MnO	0.13	0.11	0.19
MgO	38.17	46.28	15.47
NiO	0.367777358	0.360141842	0.183252386
ZnO	0.014936494	0.007468247	0.038585944
CaO	0.08	0.22	0.01
Na ₂ O	0.05	0.04	0.04
K ₂ O	<0.003	<0.003	<0.003
P ₂ O ₅	<0.006	<0.006	<0.006
S	<0.01	<0.01	<0.01
LOI	2.37	3.83	1.64
Sum	100.5174712	101.0650809	101.5618145
Density	3.52		4.24
Cr ₂ O ₃ /Fe ₂	1.592730182	0.270352161	3.274826746
Cr	11.279	1.613	35.873
Ni	0.289	0.283	0.144
Zn	0.012	0.006	0.031
Fe	7.239108381	6.09903624	11.19788649
Ni	2890	2830	1440
Cr/Fe	1.558064807	0.264468014	3.203550959

As	<0.001	<0.001	<0.001
Ba	<0.002	<0.002	<0.002
Bi	<0.003	<0.003	<0.003
CaO	0.08	0.22	0.01
Ce	<0.003	<0.003	<0.003
Cl	0.01	0.02	<0.01
Cu	<0.002	<0.002	0.002
Ga	<0.003	<0.003	<0.003
La	<0.003	<0.003	<0.003
Mo	<0.001	<0.001	<0.001
Nb	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	<0.003	<0.003	<0.003
Rb	<0.001	<0.001	<0.001
Sb	<0.005	<0.005	<0.005
Sc	<0.002	<0.002	<0.002
Sn	<0.003	<0.003	0.003
Sr	<0.001	<0.001	<0.001
Th	<0.003	<0.003	<0.003
U	<0.001	<0.001	<0.001
V	0.015	0.004	0.052
Y	<0.001	<0.001	<0.001
Zr	<0.001	<0.001	<0.001

Πίνακας 2: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα δείγματα 94, 95, 97 (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

	94	95	97
	dunite	dunite	dunite
	Rizo	Rizo	Rizo
	chromitite, dissem	disseminated	disseminated-l
Parameter	94	95	97
SiO ₂	28.51	36.14	36.33
TiO ₂	0.06	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	3.17	0.73	0.86
Cr ₂ O ₃	22.20085687	7.39541381	6.125331873
Fe ₂ O ₃	11.29	10.22	9.52
MnO	0.14	0.13	0.12
MgO	31.29	36.96	44.41
NiO	0.343598224	0.35759667	0.377958046
ZnO	0.018670618	0.013691786	0.009957663
CaO	0.33	0.05	0.08
Na ₂ O	0.05	0.05	0.04
K ₂ O	<0.003	<0.003	<0.003
P ₂ O ₅	<0.006	<0.006	<0.006
S	<0.01	<0.01	<0.01
LOI	4.05	7.47	1.6
Sum	101.4531257	99.52670227	99.48324758
Density	3.62	3.22	3.39
Cr ₂ O ₃ /Fe ₂	1.966417792	0.723621704	0.643417214
Cr	15.19	5.06	4.191
Ni	0.27	0.281	0.297
Zn	0.015	0.011	0.008
Fe	7.896573297	7.148182382	6.658580849
Ni	2700	2810	2970
Cr/Fe	1.923619199	0.707872258	0.629413398

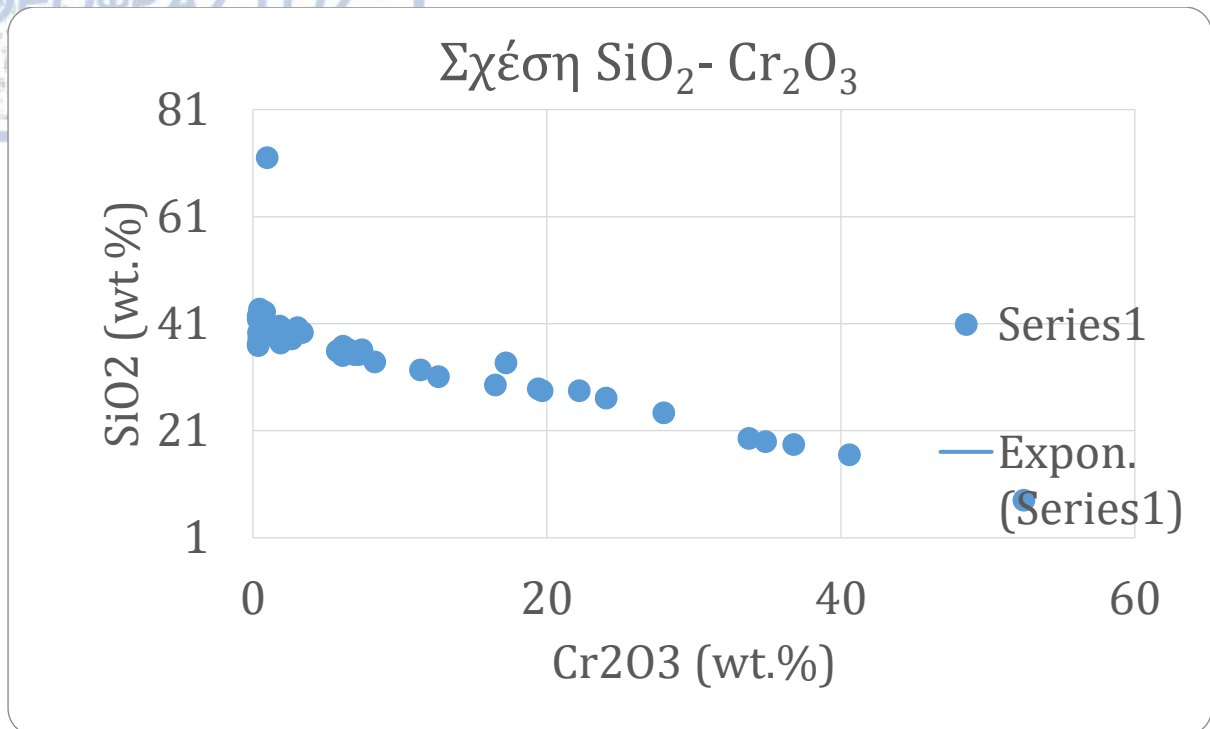
As	<0.001	<0.001	<0.001
Ba	<0.002	<0.002	<0.002
Bi	<0.003	<0.003	<0.003
CaO	0.33	0.05	0.08
Ce	<0.003	<0.003	<0.003
Cl	0.02	0.02	<0.01
Cu	<0.002	<0.002	<0.002
Ga	<0.003	<0.003	<0.003
La	<0.003	<0.003	<0.003
Mo	<0.001	<0.001	<0.001
Nb	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	<0.003	<0.003	<0.003
Rb	<0.001	<0.001	<0.001
Sb	<0.005	<0.005	<0.005
Sc	<0.002	<0.002	<0.002
Sn	<0.003	<0.003	<0.003
Sr	<0.001	<0.001	<0.001
Th	<0.003	<0.003	<0.003
U	<0.001	<0.001	<0.001
V	0.021	0.01	0.006
Y	<0.001	<0.001	<0.001
Zr	<0.001	<0.001	<0.001

Πίνακας 3: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα δείγματα 111, 113, 116 (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

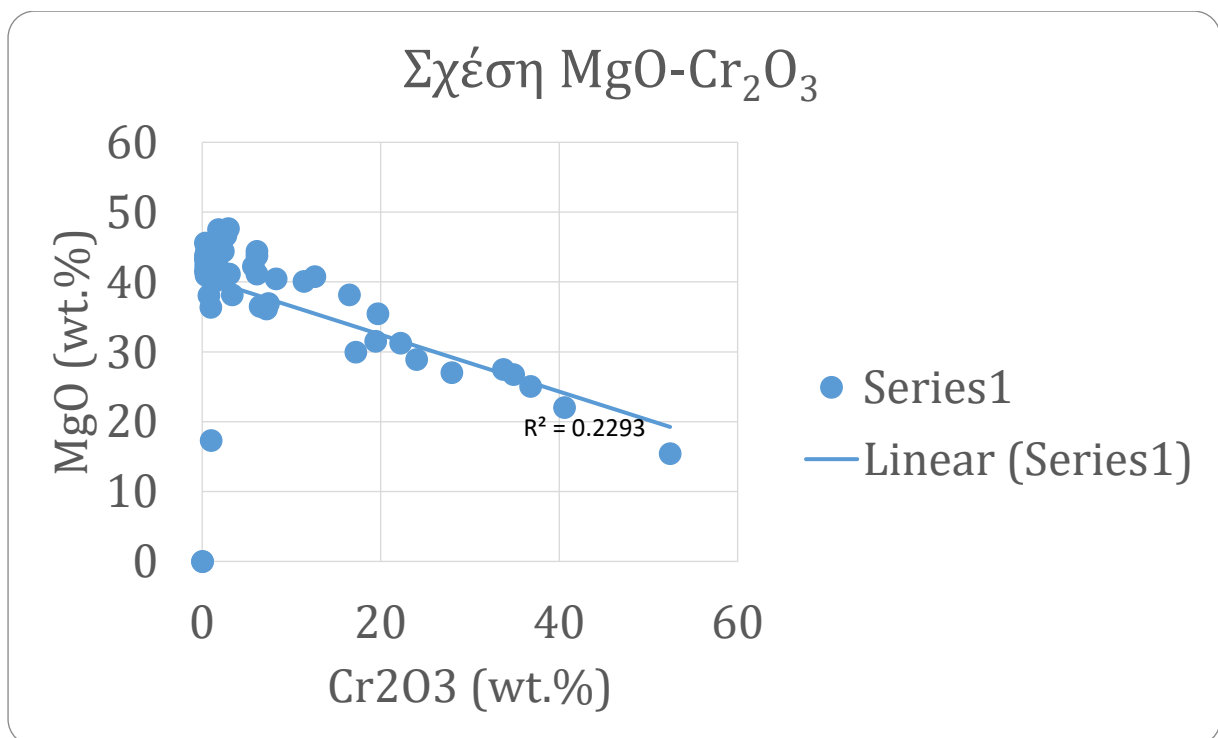
	111	113	116
	dunite	dunite	dunite
	Rizo	Rizo	Rizo
	fresh and altered	altered, serpentinised, disseminated	some px included
Parameter	111	113	116
SiO ₂	39.93	41.39	42.48
TiO ₂	<0.003	<0.003	<0.003
Al ₂ O ₃	0.28	0.22	0.34
Cr ₂ O ₃	1.071311921	0.667925714	0.353693704
Fe ₂ O ₃	8.75	10.75	8.89
MnO	0.11	0.14	0.12
MgO	45.37	41.13	41.59
NiO	0.355051498	0.35759667	0.314328746
ZnO	0.006223539	0.008712955	0.006223539
CaO	0.46	0.58	0.66
Na ₂ O	0.04	0.04	0.05
K ₂ O	<0.003	<0.003	<0.003
P ₂ O ₅	<0.006	<0.006	<0.006
S	<0.01	<0.01	<0.01
LOI	4.19	4.35	3.98
Sum	100.562587	99.63423534	98.78424599
Density			
Cr ₂ O ₃ /Fe ₂	0.122435648	0.062132625	0.039785568
Cr	0.733	0.457	0.242
Ni	0.279	0.281	0.247
Zn	0.005	0.007	0.005
Fe	6.120019162	7.518880685	6.217939469
Ni	2790	2810	2470
Cr/Fe	0.119770867	0.060780323	0.038919646
As	<0.001	<0.001	<0.001
Ba	<0.002	<0.002	<0.002
Bi	<0.003	<0.003	<0.003
CaO	0.46	0.58	0.66
Ce	<0.003	<0.003	<0.003
Cl	0.02	0.02	0.02
Cu	<0.002	<0.002	<0.002
Ga	<0.003	<0.003	<0.003
La	<0.003	<0.003	<0.003
Mo	<0.001	<0.001	<0.001
Nb	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	<0.003	<0.003	<0.003
Rb	<0.001	<0.001	<0.001
Sb	<0.005	<0.005	<0.005
Sc	<0.002	<0.002	<0.002
Sn	<0.003	<0.003	<0.003
Sr	<0.001	<0.001	<0.001
Th	<0.003	<0.003	<0.003
U	<0.001	<0.001	<0.001
V	0.003	0.004	0.003
Y	<0.001	<0.001	<0.001
Zr	<0.001	<0.001	<0.001

Πίνακας 4: Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων στα δείγματα 117, 124 (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

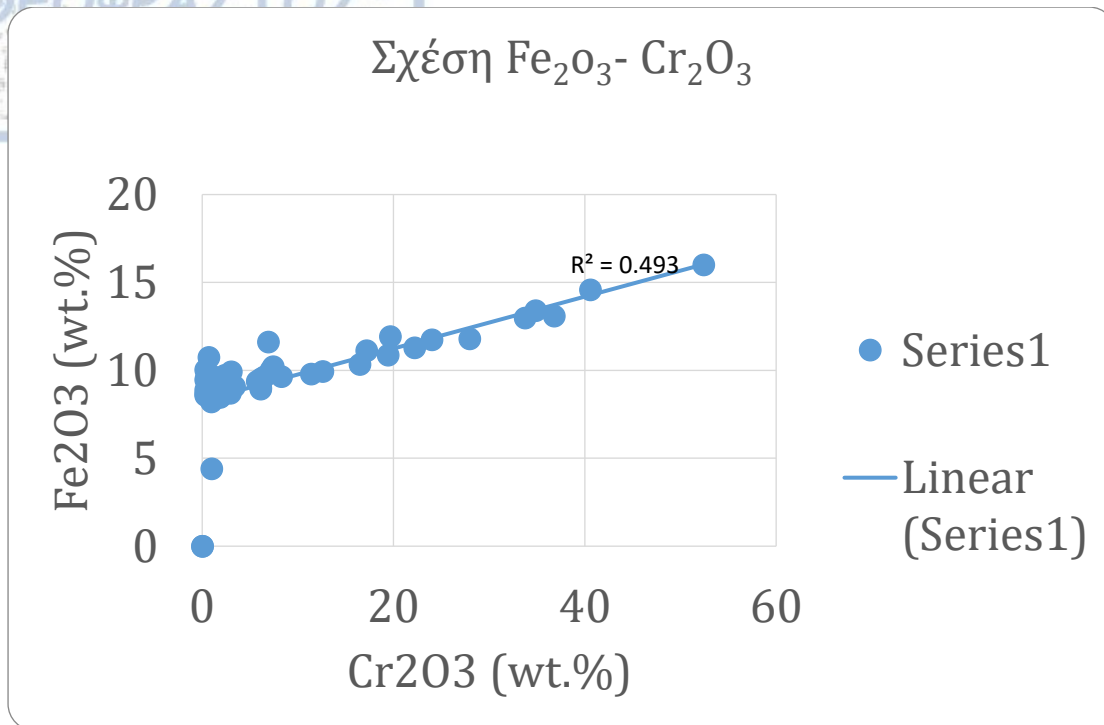
	117	124
	dunite	dunite
	Rizo	Rizo
	highly altered with	schlieren and disseminated
Parameter	117	124
SiO ₂	38.94	27.12
TiO ₂	<0.003	0.063
Al ₂ O ₃	0.27	2.99
Cr ₂ O ₃	0.957311471	24.01755635
Fe ₂ O ₃	9.71	11.75
MnO	0.12	0.147
MgO	41.62	28.91
NiO	0.369049944	0.323236848
ZnO	0.006223539	0.01742591
CaO	0.2	0.751
Na ₂ O	0.04	0.05
K ₂ O	<0.003	0.004
P ₂ O ₅	<0.006	<0.006
S	<0.01	<0.01
LOI	7.4	4.73
Sum	99.63258496	100.8732191
Density		3.69
Cr ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	0.098590265	2.044047349
Cr	0.655	16.433
Ni	0.29	0.254
Zn	0.005	0.014
Fe	6.791472693	8.218311447
Ni	2900	2540
Cr/Fe	0.096444472	1.999559168
As	<0.001	<0.001
Ba	<0.002	<0.002
Bi	<0.003	<0.003
CaO	0.2	0.751
Ce	<0.003	<0.003
Cl	0.03	0.01
Cu	<0.002	<0.002
Ga	<0.003	<0.003
La	<0.003	<0.003
Mo	<0.001	<0.001
Nb	<0.002	<0.002
Pb	<0.003	<0.003
Rb	<0.001	<0.001
Sb	<0.005	<0.005
Sc	<0.002	<0.002
Sn	<0.003	<0.003
Sr	<0.001	<0.001
Th	<0.003	<0.003
U	<0.001	<0.001
V	0.004	0.028
Y	<0.001	<0.001
Zr	<0.001	<0.001



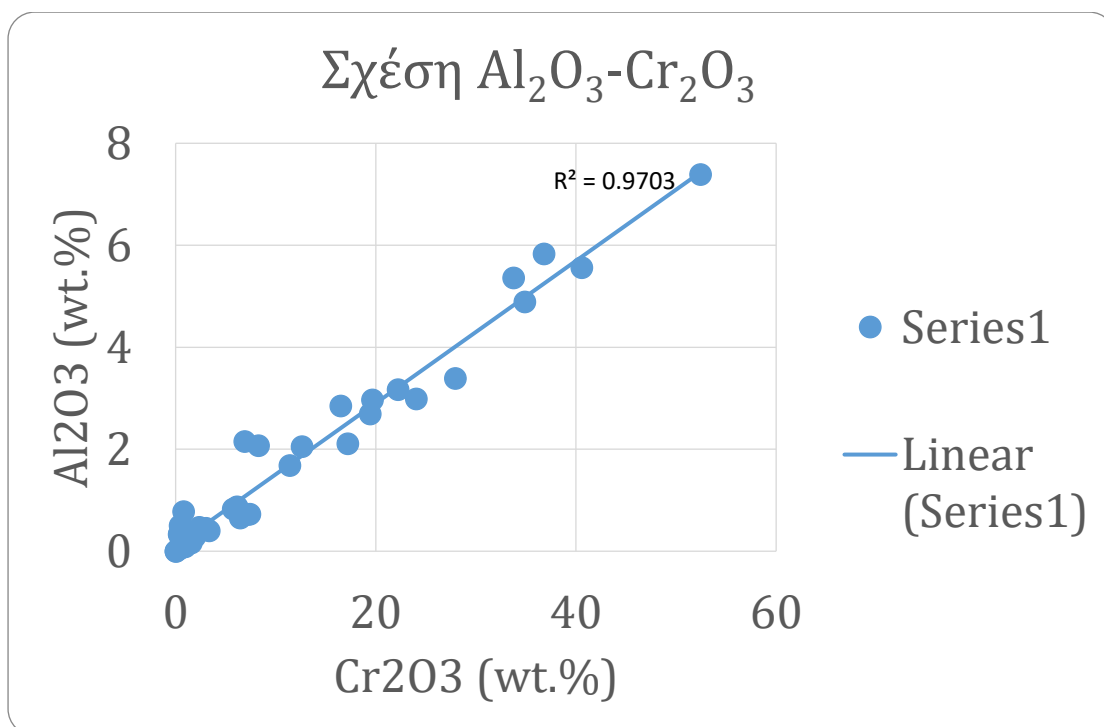
Σχήμα 7.1:Μεταβολή περιεκτικότητας SiO_2 (%) σε σχέση με την περιεκτικότητα Cr_2O_3 (%). (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).



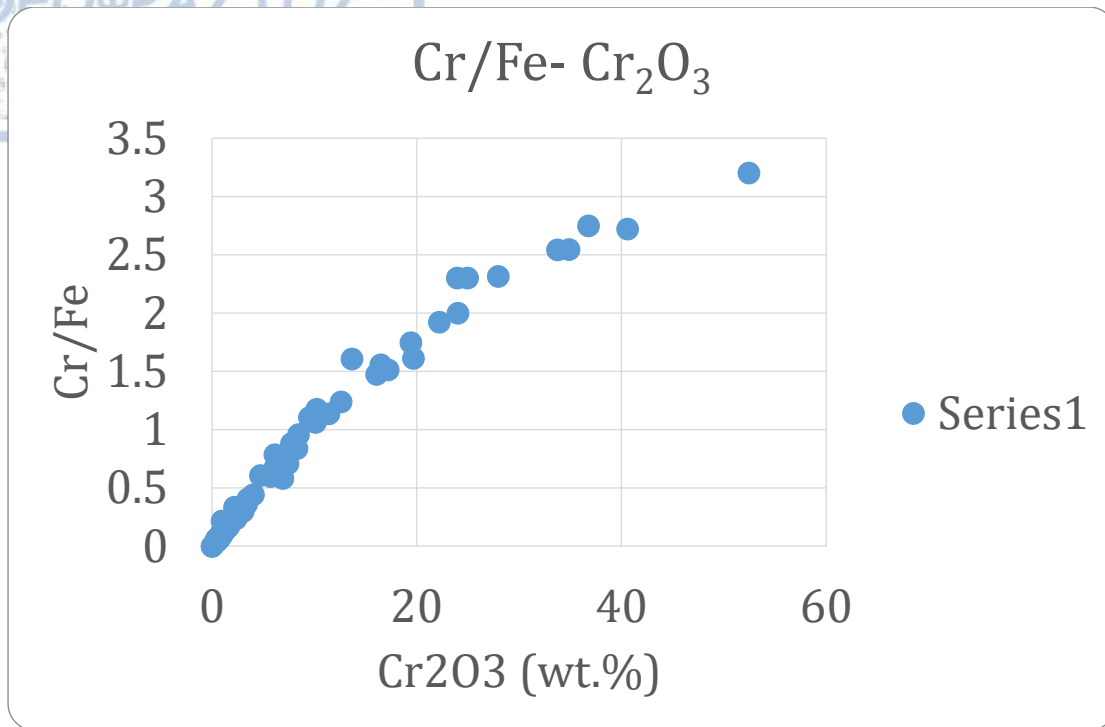
Σχήμα 7.2:Μεταβολή περιεκτικότητας MgO (%) σε σχέση με την περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 (%). (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019)



Σχήμα 7.3: Μεταβολή περιεκτικότητας Fe_2O_3 (%) σε σχέση με την περιεκτικότητα Cr_2O_3 (%) (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

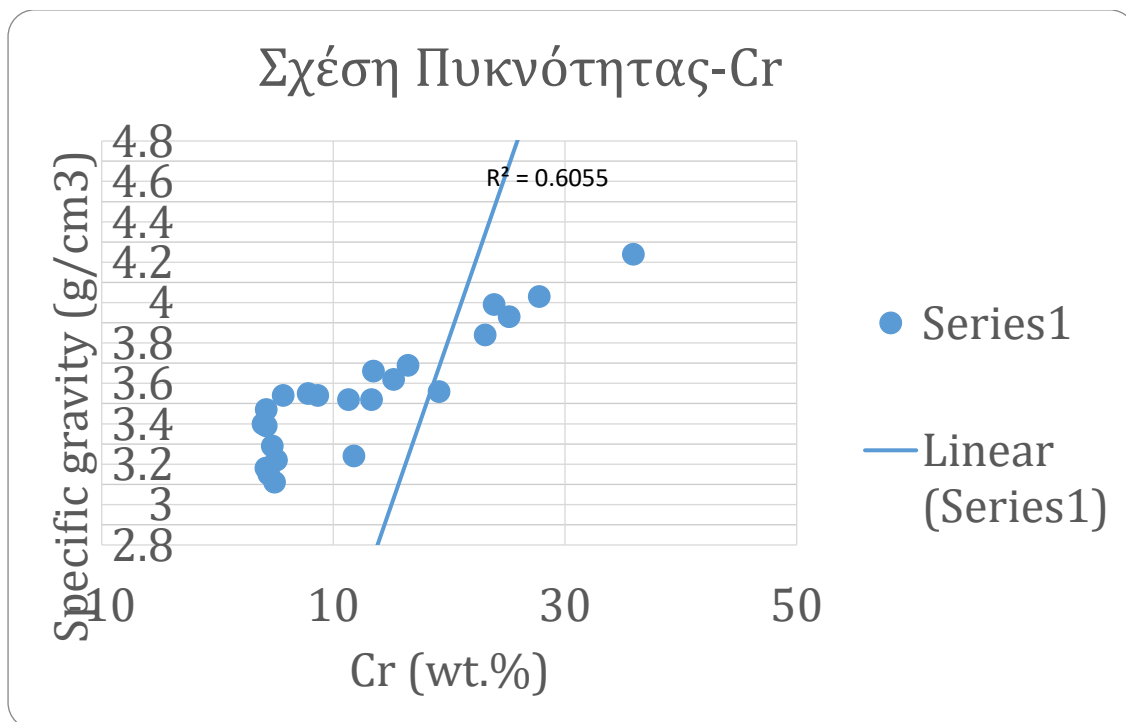


Σχήμα 7.4: Μεταβολή περιεκτικότητας Al_2O_3 σε σχέση με το Cr_2O_3 (%) (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).



Σχήμα

7.5: Μεταβολή της αναλογίας Cr/Fe ως προς την περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 (%) (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).



Σχήμα 7.6: Μεταβολή της πυκνότητας σε σχέση με την περιεκτικότητα σε Cr (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

Τα δείγματα που αναλύθηκαν στο εργαστήριο της εταιρίας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ» έχουν κωδικούς, το ένα R-002 (Σχ. 7.3.1), το οποίο ήταν δουνίτης με

μεταλλοφορία χρωμίτη τύπου Schlieren και διάσπαρτου ενώ το δεύτερο με κωδικό R-003 (Σχ. 7.3.2) ήταν χαρακτηριστικό δείγμα χρωμίτη antinodular δομής, δηλαδή χρωμίτης με κονδύλους δουνίτη.

Τα αποτελέσματα για το δείγμα με κωδικό R-002 (Σχ. 7.3.1) ήταν 8.74% Cr_2O_3 με την διαδικασία της τιτλοδότησης και 9.36% Cr_2O_3 σύμφωνα με την μέτρηση XRF.

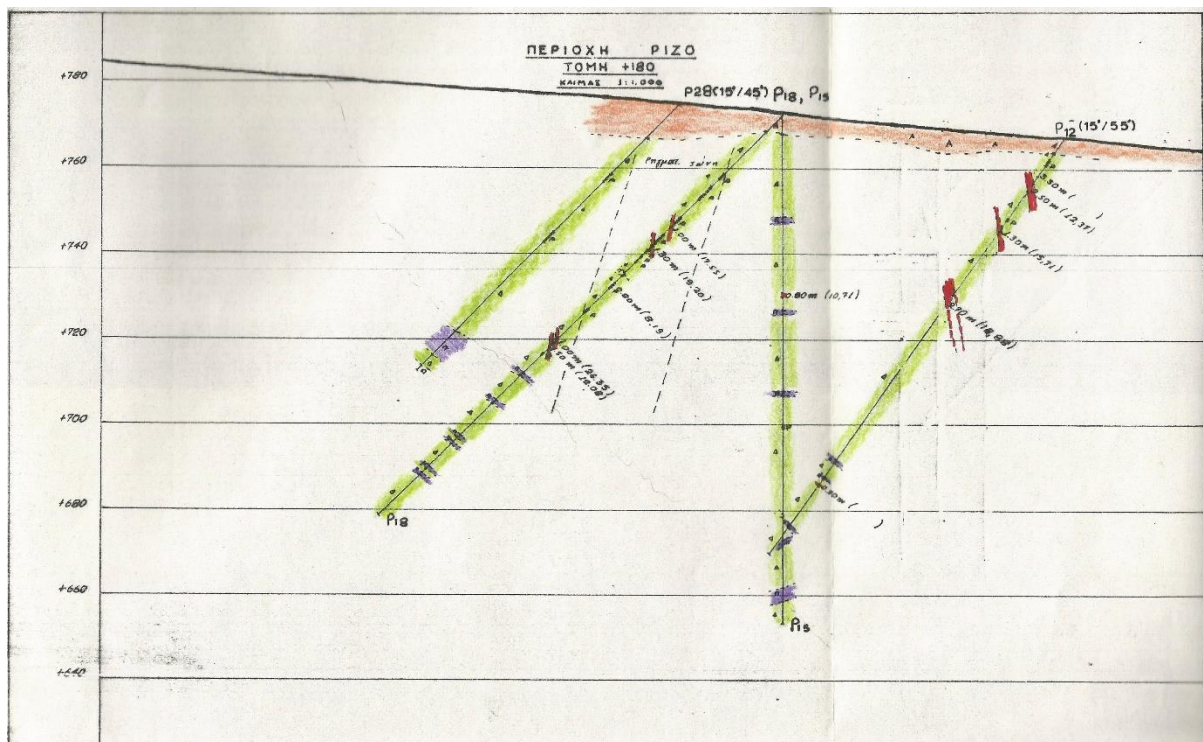


Εικόνα 7.3.2: Δείγμα χρωμίτη με κονδύλους δουνίτη (R-003) (ΕΛΛΗΜΕΤ 2019).

8. Συζήτηση

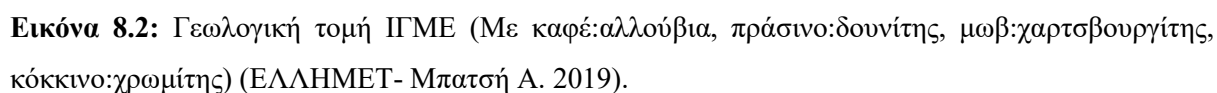
Η παρούσα μελέτη βασίζεται στα αποτελέσματα 11 γεωτρήσεων, που πραγματοποιήθηκαν στον δυτικό τομέα της περιοχής σε βάθη αντίστοιχα με παλαιότερες του ΙΓΜΕ και ολοκληρώθηκε στο διάστημα από 13 Ιουλίου έως 14 Οκτωβρίου 2018.

Όσον αφορά τη περιγραφή των γεωτρήσεων, παρατηρήθηκε αλληλουχία μεταξύ των στρωμάτων που συναντώνται στην περιοχή, δηλαδή δουνίτης, χαρτσβουργίτης και πυροξενίτης από μερικά εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Εκτός από τον εντοπισμό ίδιων πετρωμάτων ταυτίζονται και οι περιγραφές, αφού παρατηρείται αποσθρωμένος, φαιοκάστανος δουνίτης, κερματισμένος ο οποίος φέρει μεταλλοφορία χρωμίτη κυρίως διάσπαρτου και schlieren και παρουσία οπαλλίου στις περιοχές ρηγμάτων. Ο εντοπισμός της μεταλλοφορίας ταυτίζεται με προηγούμενες μελέτες αφού συναντάται σε αντίστοιχα υψόμετρα.



Εικόνα 8.1: Γεωλογική τομή γεωτρήσεων ΙΓΜΕ (Με καφέ:αλλούβια, πράσινο:δουνίτης, μωβ:χαρτσβουργίτης, κόκκινο:χρωμίτης) (ΕΛΛΗΜΕΤ- Μπατσή Α. 2019).

Οι γεωτρήσεις με τις οποίες συγκρίνονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας αφορούν έρευνα που πραγματοποίησε το ΙΓΜΕ για λογαριασμό του δημοσίου. Μπορεί να έγινε η δειγματοληψία ανατολικότερα όμως υπάρχει συσχετισμός των στρωμάτων. Στα πρώτα



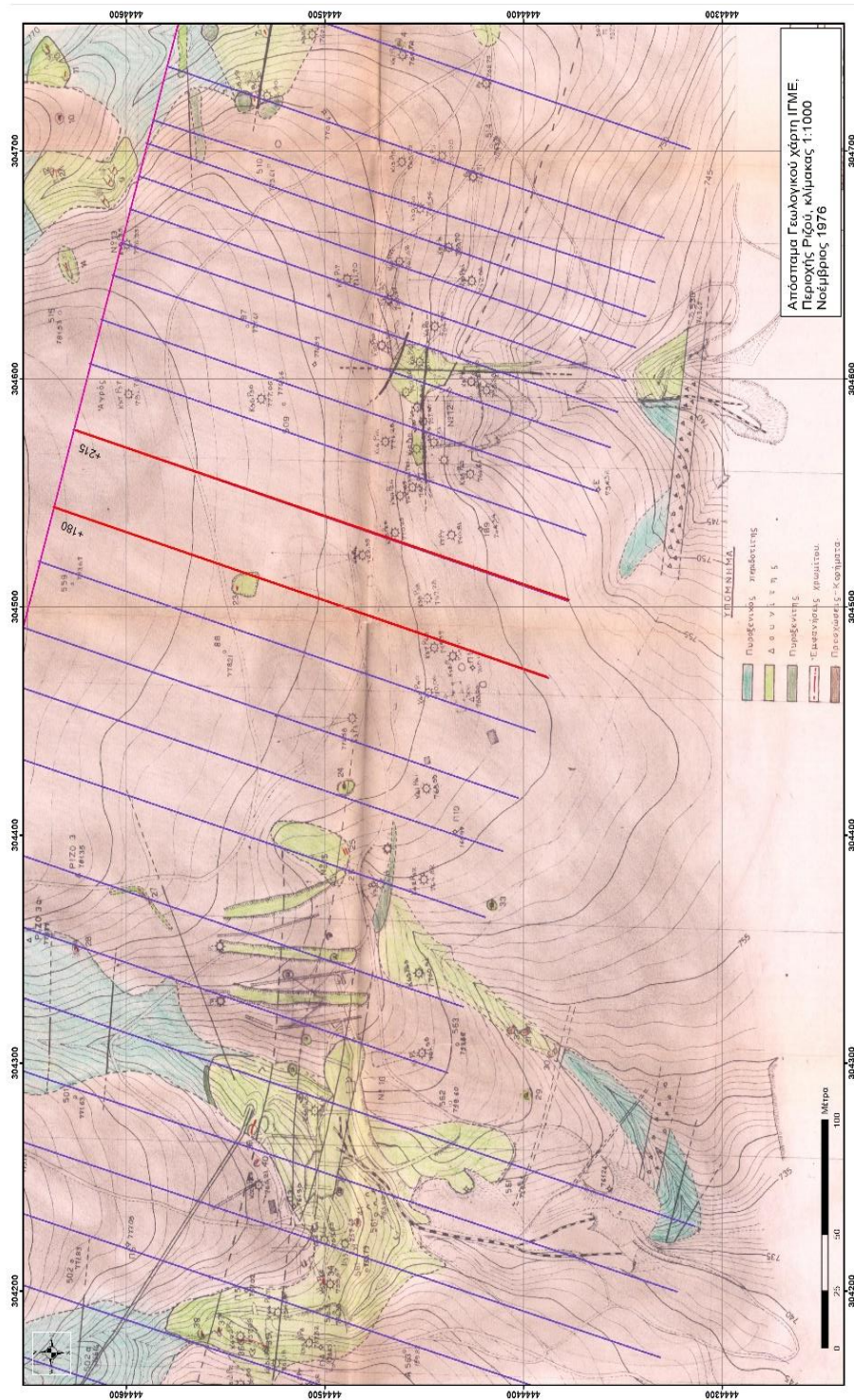
Επιπρόσθετα, η δράση της τεκτονικής λειτουργεί αρνητικά και κατά την διαδικασία εμπλουτισμού του μεταλλεύματος αφού ο δουνίτης έχει επηρεαστεί από αυτή ως προς την μορφή, την ποιότητα και την σκληρότητα. Η σερπεντινίωση του ολιβίνη τον έχει κάνει πιο σκληρό και βαρή με αποτέλεσμα να διαχωρίζεται δύσκολα από τον χρωμίτη.



Επειδή δεν είναι μεγάλος ο αριθμός των γεωτρήσεων είναι απαραίτητη η σύγκριση των αποτελεσμάτων με προηγούμενες μελέτες που έγιναν στην περιοχή αναζήτησης όπως επίσης

θα ήταν καλό να γίνουν επιπλέον έρευνες στην περιοχή με γεωτρήσεις μεγαλύτερου βάθους, ώστε να σχηματιστεί η εικόνα και σε βαθύτερα σημεία.

Με βάση τις τότε γεωτρήσεις κατασκευάστηκε και γεωλογικός χάρτης από το ΙΓΜΕ (Σχ. 8.3), ο οποίος περιλαμβάνει τους σχηματισμούς που εντοπίζονται στην περιοχή.



Εικόνα 8.3: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ (ΕΛΛΗΜΕΤ- Μπατσή Α. 20019)

9. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με όλες τις απαραίτητες εργασίες κατά τη διάρκεια της έρευνας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, η περιοχή είναι πλούσια χρωμίτη. Στην θέση αυτή δεν είναι τόσο εύκολος ο προσδιορισμός των αποθεμάτων λόγω των συνεχόμενων ρηγμάτων γι' αυτό και πιστεύεται πως είναι περισσότερα από τα υπολογιζόμενα. Στο Ριζό συναντώνται όλοι οι τύποι μεταλλοφορίας με κυρίαρχο τον ιστό Schlieren και τον διάσπαρτο, με αξιοσημείωτη διακύμανση της περιεκτικότητας σε Cr_2O_3 . Όπως φαίνεται και από τις τομές η μεταλλοφορία εντοπίζεται στα 740 μέτρα υψόμετρο περίπου με κάποιες επιπλέον εμφανίσεις έως και 640 (Σχ, 7.1.31-7.1.33) ενώ δεν είναι γνωστή για μεγαλύτερα βάθη λόγω έλλειψης πληροφοριών. Σημαντική παρατήρηση στην περιοχή αποτελεί το γεγονός ότι, εκτός από την τυπική εμφάνιση κονδύλων χρωμίτη μέσα στον δουνίτη παρατηρείται και το αντίθετο, δηλαδή κόνδυλοι δουνίτη μέσα σε αυτόν δημιουργώντας έναν τύπο "antinodular" δομής.

Όσον αφορά την χημική σύσταση αυτού, με βάση τα αποτελέσματα υπάρχει ένα ευρύ φάσμα δειγμάτων όσον αφορά την περιεκτικότητα σε χρωμίτη. Τα πετρώματα αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από MgO , κατά μέσο όρο 38.81% με ελάχιστη τιμή 15.47% και μέγιστη 47.68%. Το SiO_2 κυμαίνεται από 8.06 έως 72.07% κι έχει μέσο όρο 36.25%. Έπειτα, οι τιμές του Cr_2O_3 κυμαίνονται από ποσοστά μικρότερα της μονάδας έως και 52.50% περίπου, με τους χρωμιτίτες να διαθέτουν τις υψηλότερες τιμές. Παρατηρείται ότι όσο πιο διάσπαρτοι και αραιοί είναι οι κόκκοι χρωμίτη μέσα στο πέτρωμα, τόσο μικρότερη είναι η περιεκτικότητά τους σε Cr_2O_3 , αφού το αποτέλεσμα δεν υπερβαίνει το 7.5%. Ακολουθώντας, στον φρέσκο δουνίτη η περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 είναι πολύ μικρή όπως επίσης και στα εξαλλοιωμένα δείγματα αποτελούμενα από πυροξενικές φλέβες. Γενικά ο μέσος όρος σε Cr_2O_3 και των 57 δειγμάτων που αναλύθηκαν είναι 8.15% αφού η ελάχιστη τιμή είναι 0.34% και η μέγιστη 52.43%. Επίσης, τα δείγματα από το Ριζό περιέχουν σχετικά υψηλά ποσοστά Fe_2O_3 αφού η τιμή του κυμαίνεται από 4.41 έως 16.01% με μέσο όρο 9.804902%. Παράλληλα, το Al_2O_3 έχει μικρότερη συγκέντρωση σε σχέση με τα υπόλοιπα, αφού οι τιμές του έχουν εύρος από 0.04 έως 7.39% και μέσο όρο 1.25%.

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι, όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 μειώνεται η περιεκτικότητα σε SiO_2 και MgO . Αντίθετα, αυξητικές τάσεις παρουσιάζονται στα στοιχεία Fe_2O_3 και Al_2O_3 καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 , η αναλογία Fe/Cr αυξάνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε Cr_2O_3 (%). Και τέλος, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε χρώμιο ($\text{Cr Wt \%}$) αυξάνεται και το ειδικό βάρος του μεταλλεύματος.

10. Βιβλιογραφία

- Anonymous (1972) Penrose Field Conference on ophiolites. *Geotimes* 17: 24-25
- Apostolidis G, Mastoris K and Vgenopoulos A (1980) Exploration of the Xerolivado Chromite Deposits and their chemical, mineralogical and physical properties. In: An Intern. Symposium on Metallogeny of Mafic and Ultramafic Complexes. UNESCO, Athens
- Aubouin J (1965) Geosynclines. Development in geotectonics 1. Elsevier, pp 335
- Ayrton S (1968) Structures isoclinales dans les peridotites du Mont Vourinos (Macedoine Grecque) un exemple de deformation de roches ultrabasics. *Bull. Suisse Minerol. Petrol.*, 48: 734-750
- Barth MG and Gluhak TM (2009) Geochemistry and tectonic setting of mafic rocks from the Othris Ophiolite, Greece. *Contrib Miner Petrol* 157(1): 23-40
- Barth MG, Mason, PRD, Davies GR and Drury MR (2008) The Othris Ophiolite, Greece: A snapshot of subduction initiation at a mid-ocean ridge. *Lithos* 100: 234-254
- Baumgarnter PO (1985) Jurassic sedimentary evolution and nappe emplacement in the Argolis peninsula (Peloponessus, Greece). *Mem Soc Helv Sci Nat* 99: 111
- Beccaluva L, Ohnenstetter D, Ohnenstetter M and Paupy A (1984) Two magmatic series with island arc affinities within the Vourinos ophiolite. *Contrib Mineral Petrol* 85: 253-271
- Bortolotti V, Chiari M and Marcucci M (2004) Comparison among the Albanian and Greek ophiolites: in search of constraints for the evolution of the Mesozoic Tethys Ocean. *Ophiol.*, 29: 19-35
- Bortolotti V, Carras N, Chiari M, Fazzuoli M, Marcucci M, Photiades A and Principi G (2002) New geological observations and biostratigraphic data on the Argolis Peninsula: Palaeogeographic and geodynamic implications. *Ophiol.* 27(1): 43-46
- Bortolotti V, Carras N, Chiari M, Fazzuoli M, Marcucci M, Photiades A. and Principi G (2003) The Argolis peninsula in the paleogeographic and geodynamic frame of the Hellenides. *Ophiol.* 28(2): 79-94
- Bortolotti V, Dalpiaz GV and Passerini P (1969) Ricerche sulle Ophiol. delle catene alpine 5. Nuove osservazioni sul massiccio del Vourinos (Grecia). *Boll. Soc. Geol. Italiana*, 88: 35-45
- Bowen NL (1927) *The Evolution of Igneous Rocks*: Princeton University Press
- Brongniart A (1813) Essai de classification minéralogique des roches mélanges: *Journal des Mines*, v. XXXIV:190-199
- Brongniart A (1827) Classification et caractères minéralogiques des roches homogènes et hétérogènes. F.G. Levrault
- Brunn JH (1956) Contribution a l'étude géologique du Pinde septentrional et d'une partie de la Macédoine occidentale. *Ann. Geol. Pays Hellen.* 7: 1-358
- Capedri S, Lekkas E, Papanikolaou D, Scarpelis N, Venturelli G and Gallo J (1985) The ophiolite of the Koziakas range, Western Thessaly (Greece). *N Jb Miner Abh* 152: 45-64
- Capedri S, Venturelli G and Toscani L (1982) Petrology of an ophiolitic cumulate sequence from Pindos, Greece. *Geol J* 17: 223-242
- Capedri S, Venturelli G, Bebien J and Toscani L (1981) Low and high Ti ophiolites in northern Pindos: petrological and geological constraints. *Bull* 44: 439-449
- Capedri S, Venturelli G, Bocchi G, Dostal J, Garutti G and Rossi A (1980) The geochemistry and petrogenesis of an ophiolite sequence from Pindos, Greece. *Contrib Mineral Petrol* 74: 189-200

- Celet P (1962) Contribution à l' étude géologique du Parnasse-Kiona et d' une partie des régions méridionales de la Grèce continentale. *Ann Geol Pays Hell* 13: 1-446
- Chiari M, Bortolotti V, Marcucci M, Photiades A and Principi G (2003) The Middle Jurassic siliceous sedimentary cover at the top of Vourinos ophiolite (Greece). *Ophiol.* 28: 95-104
- Christiansen FG and Roberts S (1986) Formation of olivine pseudo-crescumulates by syntectonic axial planar growth during mantle deformation. *Geological Magazine* 123(01): 73
- Clift PD and Dixon JE (1998) Jurassic ridge collapse, subduction initiation and ophiolite obduction in the southern Greek Tethys. *Eclogae geol Helv* 91: 128-138
- Danelian T and Robertson AHF (2001) Neotethyan evolution of eastern Greece (Pagondas Mélange, Evia island) inferred from radiolarian biostratigraphy and the geochemistry of associated extrusive rocks. *Geol Mag* 138(3): 345-363
- De Bono A (1998) Pelagonian margins in central Evia island (Greece). Stratigraphy and geodynamic evolution. Thèse de doctorat, Université de Lausanne, pp 114
- Dijkstra AH, Drur MR and Vissers RLM (2001) Structural Petrology of Plagioclase Peridotites in the West Othris Mountains (Greece): Melt Impregnation in Mantle Lithosphere. *Journal of Petrology* 42: 5-24
- Dilek and Robinson PT (eds) (2003) Ophiolites in Earth History Geological Society of London Special Publication 218, pp 717
- Dilek Y (2003) Ophiolite concept and its evolution, in Dilek Y and Newcomb S, (eds) Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought Geological Society of America Special Paper 373, pp 1-16
- Dilek Y and Ahmed Z (2003) Proterozoic ophiolites of the Arabian Shield and their significance in Precambrian tec-tonics, in Dilek Y and Robinson PT (eds) Ophiolites in Earth Histor: Geological Society, London, Special Publications 218, pp 685-700
- Dilek Y and Newcomb S (2003) Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought Geological Society of America Special Paper 373, pp 504
- Dilek Y, Flower MFJ (2003) Arc–Trench Rollback and forearc accretion: A model template for ophiolites in Albania, Cyprus, and Oman. *Geol Soc London Spec Publ* 218: 43–68
- Dilek Y, Furnes H, & Shallo M (2008) Geochemistry of the Jurassic Mirdita Ophiolite (Albania) and the MORB to SSZ evolution of a marginal basin oceanic crust. *Lithos*, 100(1-4): 174–209. doi:10.1016/j.lithos.2007.06.026
- Dilek Y, Moores, EM, Elthon D and Nicolas A (eds) (2000) Ophiolites and Oceanic Crust: New Insights from Field Studies and the Ocean Drilling Program: Geological Society of America Special Paper 349, pp 552
- Dixon J E and Dimitriadis S (1984) Metamorphosed ophiolitic rocks from the Serbomacedonian Massif, near Lake Volvi, Northeast Greece, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. *Geol. Soc. Lond., Spec. Pubi.*, 17: 603-618
- Dostal J, Toscani L, Photiades A and Capedri S (1991) Geochemistry and petrogenesis of Tethyan ophiolites from northern Argolis (Peloponnesus, Greece). *Enr J Mineral* 3: 105-121
- Economou EM and Naldrett Aj (1984) Sulfides associated with podiform bodies of chromite at Tsagli, Eretria, Greece. *Mineral Depos* 19: 289-297
- Economou EM, Dimou E, Economou G, Migiros G, Vacondios I, Grivas E, Rassios A and Dabitzias S (1986) Chromite deposits of Greece. Chromites UNESCO'S I.G.C.P.-197 Project "Metallogeny of Ophiolites", Editorial board Prof. Petrascheck et al Theophrastus Publications SA: 129-159
- Economou M (1983) Platinum-group metals in chromite ores from the Vourinos ophiolite complex, Greece *Ophiol.* 8(3): 339-356

- Ferriere J (1982) Paleogeographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grece septentrional). Thèse, sciences Univ. Lille- Soc. Géol. Nord. Publ. 8, pp 970
- Gartzos E, Migiros G and Parcharidis I (1990) Chromites from ultramafic rocks of northern Evia (Greece) and their geotectonic significance. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 70: 301-307
- Ghikas C, Dilek Y and Rassios A (2010) Structure and tectonics of subophiolitic melanges in the western Hellenides (Greece): implications for ophiolite emplacement tectonics. *Inter. Geol. Rev.*, 52(4–6): 423-453
- Grieco G, Bussolesi M, Tzamos E, Rassios AE, Kapsiotis A (2018) Processes of primary and re-equilibration mineralization affecting chromitite ore geochemistry within the Vourinos ultramafic sequence, Vourinos ophiolite (West Macedonia, Greece). *Ore Geol. Reviews* 95: 537-551
- Haenel-Remy S and Bebie J (1985) The Oreokastro ophiolite (Greek Macedonia). An important component of the innermost Hellenic Ophiolite Belt. *Ofiol.* 10, 279-296
- Haenel-Remy S and Bebie J (1987) Basaltes et dolérites riches en magnésium dans l'association ignée de Guévégeli (Macédoine grecque): les témoins d'une évolution depuis des tholéiites abyssales jusqu'à des basaltes continentaux? *Ofiol.* 12, 91-106
- Harkins ME, Green HW and Moores EM (1980) Multiple intrusive events documented from the Vourinos complex, Northern Greece. *Amer. J. Sci.*, 280A: 284-295
- Hatzipanagiotou K (1988) Eindindung der obersten einheit von Rodos, und Karpathos (Griechenland) in den alpidischen ophiolith-gurtel. *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.* 176(3): 395-422
- Hatzipanagiotou K (1990) Petrography of the ophiolite complex in central Argolis (Peloponnesus, Greece). *Ofiol.* 15: 61-77
- Hatzipanagiotou K and Pe-Piper G (1995) Ophiolitic and sub-ophilitic metamorphic rocks of the Vatera area, southern Lesbos, Greece: geochemistry and geochronology. *Ofiol.* 20: 17-29
- Hess HH (1955) *Serpentinities, Orogeny, and Epiorogeny*: Geological Society of America Special paper 62, pp 391-407
- Hess HH (1962) History of ocean basins. In: Engel AEJ, James HL and Leonard BF (eds) *Petrologic Studies: A volume in honor of A.F. Buddington*, Geological Society of America, pp 599-620
- Hess HH (1965) Mid-ocean ridges and tectonics of the sea floor, in *Proceedings 17th Symposium Colston Resource Society*. University of Bristol, London, Butterworths, pp 317-333
- Hoeck V, Koller F, Meisel T, Onuzi K, Kneringer E, (2002) The Jurassic South Albanian ophiolites: MOR- vs. SSZ-type ophiolites. *Lithos* 65: 143–164
- Jackson ED, Green HW and Moores EM (1975) The Vourinos ophiolite, Greece: cyclic unit of lineated cumulates overlying harzburgite tectonite. *Geol. Soc. America Bull.* 86: 390-398
- Jones G and Robertson AHF (1991) Tectono-stratigraphy and evolution of the Mesozoic Pindos ophiolite and related units northwestern Greece. *J. Geol. Soc.*: 148, 267-288
- Jones G, Robertson AHF and Cann, JR (1991) Genesis and emplacement of the suprasubduction zone Pindos ophiolite, northwestern Greece. In: Peters TJ et al (eds) *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*: 771-799
- Juteau T (2003) Identification of a mantle unit in ophiolites: A major step in the evolution of the ophiolite concept. In: Dilek Y and Newcomb S (eds) *Ophiolite Concept and the*

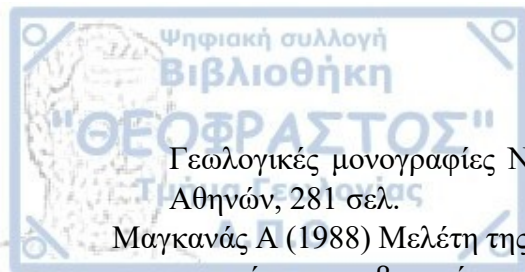
- Evolution of Geological Thought: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 373, pp 31-53
- Kapsiotis A (2013) Origin of mantle peridotites from the Vourinos Ophiolite Complex, Greece, as deduced from Cr-spinel morphological and chemical variations J. Geosci., 58:221-235
- Kapsiotis A (2014a) Alteration of chromitites from Voidolakkos and Xerolivado mines, Vourinos ophiolite complex, Greece: implications for deformation-induced metamorphism. Geol. J. 50(6): 739-763
- Karipi S, Tsikouras B, Hatzipanagiotou K, Tassos A and Grammatikopoulos (2007) Petrogenetic significance of spinel-group minerals from the ultramafic rocks of the Iti and Kallidromon ophiolites (Central Greece). Lithos 99: 136-149
- Karipi S, Tsikouras S and Hatzipanagiotou K (2006) The petrogenesis and tectonic setting of ultramafic rocks from Iti and Kallidromon mountains, continental Greece: Vestiges of the Pindos Ocean. Can. Mineral., 44: 267-287
- Koepke J, Seidel E and Kreuzer H (2002) Ophiolites on the Southern Aegean islands Crete, Karpathos and Rhodes: composition, geochronology and position within the ophiolite belts of the Eastern Mediterranean. Lithos, 65: 183-203
- Koglin N, Kostopoulos D and Reischmann T (2009) The Lesvos mafic-ultramafic complex, Greece: ophiolite or incipient rift? Lithos 108: 243-261
- Koller F, Hoeck V, Meisel T, Ionescu C, Onuzi K, and Ghega D (2006) Cumulates and gabbros in southern Albanian ophiolites: their bearing on regional tectonic setting: In Robertson A and Mountrakis D (eds) Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region: Geological Society, London: Special Publication, v. 260, pp 267-299
- Konstantopoulou G and Economou-Eliopoulos M (1990) Geochemistry of the Vourinos chromite ores, Greece. In: Malpas J, Moores E, Panayiotou A and Xenophontos C (eds) Ophiolites, Oceanic Crustal Analogues. Proc. Symp. "Troodos 1987": 605-613
- Kostopoulos DK (1988) Geochemistry, Petrogenesis and Tectonic Setting of the Pindos Ophiolite, NW Greece.- Ph.D. Thesis, Univ. Newcastle, pp 468
- Liatì A, Gebauer D and Fanning CM (2004) The age of ophiolitic rocks of the Hellenides (Vourinos, Pindos, Crete): first U-Pb ion microprobe (SHRIMP) zircon ages. Chem. Geol. 207(3-4): 171-188
- Lotti B (1886) "Paragone fra le rocce ofiolitiche terziarie italiane e le rocce basiche pure terziarie della Scozia e dell'Irlanda, a proposito di due recenti pubblicazioni di J.W. Judd," in Bollettino del Reale Comitato Geologico d'Italia 17, pp 73-86
- Magganas A (2002) Constraints on the petrogenesis of Evros ophiolite extrusives, NE Greece. Lithos 65: 165-182
- Magganas A, Sideris C and Kokkinakis A (1991) Marginal basin-volcanic arc origin of the metabasic rocks of the Circum-Rhodope belt, Thrace, Greece. Mineral. Petrol. 44: 235-252
- Matveev S and Ballhaus C (2002) Role of water in the origin of podiform chromitite deposits. Earth Planet. Sci. Let., 203: 235-243
- Mavrides A, Skourtsis-Coroneou V and Tsaila-Monopolis S (1979) Contribution to the Geology of the Subpelagonian Zone (Vourinos area, West Macedonia). In: 6th Colloquium on the Geology of the Aegean Region. Institute of Geological and Mineral Exploration, Athens: 175-195
- Migiros G and Economou M (1988) Chromites in the ultrabasic rocks East Thessaly complex (central Greece). Ophiol. 7: 397-406

- Migiros G, Hatzipanagiotou K, Gartzos E, Serelis K and Tsikouras V (2000) Petrogenetic evolution of ultramafic rocks from Lesbos Island (NE Aegean, Greece). *Chem. Erde* 60: 27-46
- Mitropoulos P, Kalogeropoulos SI and Baltatzis E (1987) Geochemical characteristics of ophiolitic rocks from Iti, Central Greece. *Ofiol.* 12(1): 37-42
- Moore EM (1969a) Petrology and structure of the Vourinos ophiolite complex, Northern Greece. *Geological society of America, Special paper* 118: 1-74
- Moore EM (1969b) The Troodos, Cyprus and Vourinos, Greece, ultramafic complexes, and an evaluation of ophiolites as ocean floor slices. *The Royal Society of London*: 12-14
- Moore EM (1982) "Origin and emplacement of ophiolites," *Rev. Geoph. Sp. Phys.* 20, pp 735-760
- Moore EM (1986) The Proterozoic ophiolite problem, continental emergence, and the Venus connection: *Science*, v. 234, pp 65-68
- Moore EM (2002) Pre- 1 Ga (pre-Rodinian) ophiolites: their tectonic and environmental implications: *Geological Society of America Bulletin* v. 114, pp 80-95
- Moore EM and Vine FJ (1971) Troodos Massif, Cyprus and other ophiolites as oceanic crust: evaluation and implications: *Royal Society of London Philosophical Transactions series A*, v. 208, pp 443-466
- Moore EM, Robinson PT, Malpas J, and Xenophontos C (1984) Model for the origin of the Troodos Massif, Cyprus, and other Mideast ophiolites: *Geology*, v. 12, pp 500-503
- Mountrakis D (1982) Emplacement of the Kastoria ophiolite on the western edge of the Internal Hellenides. *Ofiol* 7: 397-406
- Mountrakis D (1984) Structural evolution of the Pelagonian Zone in Northwestern Macedonia, Greece. In *Special Publications of the Geological Society No. 17, The geological evolution of the eastern Mediterranean*, Oxford, Blackwell Scientific Publications: 581-590
- Mountrakis D (1986) The Pelagonian zone in Greece: a polyphased deformed fragment of the Cimmerian continent and its role in the geological evolution of the eastern Mediterranean. *J Geol* 94: 335-347
- Mussallam K (1991) Geology, geochemistry and the evolution of an oceanic lithosphere rift at Sithonia, NE Greece. In: Peters TJ et al (eds) *Ophiolite Genesis and Evolution of the Oceanic Lithosphere*: 685-704
- Mussallam K and Jung D (1986) Petrology and geotectonic significance of sialic rocks preceding ophiolites in the eastern Vardar Zone, Greece: *Tschermak's Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 35: 217-242
- Naylor MA and Harle TJ (1976) Palaeogeographic significance of rocks and structures beneath the Vourinos ophiolite, northern Greece. *Journal of the Geological Society, London*, 132: 667-675
- Papanikolaou D (2009) Timing of tectonic emplacement of the ophiolites and terrane paleogeography in the Hellenides. *Lithos*, 108: 262-280
- Pe-Piper G and Piper DJ (1991) Early Mesozoic oceanic subduction-related volcanic rocks, Pindos basin Greece. *Tectonophysics* 192: 273-292
- Pichon JF and Lys M (1976) Sur l'existence d'une série du Jurassique supérieur à Crétacé inférieur, surmontant les ophiolites, dans les collines de Krapa (Massif du Vourinos, Grèce). *Comptes Rendus de l'Academie de Sciences (Série D)*, 282, 52352

- Pomonis P, Tsikouras B and Hatzipanagiotou K (2002) Origin, evolution and radiometric dating of sub-ophiolitic metamorphic rocks from the Koziakas ophiolite (W.Thessaly, Greece). *N Jb Miner Abh* 177: 255-276
- Pomonis P, Tsikouras B and Hatzipanagiotou K (2004) Comparative geochemical study of the Triassic trachyandesites of Glykomilia and alkalibasalts from the Koziakas ophiolite mélange (W. Thessaly): implications for their origin. 10th G.S.G. Congress, Thessaloniki 2004, *Bull. Geol. Soc. Greece* 36: 587-596
- Pomonis P, Tsikouras B, Karipi S and Hatzipanagiotou K (2008) Rodingite formation in ultramafic rocks from the Koziakas ophiolite, Western Thessaly, Greece: Conditions of metasomatic alteration, geochemical exchanges and TX(CO₂) evolution path. *Canad. Mineral* 46: 569-581
- Prichard H, Economou-Eliopoulos M and Fisher P (2008) Constrasting platinumgroup mineral assemblages from two different podiform chromitite localities in the Pindos ophiolite complex, Greece. *The Canadian Mineralogist*, 46, pp 329-341
- Rassios A (1981) Geology and evolution of the Vourinos complex, northern Greece. PhD Thesis, University of California (Davis), pp. 499
- Rassios A (1991) Internal structure and pseudostratigraphy of the Dramala peridotite massif. Pindos mountains, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece* 25/1: 293-305
- Rassios A and Dilek Y (2009) Rotational deformation in the Jurassic Mesohellenic ophiolites, Greece, and its tectonic significance. *Lithos* 108: 207-223
- Rassios A and Konstantopoulou G (1993) Emplacement tectonism and the position of chrome ores in the Mega Isoma peridotites, SW Othris, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece* 28(2): 463-474
- Rassios A and Kostopoulos D (1990) The geochemistry of dunite and its relation to the position of chromitites in the Vourinos ophiolite complex, Greece. In: *Ophiolites: Oceanic crustal analogues; Proccedings of the symposium "Troodos '87"* (eds) Malpas J, Moores EM, Panayiotou A and Xenophontos C.), Nicosia, Cyprus, 593-604
- Rassios A and Smith AG (2000) Constraints on the formation and emplacement age of western Greek ophiolites (Vourinos, Pindos, and Othris) inferred from deformation structures in peridotites. *Geol. Soc. Amer. Sp. Pap* 349: 473-483
- Rassios A, Beccaluva L, Bortolotti V, Mavrides A and Moores EM (1983b) The Vourinos ophiolitic complex: a field excursion guidebook. *Ofiol.* 8: 275-292
- Rassios A, Grivas E and Vacondios I (1999) The structural–geochemical– metallogenetic unification of the Pindos and Vourinos ophiolites. *Journal of Conference Abstracts*, 4: 407
- Rassios AHE and Moores EM (2006) Heterogeneous mantle complex, crustal processes, and obduction kinematics in a unified Pindos-Vourinos ophiolitic slab (northern Greece). *Geological Society, London, Special Publications*, 260: 237-266
- Rassios A, Moores EM and Green HW (1983) Magmatic structure and stratigraphy of the Vourinos ophiolite cumulate zone. *Ofiol.* 8(3): 377-410
- Robertson A, Karamata S (1994) The role of subduction–accretion processes in the tectonic evolution of the Mesozoic Tethys in Serbia. *Tectonophysics* 234:73–94
- Robertson AHF (1990) Late Cretaceous oceanic crust and Early Tertiary foreland basin development, Euboea, Eastern Greece. *Terra Nova* 2: 333-339
- Robertson AHF (1991) Origin and emplacement of an inferred late Jurassic subduction accretion complex, Euboea, eastern Greece. *Geol. Mag.* 128: 27-41

- Robertson AHF (1994) Role of the tectonic fades concept in orogenic analysis and its application to Tethys in the Eastern Mediterranean region. *Earth Sci. Rev.*, 37: 139-213
- Robertson AHF and Dixon JE (1984) Introduction aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (eds), *The geological evolution of the Eastern Mediterranean*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 17: 1-73
- Robertson AHF, Mountrakis D (eds) (2006) *Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region*. Special Publication of the Geological Society, London, 260, pp. 717
- Ross JV and Zimmerman J (1996) Comparison of evolution and tectonic significance of the Pindos and Vourinos ophiolite suites, northern Greece. *Tectonophysics*, 256: 1-15
- Saccani E and Photiades A (2004) Mid-ocean ridge and supra-subduction affinities in the Pindos ophiolites (Greece): Implications for magma genesis in a forearc setting. *Lithos* 73: 229-253
- Saccani E, Photiades A, Santato A and Zeda O (2008) New evidence for suprasubduction zone ophiolites in the Vardar zone of northern Greece: Implications for the tectono-magmatic evolution of the Vardar oceanic basin. *Ofiol.* 33 (1): 65-85
- Saric V, Cvetkovic V, Romer L, Christofides G and Koroneos A (2009) Granitoids associated with East Vardar ophiolites (Serbia, F.Y.R. of Macedonia and northern Greece): origin, evolution and geodynamic significance inferred from major and trace element data and Sr-Nd-Pb isotopes. *Lithos* 108: 131-150
- Simantov J and Bertrand J (1987) Major and trace element geochemistry of the central Euboea basaltic rocks (Greece). Possible geotectonic implications. *Ofioliti* 12: 201-218
- Smith AG & Rassios A (2003) The evolution of ideas for the origin and emplacement of the western Hellenic ophiolites. *Special Paper 373: Ophiolite Concept and the Evolution of Geological Thought*: 337–350. doi:10.1130/0-8137-2373-6.337
- Smith AG (1979) Othris, Pindos and Vourinos ophiolites and the Pelagonian zone. In: 6th Colloquium on the Geology of the Aegean region (Vol. 3). Institute of Geological and Mining Research, Athens, Greece: 1369-1374
- Smith AG (1993) Tectonic significance of the Hellenic-Dinaric ophiolites. In: Prichard HM, Alabaster T, Harris NBW and Neary CR (eds) *Magmatic Processes and Plate Tectonics*, Geological Society, London, Special Publications 76: 213-243
- Smith AG and Spray JG (1984) A half-ridge transform model for the HellenicDinaric ophiolites. In: Dixon JE and Robertson AHF (eds): *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society of London, Special Publications, 17: 629-644
- Smith AG, Hynes AJ, Menzies M, Nisbet EG, Price I, Welland MJ and Ferriere J (1975) The stratigraphy of the Othris Mountains, eastern central Greece: a deformed Mesozoic continental margin sequence. *Eclog. Geol. Helv* 68: 463-481
- Spray JG and Roddick JC (1980) Petrology and ⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronology of Some Hellenic Sub-Ophiolite Metamorphic Rocks. *Contrib. Mineral. Petrol* 72, 4355
- Steinmann G (1905) *Geologische Beobachtungen in den Alpen, II. Die Schardtsche Ueberfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolithischen Massengesteine*: Ber. Naturf. Ges. Freiburg (im breisgau): 16
- Steinmann G (1927) Die ophiolitischen Zonen in den mediterranen Kettengebirgen: *Comptendu XIVe Congrès géologique international 1926 Madrid*, Graficas Reunidas, v. 2, pp 637-667
- Suess E (1909) *The face of the earth*, v.2, part 3, *The Sea*: Oxford Clarendon

- Tsikouras B and Hatzipanagiotou K (1998) Two alternative solutions for the development of a marginal basin in NE Greece. *Ofiol.* 23(2): 83-92
- Tzamos E, Filippidis A, Rassios A, Grieco G, Michailidis K., Koroneos A, Stamoulis K, Pedrotti M, Gamaletsos P N (2016) Major and minor element geochemistry of chromite from the Xerolivado-skoumtsa mine, Southern Vourinos: Implications for chrome ore exploration. *Jour. Geo. Exp.*, 165: 81-93
- Wigniolle E (1977a): Contribution à l' étude géologique du massif de l' Iti (Grèce continentale). Thèse 3e cycle, Univ.Lille, pp 239
- Wigniolle E (1977b): Données nouvelles sur la géologie du massif de l' Iti (Grèce continentale). *Ann. Soc. Géol. Nord* 47(3): 239-251
- Zachariadis P (2007) Ophiolites of the eastern Vardar Zone. PhD Thesis, University of Mainz, pp 131
- Zachos K (1969) The chromite mineralization of the Vourinos ophiolite complex, Greece. *Econ. Geol. Mon.* 4: 147-153
- Zachos K (1964) Chromite exploration in Greece. In: Wilson R (eds), *Methods of prospection for chromite*. O.E.G.D., Paris: 55-59
- Zimmerman J (1972) Emplacement of the Vourinos ophiolitic complex, Northern Greece. *Geol. Soc. Am., Memoir*, 132: 225-239
- Αρχαικό υλικό πολιτιστικού συλλόγου Χρωμίου Κοζάνης
- Αρχαικό υλικό της εταιρείας «ΕΛΛΗΜΕΤ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ Α.Ε.»
- Βακόνδιος Ι (1997) Μελέτη της μεταλλοφορίας χρωμίτη της συνδεδεμένης με οφιόλιθους τύπου Ανατολικής και Δυτικής Μεσογείου. Οι χρωμίτες της Τήνου και των Γερανιών. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 140 σελ.
- Βραχάτης Γ και Γρίβας Η (1980) Επί της γεωλογικής-κοιτασματολογικής χαρτογραφήσεως 1:10.000 περιοχής Βουρίνου Φλάμπουρου Κοζάνης. Αδημοσίευτη έκθ., Ι.Γ.Μ.Ε., 80 σελ.
- Ζάχος Κ (1954) Χρωμιτικά κοιτάσματα της περιοχής Βούρινου (Κοζάνης). Αδημοσίευτη έκθ. Ι.Γ.Μ.Ε., 82 σελ.
- Καρίπη Σ (2004) Οι οφιολιθικές εμφανίσεις της Οίτης και του Καλλιδρόμου, Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πατρών, 329 σελ.
- Κασιώτης Α (2008) Κοιτασματογένεση πλατινοειδών ορυκτών και χρωμιτών συνδεόμενων με την πετρογενετική εξέλιξη των οφιολιθικών συμπλεγμάτων Βούρινου και Πίνδου. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 718 σελ.
- Κόζιακα (Δυτική Θεσσαλία). Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών, Γεωλογικές μονογραφίες Νο 1, Τομέας Δυν. Τεκτ. Εφαρμ. Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών, 281 σελ.
- Κοκκαλιάρη Μ (2015) Ορυκτοχημική μελέτη χρωμιτών, εγκλεισμάτων πλατινοειδών και άλλων μεταλλικών φάσεων καθώς και των πρωτολίθων-ξενιστών τους, εις το οφιολιθικό σύμπλεγμα της νήσου Τήνου. Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών, 237 σελ.
- Κουτσοβίτης Π (1990) Πετρολογική και Ορυκτολογική μελέτη οφιολιθικών πετρωμάτων στην περιοχή της Ανατολικής Όθρυος. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών, 535 σελ.
- Κωνσταντοπούλου ΠΓ (1990) Κατανομή των στοιχείων της ομάδας του λευκόχρυσου (PGE) και του χρυσού σε χρωμιτικά μεταλλεύματα και πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 262 σελ.
- Λέκκας Ε (1988) Γεωλογική δομή και γεωδυναμική εξέλιξη της οροσειράς του Κόζιακα (Δυτική Θεσσαλία). Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών,



- Γεωλογικές μονογραφίες Νο 1, Τομέας Δυν. Τεκτ. Εφάρμ. Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών, 281 σελ.
- Μαγκανάς Α (1988) Μελέτη της ορυκτολογίας, πετρολογίας, γεωχημείας και των φαινομένων μεταμόρφωσης βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων της Περιοδοπικής ζώνης, στην περιοχή της Θράκης. Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Αθηνών, 332σελ.
- Μιγκίρος Γ (1990) Η λιθοστρωματογραφική-τεκτονική δομή της Όθρυος (κεντρική Ελλάδα). Δελτ. Ελλ Γεωλ. Εταιρ. 26, 107-120 σελ.
- Μπαντή Α (2002) Κοιτασματολογική μελέτη των χρωμιτών της περιοχής Έδεσσας. Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 460 σελ.
- Πομώνης Π (2003) Οι οφιόλιθοι του Όρους Κόζιακα. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιων Πατρών, 328 σελ.
- Τσικούρας Β (1992) Οι οφιόλιθοι της Νήσου Σαμοθράκης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 435 σελ.

Ηλεκτρονικές πηγές

Scienccedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/chromite

https://www.hellenicmines.com/?page_id=595

[http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/D4F6D611A08F6287C2257EC2001E205C/\\$file/geotrisis.pdf](http://www.mlsi.gov.cy/mlsi/dli/dliup.nsf/D4F6D611A08F6287C2257EC2001E205C/$file/geotrisis.pdf)

<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg875e/assets/1o-mathima-deigmatoleiptikes-geotriseis-2011.pdf>