



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΛΕΝΗ Σ. ΤΣΑΪΡΙΔΟΥ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ Π. ΧΟΤΟΚΟΥΡΙΔΟΥ

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΗ
ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ ΚΟΡΟΥΝΔΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2017





ΕΛΕΝΗ Σ. ΤΣΑΪΡΙΔΟΥ, ΑΕΜ 5052

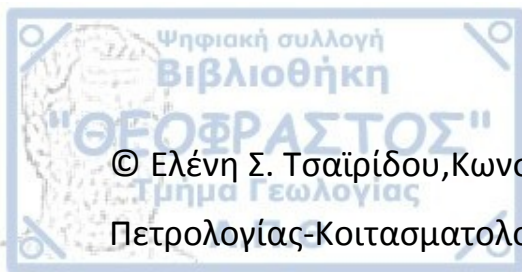
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ Π. ΧΟΤΟΚΟΥΡΙΔΟΥ, ΑΕΜ 5065

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΚΚΙΝΗΣ
ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ ΚΟΡΟΥΝΔΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Καντηράνης Νικόλαος



© Ελένη Σ. Τσαϊρίδου, Κωνσταντία Π. Χοτοκουρίδου, Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ, ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΙΚΗ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΚΚΙΝΗΣ ΠΟΙΚΙΛΙΑΣ ΚΟΡΟΥΝΔΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ

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

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



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. Πολύτιμοι λίθοι.....	1
1.2. Κορούνδιο και κοσμήματα	2
1.2.1. Κορούνδιο.....	2
1.3. Συνθετικό κορούνδιο Verneuil	8
1.3.1. Συνθετικό κορούνδιο Verneuil με ασυνήθιστο χρώμα ζωνών.....	11
1.4. Φαινόμενο του αστερισμού.....	13
1.5. Σκοπός της εργασίας.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ρουμπίνια και Κόσμος	15
2.1. Μοζαμβίκη.....	15
2.2. Μαλάουι.....	17
2.3. Βραζιλία	19
2.4 Μπανγκαλόρ Ινδίας	21
2.5 Βιρμανία	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΡΟΥΜΠΙΝΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	27
4.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ	27
4.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.....	28
4.3. Φασματοσκοπία υπέρυθρου	30
4.3.1. Χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας στη μελέτη των ορυκτών.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	37
5.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ.....	37
5.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.....	39
5.3. Φασματοσκοπία υπέρυθρου	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	43
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	44



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Πολύτιμοι λίθοι

Πολύτιμοι λίθοι ονομάζονται τα ορυκτά τα οποία παρουσιάζουν χαρακτηριστικές ιδιότητες και ομορφιά. Οι συγκεκριμένοι λίθοι, εκμεταλλεύονται, χρησιμοποιούνται, και εκτιμώνται από τον άνθρωπο, ως κοσμήματα και διακοσμητικά πετράδια. Αναλυτικότερα, η κατηγορία των πολύτιμων λίθων απαρτίζεται από σπάνιες και ανεκτίμητες ποικιλίες ορυκτών, που συναντώνται στη φύση σε σημαντικές εμφανίσεις (Τσιραμπίδης 2005).

Τα χαρακτηριστικά των πολύτιμων λίθων παρουσιάζουν ορισμένα γνωρίσματα. Οι ιδιότητες αυτών είναι, η μεγάλη σκληρότητα, το χρώμα, η διαύγεια, ο μεγάλος δείκτης διάθλασης και η αντανακλαστικότητα. Οι παραπάνω ιδιότητες, αναδεικνύονται καλύτερα μέσω των επεξεργασιών της κοπής και της στίλβωσης, όπου το φως εισέρχεται σ' αυτά με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (Τσιραμπίδης 2005).

Κάνοντας μια αναδρομή στο παρελθόν, αντιλαμβανόμαστε ότι από τα αρχαία κιόλας χρόνια οι πολύτιμοι λίθοι απασχολούσαν τις σημαντικότερες μορφές και προσωπικότητες, καθώς υποδήλωναν δύναμη και εξουσία. Ο πατέρας της ορυκτολογίας Θεόφραστος, στο σύγγραμμα του "Περί Λίθων" στα τέλη του 4ου αιώνα π.Χ., παρουσιάζει τους πολυτιμότερους γνωστούς λίθους της Αρχαίας Ελλάδας. Αυτοί είναι το σμαράγδι, το διαμάντι, το ζαφείρι, ο αμέθυστος, μια ποικιλία του χαλκηδόνιου, και το ρουμπίνι. «*Η λάμψη και η σπανιότητα των πολύτιμων λίθων θα μπορούσαν να θεωρηθούν οι κυριότεροι λόγοι για τους οποίους οι περισσότεροι αρχαίοι λαοί τούς συνδύαξαν με την ομορφιά, τη δύναμη και το μυστήριο. Με αποτέλεσμα να πλάσουν μύθους και δοξασίες για τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητές τους*», αναφέρει η εκτιμήτρια

τιμαλφών και πολύτιμων λίθων στο Κρατικό Ενεχυροδανειστήριο, κ. Μαρία Καπρίλη.

Στην αρχαιότητα το ρουμπίνι ήταν γνωστό με την ονομασία «σάπφειρος πορφυρίτης» ή «σάπφειρος πορφυρίζων». Πρόκειται για ένα από τους σημαντικότερους πολύτιμους λίθους, μαζί με το διαμάντι, το ζαφείρι και το σμαράγδι. Είχαν την πεποίθηση ότι έδιωχνε το φόβο και τόνωνε την θέληση και αυτοπεποίθηση, καθώς επίσης συνυφαζόταν με τα πλούτη και τη ευημερία. Επιπρόσθετα, η σημαντική θέση των πολύτιμων λίθων στην καθημερινότητα, αντικατοπτρίζεται και μέσω των κινούμενων σχεδίων, όπου στο παιδικό έργο Αλαντίν, το μαγικό λυχνάρι ήταν φτιαγμένο από Ρουμπίνια.

Όσον αφορά την κοστολόγηση τους, είναι ένα συνονθύλευμα πολλών παραγόντων όπως οι ιδιότητες τους, τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά, η προέλευσή τους, η ζήτηση, η υποκειμενική εκτίμηση τους, καθώς και η μοναδικότητα τους (Τσιραμπίδης 2005, Μέλφος 2012).

1.2. Κορούνδιο και κοσμήματα

1.2.1. Κορούνδιο

Είναι το ορυκτό με τη μεγαλύτερη σκληρότητα μετά το διαμάντι, έχει χημικό τύπο Al_2O_3 , και χαρακτηριστική υαλώδη λάμψη. Η ονομασία του κορουνδίου προέρχεται από την λέξη kurundam της γλώσσας των Ταμίλ που βρίσκεται στην Σρι Λάνκα, και σημαίνει όμορφη πέτρα. Η ποικιλία του κορουνδίου που έχει κόκκινο χρώμα είναι το ρουμπίνι (Εικ. 1).



Εικόνα 1: Ρουμπίνι από την Τανζανία (<http://www.shinyyy.com/rubycorundum/>)

Το κόκκινο χρώμα, προκαλείται από προσμίξεις χρωμίου. Παρ' όλα αυτά συναντώνται και κορούνδια με άλλα χρώματα όπως ροζ, σκούρο κόκκινο, κυανό και καφέ. Παρακάτω παρουσιάζεται μια ενδεικτική φωτογραφία των χρωμάτων που μπορεί να πάρει το κορούνδιο υπό συγκεκριμένες συνθήκες (Εικ. 2).

Το όνομα του ρουμπινιού προέρχεται από την λατινική λέξη *rubber*, που σημαίνει κόκκινο και έχει την ίδια χημική σύσταση και σκληρότητα με το κορούνδιο. Σε κάποιες ποικιλίες ρουμπινιών παρατηρούνται προσανατολισμένοι βελονοειδείς κρύσταλλοι ρουτιλίου, που είναι γνωστό ως το φαινόμενο του φωτεινού αστερισμού. Το συγκεκριμένο ρουμπίνι ονομάζεται ως αστεροειδές.



Εικόνα 2: Κρύσταλλοι Κορουνδίου με ποικιλία χρωμάτων
(<http://geology.com/minerals/corundum.shtml>).

1.2.2. Κοπή και στίλβωση

Ένας δεξιότηχνης λιθοχαράκτης μπορεί να μετατρέψει έναν τραχύ λίθο σε ένα λαμπερό και μεγάλης αξίας πολύτιμο λίθο. Η γνώση που χρειάζεται για την εν λόγω μεταμόρφωση έχει συσσωρευτεί κατά τη διάρκεια πολλών αιώνων και σήμερα ένας συγκεκριμένος τρόπος κοψίματος μεταξύ πολλών διαφορετικών μπορεί να επιλεγθεί για να αναδείξει την ξεχωριστή ποιότητα του κάθε πολύτιμου λίθου.

Όταν αποφασιστεί ο καλύτερος τρόπος για να κοπεί ένας πολύτιμος λίθος, ο λιθοχαράκτης πρέπει να λάβει υπόψη του το σχήμα του αρχικού υλικού και τη θέση των ατελειών, όπως οι ρωγμές και τα εγκλείσματα. Ακόμη, είναι αναγκαίο να είναι ενημερωμένος για τις ιδιότητες του ορυκτού και τους σχισμούς του. Βέβαια, είναι αρκετά δύσκολο να δημιουργηθεί ένα καλό γυάλισμα παράλληλα στη διεύθυνση του σχισμού και οι πλεοχρωικοί

πολύτιμοι λίθοι θα πρέπει να προσανατολίζονται έτσι ώστε να δείχνουν το καλύτερο χρώμα τους.

Ωστόσο, το κόστιμο είναι συχνά ένας συμβιβασμός ανάμεσα στην επίδειξη της συνολικής ομορφιάς του ορυκτού και της παραγωγής του μεγαλύτερου δυνατού πολύτιμου λίθου, αφού το μέγεθος επηρεάζει την αξία.

Τα οβάλ κοψίματα (cabochons) είναι τα παλαιότερα και απλούστερα κοψίματα (Oldershaw et al. 1988). Αυτά εμφανίζονται ως στρογγυλοί ή οβάλ πολύτιμοι λίθοι με απλές καμπύλες επιφάνειες. Ακόμη σε χρήση σήμερα, τα cabochons παρουσιάζουν τα καλύτερα χρώματα και σχέδια σε αδιαφανείς και ημιδιαφανείς λίθους και οπτικά αποτελέσματα όπως γυαλάδα, ιριδισμό κ.ά.

Οι πολύπλευρες όψεις τώρα χρησιμοποιούνται για σχεδόν όλους τους διαφανείς πολύτιμους λίθους. Σ' αυτές τις όψεις, η επιφάνεια του πολύτιμου λίθου είναι δουλεμένη σ' ένα σχέδιο από γυαλισμένες, επίπεδες επιφάνειες οι οποίες ενεργούν ως καθρέπτες. Φως ανακλάται από την επιφάνεια της πάνω όψης, εμφανίζοντας τη λάμψη. Το φως που εισέρχεται αντανακλάται μέσω της κορυφής του από την κάτω όψη, αναδεικνύοντας το χρώμα. Οι όψεις πρέπει να είναι υπό γωνία με ακρίβεια για να αναδειχτεί η μέγιστη ομορφιά. Οι γωνίες ποικίλουν σύμφωνα με τις οπτικές ιδιότητες κάθε ορυκτού πολύτιμου λίθου. Σε κακό-κομμένους λίθους το φως διαχέεται στη μάζα του και τελικά το χρώμα του χάνεται. Τα εξαιρετικά και βαθμιαία κοψίματα αποτελούν τα πιο οικεία στυλ στα μοντέρνα δυτικά κοσμήματα. Το εξαιρετικό κόστιμο έχει αναπτυχθεί για να αναδείξει την υπέρτατη λάμψη του διαμαντιού, αλλά επίσης χρησιμοποιείται για πολλούς ακόμη πολύτιμους λίθους. Τα βαθμιαία κοψίματα είναι πιο αποτελεσματικά σε λίθους όπως στα σμαράγδια και στα ρουμπίνια, όπου το χρώμα καθιστά την υπέρτατη ποιότητα.

Η ομορφιά του ρουμπινιού και του ζαφειριού έγκειται στον πλούτο και την ένταση των χρωμάτων τους. Οι δυο αυτοί πολύτιμοι λίθοι αποτελούν

ποικιλίες του ορυκτού κορούνδιου και ανάλογα με το κόψιμο αναδεικνύεται μία αστραφτερή λάμψη στα χρώματα τους.

Το καθαρό κορούνδιο είναι άχρωμο, όλα τα χρώματα των πολύτιμων λίθων προκαλούνται από μικρές ποσότητες χημικών προσμείξεων. Το χρώμιο, δίνει το πλούσιο κόκκινο του ρουμπινιού και επίσης προκαλεί ένα κόκκινο φθορισμό, ο οποίος ενισχύει περαιτέρω το χρώμα. Ζαφείρι είναι το όνομα που δόθηκε στους άλλους πολύτιμους λίθους του κορούνδιου, αλλά, είναι πιο στενά συνδεδεμένη με τα μπλε ζαφείρια που είναι χρωματισμένα από το σίδηρο και το τιτάνιο. Ωστόσο, ποικίλες ποσότητες και συνδυασμοί από σίδηρο, τιτάνιο και χρώμιο δημιουργούν πολλά άλλα χρώματα. Ροζ-πορτοκαλί ζαφείρια μερικές φορές ονομάζονται 'radparadscha' ένα όνομα που προέρχεται από σενεγαλέζικη λέξη που σημαίνει 'χρώμα του λοτού'. Βελτίωση του χρώματος με ποικίλες μορφές θερμικής επεξεργασίας έχουν γίνει συνηθισμένες τα τελευταία χρόνια.

Το κορούνδιο είναι ένα οξείδιο του αργιλίου με τριγωνική κρυσταλλική δομή. Πολλά ρουμπίνια εμφανίζονται ως επίπεδοι κρύσταλλοι, ενώ οι κρύσταλλοι του ζαφειριού είναι συνήθως σε σχήμα βαρελιού ή πυραμιδοειδείς. Πολλοί κρύσταλλοι ζαφειριού είναι πολύχρωμοι, πιο συχνά μπλε και κίτρινοι. Το ρουμπίνι και το ζαφείρι είναι ισχυρά πλεοχρωικοί, έτσι πρέπει να κοπούν προσεκτικά για να εμφανιστεί το καλύτερο χρώμα.

Πολλές συναρπαστικές δομές και ορυκτά εγκλείσματα εμφανίζονται στο ρουμπίνι και στο ζαφείρι. Λεπτές βελόνες ρουτιλίου προκαλούν το φαινόμενο γνωστό ως 'μετάξι' και όταν βρίσκονται παράλληλες προς τις τρεις οριζόντιες κρυσταλλικές διευθύνσεις μπορεί να προκαλέσει το φαινόμενο του αστερισμού. Οι ζώνες ανάπτυξης σχήματος chevron, 'φτερά' γεμάτα με υγρό και κρύσταλλοι ζirkονίου είναι επίσης συνήθη ως εγκλείσματα.

Η περιοχή Magok της Βιρμανίας έχει παράγει θαυμάσια ρουμπίνια για πολλούς αιώνες, οι καλύτεροι λίθοι εμφανίζουν ένα χρώμα που μερικές φορές περιγράφεται ως 'αίμα περιστεριού'. Λίγα εξορύσσονται από τα μάρμαρα, αλλά τα περισσότερα ανακτώνται από χαλίκια ποταμών. Οι πολύτιμοι λίθοι των χαλικιών της Σρι Λάνκα είναι εξίσου διάσημοι για την αφθονία των ζαφειριών όλων των χρωμάτων. Κυανά-μπλε ζαφείρια εμφανίζονται στον πηγματίτη του Κασμίρ, αλλά ελάχιστα εξορύσσονται σήμερα. Η Αυστραλία αποτελεί σήμερα την κύρια παραγωγική πηγή σε μπλε και χρυσά ζαφείρια. Τα βασαλτικά πετρώματα φιλοξενούν αυτά τα δυο είδη, καθώς και τα ζαφείρια και τα ρουμπίνια της Ταϋλάνδης και Καμπότζης, αλλά σχεδόν όλα εξορύσσονται από χαλίκια ποταμών. Άριστης ποιότητας ρουμπίνια έχουν επίσης ανακαλυφθεί στην Κένυα, στην Τανζανία και στη Ζιμπάμπουε.

1.2.3. Ιδιότητες του κορουνδίου

- Χημική σύσταση: Οξείδιο του αργιλίου
- Σύστημα κρυστάλλωσης: Τριγωνικό
- Σκληρότητα: 9
- Ειδικό βάρος: 3,96-4,05
- Δείκτης διάθλασης: 1,76-1,78
- Διπλοθλαστικότητα: 0,008-0,010



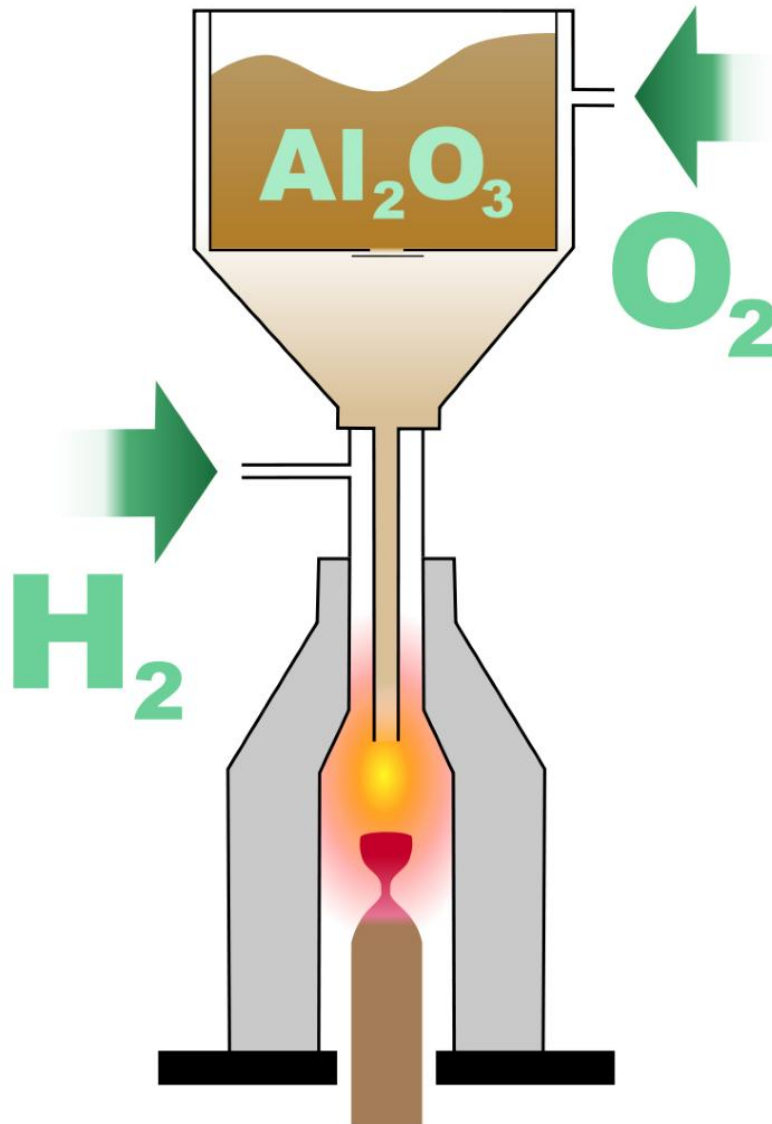
Εικόνα 3: Συνθετικό Κορούνδιο (dreamstime.com).

1.3. Συνθετικό κορούνδιο Verneuil

Η διαδικασία Verneuil (Εικ.4), που ονομάζεται και σύντηξη φλόγας, ήταν η πρώτη εμπορικά επιτυχημένη μέθοδος κατασκευής συνθετικών πολύτιμων λίθων, που αναπτύχθηκε το 1902 από το Γάλλο χημικό Auguste Verneuil. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ρουμπινιών και ζαφειριών. Η αρχή της μεθόδου περιλαμβάνει την τήξη μιας λεπτής κονιοποιημένης ουσίας χρησιμοποιώντας μια φλόγα υπερυψηλής θερμοκρασίας, και κρυστάλλωση των λιωμένων σταγονιδίων σε μια ράβδο κρυστάλλου. Η διαδικασία θεωρείται ότι είναι το πρώιμο στάδιο της σύγχρονης τεχνολογίας βιομηχανικής ανάπτυξης κρυστάλλων και χρησιμοποιείται ευρέως μέχρι σήμερα.

Η βασική ιδέα της μεθόδου σύντηξης φλόγας είναι να ληφθεί ο πολύτιμος λίθος, να λιώσει και στη συνέχεια κάτω από κατάλληλες και ελεγχόμενες συνθήκες να ανακρυσταλλωθεί. Η ιδέα είναι απλή, αλλά η μέθοδος αυτή εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους. Πρώτον, απαιτείται εξαιρετικά καθαρό υλικό για να ξεκινήσει η διαδικασία. Στην περίπτωση του ρουμπινιού ή του ζαφειριού, αυτό σήμαινε οξείδιο του αλουμινίου που ήταν απαλλαγμένο από προσμίξεις, όπως νάτριο. Οι πρώτες απόπειρες να ανακρυσταλλωθεί

ρουμπίνι πέτυχαν με τήξη φυσικών κρυστάλλων ρουμπινιού, λόγω της έλλειψης, καθαρού οξειδίου του αργιλίου.



Εικόνα 4: Διαδικασία κατασκευής συνθετικού κορουνδίου Verneuil

(<https://www.gemselect.com/other-info/synthetic-corundum.php>)

Αργότερα, ήταν απαραίτητο να βρεθεί ένας τρόπος για να θερμανθεί το κονιοποιημένο οξείδιο του αλουμινίου σε μία θερμοκρασία της τάξης των 2.000 βαθμών Κελσίου.

Κατά τη διαδικασία Verneuil, το κονιοποιημένο οξείδιο του αλουμινίου απελευθερώνεται κάτω από έναν σωλήνα όπου περνά μέσα από μια φλόγα που λιώνει το υλικό σε μικρά σταγονίδια. Αυτά τα σταγονίδια πέφτουν επάνω σε μια χωμάτινη ράβδο στήριξης στο κάτω μέρος του κλιβάνου.

Τα σταγονίδια σχηματίζουν έναν ενιαίο κρύσταλλο που ονομάζεται boule (Εικ.5). Ο κρύσταλλος boule έχει ένα χαρακτηριστικό κυλινδρικό σχήμα με κωνικό άκρο. Συνήθως υπολογίζεται περίπου σε 13 έως 25 χιλιοστά σε διάμετρο και 50 έως 100 χιλιοστά σε μήκος, και ζυγίζει 75 έως 250 καράτια (GemSelect.com).



Εικόνα 5: Ένα μικρό ρουμπίνι boule που παράγεται με τη μέθοδο Verneuil και εξακολουθεί να συνδέεται με τη ράβδο . (https://en.wikipedia.org/wiki/Verneuil_process)

Κρύσταλλοι που παράγονται με τη διαδικασία της σύντηξης φλόγας Verneuil είναι χημικά και φυσικά ισοδύναμοι με φυσικούς κρυστάλλους και απαιτείται συνήθως ισχυρή μεγέθυνση για να γίνει διάκριση μεταξύ των δύο. Ένα από τα χαρακτηριστικά ενός κρυστάλλου Verneuil είναι οι καμπύλες γραμμές ανάπτυξης οι οποίες σχηματίζονται καθώς ο κυλινδρικός κρύσταλλος Boule μεγαλώνει προς τα πάνω σε ένα περιβάλλον με υψηλή θερμική κλίση. Οι ισοδύναμες γραμμές ανάπτυξης στους φυσικούς κρυστάλλους είναι παράλληλες.

Ακόμη, ένα χαρακτηριστικό των πολύτιμων λίθων που παράγονται από σύντηξη φλόγας είναι η συχνή παρουσία μικροσκοπικών φυσαλίδων αερίου που σχηματίζονται λόγω περίσσειας οξυγόνου στον κλίβανο. Ατέλειες των φυσικών κρυστάλλων είναι συνήθως στερεές ακαθαρσίες. Ωστόσο, οι φυσαλίδες αερίου δεν μπορούν πλέον να ληφθούν ως αξιόπιστη ένδειξη ενός συνθετικού ρουμπινιού. Φυσικά ρουμπίνια που έχουν σπασίματα γεμισμένα με άλλα υλικά, π.χ. μόλυβδο, συχνά εμφανίζουν φυσαλίδες αερίου στις κοιλότητες.

1.3.1. Συνθετικό κορούνδιο Verneuil με ασυνήθιστο χρώμα ζωνών

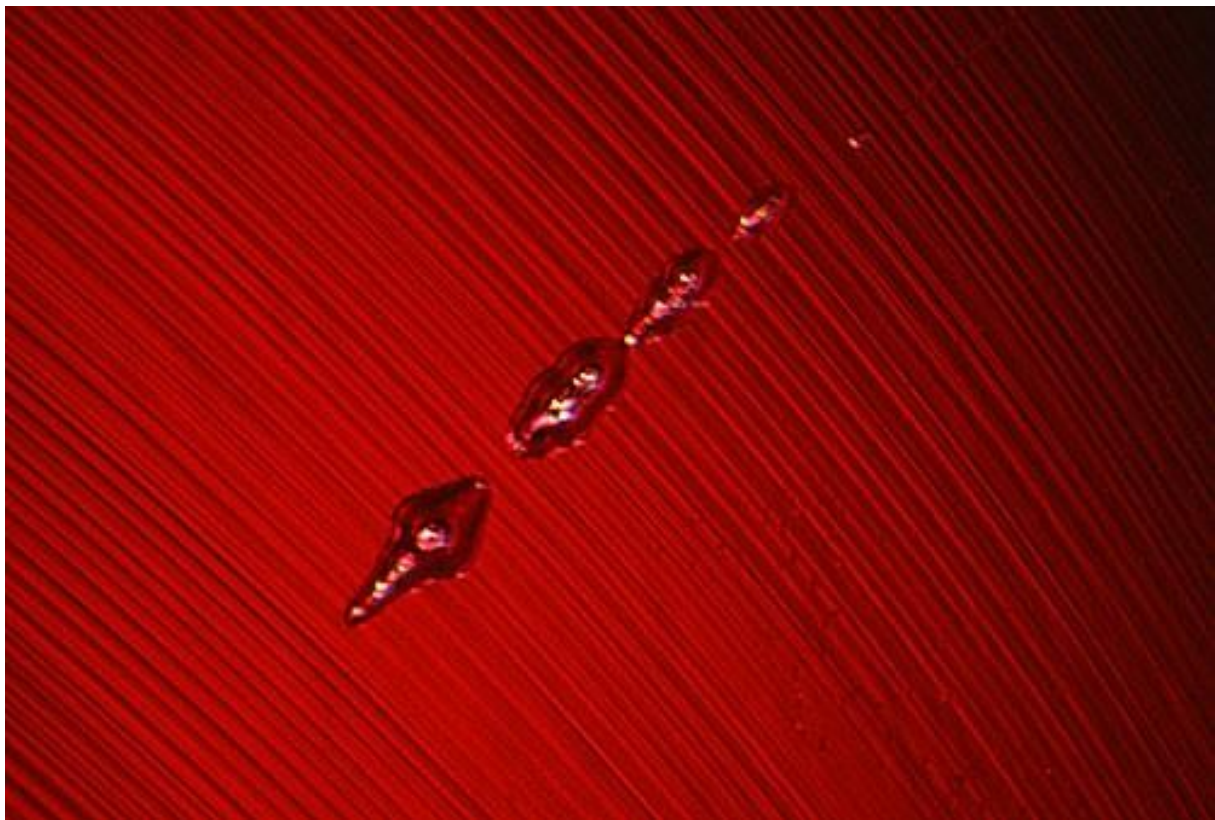
Κατά το 2004 στη Σρι Λάνκα, αγοράστηκαν μεταξύ άλλων από ιδιώτη πολύπλευρα κορούνδια, ένα κόκκινο 1,05 καρατίων τροποποιημένο στρογγυλό μπριγιάν με ασυνήθιστο χρώμα ζωνών. Οι δείκτες διάθλασης της τάξης των 1,76 έως 1,77 και το υδροστατικό ειδικό βάρος των $4,00 \text{ g/cm}^3$ επιβεβαίωσαν ότι ήταν κορούνδιο (Kiefert 2004).

Στην πρόσθια όψη του, το δείγμα εμφανίστηκε με ομοιόμορφο μωβ-κόκκινο χρώμα. Από πλάγια, ωστόσο, το δείγμα εμφάνισε ένα γαλάζιο-ελαφρύ μπλε χρώμα στο επάνω τμήμα, ενώ το κάτω τμήμα ήταν χρώματος μωβ-κόκκινο. Τέτοια ζώνωση χρωμάτων έχει παρατηρηθεί σε διάφορα χρώματα ζαφειριού από την Songea (Τανζανία) και τη Σρι Λάνκα. Ένας έντονος κόκκινος φθορισμός σε μεγάλη ακτινοβολία κύματος UV παρατηρήθηκε στην κάτω περιοχή του δείγματος και η φασματοσκοπία Raman επιβεβαίωσε ότι και τα δυο τμήματα ήταν κορούνδιο.

Με μεγέθυνση κατέστη προφανές ότι αυτό ήταν ένα Verneuil συνθετικό ζαφείρι επειδή πολλές φυσαλίδες αερίου ήταν ορατές στο γαλάζιο τμήμα. Όταν το δείγμα βυθίστηκε σε ιωδιούχο μεθυλένιο, το όριο μεταξύ των μωβ-κόκκινων και των γαλάζιων ζωνών εμφανίστηκε καμπύλο (Εικ.6). Παρ' όλα

αυτά μη καμπύλες ραβδώσεις παρατηρήθηκαν στο μωβ-κόκκινο τμήμα. Μια ποιοτική χημική ανάλυση έδειξε την παρουσία μόνο Al, όπως ήταν αναμενόμενο για τήξη συνθετικού κορουνδίου σε φλόγα.

Αυτές οι παρατηρήσεις έδειξαν, ότι το δείγμα είχε κοπεί από μια χρωματισμένη ζώνη του κυλινδρικού κομματιού του Verneuil συνθετικού κορουνδίου, με το μωβ-κόκκινο κομμάτι να αντιπροσωπεύει το μικρό κέντρο του κατά τ' άλλα γαλάζιου κυλινδρικού κομματιού. Αυτό επίσης εξηγείται με τις μεγάλες σχισμές που παρατηρήθηκαν κάθετα προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης. Τα κυλινδρικά κομμάτια Verneuil συνήθως εμφανίζουν κάποια έκταση κατά μήκος του άξονα ανάπτυξης, του οποίου έχουν χωριστεί πριν καν κοπούν. Προφανώς, αυτό δεν έγινε στη συγκεκριμένη περίπτωση και επομένως οι ρωγμές έκτασης αναπτύχθηκαν.



Εικόνα 6: Επιμήκεις φυσαλίδες αερίου διαμέσου καμπύλων ραβδώσεων μέσα στα βάθη ενός Verneuil συνθετικού ρουμπινιού (© John I. Koivula/microWorld of Gems).

1.4. Φαινόμενο του αστερισμού

Ο αστερισμός (Εικ. 7) είναι ένα παράδειγμα οπτικού αποτελέσματος που μπορεί να βρεθεί πολύ σπάνια σε ένα μικρό αριθμό τύπων κοπής πολύτιμων λίθων όπως τα cabochons. Τα πιο γνωστά παραδείγματα είναι ο αστερισμός του ζαφειριού και του ρουμπινιού. Αστερισμός μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε μια σειρά από άλλους πολύτιμους λίθους, όπως χαλαζίας, σπινέλιος, διοψίδιος, σμαράγδι, γρανάτης και χρυσοβήρυλος.

Ο λόγος που ο αστερισμός είναι τόσο σπάνιος είναι ότι ο πολύτιμος λίθος οφείλει να έχει εγκλείσματα βελονών ρουτιλίου, και οι βελόνες πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να αντανακλούν το φως σε μοτίβο πολλών ακτινών σχηματίζοντας ένα αστέρι. Ο συνήθης κανόνας σε πολύτιμους λίθους είναι πως όσο λιγότερα εγκλείσματα υπάρχουν, τόσο το καλύτερο. Ωστόσο, στην περίπτωση του αστερισμού, η τιμή αυξάνεται με τα εγκλείσματα.

Η αξία ενός πολύτιμου λίθου με αστερισμό εξαρτάται από τη διαύγεια του αστεριού. Γενικά, το αστέρι πρέπει να αξιολογείται από μια μόνο πηγή φωτός. Συνήθως, καθίσταται πολύ δύσκολο να δούμε το αστέρι κάτω από διάχυτο φως. Μετακινώντας το φως μπρος-πίσω θα πρέπει να προκαλέσει το αστέρι να κινηθεί κατά μήκος της επιφάνειας του λίθου. Οι ακτίνες του αστεριού θα πρέπει να κατανέμονται ομοιόμορφα. Τα πιο συνηθισμένα αστέρια είναι με 4-ακτίνες και 6-ακτίνες, αν και με 12 ακτίνες αστέρια δεν είναι σπάνια.

Το χρώμα είναι επίσης πολύ σημαντικό σε έναν πολύτιμο λίθο με αστερισμό. Ιδανικά το χρώμα θα πρέπει να είναι ισοδύναμο με ένα δείγμα δίχως το αστέρι, αλλά η παρουσία του ρουτιλίου στο λίθο τείνει να εξασθενήσει το χρώμα. Έτσι, στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει να υπάρχει

αρκετό ρουτίλιο για να δημιουργήσει ένα ξεχωριστό αστέρι διατηρώντας καλό χρώμα.



Εικόνα 7: Φαινόμενο του αστερισμού σε ρουμπίνι

(<http://theonlinejeweller.org/asterism-star-gemstones/>)

1.5. Σκοπός της εργασίας

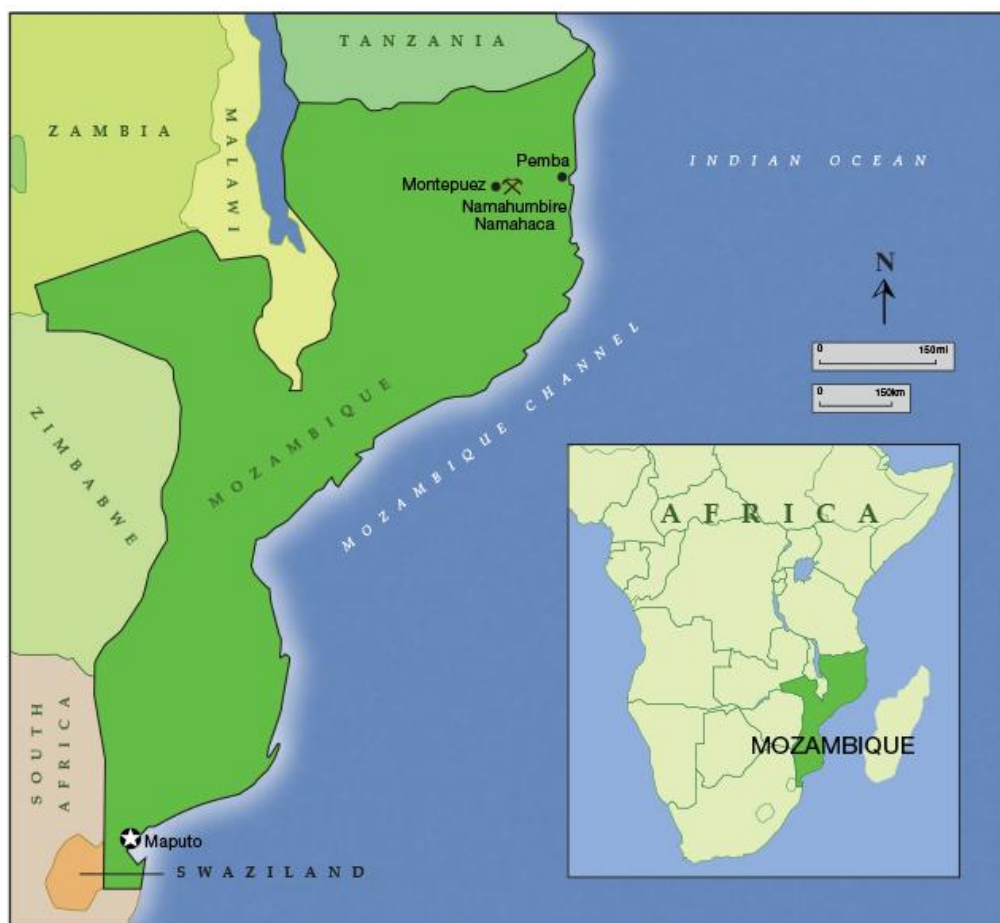
Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη κρυστάλλου κόκκινου κορουνδίου από την ευρύτερη περιοχή του Παρανεστίου Δράμας με μεθόδους εφαρμοσμένης ορυκτολογίας, όπως περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης και φασματοσκοπία υπερύθρου, ώστε να αξιολογηθεί η σύσταση και η καθαρότητα του συγκεκριμένου λίθου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ρουμπίνια και Κόσμος

Σε παγκόσμια κλίμακα, οι σημαντικότερες χώρες εξόρυξης ρουμπινιών είναι η Μοζαμβίκη, η Βιρμανία, η Ινδία, η Βραζιλία και το Μαλάουι. Αναλυτικά, για κάθε χώρα δίνονται σε συντομία οι θέσεις και οι γεωλογικές συνθήκες που φιλοξενούν ρουμπίνια.

2.1. Μοζαμβίκη

Η Μοζαμβίκη βρίσκεται στη νοτιοανατολική Αφρική κατά μήκος του Ινδικού Ωκεανού και έχει έκταση 801,590 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Εικ.8). Το κλίμα είναι κυρίως τροπικό, ευνοώντας την έντονη αποσάθρωση των πετρωμάτων η οποία οδήγησε μεταξύ άλλων και στην συγκέντρωση κατά θέσεις πολύτιμων λίθων.



Εικόνα 8: Θέσεις εμφάνισης Ρουμπινιών στη Μοζαμβίκη (Hughes 2009.)

Τα ορυχεία ρουμπινιών συγκεντρώνονται στη βορειοανατολική γωνιά της χώρας και συνδέονται με αμφιβολιτικά πετρώματα (Εικ. 9). Ενώ η Μοζαμβίκη χαρακτηρίζεται από τη φτώχεια και την εξάρτηση από την ξένη βοήθεια, η οικονομία της αναπτύχθηκε με ετήσιο ρυθμό 6 έως 8% κατά τη δεκαετία από το 2003 έως το 2013, μία από τις ισχυρότερες περιόδους ανάπτυξης της Αφρικής. Πλούσιοι πόροι φυσικού αερίου, άνθρακα, μετάλλων και ορυκτών οδήγησαν σε σημαντικές ξένες επενδύσεις.



Εικόνα 9: Μητρικό πέτρωμα (πάνω) και ρουμπίνια (κάτω) από το Monperuez της Μοζαμβίκης (Photo by V. Pardieu/GIA)

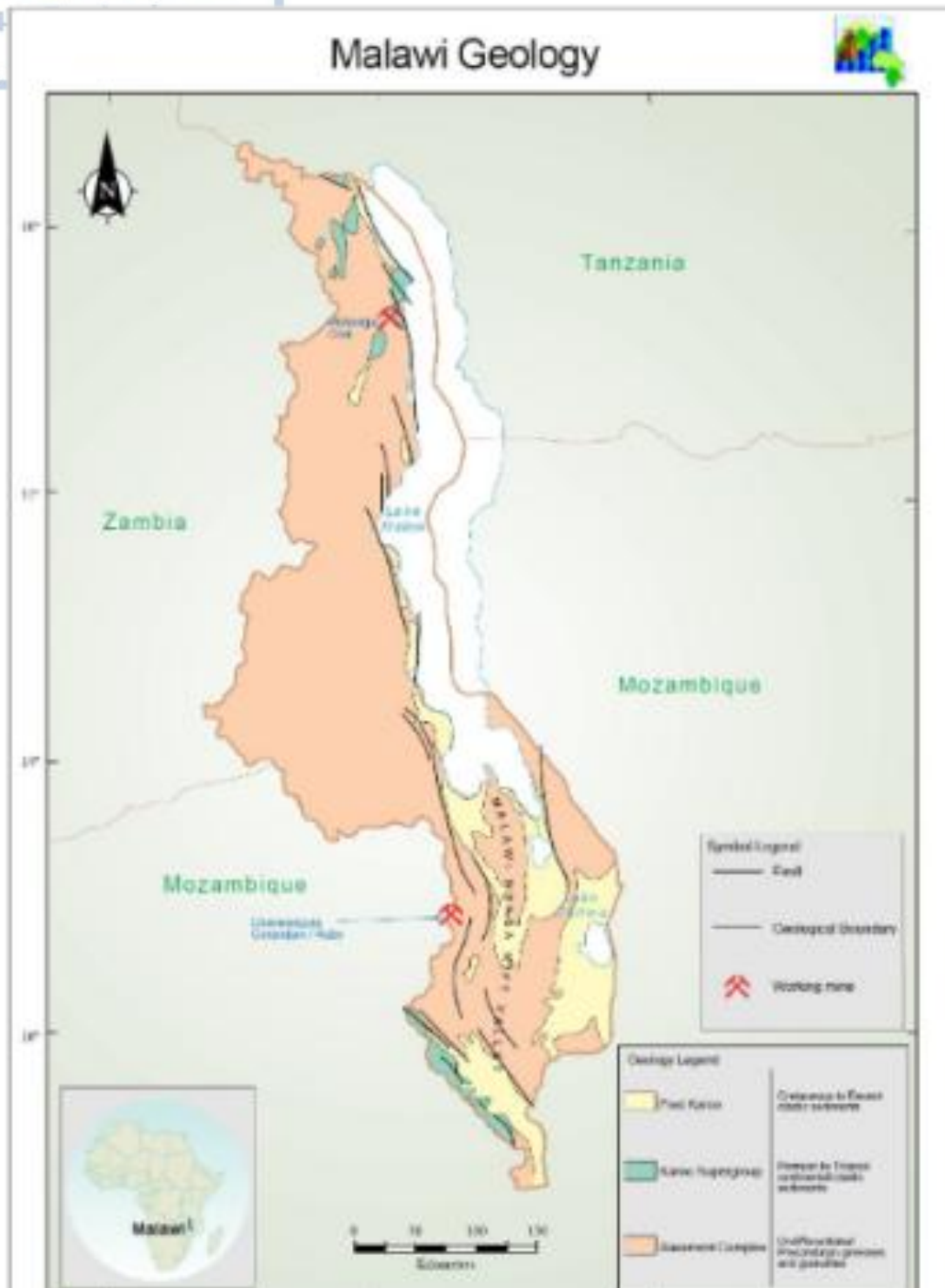
Η εξόρυξη ρουμπινιών στο βορειοανατολικό τμήμα της χώρας είναι μία από τις τελευταίες οικονομικές δραστηριότητες. Η ιστορία του κορουνδίου στη Μοζαμβίκη έχει τις ρίζες της στην αποικιοκρατική περίοδο, που διήρκεσε από το 1505 έως το 1975. Το κορούνδιο είχε ανακαλυφθεί το 1500 και ήταν γνωστό ότι υπάρχουν σημαντικά κοιτάσματα σε όλη την περίοδο της αποικιοκρατίας, όμως καμία σοβαρή εμπορική εκμετάλλευση δεν είχε γίνει μέχρι την άνοιξη του 1991, οπότε και άρχισε να αναπτύσσεται το εμπόριο ρουμπινιών στην χώρα. Ορόσημο αποτέλεσε το πρώτο ρουμπίνι που δημοπρατήθηκε τον Ιούνιο του 2014 στην Μοζαμβίκη. Συγκεκριμένα στην περιοχή Monperuez, βρίσκεται ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα ρουμπινιών του κόσμου (Εικ. 9-10).



Εικόνα 10: Η περιοχή εξόρυξης ρουμπινιών Monperuez, Μοζαμβίκη (Photo by S. Detroyat)

2.2. Μαλάουι

Στο Μαλάουι ρουμπίνια βρέθηκαν στην περιοχή Chimwadzulu (Εικ. 11). Το συγκεκριμένο κοιτάσμα βρίσκεται μόλις 5 χλμ από τα σύνορα του Μαλάουι με τη Μοζαμβίκη και 150 χλμ από την πρωτεύουσα του Μαλάουι, Lilongwe.



Εικόνα 11: Γεωλογικός χάρτης του Μαλάουι (<https://www.mindat.org/loc-16079.html>)

Η περιοχή Chimwadzulu γεωλογικά αποτελείται από Προκάμβρια μεταϊζηματογενή πετρώματα συμμεταμορφωμένα με το υπερβασικό υπόβαθρο. Το κορούνδιο εμφανίζεται σε διαβρωμένο έδαφος, πλούσιο σε

σίδηρο και ελευθερώνεται εύκολα με διαδικασίες πλύσης (Boehm 2004). Η λειτουργία του ορυχείου είναι μικρή λόγω του χειμώνα και διαρκεί από τον Απρίλη μέχρι τον Οκτώβρη. Από το 1994 το ορυχείο λειτουργεί από μια Βρετανική εταιρεία (Columbia Gem House) η οποία έδωσε ιδιαίτερη βαρύτητα στην επέκταση του ορυχείου και τη συστηματική αναζήτηση ποιοτικότερης και δευτερεύοντος ποιοτικότερης παραγωγής.

Σύμφωνα με την Columbia Gem House στο ορυχείο εργάζονται περίπου 70 άτομα. Τα άτομα αυτά παράγουν το μήνα μέχρι και ένα κιλό ρουμπίνια κατάλληλα για κοπή, ενώ όταν κατασκευαστεί το εργοστάσιο επεξεργασίας, εκτιμάτε η ποσότητα αυτή εκτιναχθεί στα 5 κιλά περίπου. Σημαντικός είναι ο αριθμός των πολύτιμων λίθων από 1 έως 3 καράτια, ενώ σπανιότεροι είναι οι πολύτιμοι λίθοι πάνω από 3 καράτια. Από το συγκεκριμένο κοίτασμα το μεγαλύτερο ρουμπίνι που έχει εξορυχθεί είναι ένα ρουμπίνι ροζ-κόκκινου χρώματος 16 καρατίων σε σχήμα καρδιάς. Η θερμική επεξεργασία δεν είναι αναγκαία εφόσον το χρώμα είναι ελκυστικό και δεν περιέχονται εγκλείσματα ρουτιλίου στο μεγαλύτερο μέρος του κρυστάλλου.

2.3. Βραζιλία

Στα προκάμβρια πετρώματα της Βραζιλίας είναι ευρέως διαδεδομένος ο πράσινος χαλαζίτης (Εικ. 12). Μικρά αποθέματά του έχουν βρεθεί από το νότιο άκρο του Minas Gerais στη Βόρεια Μπάχια και στη δυτική Goiás. Το υλικό αυτό αποτελείται από λεπτόκοκκο έως χονδρόκοκκο χαλαζία και πράσινη μορφή μοσχοβίτη. Το πράσινο χρώμα αποδίδεται στην παρουσία χρωμίου χωρίς να είναι εμφανείς η προέλευση των πλούσιων σε χρώμιο πετρωμάτων. Είναι πιθανόν να προήλθαν από τη μεταμόρφωση ιζηματογενών πετρωμάτων που έφεραν χρώμιο.

Βόρεια της πολιτείας της Μπάχια, κοντά στο Serra de Jacobina τον Ιανουάριο του 2005 βρέθηκε μοσχοβίτης χρωματισμένος μαζί με κορούνδιο και άστριο. Προκαταρκτικός χαρακτηρισμός δειγμάτων με μικροσκόπιο και περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ έδειξαν ότι το πέτρωμα αποτελείται από χονδρόκοκκο χρωματισμένο μοσχοβίτη, ενδιάμεσες περιοχές από λευκό αλκαλι-άστριο και θέσεις διαφανούς ροζ-μωβ κορουνδίου. Επιπλέον, βρέθηκαν και μικροσκοπικοί κόκκοι από κόκκινο-πορτοκαλί ρουτίλιο που δίνει μια μεταλλική λάμψη. Όταν γυαλίζονται σε σφαίρες τα ορυκτά είναι ελκυστικά λόγω των συνδυασμών των χρωμάτων και των υφών τους.

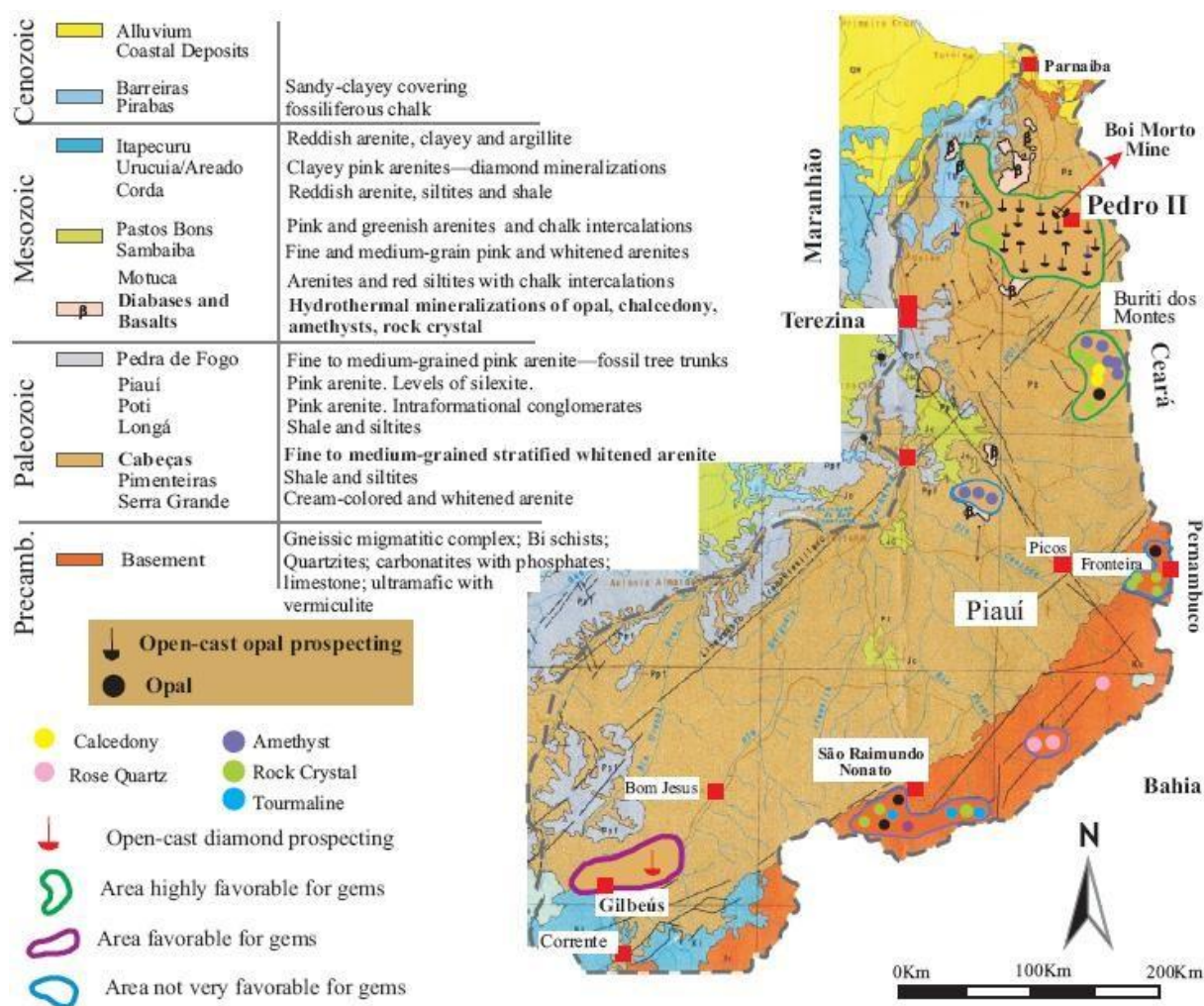


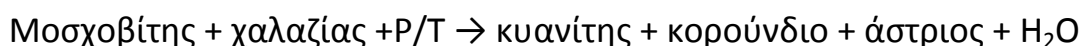
Figure 11. Gemological map of the State of Piauí (Oliveira, 1998 – CPRM).

Εικόνα 12. Γεωλογικός χάρτης της Βραζιλίας που απεικονίζει την περιοχή της Μπάχια (Oliveira 1998).

Η συνύπαρξη χρωματισμένου μοσχοβίτη και κορούνδιου με τον κυανίτη είναι επίσης γνωστή από την Ινδία, τη Ζιμπάμπουε και τη Νότια Αφρική. Η παραγένεση αυτή σχηματίζεται από μεταμόρφωση σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Στην Βραζιλιάνικη εμφάνιση η παραγένεση αυτή μπορεί να εξηγηθεί από την παρακάτω αντίδραση:



Στις άλλες εμφανίσεις, η αρχική παρουσία χαλαζία μπορεί να ευθύνεται για τον σχηματισμό επιπλέον του κυανίτη στο πέτρωμα, σύμφωνα με την αντίδραση:



Μέχρι στιγμής, περίπου 150 κιλά χρωματισμένου μοσχοβίτη-κορούνδιου έχει ανακτηθεί από τη συγκεκριμένη θέση στη Βραζιλία (Schultz-Guttler 2005).

2.4 Μπανκαλór Ινδίας

Στο Μπανκαλór της Ινδίας, βρίσκεται το μεγαλύτερο επεξεργασμένο ρουμπίνι (Εικ. 13). Το όνομά του είναι Ραβιράτνα, είναι 3600 καράτια, και ανήκει σε ένα μανιώδη συλλέκτη ρουμπινιών, τον δικηγόρο Vidyaraj. Εδώ και χρόνια η ποιότητα των συνθετικών ρουμπινιών είναι τόσο τέλεια, που μόνον εξειδικευμένα γεωλογικά εργαστήρια μπορούν να τα διακρίνουν.

2.5 Βιρμανία

Η Βιρμανία πρόκειται για άλλη μια περιοχή η οποία φημίζεται για τα ρουμπίνια της. Το ρουμπίνι της Carmen Lucia (Εικ. 14) ανήκει στο μουσείο φυσικής ιστορίας Smithsonian στην Ουάσιγκτον. Είναι 23,1 καράτια. Η εξόρυξή

του έγινε το 1930 από την περιοχή της Βιρμανίας, που συγκεκριμένα λεγόταν Μπούρμα.

Είναι δεμένο σε δαχτυλίδι με πλατίνα και διαμάντια. Πρόκειται για ένα εξαιρετικά σπάνιο ρουμπίνι εξαιτίας του μεγέθους του, του χρώματός του καθώς και του τρόπου με τον οποίο έχει επιτευχθεί η κοπή του.



Εικόνα 13: Το μεγαλύτερο επεξεργασμένο ρουμπίνι στον κόσμο
(<http://www.jewelpedia.com/lex131-roumpini-ruby.html>)



Εικόνα 14. Το δαχτυλίδι της Carmen Lucia
(<http://www.jewelpedia.com/lex131-roumpini-ruby.html>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΡΟΥΜΠΙΝΙΑ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Στον Ελληνικό χώρο οι εμφανίσεις κόκκινης ποικιλίας κορουνδίου είναι ελάχιστες και περιορίζονται στη Βόρεια Ελλάδα. Συνδέονται κυρίως με τη μάζα της Ροδόπης και τη Σερβομακεδονική ζώνη και εντοπίζονται σε περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας.

Η μάζα της Ροδόπης, περιλαμβάνει τη Θράκη, την ανατολική Μακεδονία μέχρι τον Στρυμόνα ποταμό, τα νησιά Θάσο, Σαμοθράκη, Μυτιλήνη, Λήμνο, Άγιο Ευστράτιο, και τμήμα της Νότιας Βουλγαρίας (Μουντράκης 2010). Η Σερβομακεδονική μάζα επωθείται πάνω στο Δυτικό τμήμα της μάζας της Ροδόπης, προς τα Ανατολικά. Αποτελείται, από μεταμορφωμένα πετρώματα, όπως γνεύσιους, αμφιβολίτες, μάρμαρα και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, καθώς και από ιζηματογενή καλύμματα. Όλα τα παραπάνω, διακόπτονται από εμφανίσεις πυριγενών πετρωμάτων.

Πρώτος που μελέτησε την Ελληνική Ροδόπη ήταν ο Osswald (1938) , ο οποίος διαίρεσε τη Ροδόπη μαζί με τη Σερβομακεδονική σε τέσσερα μέρη. Το κατώτερο μέρος αποτελείται από γνεύσιους, το αμέσως επόμενο μέρος αποτελείται από μάρμαρα και πιο πάνω εμφανίζονται μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι. Τέλος, το ανώτερο μέρος αποτελείται από σχιστόλιθους και μάρμαρα. Η ηλικία αυτών έχει προσδιοριστεί από προκάμβρια μέχρι Κάτω Παλαιοζωική.

Αργότερα, άλλοι ερευνητές (Paranikolaou & Panagoroulos 1981) διαίρεσαν τη μάζα της Ροδόπης σε δυο τεκτονικές ομάδες. Η πρώτη ομάδα είναι η "ενότητα του Σιδηρόνερου" και η δεύτερη ομάδα είναι η "ενότητα του Παγγαίου". Η ενότητα του Σιδηρόνερου αποτελείται από ορθογνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, καθώς και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες. Η ενότητα του Παγγαίου από την άλλη πλευρά

περιέχει ορθογνευσίους, σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, με ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και στο ανώτερο μέρος εναλλαγές σχιστόλιθων και μαρμάρων.

Από πλευράς μεταμόρφωσης η Ροδόπη εμφανίζεται ως μια κρυσταλλωσχιστώδης μάζα. Αυτή η μάζα είτε προέρχεται από γρανίτες που αργότερα μετατράπηκαν σε γνεύσιους, είτε από ιζήματα παλαιοζωικής ηλικίας που και αυτά μετατράπηκαν σε μάρμαρα, γνεύσιους και σχιστόλιθους. Πιο συγκεκριμένα, οι φάσεις μεταμόρφωσης που υπέστη η μάζα της Ροδόπης είναι οι εξής (Μουντράκης 2010):

- A) Κατά το Παλαιοζωικό μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης.
- B) Κατά το Κρητιδικό έλαβε χώρα εκλογιτική μεταμόρφωση.
- Γ) Κατά το Ηώκαινο πραγματοποιήθηκε αμφιβολιτική μεταμόρφωση.
- Δ) Κατά το Ολιγόκαινο έλαβε χώρα πρασινοχιστολιθική μεταμόρφωση.

Ως αποτέλεσμα κυρίως της δράσης της αμφιβολιτικής φάσης μεταμόρφωσης, ήταν μεταξύ άλλων και ο σχηματισμός κόκκινου κορουνδίου μέσα σε κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα σε περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης.

Στην περιοχή του Παρανεστίου Δράμας παρατηρούνται διαδοχικές γρανιτικές εμφανίσεις με εναλλαγές σχιστόλιθων και μαρμάρων (Σκλαβούνος 1981). Η μάζα που χαρακτηρίζεται ως γρανίτης του Παρανεστίου κατέχει την περιοχή ΒΒΔ του Παρανεστίου, έχει σχήμα επίμηκες και χωρίζεται στα δυο από μια σειρά κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων. Έχει μήκος περίπου 20 km και πλάτος περίπου 8 km, με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Όλη η εμφάνιση βρίσκεται μέσα στην κρυσταλλοσχιστώδη μάζα της Ροδόπης. Στην ανατολική πλευρά ο γρανίτης συνορεύει με την ηφαιστειακή εμφάνιση των Διποτάμων-Καλότυχου (Soldatos 1961). Στην ΒΔ πλευρά ο γρανίτης του Παρανεστίου συνορεύει με μεταμορφωμένα πετρώματα, ενώ στο βόρειο τμήμα με ηφαιστειακά. Επίσης,

μάρμαρα και άλλα μεταμορφωμένα πετρώματα συναντώνται σε πολλά σημεία μέσα στο γρανίτη. Στα νότια, νοτιοδυτικά και δυτικά της εμφάνισης του γρανίτη παρατηρήθηκαν συμπλέγματα απλιτικών και πηγματιτικών φλεβών. Στην περιοχή του Παρανεστίου και σε θέσεις που συνδέονται με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα εντοπίζονται περιορισμένες εμφανίσεις κόκκινου κορουνδίου.

Τέλος, σύμφωνα με τον Μέλφο (2012), εκτός του Παρανεστίου, στη βόρεια Ελλάδα βρέθηκαν ρουμπίνια 15 χιλιόμετρα βόρεια της Ξάνθης με μήκος άνω των 3 εκατοστών μαζί με ζοϊσίτη και ζαφείρια πολύ μικρού μεγέθους, μικρότερα των 2 χιλιοστών. Επίσης, ρουμπίνια και ζοϊσίτης βρέθηκαν στη Νάξο και στη Σάμο.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Υλικό προερχόμενο από θέση στην ευρύτερη περιοχή του Παρανεστίου Δράμας όπου εντοπίζονται περιορισμένες εμφανίσεις κόκκινου κορουνδίου, διατέθηκε από τον επιβλέποντα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας προκειμένου να γίνουν ορυκτολογικές, ορυκτοχημικές και φασματοσκοπικές αναλύσεις για της ταυτοποίηση της παρουσίας και την εύρεση της σύστασης του κόκκινου κορουνδίου.

4.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων Χ

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να προσδιοριστεί ποιοτικά και ποσοτικά η ορυκτολογική σύσταση των εξεταζόμενων δειγμάτων.

Για την εφαρμογή της μεθόδου πάρθηκε αντιπροσωπευτικό υλικό από τα εξεταζόμενα δείγματα, το οποίο κονιοποιήθηκε με το χέρι σε αχάτινο γουδί, σε μέγεθος κόκκων $<20 \mu\text{m}$. Ακολούθησε η τοποθέτηση των κονιοποιημένων δειγμάτων σε ειδικούς δειγματολήπτες και η δημιουργία παρασκευάσματος κόνεως, τυχαίου προσανατολισμού. Για την ακτινογραφική εξέταση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία CuK_α με φίλτρο Ni, περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710/00 με συνθήκες λειτουργίας 35 kV και 25 mA, ταχύτητα γωνιομέτρου $1,2^\circ/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-63^\circ 2\theta$. Το περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ βρίσκεται στον τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Εικ. 15).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτών έγινε με βάση τις απარიθμήσεις συγκεκριμένων ανακλάσεων, οι οποίες δεν επηρεάζονται από άλλη ανάκλαση, λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και τον συντελεστή απορρόφησης μάζας

για ακτινοβολία CuK_α των ορυκτών που προσδιορίστηκαν. Διόρθωση των αποτελεσμάτων έγινε με την αξιολόγηση πρότυπων μιγμάτων από τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν στα εξεταζόμενα δείγματα, μετά από σάρωση στις ίδιες συνθήκες.



Εικόνα 15. Περιθλασίμετρο του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας.

4.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

Το κύριο όργανο σχηματισμού εικόνας και μικροανάλυσης από τα δευτερογενή ηλεκτρόνια είναι το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο με σύστημα μέτρησης της διασποράς ενέργειας (SEM-EDS). Το σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο αποτελείται από τα εξής μέρη: α) το ηλεκτρονικό τηλεβόλο, β) το σύστημα ελέγχου ευθυγράμμισης, γ) την αεροστεγής βαλβίδα, δ) τους συμπυκνωτές φακούς, ε) το διάφραγμα, στ) τα πηνία σάρωσης, ζ) τον αντικειμενικό φακό, η) την τράπεζα και θ) τον θάλαμο δείγματος.

Το ηλεκτρονικό τηλεβόλο είναι η πηγή του φωτός για το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Είναι ο χώρος όπου παράγονται, επιταχύνονται και εστιάζονται

τα ηλεκτρόνια της ηλεκτρονικής δέσμης. Η ηλεκτρονική δέσμη παράγεται από ένα νήμα βολφραμίου που έχει σχήμα "V" και αποτελεί την κάθοδο (αρνητικό δυναμικό). Στο νήμα εφαρμόζεται ρεύμα με αποτέλεσμα αυτό να πυρακτώνεται και να εκπέμπει τη δέσμη ηλεκτρονίων. Η άνοδος (θετικό δυναμικό) έλκει τα ηλεκτρόνια ώστε αυτά να επιταχύνονται. Καθώς η δέσμη διέρχεται από τη στήλη του μικροσκοπίου περνάει από το σύστημα των συμπυκνωτών φακών. Αυτοί οι φακοί μειώνουν την διάμετρο της δέσμης και ελέγχουν τη φωτεινότητα με την οποία πέφτει πάνω στο δείγμα. Ο βασικός φακός του μικροσκοπίου που σχηματίζει το είδωλο του δείγματος και συνδυάζεται με το διάφραγμα είναι ο αντικειμενικός φακός. Η διάμετρος του διαφράγματος καθορίζει το ποσοστό των ηλεκτρονίων που θα εισέλθουν από αυτό και θα συνεισφέρουν στο σχηματισμό της εικόνας του δείγματος. Τα πηνία σάρωσης δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο που αναγκάζει τη δέσμη να κινείται μπρος πίσω σαρώνοντας έτσι την επιφάνεια του δείγματος.

Στην περίπτωση που οι παρατηρούμενες επιφάνειες δεν είναι αγωγίμες, γίνεται εξάχνωση ενός λεπτού αγωγίμου υμενίου ώστε να αποφευχθούν προβλήματα από την τοπική φόρτιση του δείγματος. Η διακριτική ικανότητα της επιφάνειας στο σαρωτικό μικροσκόπιο δεν είναι πολύ μεγάλη επειδή το ίχνος της δέσμης πάνω σε αυτήν μεγαλώνει από πολλαπλή σκέδαση. Καλύπτει την περιοχή μεταξύ του οπτικού μικροσκοπίου και του ηλεκτρονικού διερχόμενης δέσμης και είναι της τάξης μεγέθους του 0,1 μm . Το τελικό είδωλο είναι ιδιαίτερα φωτεινό και πλούσιο σε αντίθεση.

Το διάγραμμα ενέργειας που καταγράφεται στο δείγμα, δίνουν πληροφορίες για τη χημική σύσταση του δείγματος. Επομένως, μπορεί να γίνει στοιχειομετρική ανάλυση του δείγματος που ονομάζεται *μικροανάλυση*. Σε περίπτωση χρήσης διαγράμματος έντασης-ενέργειας γίνεται ανάλυση ενεργειακής διασποράς (EDS) σε αντίστοιχο φασματομέτρο. Η διαδικασία

χρήσης μικροαναλυτή περιλαμβάνει τα εξής βήματα: α) την προετοιμασία δειγμάτων για ανάλυση, β) την προετοιμασία οργάνου, και γ) την ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

Αντιπροσωπευτικές επιφάνειες από το εξεταζόμενο δείγμα μελετήθηκαν με την μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας με χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης τύπου Jeol JSM - 840 του εργαστηρίου ηλεκτρονικής μικροσκοπίας του Α.Π.Θ. (Εικ. 16) προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τα μορφολογικά και χημικά χαρακτηριστικά των συστατικών των εξεταζόμενων υλικών. Οι συνθήκες λειτουργίας του οργάνου ήταν: τάση 15 kV, ένταση ηλεκτρονικής δέσμης <3 nA και διαμέτρου 1 μm .



Εικόνα 16. Σαρωτικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του εργαστηρίου ηλεκτρονικής μικροσκοπίας του Α.Π.Θ.

4.3. Φασματοσκοπία υπέρυθρου

Φασματοσκοπία υπέρυθρου είναι η μελέτη των αλληλεπιδράσεων της υπέρυθρης ακτινοβολίας με τα μόρια κι ενεργειακά αντιστοιχεί με την ενέργεια ταλαντώσεων. Στην περιοχή του υπέρυθρου φάσματος της

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας συμβαίνουν απορροφήσεις που οφείλονται σε ταλάντωση των μορίων των ατόμων, δηλαδή σε δονήσεις ή κάμψεις των δεσμών τους. Τα μόρια πρέπει να έχουν μόνιμη διπολική ροπή, η οποία μεταβάλλεται κατά την παραμόρφωση του μορίου και συνεπώς απορροφούν στην περιοχή του υπέρυθρου. Η φασματοσκοπία δονήσεων δίνει πληροφορίες για τις δομικές ομάδες οι οποίες βρίσκονται σε ένα μόριο, συμπεριλαμβανομένου του είδους τους, των αντιδράσεών τους και της διάταξής τους στο χώρο. Είναι ποσοτική και μη καταστροφική μέθοδος, ακόμη και σε ευμετάβλητα συστατικά, σε ότι αφορά την επίδρασή της στην ύλη. Επίσης, λόγω της μεγάλης της ευαισθησίας, μπορούν να μελετηθούν ακόμη και μικρές αλλαγές στη συγκέντρωση των στοιχείων. Είναι μία καθολική μέθοδος, όσον αφορά στις απαιτήσεις του δείγματος, καθώς μπορούν να μελετηθούν υλικά άσχετα με την κατάσταση στην οποία βρίσκονται, στερεά, υγρά, αέρια, επιφάνειες, διαχωριστικές επιφάνειες μεταξύ στερεών και υγρών ή αερίων, μικροδομές, συμπαγή δείγματα ή φυλλώδεις δομές. Κατά τον Lazarev (1972) η φασματοσκοπία υπέρυθρου χρησιμοποιήθηκε «ως μία από τις κύριες μεθόδους για τον προσδιορισμό νέων συστατικών, τον καθορισμό ανιόντων, την κατηγοριοποίηση υλικών σε σχέση με την κρυσταλλική τους δομή, τη μελέτη ισόμορφων σχέσεων και των πολυμερικών μετασχηματισμών και την ποσοτική ανάλυση μιγμάτων αποτελούμενων από πολλές κρυσταλλικές φάσεις». Ως υπέρυθρη περιοχή του φάσματος του φωτός χαρακτηρίζεται η περιοχή με κυματάριθμο από 10 cm^{-1} έως 10.000 cm^{-1} . Η περιοχή αυτή, για πρακτικούς λόγους, χωρίζεται σε τρεις επιμέρους περιοχές, το κοντινό υπέρυθρο (near infrared, NIR) με κυματάριθμο από 4.000 cm^{-1} έως 10.000 cm^{-1} , το μέσο υπέρυθρο (mid-infrared, MIR) με κυματάριθμο από 400 cm^{-1} έως 4.000 cm^{-1} ενώ, για κυματάριθμο από 10 cm^{-1} έως 400 cm^{-1} ονομάζεται μακρινό υπέρυθρο (far infrared, FIR). Το ποσοστό της διερχόμενης

υπέρυθρης ακτινοβολίας μπορεί να αποδοθεί ως συνάρτηση του μήκους κύματος, που αποτελεί και το φάσμα της ουσίας στο υπέρυθρο.

4.3.1. Χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας στη μελέτη των ορυκτών

Παρά την πληθώρα των παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν ένα φάσμα υπέρυθρης ακτινοβολίας, οι οποίοι στο παρελθόν αποθάρρυναν τους ερευνητές να τη χρησιμοποιήσουν, τώρα είναι οι ίδιοι παράγοντες αυτοί που την καθιστούν από τις πιο «ενημερωτικές» μεθόδους που μπορούν να εφαρμοστούν αρχικά ως ένας οδηγός για τη γενική φύση του δείγματος. Ο Lazarev (1972) αναφέρει «για κανένα λόγο δεν είναι κατώτερη της ανάλυσης φάσης με ακτίνες-Χ, και σε μερικές περιπτώσεις είναι καλύτερη, καθώς καθιστά δυνατό τον καθορισμό της δομής πολύπλοκων ανιόντων». Λόγω της μεγάλης περιοχής κυματάριθμων της υπέρυθρης ακτινοβολίας που μπορεί να καταγραφεί και κυρίως στην περιοχή του μέσου υπέρυθρου είναι δυνατόν να γίνει διαχωρισμός των ορυκτών με βάση το φάσμα τους με μεγάλη ακρίβεια, γιατί στην πράξη σε καμία περίπτωση δεν λαμβάνονται φάσματα ορυκτών ακριβώς όμοια (Nyquist & Kagel 1971, Farmer 1974, Povarennykh 1978). Ακόμη, μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την κρυσταλλική του δομή, σε συνδυασμό με κρυσταλλογραφικά δεδομένα από μελέτη με ακτίνες-Χ, σε ότι αφορά το μέγεθος της κυψελίδας και πιθανές ομάδες συμμετρίας σε συνδυασμό με δεδομένα από μελέτη του με φασματοσκοπία Raman. Τέλος, μπορεί να γίνει αναγνώριση χαρακτηριστικών δεσμών από τη μελέτη των δονήσεων. Η φασματοσκοπία υπέρυθρου έχει εφαρμογή στη διάκριση ορυκτών που εμφανίζουν πολυτυπία. Λόγω της διαφορετικής τους δομικής κατάστασης οι δεσμοί που ενεργοποιούνται κατά την έκθεσή τους στην υπέρυθρη ακτινοβολία έχουν διαφορετικούς προσανατολισμούς και μήκη με

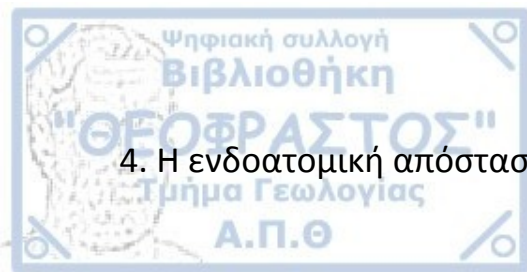
αποτελέσμα κάποιες από τις δονήσεις που εμφανίζονται σε ένα είδος ορυκτών να είναι απαγορευτικές σε κάποιο άλλο, όμοιας χημικής σύστασης αλλά διαφορετικής δομής ορυκτό, είτε οι κορυφές απορρόφησης του φάσματος του ενός να εμφανίζονται μετατοπισμένες σε σχέση με του άλλου. Με τον ένα ή τον άλλο τρόπο, όμως, τα φάσματά τους δεν είναι πανομοιότυπα. Ακόμη, λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της μπορεί να εφαρμοστεί στην εύρεση κι αναγνώριση εγκλεισμάτων στο προς εξέταση δείγμα. Στην περίπτωση που το δείγμα δεν είναι καθαρό, τότε στο φάσμα του παρουσιάζονται είτε οι κορυφές του πεπλατυσμένες, αφού η παρουσία εγκλεισμάτων μεταβάλλει τη δομή του πλέγματός του, είτε πιθανόν να υπάρχει κι αύξηση του αριθμού τους, αφού προστίθενται κι οι κορυφές από τα εγκλείσματα. Για τη σωστή χρήση της φασματοσκοπίας υπέρυθρου στη μελέτη των ορυκτών είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη θέση των βασικών και των χαρακτηριστικών κορυφών απορρόφησης στο φάσμα υπέρυθρου των ορυκτών. Κυρίως κατά τις δεκαετίες του '70 και του '80 αρκετές μελέτες ασχολήθηκαν με το θέμα αυτό θέτοντας τις αρχές και τις βάσεις στις οποίες στηρίχθηκαν οι μεταγενέστερες μελέτες και στηρίζονται ακόμη (Dachille & Roy 1959, Tarte 1962, Lazarev 1972, Farmer 1974). Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τη σχετική ένταση των δεσμών μεταξύ των γειτονικών ατόμων είναι Povarennykh (1978):

1. Το σθένος των κατιόντων και των ανιόντων κι από τη στιγμή που τα περισσότερα ορυκτά αποτελούνται από ενώσεις του οξυγόνου και του θείου ο κυριότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ποικιλία των εντάσεων των ενδοατομικών δεσμών είναι το σθένος των κατιόντων, το οποίο κυμαίνεται από 1 έως 6. Η αύξηση κατά μία μονάδα του σθένους του κατιόντος μετατοπίζει τις κορυφές που συνδέονται με το δεσμό αυτό σε μεγαλύτερες συχνότητες. Αυτός είναι κι ένας λόγος που η φασματοσκοπία υπέρυθρου

ενδείκνυται για τη μελέτη ορυκτών που αποτελούνται από κατιόντα με διάφορους αριθμούς σθένους (πχ. Ti, V, Mn, Fe, Cu, As, Se, Sn κ.ά.).

2. Ο αριθμός σύνταξης των κατιόντων, του οποίου η μείωση προκαλεί είτε τη μετακίνηση κορυφών σε μεγαλύτερες συχνότητες, είτε ισχυρότερους δεσμούς. Ωστόσο, η μετακίνηση αυτή δεν οφείλεται μόνο στην αύξηση των αποστάσεων των ατόμων, αλλά κι από την αύξηση της κβαντο-μηχανικής αλληλεπίδρασης (δεσμοί ταλάντωσης/συντονισμού). Με τη μείωση του αριθμού σύνταξης από 6 σε 4, 3 και 2 η αλληλεπίδραση αυτή αυξάνεται κατά 0,75, 0,8, 0,9 και 1,0, αντίστοιχα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα ευδιάκριτο στην περίπτωση που υπάρχει μεταβολή του αριθμού σύνταξης σε ελαφριά στοιχεία με μεγάλο σθένος (πχ. Si, Al, Be, B κ.ά.).

3. Η μάζα των ατόμων, όπου η αύξησή της οδηγεί στη μείωση της συχνότητας. Βέβαια, εκτός από τη μάζα των ατόμων, η μετακίνηση αυτή επηρεάζεται και από την αύξηση των ενδοατομικών αποστάσεων. Λόγω της σύστασης των ορυκτών από διαφορετικά είδη πολυέδρων, που αποτελούνται από κατιόντα κι ανιόντα, συγκεκριμένης σύστασης, διαστάσεων και μάζας, η ένταση των ενδοατομικών δεσμών εξαρτάται από τις συνδέσεις των ατόμων στα πολυέδρα. Συνεπώς, οι περιορισμοί στις εντάσεις των δονήσεων σε ομάδες ορυκτών εξαρτώνται από την ποικιλία της χημικής τους σύστασης, τις διαστάσεις και τη μάζα των ατόμων στις ομάδες τους (Tarte 1962). Ωστόσο, η μελέτη ομάδων ορυκτών δεν μπορεί να στηριχθεί μόνο στην παρατήρηση αυτή, επειδή υπάρχει αλληλοεπικάλυψη των περιοχών εμφάνισης των κορυφών απορρόφησης μεταξύ των ομάδων (Povarennykh 1978) και προτείνεται συμπληρωματικά η εξέτασή τους με κάποια άλλη μέθοδο, είτε χημική, είτε οπτική, είτε ακτίνων-Χ.



4. Η ενδοατομική απόσταση κατιόντος-ανιόντος.

5. Ο συντελεστής της σχετικής έντασης των δεσμών, ο οποίος κυμαίνεται από 1 μέχρι 2 ανάλογα με το βαθμό ομοιοπολικότητας του δεσμού. Οι τρεις πρώτοι παράμετροι είναι αυτοί που συμβάλλουν περισσότερο στον καθορισμό της έντασης και τη θέσης των κορυφών απορρόφησης του υπέρυθρου φάσματος, ενώ οι δύο τελευταίοι είναι επίσης σημαντικοί, αλλά οι τιμές των παραμέτρων τους κυμαίνονται σε μικρότερα όρια.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην εικόνα 17 παρουσιάζονται φωτογραφίες των εξεταζόμενων δειγμάτων από το στερεοσκόπιο. Στο υλικό που ήταν διαθέσιμο, διαπιστώθηκε από τη στερεοσκοπική παρατήρηση ότι συνίσταται από έναν κόκκινο πυρήνα που περιβάλλεται κατά θέσεις από μία κυανοπράσινη μάζα. Με επιλεκτική θραύση και προσεκτικό διαχωρισμό κάτω από το στερεοσκόπιο, συλλέχθηκε υλικό εμπλουτισμένο τόσο από τον κόκκινο πυρήνα, όσο και από την κυανοπράσινη μάζα για περαιτέρω μελέτη.



Εικόνα 17. Στερεοσκοπική εικόνα του εξεταζόμενου δείγματος.

5.1. Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ

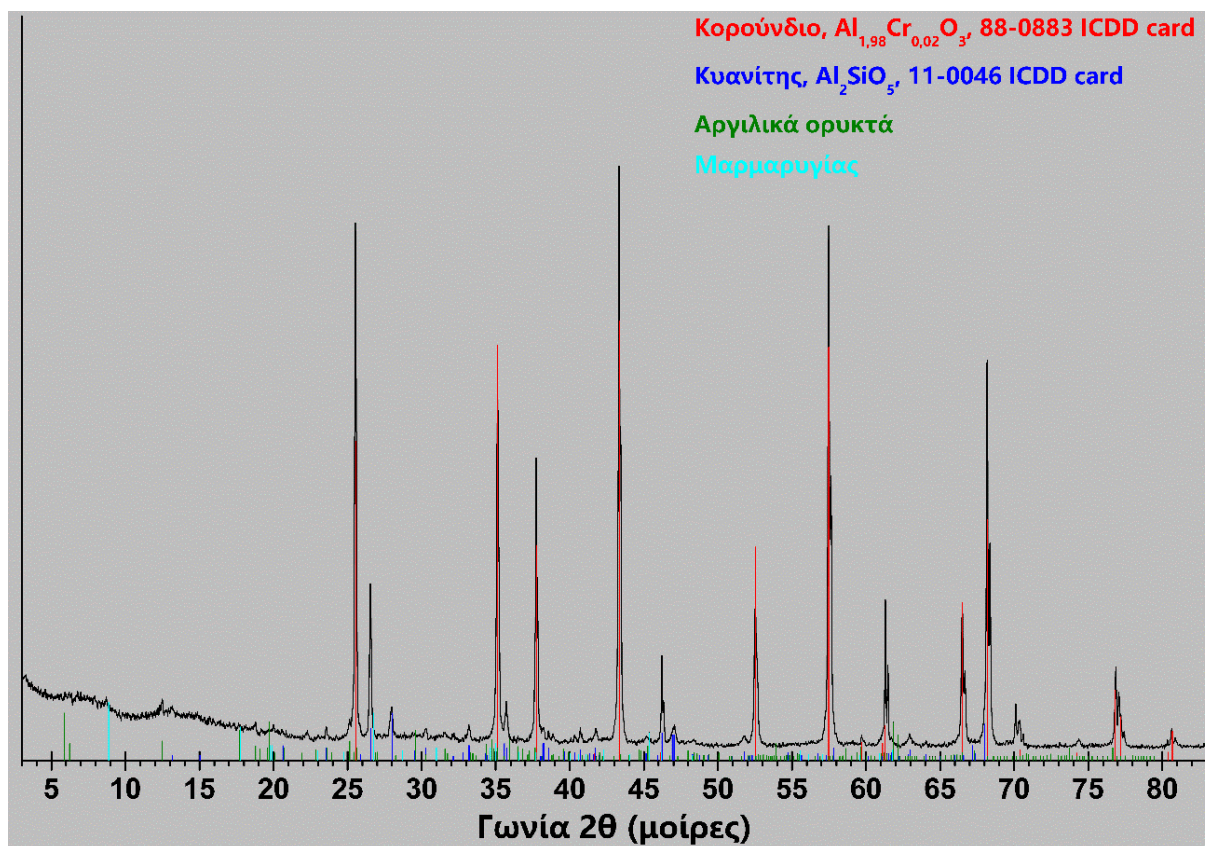
Στον Πίν. 1 δίνονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, ενώ στις εικόνες 18 και 19 δίνονται τα περιθλασιογράμματα του κόκκινου κορουνδίου και της κυανοπράσινης μάζας που το περιβάλλει.

Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα (Πιν. 1) και το περιθλασιόγραμμα της εικόνας 18, το εξεταζόμενο κορούνδιο ταυτοποιείται με την πλούσια σε Cr ποικιλία αυτού ($\text{Al}_{1,98}\text{Cr}_{0,02}\text{O}_3$), δηλαδή την καρτέλα 88-0883 του διεθνούς κέντρου περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (ICDD).

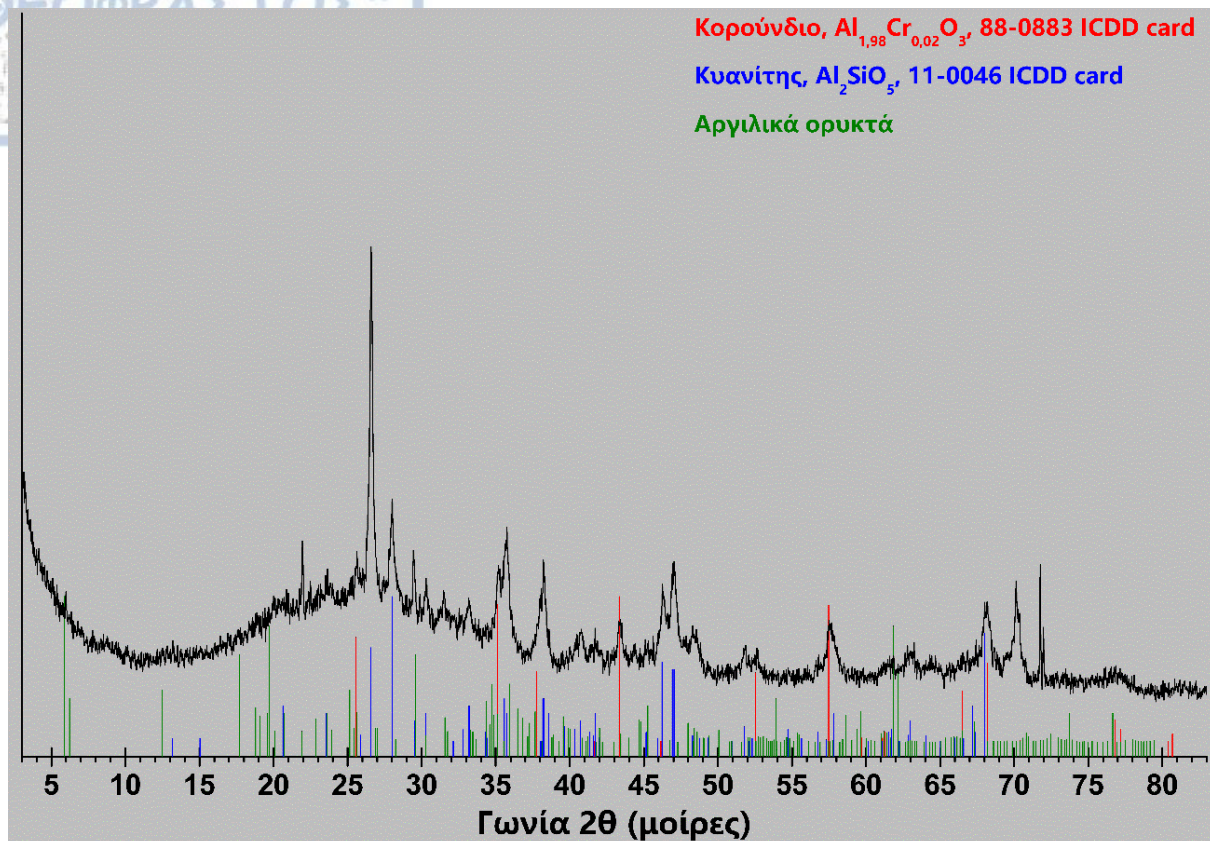
Πίνακας 1. ορυκτολογική σύσταση (% κ.β.) των εξεταζόμενων δειγμάτων.				
Δείγμα	Cor	Ky	TCl	M
Κόκκινο κορούνδιο	87	10	2	1
Κυανοπράσινη μάζα	15	78	4	3

Cor: Κορούνδιο (Cr-ούχο), Ky: Κυανίτης, TCl: Ολικά αργιλικά, M: Μαρμαρυγίας.

Επίσης, από τον Πίν. 1 και την Εικ. 19 προκύπτει ότι το κύριο συστατικό της κυανοπράσινης μάζας είναι ο κυανίτης, ενώ σε μικρότερες ποσότητες αναγνωρίστηκαν αργιλικά ορυκτά και μαρμαρυγίας. Η παρουσία του κυανίτη δείχνει σχηματισμό του πετρώματος που περιέχει το κόκκινο κορούνδιο σε περιβάλλον μεταμόρφωσης υψηλού Al-χαμηλού Si και συνθήκες υψηλής πίεσης. Κυανίτης μπορεί να βρεθεί σε γνευσίους, σχιστόλιθους, πηγματίτες και χαλαζιακές φλέβες, καθώς και σε προϊόντα ιζηματογένεσης που προκύπτουν από τη διάβρωση αυτών των σχηματισμών.



Εικόνα 18. Περιθλασιόγραμμα του εξεταζόμενου δείγματος κόκκινου κορούνδιου.



Εικόνα 19. Περιθλασιόγραμμα της κυανοπράσινης μάζας.

5.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης

Οι μικροαναλύσεις στον κρύσταλλο του κόκκινου κορουνδίου έδειξαν ότι αυτός αποτελείται αποκλειστικά από 100% Al_2O_3 . Προκειμένου να διαπιστωθεί που οφείλεται το κόκκινο χρώμα, έγινε στοιχειακή χαρτογράφηση (mapping) και προσπάθεια αποτύπωσης των χημικών στοιχείων που συναντώνται στην επιφάνεια του κρυστάλλου. Από αυτή διαπιστώθηκε η παρουσία διάσπαρτων ιόντων Cr (με λευκό χρώμα στην Εικ. 20) στην επιφάνεια του κρυστάλλου.

Η παρουσία του Cr δικαιολογεί το κόκκινο χρώμα του κορουνδίου και το κατατάσσει ως ρουμπίνι. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτά είναι σε πολύ καλή συμφωνία με τα δεδομένα της ορυκτολογικής ανάλυσης, από την οποία προέκυψε ότι υπήρχε καλύτερη ταύτιση με την πλούσια σε Cr καρτέλα του κορουνδίου.



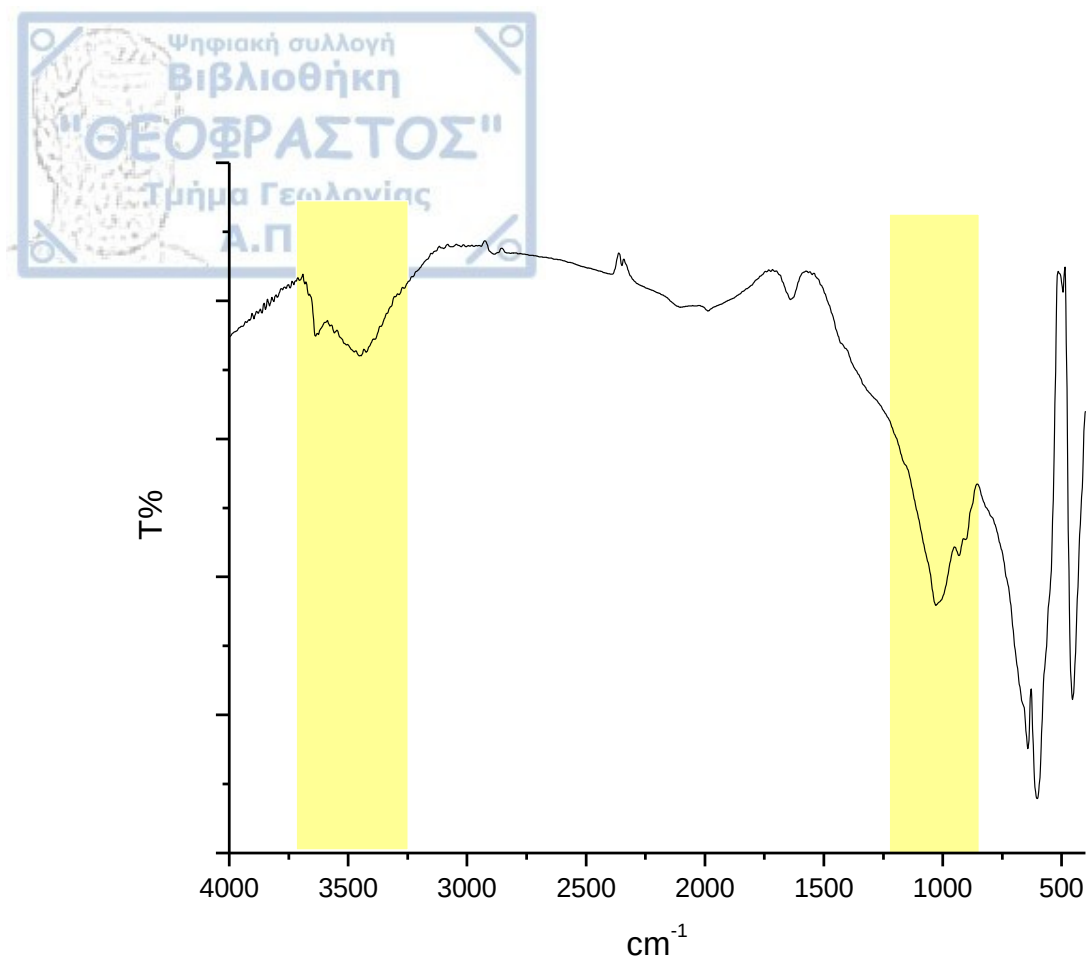
Cr Ka1

Εικόνα 20. Κατανομή Cr (λευκό χρώμα) στην επιφάνεια του εξεταζόμενου κρυστάλλου κόκκινου κορουνδίου.

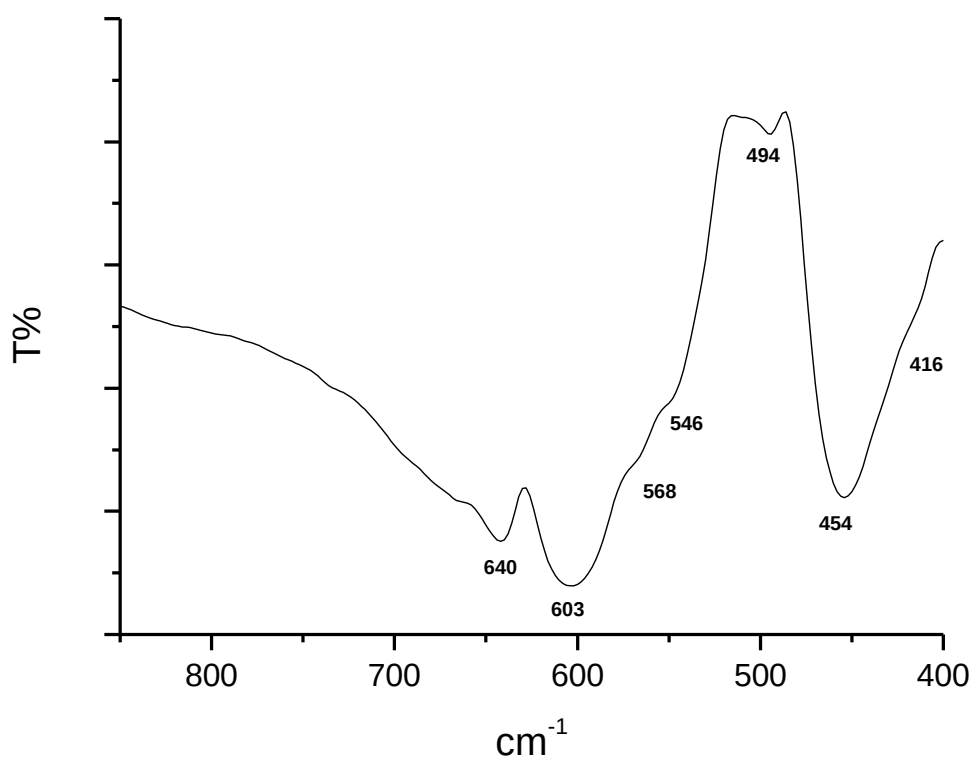
5.3. Φασματοσκοπία υπέρυθρου

Το δείγμα κόκκινου κορουνδίου σε μορφή σκόνης έδωσε το παρακάτω φάσμα διαπερατότητας (Εικ. 21) στην περιοχή του μεσαίου υπέρυθρου (MIR). Η φασματική περιοχή που αφορά στο Al_2O_3 είναι από 850 έως 400 cm^{-1} (Εικ. 22). Οι κίτρινες ζώνες αφορούν άλλο υλικό και πιθανόν μπορούν να αποδοθούν σε αργιλικά ορυκτά.

Οι κορυφές στα 640, 603, 494 και 454 cm^{-1} , καθώς και οι μικρές αναθολώσεις (shoulders) στα 568, 546 και 416 cm^{-1} (Εικ.22) αφορούν δονήσεις των δεσμών Al-O (Farmer 1974).



Εικόνα 21. Φάσμα διαπερατότητας στην περιοχή του μεσαίου υπέρυθρου του εξεταζόμενου κορουινδίου.



Εικόνα 22. Φασματική περιοχή από 850 έως 400 cm^{-1} του εξεταζόμενου κορουινδίου.



Τα αποτελέσματα της μελέτης με φασματοσκοπίας υπέρυθρου είναι σε πολύ καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ και της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δείγμα κόκκινου κορούνδιου από την περιοχή του Παρανεστίου Δράμας μελετήθηκε στερεοσκοπικά, ορυκτολογικά με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ, ορυκτοχημικά με τη μέθοδο της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης και φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της φασματοσκοπίας υπέρυθρου να αξιολογηθεί η σύσταση και η καθαρότητα του συγκεκριμένου λίθου

Ορυκτολογικά το κόκκινο κορούνδιο που μελετήθηκε ταυτοποιείται με την πλούσια σε Cr ποικιλία του. Ως δευτερεύον ορυκτό αναγνωρίστηκε κυρίως κυανίτης που δείχνει συνθήκες μεταμόρφωσης υψηλής πίεσης.

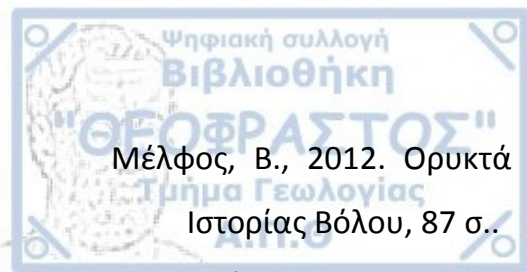
Ορυκτοχημικά το κόκκινο κορούνδιο αποτελείται αποκλειστικά από 100% Al_2O_3 , ενώ η στοιχειακή χαρτογράφηση της επιφάνειας του εξεταζόμενου κρυστάλλου έδειξε την παρουσία διάσπαρτων ιόντων χρωμίου.

Η φασματοσκοπική μελέτη επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης σχετικά με την παρουσία και την καθαρότητα του κορούνδιου.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι το εξεταζόμενο κόκκινο κορούνδιο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ρουμπίνι. Η οικονομική σημασία αυτών των εμφανίσεων θα πρέπει να εκτιμηθεί μετά από μελέτη της ικανότητας κοπής των συγκεκριμένων λίθων και της αξίας που αυτοί θα έχουν ως πολύτιμοι λίθοι.



- Boehm E. (2004). New ruby production from Malawi. *Gems & Gemology*, 40, p. 71.
- Dachille F. and Roy R. (1959). High pressure region of the silica isotypes. *Z. Kristallchem.*, 451-461.
- Farmer C.V. (1974). *The Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society Monograph, 4, p. 188.
- Kiefert L. (2004). Synthetic Verneuil corundum with unusual color zoning. *Gems and Gemology*, 40, 354-355.
- Lazarev A.N. (1972). *Vibrational Spectra and Structure of Silicates* New York Plenum Press, p. 123-124.
- Nyquist A.R. Kagel O.R. (1971). *Infrared Spectra of Inorganic compounds*. Academic press, New York-London.
- Oldershaw C., Woodward C. and Harding R., 1988. *Gemstones*. Sterling Publishing Co., New York, 60 p.
- Oliveira J.C. (1998). *Recursos Gemológicos dos Estados do Piauí e Maranhão: Teresina, Piauí, Brazil, CPRM*, 38 p.
- Osswald K. (1938). *Geologische Geschichte von Griechisch-Nord-makedonien*. Denkschr. Geol. Land. Griechenl., 3, Athen.
- Papanikolaou D. and Panagopoulos A. (1981). On the structural style of Southern Rhodope, Greece. *Geologica Balcanica*, 11(3), 13-22.
- Povarennykh A.S. (1978). The use of infrared spectra for the determination of minerals. *American mineralogist*, 63, 956-959.
- Schultz-Guttler R. A., (2005). Fuchsite-Corundum rock from Bahia, Brazil. *Gems and Gemology*, 41, 266-267.
- Soldatos K. (1961). Die jungen Vulkanite der griechischen Rhodopen und ihre provinziellen Verhältnisse. *Petr. inst. der Eidgenoss. Tech. Hochschule Zürich*, No 8, 102p.
- Tarte P. (1962). Etude infra-rouge des orthosilicates et des orthogermanates Une nouvelle methode d'interprétation des spectres. *Spectrochimica Acta*, 18(4), 467-483.



Μέλφος, Β., 2012. Ορυκτά και Πολύτιμοι λίθοι της Ελλάδας. Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Βόλου, 87 σ..

Μουντράκης Δ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας. University Studio Press, σ. 35-46.

Σκλαβούνος Σ. (1981). Ο Γρανίτης του Παρανεστίου (ορυκτολογία-πετρογραφία). Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 175 σ.

Τσιραμπίδης Α. (2005). Ο ορυκτός πλούτος της Ελλάδος. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη, σ. 318,325.

Ιστοσελίδες

<https://gr.dreamstime.com/photos->

[images/%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CE%BA%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%85%CE%BD%CE%B4%CE%B9%CE%BF.html](https://gr.dreamstime.com/photos-images/%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF-%CE%BA%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%85%CE%BD%CE%B4%CE%B9%CE%BF.html)

https://en.wikipedia.org/wiki/Verneuil_process

<https://www.gemselect.com/other-info/about-star-gemstones.php>

<http://www.geodifhs.com/nea/mozambiqueruby>

<https://www.gia.edu/gia-news-research-mozambique-expedition-ruby-discovery-new-millennium>

<http://www.jewelpedia.com/lex131-roumpini-ruby.html>

<http://www.jewelpedia.com/lex162-koroundio-corundum.html>

<https://www.mindat.org/loc-16079.html>

<http://www.ruby-sapphire.com/index.html>

<http://www.shinyyy.com/rubycorundum/>

<http://theonlinejeweller.org/asterism-star-gemstones/>

<http://www.tovima.gr/relatedarticles/article/?aid=109991>

<http://volosmuseum.gr/2012%20ppt-Orykta-Melfos.pdf>