



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

Δέσποινα Εκλεμέ

Ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη σε αμέθυστους από την Ελλάδα με μικροσκοπία, ρευστά εγκλείσματα και FTIR



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΕΛΦΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2019





Περιεχόμενα

Abstract	4
Περίληψη	4
1. Εισαγωγή	5
1.1. Πρόλογος - Αντικείμενο Εργασίας	5
2. Ορυκτά και οι ιδιότητές τους	6
2.1 Ορυκτό	6
2.2 Κρύσταλλος	8
2.3 Ταξινόμηση των ορυκτών	9
2.4 Φυσικές Ιδιότητες των Ορυκτών	9
2.4.1 Χρώμα	10
2.4.2 Γραμμή σκόνης	11
2.4.3 Σκληρότητα	12
2.4.4 Σχισμός και Θραυσμός	13
2.4.5 Αντοχή	14
2.4.6 Λάμψη	15
2.4.7 Ειδικό Βάρος	16
2.5. Κρυσταλλικό Σύστημα και Μορφή	17
3. Πολύτιμοι λίθοι	18
4. Αμέθυστος	21
5. Χώρες εξόρυξης και πηγών του αμέθυστου	22
6. Αναγνώριση πολυτίμων λίθων	32
7. Διαχωρισμός φυσικού από συνθετικό αμέθυστο.	39
8. Αναλύσεις με FTIR των αμέθυστων από Ελλάδα και Βουλγαρία	41
9. Μέθοδος FTIR	43
10. Ρευστά εγκλείσματα σε αμέθυστους	4746
11. Συμπεράσματα	5150
Βιβλιογραφία	5251
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	5251
Εικόνες	5352



Mineralogical and geochemical study of amethysts from Greece with microscopy, fluid inclusions and FTIR.

by Despoina Ekleme

The present diploma thesis deals with the mineralogical and geochemical study of amethysts from Greece. Special reference is made to the physical properties of minerals, specifically of the amethyst, to the methods of identifying amethyst from other minerals, the distinguish of natural from synthetic amethysts and to the fluid inclusions observed in samples from occurrences in Macedonia and Thrace. Finally, the most important deposits worldwide and also in Greece are mentioned.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά τη ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη των αμέθυστων από περιοχές της Ελλάδας. Γίνεται αναφορά στις φυσικές ιδιότητες των ορυκτών και πιο συγκεκριμένα του αμέθυστου, στις μεθόδους αναγνώρισης του αμέθυστου από άλλα ορυκτά, στο διαχωρισμό φυσικού και συνθετικού αμέθυστου και στα ρευστά εγκλείσματα που παρατηρούνται στα δείγματα από περιοχές της Μακεδονίας και Θράκης. Τέλος, αναφέρονται τα σημαντικότερα κοιτάσματα σε όλο τον κόσμο και στην Ελλάδα.

1. Εισαγωγή

1.1. Πρόλογος - Αντικείμενο Εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η ορυκτολογική και γεωχημική μελέτη των αμέθυστων από περιοχές της Ελλάδας, όπως Μήλος, Λέσβος, Κάτω Νευροκόπι Ν. Δράμας, Σάπες του Ν. Ροδόπης Σουφλί και Παγώνη Ράχη Κίρκης του Ν. Έβρου.

Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό:

- την κατανόηση όρων όπως του ορυκτού, του κρυστάλλου και των ιδιοτήτων που φέρουν.
- την ανάδειξη της διαφοράς μεταξύ κοινών ορυκτών και πολύτιμων λίθων
- την καταγραφή όλων των γεωμορφολογικών οργάνων για την αναγνώριση πολύτιμων λίθων
- να ξεχωρίσει τον φυσικό από τον συνθετικό αμέθυστο
- και να αναφέρει τα σημαντικότερα κοιτάσματα αμέθυστου στη χώρα μας αλλά και σε παγκόσμια κλίμακα.

Οι ηλεκτρονικές πηγές των εικόνων που παρατίθενται στο κείμενο αναφέρονται στο τέλος του κειμένου.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, κ. Βασίλειο Μέλφο, για την ανάθεση του θέματος, το αμείωτο ενδιαφέρον, τις χρήσιμες συμβουλές του και τη στήριξη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης οφείλω ευχαριστίες προς τον Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Παρασκευόπουλο και την Δρ. Τριανταφυλλιά Ζορμπά από το Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. για την πραγματοποίηση των αναλύσεων FTIR καθώς και την βοήθεια στην ερμηνεία των φασμάτων.

2. Ορυκτά και οι ιδιότητές τους

2.1 Ορυκτό

Το ορυκτό είναι ένα φυσικό, δηλαδή σχηματίζεται από φυσικές διαδικασίες και όχι από τεχνητές διαδικασίες όπως συμβαίνει στο εργαστήριο, ομογενές στερεό συστατικό του φλοιού της Γης (Εικ. 1). Υπό συγκεκριμένες φυσικοχημικές συνθήκες έχει καθορισμένη χημική σύσταση και ορισμένες κρυσταλλογραφικές σταθερές (Θεοδωρίκας, 2013).



Εικόνα 1: Κρύσταλλοι αμέθυστου με επίδοτο (Μεξικό).

Για να αντιληφθεί κάποιος πλήρως την έννοια του ορυκτού παρακάτω θα δοθούν κάποιες διευκρινήσεις. Ο χαρακτηρισμός φυσικό διευκρινίζει τα ορυκτά που σχηματίζονται στη Γη από φυσικές διαδικασίες από τα ορυκτά που παρασκευάζονται στο εργαστήριο (Εικ. 2). Ακόμη, η ομογένεια ενός ορυκτού δεν είναι απόλυτη, αλλά εξαρτάται από το μέσο και συνεπώς την κλίμακα παρατήρησης. Πιο συγκεκριμένα, ένα ορυκτό με γυμνό μάτι μπορεί να παρουσιάζεται ομογενές, αντιθέτως με τη χρήση του μικροσκοπίου που μας παρέχει μεγαλύτερη μεγέθυνση το ίδιο ορυκτό μπορεί να αποδειχθεί ανομοιογενές. Τέλος, εννοούμε ότι ένα ορυκτό έχει καθορισμένη χημική σύσταση, όταν η σύστασή του μπορεί να εκφραστεί με έναν συγκεκριμένο χημικό τύπο. Έτσι, για παράδειγμα η χημική σύσταση του ορυκτού χαλαζίας εκφράζεται πάντοτε με τον τύπο SiO_2 . Από την άλλη, υπάρχουν ορυκτά όπως για παράδειγμα ο ολιβίνης, ο οποίος έχει γενικό χημικό τύπο $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$. Οι περιεκτικότητες

των στοιχείων αυτών (Mg,Fe) ποικίλουν σε κάθε δείγμα και γι' αυτό αναφερόμαστε σε σύσταση η οποία γενικά είναι ορισμένη, αλλά μέσα σε κάποια όρια.



Εικόνα 2: Αμέθυστος από Ουρουγουάη.

Ο όρος ορυκτό προέρχεται από το αρχαίο ρήμα "ορύττω" ή ορύσσω που σημαίνει σκάβω. Σύμφωνα με τη πιο πρόσφατη ενημέρωση (Νοέμβριος 2017) από τη International Mineralogical Association (IMA) υπάρχουν 5312 γνωστά ορυκτά και συνεχώς αυτός ο αριθμός αυξάνεται χάρη στην εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία συμβάλλει στην ανακάλυψη νέων ορυκτών. Το μέγεθος ενός ορυκτού κυμαίνεται από μερικά μικρά του μέτρου (μm) έως μερικά μέτρα (m) (Εικ. 3) (Μέλφος 2000).



Εικόνα 3: Αμέθυστος από το Μεξικό.

2.2 Κρύσταλλος

Κρύσταλλος είναι το ορυκτό, το οποίο υπό ορισμένες συνθήκες, καθώς το τήγμα ψύχονταν, είχε τον κατάλληλο χώρο ώστε να αναπτύξει έδρες προσδίδοντάς του πολυεδρικό σχήμα (Εικ. 4). Η ανάπτυξη των εδρών οφείλεται στην τοποθέτηση των δομικών μονάδων (μόρια, άτομα, ιόντα) στο κρυσταλλικό πλέγμα. Η λέξη κρύσταλλος έχει τις ρίζες της στις αρχαίες λέξεις «κρύος» και «στέλλεσθαι» (=στερεοποιούμαι). Στην αρχαιότητα το ορυκτό χαλαζίας το ονόμασαν «ορεία κρύσταλλος», αφού πίστευαν ότι αυτό απέκτησε την κρυσταλλική του κατάσταση λόγω ισχυρής ψύξης σε ψηλά όρη.



Εικόνα 4: Διδυμία κρυστάλλων αμέθυστου από το Μεξικό.

Υπάρχουν εννέα κύριες χημικές ομάδες και τα μέλη της κάθε ομάδας έχουν κοινά συστατικά και ιδιότητες (Μέλφος 2000):

αυτοφυή στοιχεία: αποτελούνται από ένα μόνο στοιχείο (πχ χρυσός, άργυρος, χαλκός, διαμάντι)

θειούχα (σουλφίδια): είναι ενώσεις μετάλλων με το S (πχ σιδηροπυρίτης)

οξειδία: είναι ενώσεις στοιχείων με το O (πχ μαγνητίτης)

υδροξείδια: είναι ενώσεις στοιχείων με OH (πχ λειμωνίτης)

αλογονίδια: είναι ενώσεις μετάλλων με τα αλογόνα αέρια: Br, F, I, Cl (πχ φθορίτης)

θειικά: είναι ενώσεις μετάλλων με SO_4 (πχ γύψος)

ανθρακικά: είναι ενώσεις στοιχείων με CO_2 (πχ ασβεστίτης)

φωσφορικά: είναι ενώσεις μετάλλων με P και O (πχ απατίτης)

πυριτικά: είναι ενώσεις μετάλλων με Si και O (πχ γρανάτης)

2.4 Φυσικές Ιδιότητες των Ορυκτών

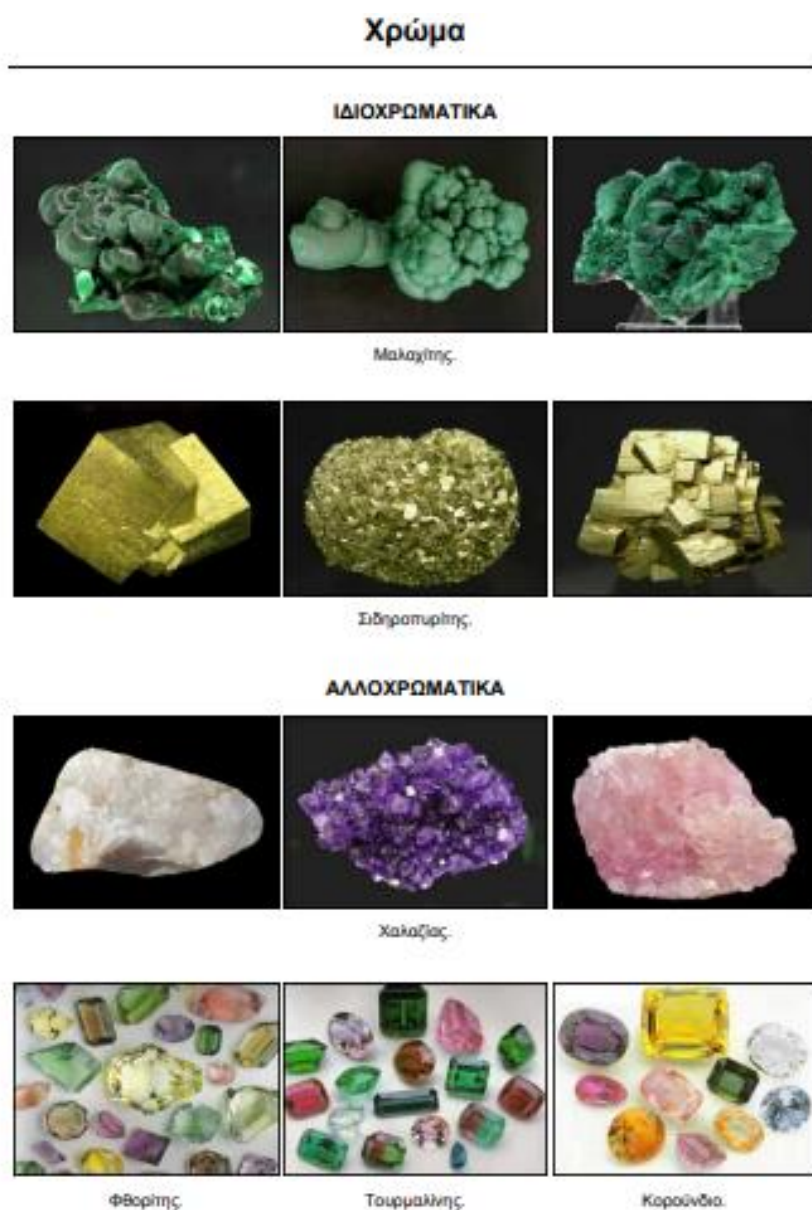
Οι φυσικές ιδιότητες των ορυκτών συμβάλλουν στην γρήγορη αναγνώρισή τους. Οι ιδιότητες αυτές είναι το χρώμα, η λάμψη, η σκληρότητα, το ειδικό βάρος, ο σχισμός, η γραμμή σκόνης και τέλος μαγνητικές και ηλεκτρικές ιδιότητες (Εικ. 5).



Εικόνα 5: Αμέθυστος από το Βέλγιο.

2.4.1 Χρώμα

Το χρώμα των ορυκτών είναι ένας βασικός παράγοντας για την αναγνώρισή τους. Τα ορυκτά ανάλογα διακρίνονται σε ιδιοχρωματικά και αλλοχρωματικά. Στην πρώτη περίπτωση, το χρώμα τους παραμένει σταθερό καθώς εξαρτάται άμεσα από τη χημική σύσταση τους, όπως π.χ. ο μαλαχίτης που έχει πράσινο χρώμα. Στην δεύτερη περίπτωση, το χρώμα μεταβάλλεται ανάλογα με τις περιεκτικότητες των στοιχείων που συμμετέχουν στη χημική σύσταση των ορυκτών και με την ύπαρξη εγκλεισμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο χαλαζίας, τον οποίο τον συναντάμε ως άχρωμο διαφανή, ροζ, μαύρο (καπνίας), ιώδη (αμέθυστος), κίτρινο (κιτρίνης), λευκό (γαλακτώδης), πράσινο και άλλες πολλές αποχρώσεις (Εικ. 6) (Μέλφος 2000).



Εικόνα 6: Φυσική ιδιότητα- χρώμα (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.4.2 Γραμμή σκόνης

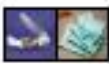
Η γραμμή σκόνης προσδιορίζει το χρώμα ενός ορυκτού όταν αυτό κονιοποιηθεί. Το χρώμα της γραμμής σκόνης είναι ανεξάρτητο από το χρώμα του ορυκτού και σταθερό για κάθε ορυκτό και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται με ασφάλεια ως διαγνωστικό κριτήριο. Το χρώμα της σκόνης προσδιορίζεται όταν το ορυκτό χαράζει μια αστίλβωτη επιφάνεια πορσελάνης. Ανάλογα με το χρώμα της γραμμής σκόνης, τα ορυκτά διακρίνονται σε αυτόχροα και ετερόχροα. Στην πρώτη περίπτωση, τα ορυκτά δίνουν χρωματισμένη γραμμή σκόνης, όπως για παράδειγμα ο μαγνητίτης που δίνει μαύρη ή ο μαλαχίτης που δίνει πράσινη. Στην δεύτερη περίπτωση, τα ορυκτά δίνουν λευκή ή άχρωμη γραμμή σκόνης, όπως για παράδειγμα ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, το διαμάντι (Εικ. 7) (Μέλφος 2000).



Εικόνα 7: Φυσική ιδιότητα- γραμμή σκόνης (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.4.3 Σκληρότητα

Με τον όρο σκληρότητα εννοούμε την αντίσταση που προβάλλει ένα ορυκτό στην τριβή με άλλα υλικά. Η μέτρηση της σκληρότητας γίνεται με τη βοήθεια της κλίμακας Mohs, η οποία αποτελείται από δέκα ορυκτά ταξινομημένα από το μαλακότερο προς το σκληρότερο. Όσο πιο μεγάλο αριθμό έχει ένα ορυκτό τόσο σκληρότερο είναι, με αποτέλεσμα να χαράσσει τα υπόλοιπα με μικρότερο αριθμό (Εικ. 8) (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008).

Σκληρότητα				
ΚΛΙΜΑΚΑ MOHS				
1.		Τάλκης		(1)*
2.		Γύψος		(3)
3.		Ασβεστίτης	 Νύχι (~2½)	(9)
4.		Φθορίτης	 Νύχια (~3)	(21)
5.		Απατίτης	 Σιδηρόκαρφο (~4½)	(48)
6.		Ορθόκλαστο	 Μαχαίρι-Τζάμι (~5½)	(72)
7.		Χαλαζίας	 Παραλίθιο-Λίμα (~6½)	(100)
8.		Τοπάζιο		(200)
9.		Κορούνδιο		(400)
10.		Διαμάντι		(1800)

* Οι αριθμοί στις παρενθέσεις δείχνουν τη σκληρότητα σε απόλυτες αναλογίες.

Εικόνα 8: Φυσική ιδιότητα- σκληρότητα (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.4.4 Σχισμός και Θραυσμός

Σχισμός είναι η τάση των ορυκτών να σπάζουν παράλληλα σε κρυσταλλογραφικές έδρες. Ορυκτά που παρουσιάζουν τέλειο σχισμό είναι ο ασβεστίτης, ο βαρύτης, ο χλωρίτης, ο βιοτίτης, ο γαληνίτης, ο μοσχοβίτης κ.ά. Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες τα ορυκτά δεν εμφανίζουν σχισμό, αλλά θραυσμό, δηλαδή τυχαίο σπάσιμο (Εικ. 9) (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008).



Εικόνα 9: Φυσική ιδιότητα- σχισμός (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.4.5 Αντοχή

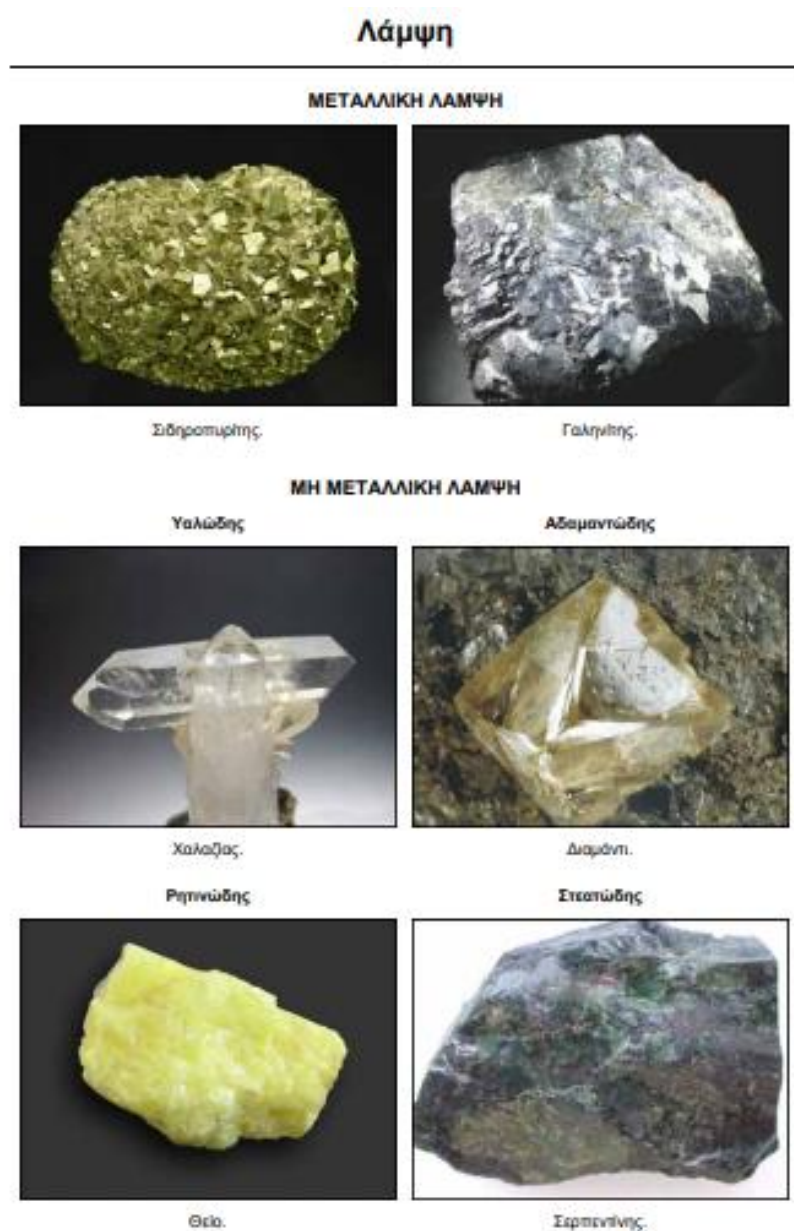
Με τον όρο αντοχή εννοούμε συνεκτικότητα της υπό συγκεκριμένες μηχανικές επιδράσεις. Η ιδιότητα αυτή των ορυκτών περιγράφεται με διάφορους όρους όπως: εύθραυστο, εύπλαστο, εύκοπτο, ελαστικό, εύκαμπτο, όλκιμο και ελατό (Εικ10) (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008).



Εικόνα 10: Φυσική ιδιότητα- αντοχή (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.4.6 Λάμψη

Λάμψη είναι η ιδιότητα που αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο εμφανίζεται, σε πρόσφατη τομή, η επιφάνεια ενός ορυκτού και που εξαρτάται από το ποσοστό του φωτός που ανακλάται στην επιφάνεια αυτή. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες λάμψης: τη μεταλλική και τη μη μεταλλική. Μεταλλική λάμψη έχουν τα ορυκτά που δίνουν την εντύπωση του μετάλλου και είναι εντελώς αδιαφανή στο φως και έχουν δείκτη διάθλασης >3 (σιδηροπυρίτης, γαληνίτης, χαλκοπυρίτης, αυτοφυή μέταλλα). Τα ορυκτά με μη μεταλλική λάμψη είναι κυρίως διαφανή, έχουν δείκτη διάθλασης $<2,6$. Για την περιγραφή της λάμψης χρησιμοποιούνται διάφοροι όροι, όπως υαλώδης, αδαμαντώδης, ρητινώδης, στεατώδης, μαργαριταρώδης, μεταξώδης (Σαπουντζής και Χριστοφίδης, 1985) (Εικ. 11).



Εικόνα 11: Φυσική ιδιότητα- λάμψη (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.4.7 Ειδικό Βάρος

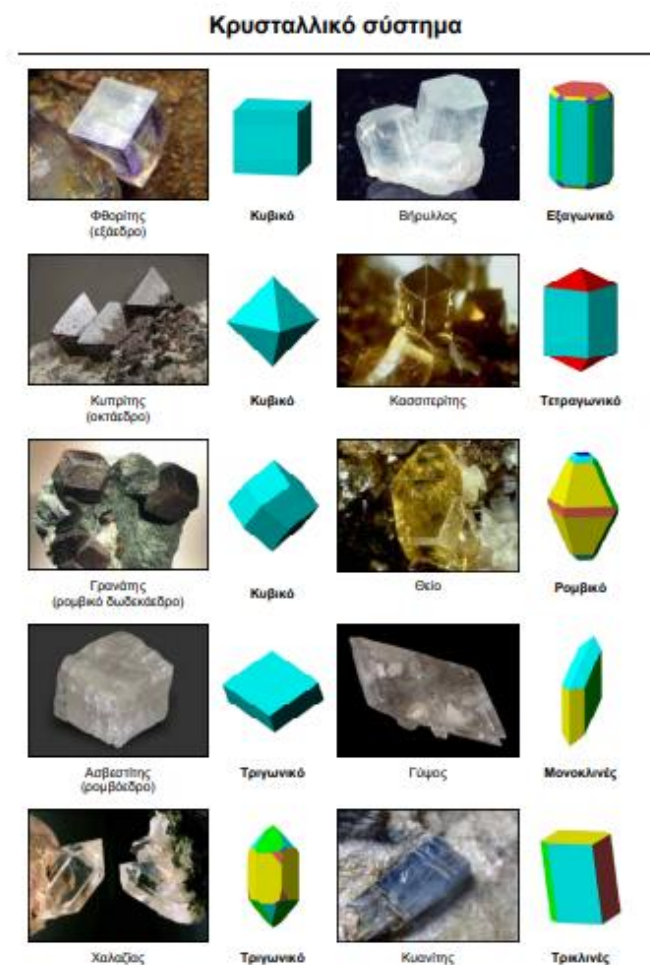
Ένα ακόμη ορυκτοδιαγνωστικό στοιχείο είναι το ειδικό βάρος, το οποίο εκτιμάται κατά προσέγγιση καθώς το ορυκτό ζυγίζεται στο χέρι μας. Γενικά ισχύει ότι τα μεταλλικά ορυκτά (π.χ. χαλκός) έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος από τα μη μεταλλικά ορυκτά (π.χ. χαλαζίας) (Εικ. 12).



Εικόνα 12: Φυσική ιδιότητα- ειδικό βάρος (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

2.5. Κρυσταλλικό Σύστημα και Μορφή

Όταν ένα ορυκτό παρουσιάζει καλά αναπτυγμένες κρυσταλλικές έδρες τότε σύμφωνα με το σχήμα του μπορούμε να το κατατάξουμε σε ένα από τα επτά κρυσταλλογραφικά συστήματα, που είναι τα εξής: τριγωνικό, κυβικό, εξαγωνικό, μονοκλινές, τετραγωνικό, ρομβικό και τρικλινές. Επίσης, ορισμένα ορυκτά διαθέτουν χαρακτηριστική μορφή, καθώς παρουσιάζουν πρισματικούς, βελονοειδείς, πλακώδεις ή φυλλώδεις κρυστάλλους. Ακόμη, μια άλλη φυσική ιδιότητα που μπορεί να έχουν κάποια ορυκτά είναι η συσσωμάτωση, δηλαδή, η συνανάπτυξη κρυστάλλων του ίδιου ορυκτού χωρίς να παρουσιάζουν κανονικότητα στα κρυσταλλογραφικά στοιχεία. Ένα χαρακτηριστικό συσσωμάτωμα αποτελεί η διδυμία, η σύμφυση δηλαδή δύο κρυστάλλων του ίδιου ορυκτού που παρουσιάζει κάποια κανονικότητα ως προς όμοια κρυσταλλογραφικά στοιχεία. Τέλος, η παραγένεση ενός ορυκτού αποτελεί και αυτή διαγνωστικό στοιχείο καθώς μας δίνει πληροφορίες για το σύνολο των ορυκτών που το συνοδεύουν (Εικ. 13) (Μέλφος 2000).



Εικόνα 13: Φυσική ιδιότητα - κρυσταλλικό σύστημα (Σολδάτος και Χριστοφίδης 2008)

3. Πολύτιμοι λίθοι

Πολλοί από τους πολύτιμους λίθους που γνωρίζουμε σήμερα θεωρούνταν ήδη γνωστοί για την σπουδαιότητά τους από την αρχαιότητα (Εικ. 14). Ακόμα και στην Βίβλο γίνεται συχνά αναφορά σε διάφορες πολύτιμες πέτρες, παρόλο που τότε ήταν γνωστές με διαφορετικά ονόματα από αυτά με τα οποία σήμερα μας είναι γνωστά. Για παράδειγμα, το αρχαίο ζαφείρι είναι το σημερινό λάπις λάζουλι και το αρχαίο τοπάζιο είναι ο σημερινός περιδοτίτης, ενώ το διαμάντι πιθανότατα δεν ήταν γνωστό.



Εικόνα 14: Αμέθυστος σε σύμφυση με ασβεστίτη από Γερμανία

Σχετικά μαλακά ορυκτά, όπως ο αμέθυστος, ήταν τα πρώτα που εκτιμήθηκαν, αφού εύκολα μπορούσαν να κοπούν και να γυαλιστούν και να φανεί η ομορφιά τους. Τα διαμάντια στη φυσική τους κατάσταση δεν θεωρούνταν ελκυστικά και δεν ήταν γνωστό ότι ένα διαμάντι μπορεί να χαραχτεί μόνο από άλλο διαμάντι.

Επίσης, το κεχριμπάρι, τα κοράλλια και τα μαργαριτάρια θεωρήθηκαν από τα προϊστορικά χρόνια ως πολύτιμα φυσικά υλικά.

Η έλλειψη μόρφωσης οδήγησε στην διάδοση δεισιδαιμονιών, με αποτέλεσμα διάφοροι πολύτιμοι λίθοι να συνδέονται με μύθους και ιδιαίτερες δυνάμεις. Στο βιβλίο Ορφικά Λιθικά γίνεται αναφορά σε διάφορα ορυκτά, όπως για παράδειγμα για τον χαλαζία (Εικ. 15). Παρακάτω παρατίθεται το συγκεκριμένο απόσπασμα: "Εδώ και σένα, θεϊκέ χαλαζία επεθύμησα να δοκιμάζω, και τη δική σου δύναμη βρήκα πως είναι άριστη. Γιατί και τα δύο μπορείς να κάνεις, και την φλογερή ασθένεια δροσίζεις, και σε εμένα, που είμαι από τον σκορπιό χτυπημένος, μου προσφέρεις ανακούφιση".



Εικόνα 15: Αμέθυστος από Μεξικό

Η τέχνη της χάραξης στις σκληρές πέτρες ήταν γνωστή από την προϊστορική περίοδο και για την χάραξη χρησιμοποιήθηκε είτε χαλαζιακή άμμος είτε σκόνη από σμύριδα (κυρίως της Νάξου) που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σαν στιλβωτικό υλικό. Από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα έχουν γίνει πολλές έρευνες για να διασαφηνιστεί ο τρόπος εμφάνισης, καθώς και οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των διαφόρων πολύτιμων λίθων, έτσι ώστε σήμερα να είναι πιο σωστά καταταγμένοι και κατανοητοί από ό, τι ήταν παλαιότερα. Μεταξύ των μεγάλων ανδρών που ήταν συλλέκτες λίθων στις παλαιότερες εποχές μπορεί να αναφερθεί ο Μέγας Αλέξανδρος, ο Μιθριδάτης, ο Πομπήιος, ο Ιούλιος Καίσαρ και ο Αδριανός. Αν και η γνώση ήταν μικρή και τα εργαλεία πρωτόγονα υπάρχουν πολλά ωραία δείγματα πρώιμης εργασίας σε πέτρες (Μέλφος 2000).

Οι πολύτιμοι και ημιπολύτιμοι λίθοι αποτελούν σπάνιες ποικιλίες κοινών ορυκτών που βρίσκονται στη φύση σε μεγάλη κλίμακα. Για παράδειγμα, το ρουμπίνι και το ζαφείρι αποτελούν τις «ευγενείς» ποικιλίες του ορυκτού κορούνδιο, ενώ η ακουαμαρίνα και το σμαράγδι του ορυκτού βήρυλλος.

Από τον τεράστιο αριθμό των φυσικών λίθων που είναι γνωστοί μόνο λίγοι είναι κατάλληλοι για σκοπούς στολισμού και διακόσμησης. Για να χαρακτηριστεί ένα ορυκτό πολύτιμο θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από μεγάλη σκληρότητα, ιδιαίτερο χρώμα, διαύγεια, μεγάλο δείκτη διάθλασης και βέβαια από το πόσο σπάνιο είναι.

Γι' αυτό το λόγο τα οι πιο γνωστοί πολύτιμοι λίθοι το διαμάντι, το ρουμπίνι, το ζαφείρι, το σμαράγδι και ο πολύτιμος οπάλιος. Τα μαργαριτάρια, που είναι οργανικής προέλευσης, δεν είναι ορυκτά, παρόλα αυτά θεωρούνται συνήθως πολύτιμοι λίθοι λόγω της ομορφιάς και της σπανιότητάς τους. Άλλοι πολύτιμοι λίθοι μικρότερης συχνά αξίας είναι το ζirkόνιο, ο σπινέλιος, το τοπάζιο, ο νεφρίτης, ο χρυσοβήρυλλος, ο τουρμαλίνης, ο αμέθυστος κλπ (Μέλλφος 2000).

Όλα αυτά τα ορυκτά είναι επαρκώς ελκυστικά για καλλωπιστικούς σκοπούς και αναδεικνύονται οι ιδιότητες τους όταν κόβονται και στιλβώνονται κατάλληλα, επειδή επιτρέπεται στο φως να εισχωρήσει σε αυτά κατά τον καλύτερο τρόπο.

Τα συνθετικά ορυκτά είναι αυτά που κατασκευάζονται στο εργαστήριο με μια διαδικασία στην οποία τα συστατικά στοιχεία του ορυκτού συνδυάζονται έτσι ώστε το προκύπτον ορυκτό να έχει την ίδια σύσταση και τις ίδιες φυσικούς ιδιότητες με το γνήσιο. Τα συνθετικά ορυκτά χρησιμοποιούνται συχνά σε όχι τόσο ακριβά κοσμήματα και έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την καθαρά απομίμηση ορυκτού. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία συνθετικών ορυκτών είναι το γυαλί και το πλαστικό.

Αντίθετα οι απομιμήσεις είναι φυσικά ορυκτά με διαφορετική σύσταση από τον πολύτιμο λίθο, αλλά με παρόμοια εξωτερικά χαρακτηριστικά, κυρίως παρόμοιο χρώμα, και πολύ πιο συνηθισμένα και για αυτόν τον λόγο με μικρότερη αξία (Εικ. 16).

Υπάρχουν και άλλοι τύποι ορυκτών, οι οποίοι δεν αποτελούν εξ' ολοκλήρου απομίμηση αλλά έναν συνδυασμό δυο ορυκτών συνθετικού και φυσικού που ενώνονται δίνοντας την εντύπωση ενός ενιαίου ορυκτού και ονομάζονται doublets. Ειδικότερα, το άνω μισό τμήμα, γνωστό ως στέμμα, είναι φυσικό ορυκτό, αλλά το κάτω τμήμα, η βάση, είναι συνήθως συνθετική με παρόμοια ή βαθύτερο χρώμα. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνεται το χρώμα του και μειώνεται το κόστος του ορυκτού, καθώς τα περισσότερα ορυκτά πωλούνται σύμφωνα με το βάρος και την ποιότητα τους.

Με ανάλογο τρόπο κατασκευάζονται ορυκτά με τρία διαφορετικά τμήματα (Triplets). Μερικά ορυκτά που παρατηρούνται με τη μορφή διπλών και τριπλών είναι τα σμαράγδια, τα ζαφείρια, τα ρουμπίνια και οι οπάλιοι.



Εικόνα 16: Αμέθυστος από Ιταλία

4. Αμέθυστος

Γενετικά ο αμέθυστος σχετίζεται με ηφαιστειακά πετρώματα και επιθερμικά συστήματα, υδροθερμικές φλέβες, χαλαζιακές φλέβες σε μεταμορφωμένα πετρώματα, σε αλπικού τύπου διακλάσεις και σε γεώδη σε πυριγενή βασαλτικά πετρώματα (Εικ. 17). Ο αμέθυστος συμφύεται συνήθως με άλλες ποικιλίες χαλαζία, όπως τη διαφανή «ορεία κρύσταλλο», τον κιτρίνη (ποικιλία που είναι γνωστή ως αμερτίνης) και τον αχάτη. Το χρώμα του αμέθυστου οφείλεται στην αντικατάσταση $O^{2-} \rightarrow Fe^{4+}$, όπου το σθένος 4^+ του σιδήρου προκύπτει από ακτινοβολία (Karampelas et al. 2007). Αναφορικά με τις φυσικές του ιδιότητες έχει ιώδες χρώμα, σκληρότητα με βάση τη κλίμακα Mohs 7, ειδικό βάρος 2,65, μη μεταλλική λάμψη, γραμμή σκόνης άχρωμη και κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα.



Εικόνα 17: Αμέθυστος με άστριους από Ναμίμπια

5. Χώρες εξόρυξης και πηγών του αμέθυστου

Ο αμέθυστος, η ακριβότερη ποικιλία του χαλαζία, αποτελεί ένα ορυκτό, το οποίο διατίθεται στην παγκόσμια αγορά σε σχετικά χαμηλές τιμές σχέση με άλλους πολύτιμους λίθους, εξαιτίας της μεγάλης διαθεσιμότητας του. Τα σημαντικότερα κοιτάσματα παραγωγής αμέθυστου βρίσκονται στη Βραζιλία και στην Ουρουγουάη. Άλλες χώρες που παρουσιάζουν κοιτάσματα αμέθυστου είναι η Αργεντινή, η Βολιβία, το Μεξικό, ο Καναδάς, οι Η.Π.Α, η Μαδαγασκάρη, η Μοζαμβίκη, η Ναμίμπια, η Ζάμπια, η Ρωσία, η Ινδία, η Σρι Λάνκα, η Κίνα, την Ιαπωνία, το Κονγκό, η Νότια Κορέα, το Αφγανιστάν, η Νορβηγία, η Βουλγαρία, η Τσεχία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ιταλία και η Ισπανία.

Βραζιλία: Οι πιο αξιοσημείωτες πηγές αμέθυστου στη Βραζιλία είναι τα ορυχεία που βρίσκονται στο Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Bahia και Marabá. Ο αμέθυστος στη Βραζιλία εμφανίζεται συνήθως σε μικρές κοιλότητες σε ηφαιστειακά πετρώματα. Οι κρύσταλλοι που παράγονται από αυτές τις περιοχές ποικίλουν στην ένταση του χρώματος από ανοιχτό έως μέτριο ιώδες χρώμα και δεν εμφανίζουν ποτέ έντονο ιώδες χρώμα. Το Rio

Grande do Sul βρίσκεται στη νότια Βραζιλία, και οι αμέθυστοι σχετίζονται με βασαλτικές λάβες του σχηματισμού Serra Geral στη λεκάνη Parana. Ο σχηματισμός αυτός αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα Ιουρασικής έως κάτω Κρητιδικής ηλικίας. Οι ποιότητα και η ποσότητα των ορυκτών καθιστούν παγκοσμίως τη Βραζιλία την κύρια πάροχο αμέθυστου στην αγορά. Αναφέρεται ότι το 1993 περίπου 200-300 τόνοι γεωειδών εξάγονταν το μήνα καθώς και 20-30 τόνοι κρύσταλλοι αμέθυστου (Correa et al. 1994).

Ουρουγουάη: Ο αμέθυστος αυτής της περιοχής ποικίλει στην ένταση του χρώματος από μέτριο έως βαθύ ιώδες χρώμα (Εικ. 18). Όπως και στην Βραζιλία, οι κρύσταλλοι αμέθυστου βρίσκονται σε κοιλότητες ηφαιστειακών πετρωμάτων.



Εικόνα 18: Αμέθυστος από Ουρουγουάη.

Καναδάς: Η περιοχή Thunder Bay στον Καναδά φιλοξενεί τα πιο σημαντικά ορυχεία αμέθυστου. Κρύσταλλοι και συμπλέγματα μικρών κρυστάλλων αμέθυστου εμφανίζονται στην επιφάνεια μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Χαρακτηριστικό των αμέθυστων του Καναδά είναι το κόκκινο χρώμα που παρουσιάζουν στην επιφάνειά τους. Το κόκκινο χρώμα οφείλεται στα εγκλείσματα αιματίτη (Εικ. 19).



Εικόνα 19: Αμέθυστος με εγκλείσματα αιματίτη από Καναδά.

Η.Π.Α: Οι Η.Π.Α παρουσιάζουν μια μεγάλη ποικίλα κοιτασμάτων αμέθυστου στις περιοχές Maine, Pennsylvania, North Carolina, Montana και Colorado (Εικ. 20). Το χρώμα των αμέθυστων κυμαίνεται από μέτριο έως έντονο και μπορεί να συμφύεται με άλλες ποικιλίες χαλαζίας, όπως την ορεία κρύσταλλο και τον καπνία.



Εικόνα 20: Αμέθυστος από Η.Π.Α

Αφρική: Οι αμέθυστοι που παράγονται στην Αφρική αποτελούνται από μικρούς κρυστάλλους έντονου χρώματος και εξαιρετικής διαύγειας (Εικ 21).



Εικόνα 21: Αμέθυστοι από Αφρική

Βουλγαρία: Ο σχηματισμός του πολυμεταλλικού κοιτάσματος στο Madjaronο σχετίζεται με Παλαιογενή μαγματισμό ενδιάμεσης σύστασης που αντιπροσωπεύεται από ηφαιστειακά πετρώματα (Εικ. 22). Παρατηρήθηκαν έξι είδη φλεβών: 1. χαλαζίας-χαλκοπυρίτης-σιδηροπυρίτης με πλούσια σε Bi σουλφίδια, 2. χαλαζίας-αιματίτης-χλωρίτης με χρυσό, 3. χαλαζία-γαληνίτη-σφαλερίτη, 4. χαλαζία-βαρύτη-χαλκηδόνιο με πλούσια σε Sb σουλφίδια, 5. χαλαζία με αρσενικό 6. Ασβεστίτης. Ρευστά εγκλείσματα περιέχονται σε χαλαζία, αμέθυστο, σφαλερίτη και βαρύτη, τα οποία δείχνουν τις θερμοκρασίες σχηματισμού που κυμαίνονται από 370 C° έως 150 C°. Ένα στοιχείο που αποδεικνύει ότι τα ρευστά εγκλείσματα σχηματίστηκαν σε συνθήκες βρασμού είναι οι υψηλές πιέσεις από 70 έως 180 bars, οι οποίες συναντώνται σε ένα μέσο βάθος κρυστάλλωσης των 1000m. Επίσης, οι χαμηλές αλατότητες των ρευστών (3.5 eq. wt% NaCl) δείχνει τη συμμετοχή μετεωρικού νερού (Breskovska and Tarkian, 1993) (Εικ. 23).



Εικόνα 22: Αμέθυστος σε σύμφυση με χαλαζία, χαλκοπυρίτη και χλωρίτη από Βουλγαρία.



Εικόνα 23: Αμέθυστος με χαλκοπυρίτη από Ουγγαρία.

Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τους Voudouris & Katerinopoulos (2004) και Voudouris et al. (2004), έχουν εντοπιστεί αρκετές εμφανίσεις αμέθυστου, όπως στις Κασσιτερές, στις Σάπες, στο Σουφλί, στη Λήμνο, στη Λέσβο, στη Μήλο, στο Νευροκόπι της Δράμας, στη Σέριφο και στη Πεντέλη Αττικής (Εικ 24).



Εικόνα 24: Εμφανίσεις αμέθυστων στην Ελλάδα (Μέλφος 2005).

Το Κάτω Νευροκόπι της Δράμας ανήκει στη μάζα της Ροδόπης, η οποία περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο της Ροδόπης, την ανατολική Μακεδονία μέχρι τον ποταμό Στρυμόνα, το

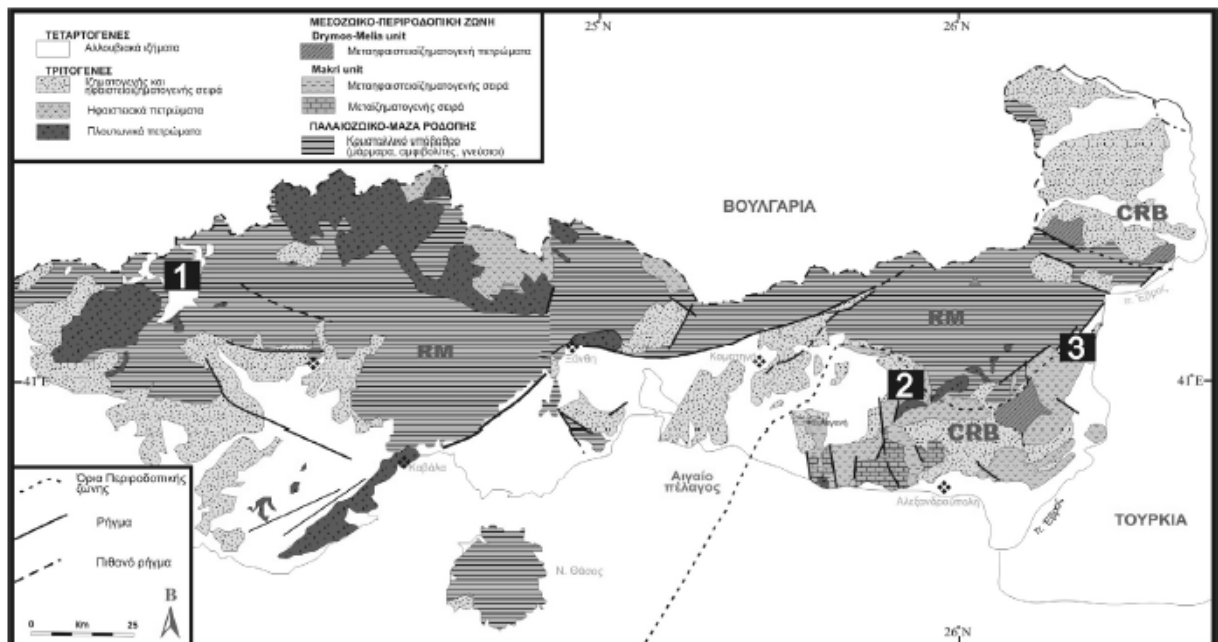
νησί της Θάσου και τη νότια Βουλγαρία. Η μάζα της Ροδόπης χωρίζεται σε δύο τεκτονικές ενότητες: την ενότητα του Σιδηρονερίου, η οποία διαχωρίστηκε σύμφωνα με μελέτες (Mposkos 1998, Mposkos & Krohe 2000) σε υποενότητες του Σιδηρόνερου, του Καρδάμου, του Κέχρου και της Κύμης. Αναφορικά με τον μαγματισμό, πυρήγενη πετρώματα διεισδύουν στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της μάζας, δημιουργώντας έτσι φαινόμενα μεταμόρφωσης. Τα πυριγενή πετρώματα είναι ηφαιστειακά και πλουτωνικά. Πιο συγκεκριμένα, πετρώματα βασαλτικής έως ρυολιθικής σύστασης, όπως βασάλτες, ανδεσίτες, λατίτες, δακίτες, τραχύτες και ρυόλιθοι Ολιγοκαινικής ηλικίας αποτελούν τους ηφαιστίτες, ενώ γρανίτες, γρανοδιορίτες, μονζονίτες και χαλαζιακοί μονζονίτες, τοναλίτες και διορίτες ηλικίας Τριτογενούς αποτελούν τους πλουτωνίτες. Η κρυσταλλοσχιστώδης μάζα της Ροδόπης αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα και η οποία υπέστη πολλαπλές μεταμορφικές δράσεις κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης. Ειδικότερα οι διαδοχικές φάσεις μεταμόρφωσης είναι:

1. Εκλογιτική μεταμόρφωση στο Κρητιδικό
2. Αμφιβολιτική μεταμόρφωση στο Ηώκαινο
3. Πρασινοςχιστολιθική μεταμόρφωση στο Ολιγόκαινο

Στο Κάτω Νευροκόπι της Δράμας, και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή του Δασωτού εντοπίζεται αμέθυστος, ο οποίος αναπτύσσεται σε κενά αλπινότυπων χαλαζιακών φλεβών που διασχίζουν Παλαιοζωικούς ορθογενέσιους και παραγενέσιους της μάζας της Ροδόπης. (Maneta & Voudouris 2010). Οι αλπινότυπες ορυκτολογικές παραγενέσεις, που αναπτύσσονται κατά μήκος διακλάσεων σχετίζονται με τα τελευταία στάδια της Αλπικής ορογένεσης, κατά τα οποία δρουν εφελκυστικές τάσεις και αναδύονται μεταμορφωμένα πετρώματα. Οι ορθογενέσιοι και οι παραγενέσιοι αποτελούν τους ξενιστές για τις συγκεκριμένες ορυκτολογικές παραγενέσεις (Voudouris et al. 2006). Μακροσκοπικά, οι αμέθυστοι στο Κ. Νευροκόπι εμφανίζονται με έντονο ιώδες χρώμα και με μέγεθος κρυστάλλου που ξεπερνά τα 10 cm. Συχνά παρατηρείται σε σύμφυση με "καπνία" χαλαζία και μάλιστα, με τη μορφή σκήπτρων, όπου ο αμέθυστος αναπτύσσεται πάνω σε κρύσταλλο καπνία (Εικ. 29).

Οι Σάπες, οι Κασσιτερές και το Σουφλί ανήκουν στη Περιοδοπική ζώνη της Θράκης (Εικ. 25). Η Περιοδοπική ζώνη περιλαμβάνει σχηματισμούς Μεσοζωικής ηλικίας, οι οποίοι έχουν υποστεί μεταμόρφωση χαμηλού έως μέσου βαθμού. Αποτελείται από τρεις ενότητες: την ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά, την ενότητα Μελισχωρίου-Χολομώντα και την

ενότητα Ασπρης Βρύσης- Χορτιάτη. Οι ενότητες αυτές περιλαμβάνουν μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους και μάρμαρα (Μουντράκης 2010).



Σχήμα 1. Γεωλογικός χάρτης της μάζας της Ροδόπης (RM) και της Περιροδοπικής ζώνης (CRB) στη Θράκη, με τις περιοχές μελέτης. 1. Κ. Νευροκόπι, 2. Σάπες, 3. Σουφλί (από Dimadis & Zachos (1989) με προσθήκες και αλλαγές).

Εικόνα 25: Γεωλογικός χάρτης που δείχνει τις περιοχές Σουφλί, Σάπες και Κ. Νευροκόπι (Μέλφος 2005).

Στις Σάπες, ο αμέθυστος εντοπίζεται στο ύψωμα Ασημένιο σε επιθερμικού τύπου φλέβες και συμφύεται με χαλκηδόνιο (Μιχαήλ 1993, Voudouris 1993, Voudouris & Katerinopoulos 2004, Μέλφος 2005). Οι φλέβες έχουν πάχος έως 1m και αναπτύσσονται σε πυροκλαστικά και ηφαιστειακά πετρώματα. Ο αμέθυστος εμφανίζεται σε συμπαγή μορφή, ενώ σπάνια εμφανίζεται ως κρύσταλλος έως 2 cm), Στις φλέβες παρατηρείται μια ζωνώδης δομή, καθώς ο αμέθυστος εναλλάσσεται με χαλκηδόνιο. Μακροσκοπικά, τα δείγματα του αμέθυστου από την περιοχή των Σαπών έχουν έντονο ιώδες χρώμα.

Στο Σουφλί του νομού Έβρου (Σαπουντζής και Χριστοφίδης 1982, Voudouris 1993, Voudouris & Katerinopoulos 2004, Μέλφος 2005) εμφανίζεται αμέθυστος, με τη μορφή μικρών κρυστάλλων μεγέθους έως 4cm, κοντά στο χωριό Λυκόφη (Voudouris et al. 2006). Ο αμέθυστος πληροί κοιλότητες σε χαλαζιακές φλέβες, οι οποίες διαπερνούν δακτιτικό πέτρωμα. Οι φλέβες χαρακτηρίζονται από διαδοχική ανάπτυξη χαλκηδόνιου και χαλαζία από την περιφέρεια προς το κέντρο. Μακροσκοπικά, το χρώμα του αμέθυστου κυμαίνεται από ένα απαλό έως έντονο ιώδες χρώμα.

Τα νησιά Μήλος και Σέριφος και η Πεντέλη Αττικής ανήκουν στη Αττικοκυκλαδική ζώνη. Η ζώνη αυτή διαιρείται στις εξής ενότητες: την ενότητα Αττικής, την ενότητα Βόρειων Κυκλάδων και την ενότητα των Νότιων Κυκλάδων. Η Αττικοκυκλαδική ζώνη αποτελείται κυρίως από μάρμαρα, βασικά - υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα, γλαυκοφαντικούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους και φλύσχη (Εικ. 26). Η ζώνη αυτή έχει υποστεί διάφορες μεταμορφικές δράσεις. Ειδικότερα, το παλαιότερο μεταμορφικό επεισόδιο συνέβη στα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα της ενότητας των Νότιων Κυκλάδων, το οποίο είναι Παλαιοζωικής ηλικίας και πρόκειται για αμφιβολιτική έως πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση. Στη συνέχεια, κατά το Άνω Κρητιδικό- αρχές Τριτογενούς συμβαίνει μεταμόρφωση υψηλής πίεσης- υψηλής θερμοκρασίας (εκλογιτική) και μετέπειτα εξελίσσεται σε υψηλής πίεσης- χαμηλής θερμοκρασίας (γλαυκοφανιτική). Τέλος, στο Άνω Ολιγοκαίνο- Κάτω Μειόκαινο τα πετρώματα της Αττικοκυκλαδικής ζώνης υπέστησαν πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση. Αναφορικά με το μαγματισμό της ζώνης αυτής, Κατά το Μειόκαινο, στο τελικό στάδιο της ορογένεσης, όπου λάμβανε χώρα εφελκυστική τεκτονική, πλουτωνικά πετρώματα γρανιτικής σύστασης διεισδύουν στα πετρώματα της Αττικοκυκλαδικής (Μουντράκης 2010).



Εικόνα 26: Αμέθυστος από Μήλο.

Η Σέριφος ανήκει στο μεταμορφικό πυρήνα της Αττικοκυκλαδικής μάζας της κρυσταλλοσχιστώδους μάζας. Το νότιο-δυτικό τμήμα της Σέριφου συμπεριλαμβανόμενου την Αγία Μαρίνα, το Μεγάλο Λιβάδι και την Αβεσσαλό αποτελούν ορυκτολογικοί γεώτοποι. Η Σέριφος δεν είναι μόνο γνωστή για την μεταλλευτική της δραστηριότητα κατά το παρελθόν αλλά και για τα σπάνια πετρολογικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά που διαθέτει: κοιτάσματα τύπου skarn πλούσια σε ορυκτά όπως ο γρανάτης, πράσινες ποικιλίες του χαλαζία κ.ά (Εικ. 27). Η περιοχή Αβεσσαλός αποτελεί την καλύτερη τοποθεσία στον κόσμο για τους πράσινους χαλαζίες (πράσινο), οι οποίοι έχουν μέγεθος έως και 40cm. Παρατηρούνται δύο ποικιλίες, εκ των οποίων η μία αναφέρεται σε πράσινους χαλαζίες με αιματίτη και η άλλη αναφέρεται σε κρυστάλλους με τη μορφή σκήπτρου όπου, η βάση αποτελείται από πράσινο και η κορυφή του από αμέθυστο (Voudouris et al., 2007). Οι αμέθυστοι εντοπίζονται σε χαλαζιακές φλέβες που διατρύπουν σχηματισμό skarn στη ζώνης επαφής του γρανοδιορίτη και του γνεύσιου (Maneta & Voudouris 2010).



Εικόνα 27: Αμέθυστος με χαλαζία από Σέριφο.

Το Πεντελικό όρος της Αττικής συνίσταται από ορθογνεύσιους και μάρμαρα, τα οποία κατά μήκος των διακλάσεων τους διασχίζονται από αλπινότυπου χαλαζιακές φλέβες. Εντός των χαλαζιακών φλεβών εμφανίζονται πρισματικοί κρύσταλλοι χαλαζία μεγέθους έως 50cm (Εικ. 28). Η πιο τυπική μορφή κρυστάλλου είναι τα σκήπτρα, τα οποία αποτελούνται από "καπνία" χαλαζία ή αμέθυστο (Maneta & Voudouris 2010).



Εικόνα 28: Αμέθυστος από το Πεντελικό όρος.

Στη Λέσβο, στη Μήλο και στη Λήμνο αμέθυστοι εντοπίζονται σε επιθερμικές ζώνες, στις οποίες οι χαλαζιακές φλέβες πληρώνονται με αμέθυστους και πράσινους κρυστάλλους (Voudouris et al. 2006).



Εικόνα 29: Αμέθυστοι σε μορφή σκήπτρου από Κ. Νευροκόπι.

6. Αναγνώριση πολυτίμων λίθων

Η αναγνώριση και ταυτοποίηση των πολυτίμων λίθων, ο διαχωρισμός των φυσικών από τους συνθετικούς κρυστάλλους και η εξακρίβωση εάν ένα ορυκτό έχει υποστεί επεξεργασία επιτυγχάνονται από την παρατήρηση τους με τη βοήθεια συγκεκριμένων οργάνων που θα αναλυθούν ευθύς παρακάτω. Η χρήση ενός μόνο οργάνου είναι συνήθως ανεπαρκής για την εξέταση ενός κρυστάλλου, ενώ ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων οργάνων είναι αρκετός για μια πιο ορθή εκτίμηση.

Πάντα η παρατήρηση ξεκινάει με το γυμνό μάτι, με το οποίο μπορούμε να δούμε το κόψιμο ή το σχήμα του κρυστάλλου, το χρώμα, τη διαφάνεια, τη λάμψη και διάφορα ορατά εσωτερικά και εξωτερικά χαρακτηριστικά του. Αφού ληφθούν υπόψη τα γενικά χαρακτηριστικά του ορυκτού, στη συνέχεια γίνεται χρήση των κατάλληλων οργάνων.

1. Λούπα τριπλού φακού (x10)

Η λούπα είναι ένας μεγεθυντικός φακός, η οποία χρησιμοποιείται για την παρατήρηση εσωτερικών και εξωτερικών χαρακτηριστικών που δεν είναι ορατά με το γυμνό μάτι (Εικ. 30). Τέτοια χαρακτηριστικά αποτελούν τα εγκλείσματα, οζύτητα και το πλήθος των ακμών και των εδρών, τα ραγίσματα και οι χαραγές. Για τον προσδιορισμό των πολυτίμων λίθων είναι απαραίτητο ο φακός να είναι τριπλού τύπου με δεκαπλάσια μεγέθυνση σε μαύρη θήκη. Ο τριπλός φακός συνίσταται καθώς διορθώνει τη παρουσία ιχνών χρωμάτων και την οπτική παραμόρφωση και δημιουργεί επιπεδότητα στην εικόνα που βλέπει ο παρατηρητής. Η μαύρη θήκη είναι βασική καθώς περιορίζει τις ανακλάσεις.



Εικόνα 30: Λούπα τριπλού φακού

2. Λούπα με σκούρο φόντο

Είναι ένα κυλινδρικό όργανο με μεγεθυντική ικανότητα x10 και με ένα επιπλέον χαρακτηριστικό που το ξεχωρίζει από τη συνηθισμένη λούπα, το οποίο είναι μια ειδική περιοχή με μαύρο φόντο και με πλάγιο δυνατό φωτισμό (Εικ. 31). Η λούπα σκούρου φόντου είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό των εγκλεισμάτων και της φύσης τους.



Εικόνα 31: Λούπα με σκούρο φόντο

3. Φίλτρο Chelsea

Το φίλτρο Chelsea είναι ένα έγχρωμο φίλτρο, το οποίο χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση μερικών βαμμένων και κατεργασμένων ορυκτών και την διάκριση ορισμένων έγχρωμων πολύτιμων λίθων σε ομάδες από τις απομιμήσεις τους (Εικ. 32). Για παράδειγμα, με τη χρήση του φίλτρου Chelsea μπορεί να διακριθεί ο ροζ τουρμαλίνης από το ροζ ζαφείρι, καθώς όταν παρατηρηθούν με το συγκεκριμένο όργανο ο τουρμαλίνης διατηρεί το ροζ χρώμα του σε αντίθεση με το ροζ ζαφείρι, το οποίο φαίνεται πιο κόκκινο.



Εικόνα 32: Φίλτρο Chelsea

4. Διχρωσκόπιο

Το διχρωσκόπιο είναι ένα όργανο τσέπης, το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά σε διαφανείς έγχρωμους λίθους (Εικ. 33). Με το συγκεκριμένο όργανο μπορεί να γίνει διάκριση διαφανών λίθων του ίδιου χρώματος, όπως για παράδειγμα έναν αμέθυστο από ένα μωβ γυαλί. Επίσης, μπορεί ο παρατηρητής να καταλάβει εάν το χρώμα του ορυκτού είναι φυσικό ή όχι, ωστόσο δεν μπορεί να ξεχωρίσει εάν είναι συνθετικός ή φυσικός κρύσταλλος.

Κατά την παρατήρηση πολύτιμων λίθων με το διχρωσκόπιο, κάποιοι από αυτούς θα δώσουν το ίδιο χρώμα και στις δυο πλευρές, ενώ κάποιοι θα δώσουν δυο διαφορετικά χρώματα ή δυο διαφορετικούς τόνους το ίδιου χρώματος (Εικ. 34). Αυτό συμβαίνει διότι στην πρώτη περίπτωση καθώς φωτεινή ακτίνα προσπίπτει πάνω στα ορυκτά συνεχίζει την πορεία της σαν απλή ακτίνα και γι' αυτό λέγεται λίθοι απλής διάθλασης. Στη δεύτερη περίπτωση φωτεινή ακτίνα χωρίζεται σε δύο ακτίνες και γι αυτό λέγονται λίθοι διπλής διάθλασης. Οι διπλοθλαστικοί λίθοι ονομάζονται διχρωϊκοί, ωστόσο υπάρχει μια κατηγορία των διπλοθλαστικών κρυστάλλων που λέγονται τριχρωϊκοί, καθώς μερικοί κρύσταλλοι εμφανίζουν στο διχρωσκόπιο τρία χρώματα.

Ο αμέθυστος είναι διχρωϊκός κρύσταλλος και η ένταση των πλεοχρωϊκών χρωμάτων τού είναι διακρινόμενη ως ασθενής. Τα χρώματα που εμφανίζονται στο διχρωσκόπιο είναι πορφυρό, ερυθρό-πορφυρό ή μπλε.



Εικόνα 33: Διχρωσκόπιο



Εικόνα 34: Διακρίνεται πλεοχροϊσμός σε συνθετικό κρύσταλλο ζαφειριού.

5. Διαθλασίμετρο

Το διαθλασίμετρο είναι ένα όργανο με το οποίο μετράται η γωνία με την οποία οι φωτεινές ακτίνες διαθλώνται μέσα στον κρύσταλλο (Εικ. 35). Η μέτρηση αυτή λέγεται δείκτης διάθλασης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης τόσο πιο λαμπερός είναι ο κρύσταλλος. Επειδή ο δείκτης διάθλασης είναι μοναδικός για κάθε ορυκτό, το διαθλασίμετρο αποτελεί σπουδαίο όργανο για την εξακρίβωση της ταυτότητας του πολύτιμου λίθου. Το διαθλασίμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δείξει αν ένα ορυκτό είναι μονοθλαστικό ή διπλοθλαστικό, καθώς στην πρώτη περίπτωση θα υπάρχει μία μόνο ένδειξη στην κλίμακα του οργάνου, ενώ στη δεύτερη περίπτωση θα υπάρχουν δύο ενδείξεις.

Όπως αναφέραμε πριν, ο αμέθυστος είναι διπλοθλαστικό ορυκτό. Επομένως, στην κλίμακα του οργάνου θα παρατηρηθούν δύο ενδείξεις. Από τη διαφορά των δεικτών διάθλασης προκύπτει μία άλλη τιμή που ονομάζεται διπλοθλαστικότητα του ορυκτού. Η διπλοθλαστικότητα του αμέθυστου είναι 0.009.



Εικόνα 35: Διαθλασίμετρο

6. Λυχνία υπεριώδους φωτός

Η λυχνία υπεριώδους φωτός είναι ένα όργανο που αποτελείται από μία λάμπα που παράγει υπεριώδους ακτινοβολία (Εικ. 36). Η έκθεση των κρυστάλλων κάτω από το υπεριώδες φως μπορεί να προκαλέσει σε αυτούς φθορισμό. Φθορισμός είναι η ιδιότητα των ορυκτών να παράγουν χρώμα όταν εκτίθενται σε υπεριώδες φως. Μερικές από τις χρήσεις της λυχνίας UV είναι ο διαχωρισμός φυσικών και συνθετικών διαμαντιών και ο έλεγχος ζαφειριών και σμαραγδιών.

Ο φυσικός αμέθυστος είναι συνήθως αδρανής, ωστόσο μπορεί να παρουσιάσει ένα βαθύ μπλε χρώμα. Ο συνθετικός αμέθυστος δεν παρουσιάζει το φαινόμενο του φθορισμού.



Εικόνα 36: Λυχνία υπεριώδους φωτός

7. Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο

Για τη μελέτη των πολύτιμων λίθων χρησιμοποιείται διόφθαλμο στερεοσκοπικό μικροσκόπιο (Εικ. 37). Το μικροσκόπιο αποτελεί ένα σπουδαίο όργανο με το οποίο μπορεί να εξακριβωθεί εάν ένας κρύσταλλος είναι συνθετικός, ενώ με τις άλλες μεθόδους φαίνεται σαν φυσικός. Επίσης, δίνει πληροφορίες για το χρώμα του κρυστάλλου σε περίπτωση που έχει ενισχυθεί τεχνητά, για χαραγές που έχουν γεμίσει και τέλος για τη πιθανή προέλευση του ορυκτού. Το μικροσκόπιο αποτελεί βασικό όργανο για τον εντοπισμό των εγκλεισμάτων και τον προσδιορισμό της φύσης τους.



Εικόνα 37: Στερεοσκοπικό μικροσκόπιο

8. Πολαρισκόπιο

Το πολαρισκόπιο είναι ένα απλό όργανο που αποτελείται από δύο πολωτικά φίλτρα και με το οποίο πολύ γρήγορα και εύκολα εξετάζονται οι οπτικές ιδιότητες των πολύτιμων λίθων (Εικ. 38). Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του τύπου διάθλασης του κρυστάλλου, δηλαδή αν είναι μονοθλαστικός ή διπλοθλαστικός και για τον διαχωρισμό του φυσικού από τον συνθετικό αμέθυστο.

Για να εξεταστεί αν ο αμέθυστος είναι φυσικός ή συνθετικός θα πρέπει πρώτα ο κρύσταλλος να τοποθετηθεί μέσα σε υγρό αλκοόλης ή βενζοϊκού βενζυλεστέρας. Στη συνέχεια, ο λίθος θα πρέπει να περιστρέφεται μέχρι να παρατηρηθεί από το άνω φίλτρο ότι ο κρύσταλλος παραμένει σκοτεινός κατά την περιστροφή 360 μοιρών. Όταν συμβεί αυτό σημαίνει ότι η παρατήρηση γίνεται κατά τον οπτικό άξονα του κρυστάλλου. Εάν παρατηρηθούν ανώμαλες γραμμές που οφείλονται στη διδυμία του αμέθυστου, τότε πρόκειται για φυσικό κρύσταλλο αμέθυστου.



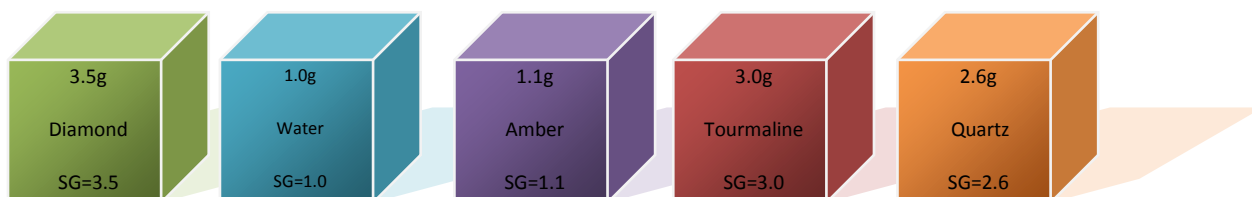
Εικόνα 38: Πολαρισκόπιο

9. Κυψελίδα εμβάπτισης

Η παρατήρηση ενός κρυστάλλου, καθώς είναι τοποθετημένος μέσα στην κυψελίδα εμβάπτισης, μέσα σε υγρό, είναι σημαντική διότι κάνει εύκολη τη διαδικασία εξέτασης μερικών χαρακτηριστικών και κυρίως εγκλεισμάτων. Ανάλογα με το δείκτη διάθλασης του ορυκτού και του υγρού που χρησιμοποιείται, μπορεί να μειωθεί σημαντικά η ανάκλαση, καθώς το φως προσπίπτει στο λίθο, με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό της ακτίνας να εισχωρήσει στον κρύσταλλο και να τον φωτίσει. Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ δεικτών διάθλασης ορυκτού και υγρού, τότε το ορυκτό θα φαίνεται ότι εξαφανίζεται ενώ τα εγκλείσματα θα είναι τα μόνα ορατά με μεγάλη λεπτομέρεια, καθώς ο δείκτης διάθλασης τους διαφέρει από αυτό του ορυκτού.

10. Ειδικό βάρος

Οι γεωμολόγοι συγκρίνουν την πυκνότητα ενός υλικού με την πυκνότητα του νερού. Τα μεταλλικά ορυκτά έχουν ένα μέσο ειδικό βάρος περίπου 5,0. Τα μη μεταλλικά ορυκτά έχουν ένα μέσο ειδικό βάρος περίπου 2,7. Το ειδικό βάρος του αμέθυστου είναι 2,65, ωστόσο μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα την ποικιλία.



11. Περαιτέρω εξέταση των πολύτιμων λίθων

Για να εξετάσουμε ένα πολύτιμο λίθο πιο λεπτομερώς, όπως για παράδειγμα να μελετηθεί η δομή του, χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι, όπως: X-ray (ραδιογραφία), FTIR, UVvis NIR, Raman Spectroscope, EDXRF, SEM.

7. Διαχωρισμός φυσικού από συνθετικό αμέθυστο.

Ο αμέθυστος αποτελεί ένα σημαντικό ορυκτό για τη βιομηχανία των κοσμημάτων. Από τότε που άρχισαν να δημιουργούνται συνθετικοί αμέθυστοι, περίπου 30 χρόνια πριν, η ταυτοποίησή τους έχει γίνει ένα από τα πιο δύσκολα έργα των γεωμολόγων (Εικ. 39). Μέχρι και σήμερα, σημαντικές ποσότητες συνθετικού αμέθυστου παρουσιάζονται στην αγορά ως φυσικοί αμέθυστοι. Η κατάσταση που επικρατεί στην αγορά δημιουργεί ανασφάλειες στον καταναλωτή για την ποιότητα που αγοράζει και γι' αυτό το λόγο γίνονται έρευνες για τον διαχωρισμό του φυσικού από τον συνθετικό αμέθυστο. Ειδικότερα, σε περιπτώσεις που οι αμέθυστοι είναι υψηλής ποιότητας δεν έχουν εγκλείσματα, χαρακτηριστικές ζώνες και διδυμίες η ταυτοποίηση αποτελεί πρόκληση για τους ειδικούς.

Πρόσφατες έρευνες έδειξαν την αποτελεσματικότητα της φασματομετρίας μάζας επαγωγικώς συζευγμένου πλάσματος (LA-ICP-MS) στο διαχωρισμό του φυσικού από τον συνθετικό αμέθυστο. Οι γραφικές απεικονίσεις των στοιχείων Ti και Cr προς Ga αποτελούν μια πολύ χρήσιμη μέθοδος (Breeding and Shen, 2010), ωστόσο η μέθοδος αυτή δεν είναι ευρέως διαθέσιμη και επιπλέον το κόστος της είναι πολύ υψηλό για την ταυτοποίηση ενός κοινού πολύτιμου λίθου, όπως του αμέθυστου.

Επιπροσθέτως, μια άλλη τεχνική είναι η υπερθέρμανση με laser, η οποία μπορεί να προκαλέσει σπασίματα στα δείγματα. Η φασματοσκοπία υπέρυθρης ακτινοβολίας στην περιοχή εκτατικών δονήσεων της ομάδας των αλκοολών-φαινόλων έχει θεωρηθεί μια σπουδαία και χρήσιμη μέθοδος για τον διαχωρισμό του φυσικού από τον συνθετικό

αμέθυστο, καθώς αποκαλύπτει αρκετές μάντες οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί για το σκοπό αυτό (Smaali, 1998; Zecchini and Smaali, 1999; Notari et al., 2001; Balitsky et al., 2004a,b; Karampelas et al., 2006). Η ένταση και το σχήμα αυτών των μαντών εξαρτώνται από τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό. Η μελέτη, που έκαναν Karampelas et al. (2005), προτείνει ένα νέο κριτήριο το οποίο βασίζεται στην ύπαρξη της μάντας 3595 cm^{-1} , που αποδεικνύεται καθοριστικό σε όλα τα μελετημένα δείγματα γνωστής προέλευσης.



Εικόνα 39: Δείγμα αμέθυστου από την περιοχή Boekenhoutshoek της Νότιας Αφρικής.

Ο συνθετικός αμέθυστος αναπτύσσεται είτε σε ένα ουδέτερο διάλυμα NH_4F είτε σε ένα αλκαλικό διάλυμα K_2CO_3 (Balitsky et al., 1975; Khadzi et al., 1975) (Εικ. 40). Η ταυτοποίηση των κρυστάλλων που δημιουργούνται σε διάλυμα NH_4F είναι εύκολη χρησιμοποιώντας κλασσικές γεμμολογικές μεθόδους (μελέτη διαγνωστικών διδυμιών, εγκλεισμάτων και χρωματικών ζωνών) ή παρατηρώντας τις ειδικές μάντες υπέρυθρης απορρόφησης των συγκεκριμένων μηκών κύματος: 3630 cm^{-1} , 3664 cm^{-1} και 3684 cm^{-1} (Balitsky et al., 2004a, b). Ωστόσο, η συντριπτική πλειοψηφία των συνθετικών αμέθυστων, που υπάρχουν στις σημερινές αγορές, αναπτύσσεται σε διάλυμα K_2CO_3 (Fritsch et al., 1995; Balitsky et al., 2004b). Χρησιμοποιώντας μόνο τις κλασσικές γεμμολογικές μεθόδους

μερικές φορές είναι δύσκολο να ξεχωρίσει ο συνθετικός αμέθυστος από τον αντίστοιχο φυσικό (Balitsky et al., 1977, 1978, 1981; Crowningshield et al., 1986; Fritsch et al., 1987, 1988, 1989, 1995; Stockton et al., 1987; Notari et al., 2001; Kitawaki, 2002). Αυτό ισχύει για τους μεγάλους κρυστάλλους, οι οποίοι δεν έχουν εγκλείσματα και διδυμίες. Η υπέρυθη απορρόφηση στην περιοχή των εκτατικών δονήσεων της ομάδας των αλκοολών (ειδικότερα από 3000 cm^{-1} έως 3800 cm^{-1}) έχει αποδειχθεί ως μια χρήσιμη μέθοδο για να διακριθεί ο φυσικός από τον συνθετικό αμέθυστο (Zecchini, 1979; Fritsch et al., 1987, 1988, 1995; Smaali, 1998; Zecchini et al., 1999; Notari et al., 2001). Γενικά, οι συνθετικοί και φυσικοί αμέθυστοι έχουν σχεδόν το ίδιο φάσμα στην περιοχή αυτή. Και οι δύο εμφανίζουν κορυφές απορρόφησης στα 3585 cm^{-1} και στα 3612 cm^{-1} , εξαιτίας της παρουσίας OH^- υδροξυλίου στη δομή του χαλαζία (Kats, 1962). Έχει δειχθεί πρόσφατα ότι η ζώνη των 3595 μπορεί να υπάρχει και σε μερικούς συνθετικούς κρυστάλλους (Karampelas et al., 2004) και να απουσιάζει από μερικούς φυσικούς (Kitawaki et al., 2002; Balitsky et al., 2004a, b).



Εικόνα 40: Συνθετικοί κρύσταλλοι αμέθυστου που αναπτύχθηκαν σε διάλυμα K_2CO_3 . Αριστερά: σύμπλεγμα από πρισματικούς κρυστάλλους (δείγμα από Ρωσία). Δεξιά: ο κρύσταλλος ύψους 15 cm ζυγίζει πάνω από 1 kg (Photos by Franck Notari).

8. Αναλύσεις με FTIR των αμέθυστων από Ελλάδα και Βουλγαρία

Τα φάσματα υπέρυθρης απορρόφησης ελήφθησαν από ένα φασματογράφο Bruker 113v FTIR, σε συνθήκες κενού στο Τμήμα Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου και από ένα Nicolet 20SX στο IMN της Γαλλίας. Το φάσμα των μονοαξονικών κρυστάλλων (όπως είναι οι αμέθυστοι) σε τυχαίο προσανατολισμό μπορεί να περιγραφεί ως γραμμικός συνδυασμός φάσματος που λαμβάνεται παράλληλα και κάθετα στον οπτικό άξονα c .

Επομένως, για αυτή τη μελέτη οι κρύσταλλοι κόπηκαν σε πλάκες παράλληλες και κάθετες στον οπτικό άξονα c. Η καινοτομία της παρούσας μελέτης είναι ότι καθιερώθηκε το σχήμα των απορροφήσεων αυξάνοντας την ανάλυση μέχρι το σχήμα να παραμείνει ίδιο. Για το σκοπό αυτό, ελήφθησαν φάσματα του ίδιου δείγματος σε ανάλυση 4, 2, 1, 0.5 και 0.1 cm^{-1} , προκειμένου επιτύχουμε το σχήμα των απορροφήσεων. Εάν το σχήμα μια ζώνης δεν αλλάζει (στενεύει) καθώς αυξάνεται η ανάλυση, τότε θεωρείται ότι η ζώνη έχει πάρει το τελικό της σχήμα. Επομένως, για το κάθε δείγμα ελήφθησαν δυο διαφορετικά σύνολα κατευθυντήρων φασμάτων σε θερμοκρασία δωματίου, ένα με την κατεύθυνση της δέσμης παράλληλη και ένα κάθετη προς τον οπτικό άξονα.

Το σχήμα της ζώνης 3595 cm^{-1} αποκτήθηκε σε ανάλυση 0.5 cm^{-1} εκ καθώς δεν υπήρχε αλλαγή στο σχήμα για ανάλυση στα 0.1 cm^{-1} . Επομένως, η στενότερη ζώνη απορρόφησης που ενδιαφέρει είναι η ζώνη των 3595 cm^{-1} , η οποία επιτυγχάνει το σχήμα της να παραμείνει σταθερό μόνο σε ανάλυση 0.5 cm^{-1} εκ. Ως εκ τούτου, εάν κάποιος χρησιμοποιήσει ανάλυση 4 cm^{-1} όπως κάνουν τα περισσότερα γεωλογικά εργαστήρια, μπορεί να χάσουν αυτή την αδύναμη αλλά σημαντική ζώνη απορρόφησης των 3595 cm^{-1} . Προηγούμενες δημοσιεύσεις αναφέρουν ότι η ζώνη των 3595 cm^{-1} απουσιάζει από μερικούς φυσικούς αμέθυστους. Αυτό μπορεί να συνέβη λόγω της ανεπαρκούς ανάλυσης του φάσματος. Επομένως, η ανάλυση των 0.5 cm^{-1} είναι απολύτως απαραίτητη για την ανίχνευση την κορυφής των 3595 cm^{-1} .

Με μία τέτοια ανάλυση, η κορυφή αυτή μπορεί να ανιχνευθεί σε όλους τους φυσικούς αμέθυστους. Επιπροσθέτως, προηγούμενοι συγγραφείς (Smaali, 1998; Zecchini et al., 1999) πρότειναν ότι η κορυφή απορρόφησης των 3595 cm^{-1} παρατηρείται μόνο σε φυσικούς αμέθυστους. Οι παρατηρήσεις που έγιναν της κορυφής αυτής σε συνθετικό αμέθυστο, επιβεβαίωσαν τις προηγούμενες μελέτες. Από την μελέτη των Fritsch et al. (2005) προτάθηκε ότι η κορυφή των 3595 cm^{-1} μπορεί βρεθεί σε φυσικούς αλλά και σπάνια σε συνθετικούς αμέθυστους. Στην τελευταία περίπτωση, το πλήρες πλάτος στο μισό μέγιστο είναι σχεδόν 7, δηλαδή περίπου δυο φορές από των φυσικών αμέθυστων που είναι περίπου 3. Εάν απουσιάζει η ζώνη των 3595 cm^{-1} στο φάσμα απορρόφησης ενός αμέθυστου χρησιμοποιώντας ανάλυση 0.5, τότε το δείγμα αμέθυστου είναι συνθετικό (Εικ. 41).

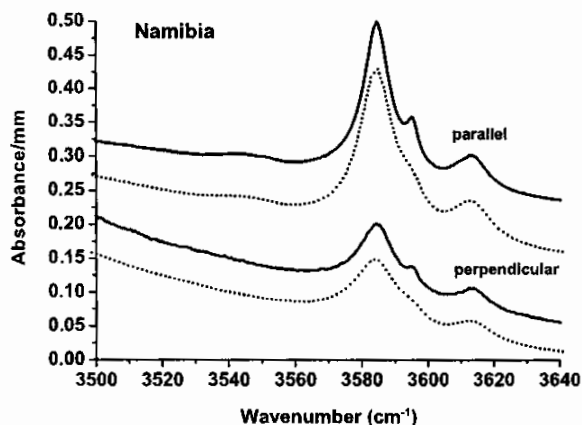


Fig. 4. Infrared absorption spectra of natural amethyst from Namibia. The 3595 cm^{-1} band is difficult to be detected in spectra acquired at 4 cm^{-1} resolution (dotted lines), whereas it is well visible at 0.5 cm^{-1} resolution (full lines)

Εικόνα 41: Διάγραμμα από φασματογράφο FTIR.

9. Μέθοδος FTIR

Σε συνεργασία με το Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ και με τη συμβολή του Καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Παρασκευόπουλου και της Δρ. Τριανταφυλλιάς Ζορμπά εκτελέσαμε τη μέθοδο FTIR για δείγματα αμέθυστου από τις περιοχές: Σάπες, Σουφλί, Παγώνη Ράχη Κίρκης, Κάτω Νευροκόπι και Μήλος.

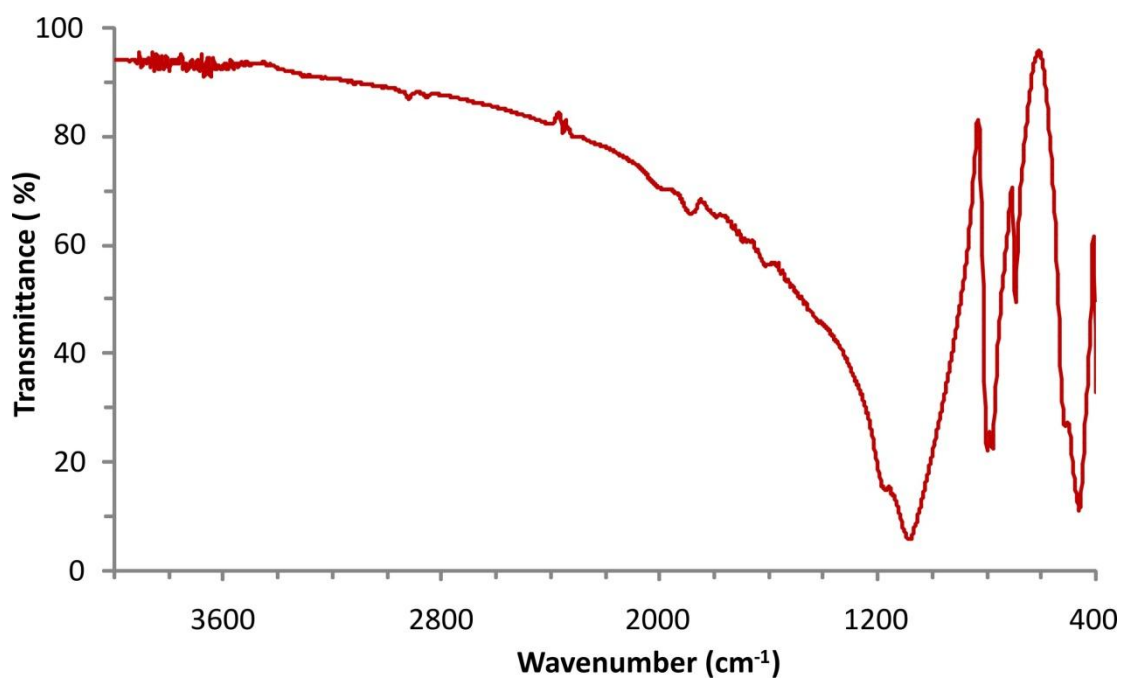
Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για να ληφθούν τα φάσματα διαπερατότητας περιλαμβάνει σε πρώτο στάδιο την κονιοποίηση ενός μικρού τμήματος από το κάθε δείγμα, ώστε να γίνει σκόνη και στη συνέχεια να κατασκευαστούν δισκία με KBr με περιεκτικότητα περίπου 0,8%. Σε ένα γουδί κατασκευασμένο από αχάτη αναμιγνύονται καλά τα υλικά. Στη συνέχεια, ζυγίζονται οι ποσότητες του υλικού και του KBr, με σκοπό το δισκίο να ζυγίζει 200 mg. Η υπολογισμένη ποσότητα μεταφέρεται σε καλούπι ίνοξ για την κατασκευή δισκίου διαμέτρου 13 mm και τοποθετείται στην πρέσα, όπου ασκείται πίεση μέχρι 7 τόνους. Η ίδια διαδικασία εκτελείται και για την κατασκευή δισκίου μόνο με KBr για τη χρήση του ως αναφορά. Ο λόγος που χρησιμοποιείται το KBr και όχι κάποια άλλη χημική ένωση είναι επειδή στην περιοχή 4000 cm^{-1} έως 400 cm^{-1} (mind-IR περιοχή φάσματος) δεν παρατηρείται καμία απορρόφηση, και συνεπώς δεν επηρεάζει το φάσμα του δείγματος.

Αναφορικά με τη φασματογράφο (Εικ. 42), χρησιμοποιήθηκε FTIR μοντέλο Spectrum 1000 της εταιρίας Perkin Elmer. Οι συνθήκες φασματοσκόπησης ήταν οι εξής: Η περιοχή μέτρησης ήταν 4000 cm^{-1} έως 400 cm^{-1} , ο αριθμός σαρώσεων ήταν 32 και η διακριτική ικανότητα 4.0 cm^{-1} .

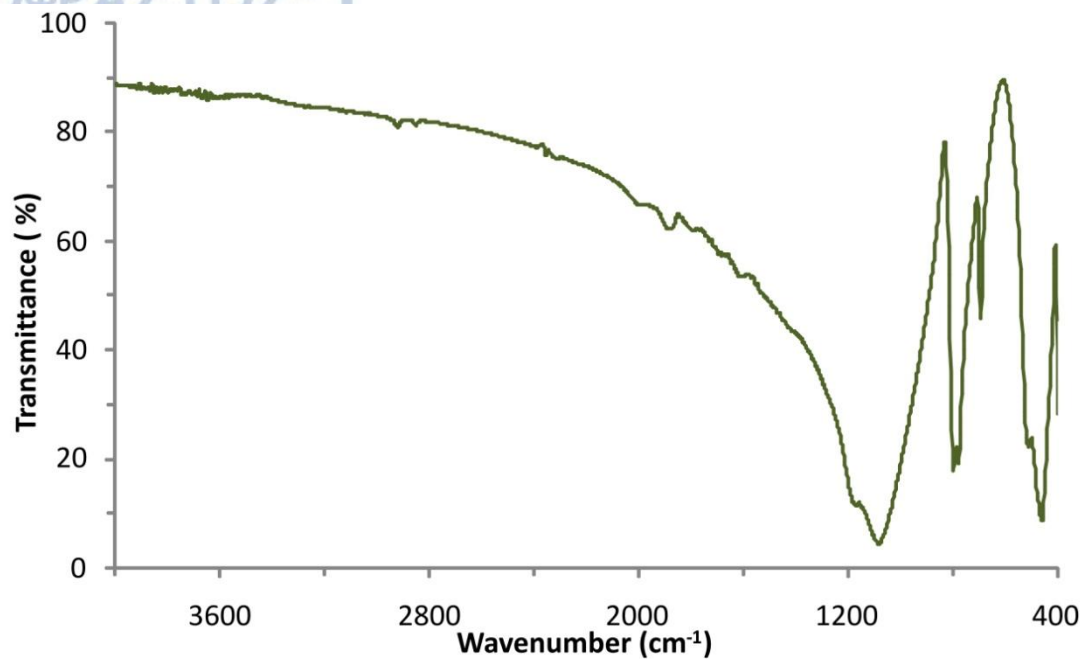


Εικόνα 42: FTIR μοντέλο Spectrum 1000 της εταιρίας Perkin Elmer.

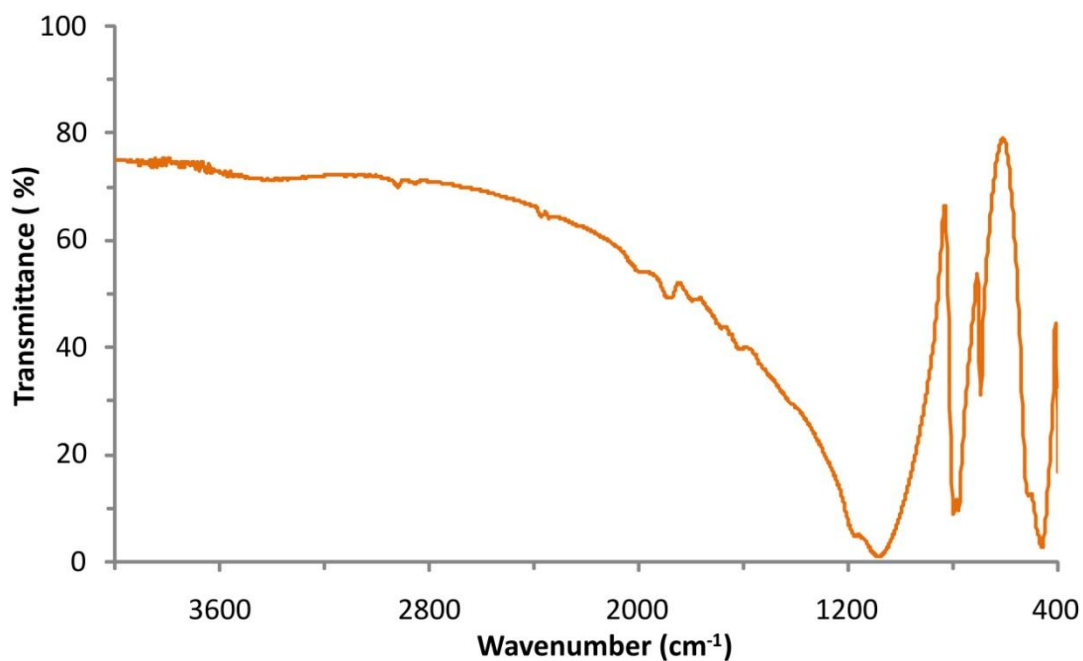
Έπειτα από την παραπάνω διαδικασία, τα φάσματα που λήφθηκαν είναι τα παρακάτω (Εικ. 43):



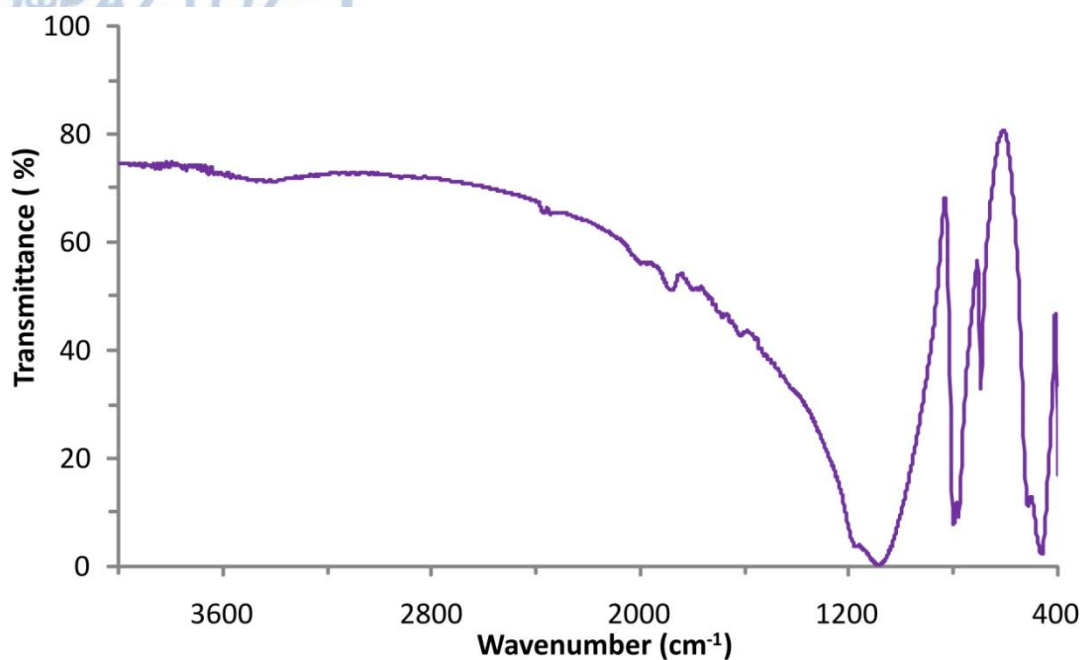
Εικόνα 43: Δείγμα αμέθυστου από το Σουφλί.



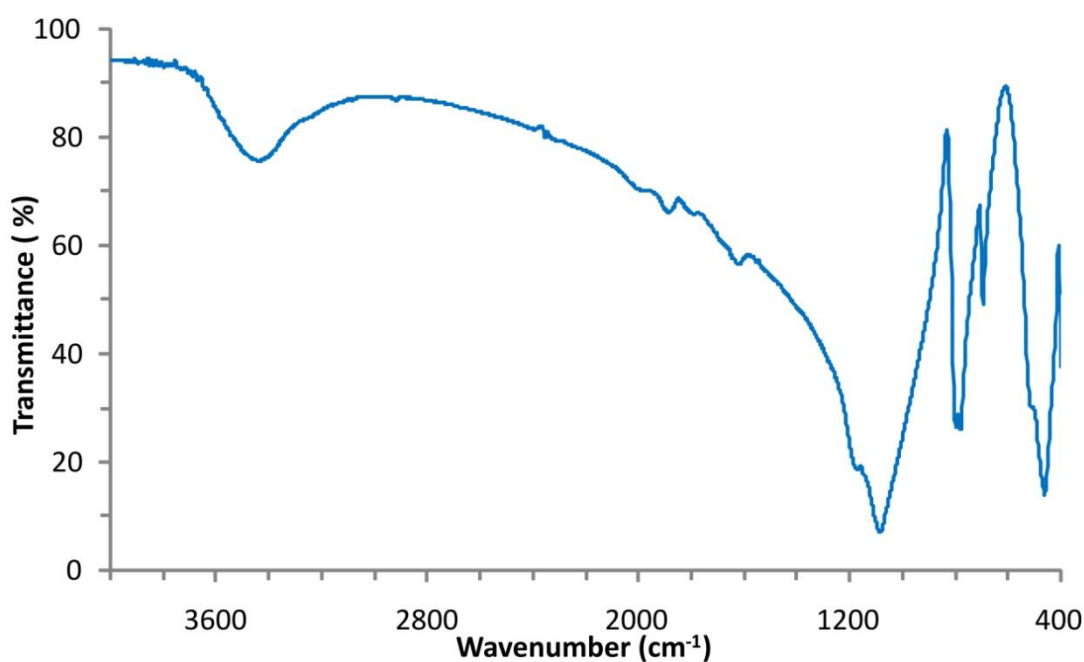
Εικόνα 44: Δείγμα αμέθυστου από το Κάτω Νευροκόπι.



Εικόνα 45: Δείγμα αμέθυστου από Παγώνη Ράχη Κίρκης.



Εικόνα 46: Δείγμα αμέθυστου από τη Μήλο.



Εικόνα 47: Δείγμα αμέθυστου από τις Σάπες.

Η περιοχή από 1200 cm^{-1} έως 950 cm^{-1} χαρακτηρίζεται από αντισυμμετρικές δονήσεις έκτασης του δεσμού Si-O-Si, η περιοχή από 400 cm^{-1} έως 550 cm^{-1} χαρακτηρίζεται από δονήσεις γωνίας κάμψης του δεσμού O-Si-O και ενδιάμεση περιοχή 800 cm^{-1} χαρακτηρίζεται από συμμετρικές δονήσεις έκτασης του δεσμού Si-O-Si.

Η εικόνα που δίνεται από τα φάσματα δείχνει ότι δεν έχουν διαφορές μεταξύ τους και αποτελούν τις χαρακτηριστικές δονήσεις του SiO_2 , όπως αναμένεται από το υλικό. Συνεπώς,

με τη μέθοδο αυτή ταυτοποιήθηκε ο χαλαζίας, ωστόσο δεν ταυτοποιήθηκαν άλλα ιχνοστοιχεία του υλικού λόγω του ορίου ανίχνευσης που κυμαίνεται από 2-3% ώστε να δικαιολογούν την παρουσία του αμέθυστου.

10. Ρευστά εγκλείσματα σε αμέθυστους

Τα ρευστά εγκλείσματα είναι μικρές ποσότητες από ρευστά που παγιδεύτηκαν στα ορυκτά, τα οποία προσφέρουν σπουδαίες πληροφορίες για τις γεωλογικές διεργασίες, από υψηλές θερμοκρασίες σε μεγάλα βάθη μέχρι χαμηλές θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια της γης (Εικ. 42). Τα εγκλείσματα μπορεί να είναι σε αέρια, ρευστή ή κρυσταλλική φάση.



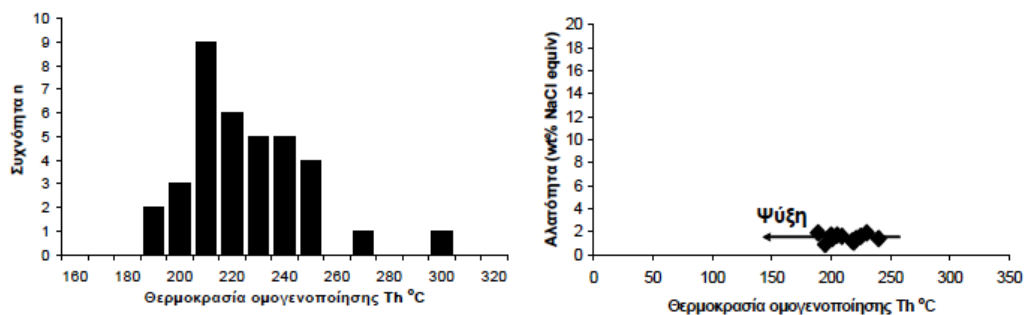
Εικόνα 48: Αμέθυστος με ρευστό έγκλεισμα από Ναμίμπια.

Σε ένα ορυκτό μπορεί να συναντηθεί έγκλεισμα με περισσότερες από μία φάση (Εικ. 43). Ανάλογα από τον χρόνο που θα παγιδευτεί το ρευστό στο ορυκτό, δηλαδή αν θα δημιουργηθεί κατά την ανάπτυξη του ορυκτού ή μετά την κρυστάλλωση του, τα ρευστά εγκλείσματα διακρίνονται σε πρωτογενή, δευτερογενή και ψευδοδευτερογενή. Η σύσταση των εγκλεισμάτων ποικίλει. Συνήθως ανιχνεύονται εγκλείσματα που αποτελούνται από H_2O , CO_2 , CH_4 , H_2S , Cl , Br , F , I , N_2 , S , Na , K , Ca , Mg and Fe . Υπάρχουν αρκετά όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μελέτη των ρευστών εγκλεισμάτων, ωστόσο η κύρια έρευνα τους διεξάγεται μέσω της θέρμανσης και ψύξης (για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα Linkam THM) και μέσω του Laser Raman Microprobe. Η μελέτη των ρευστών εγκλεισμάτων αποκαλύπτει σημαντικές γεωλογικές πληροφορίες όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η αλατότητα, η πυκνότητα και το βάθος της εγκλεισμού και συνεπώς παρέχει άμεσα πληροφορίες για τις συνθήκες σχηματισμού ορυκτών και πετρωμάτων (Randive et al. 2014).



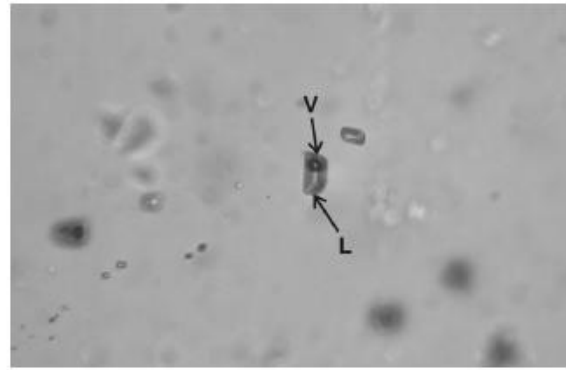
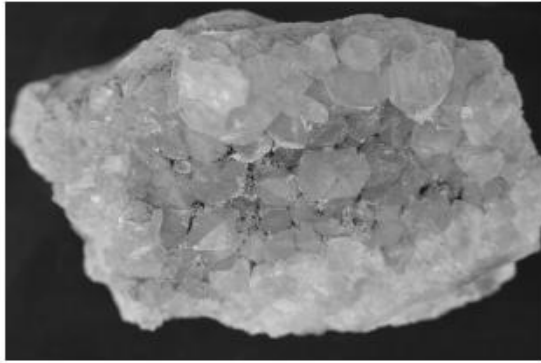
Εικόνα 49: Εγκλείσματα αιματίτη σε αμέθυστο από Βραζιλία.

Η έρευνα του Μέλφου (2005) για τα ρευστά εγκλείσματα σε αμέθυστους των Σαπών, του Σουφλίου και του Κ. Νευροκοπίου έδωσε νέα στοιχεία για τις συνθήκες γένεσης των αμέθυστων στις τρεις περιοχές Μακεδονίας και Θράκης (Εικ. 44). Μελέτες ρευστών εγκλεισμάτων στις Σάπες έδειξαν πολύ χαμηλές αλατότητες και θερμοκρασία ομογενοποίησης από 188 C° έως 246 C°.

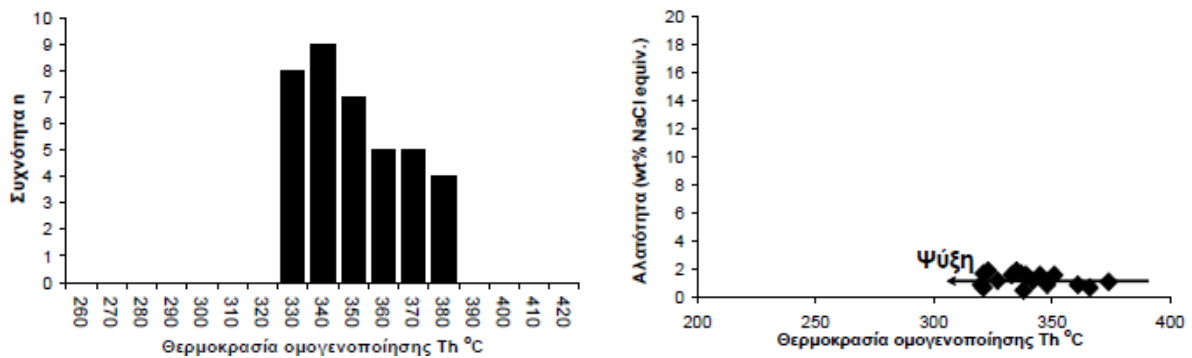


Εικόνα 50: Ιστόγραμμα των θερμοκρασιών ομογενοποίησης των ρευστών εγκλεισμάτων & Διάγραμμα συσχέτισης θερμοκρασιών ομογενοποίησης και αλατότητας στους αμέθυστους από τις Σάπες (Μέλφος 2005).

Οι αμέθυστοι από το Σουφλί σχηματίστηκαν από διαλύματα με χαμηλές αλατότητες και σε θερμοκρασίες από 320 C° έως 378 C°. Και στις δύο περιπτώσεις αμέθυστων, διαπιστώθηκαν χαμηλές αλατότητες γεγονός που δείχνει τη συμμετοχή μετεωρικού νερού στα υδροθερμικά συστήματα και ότι τα διαλύματα στη συνέχεια ψύχθηκαν.

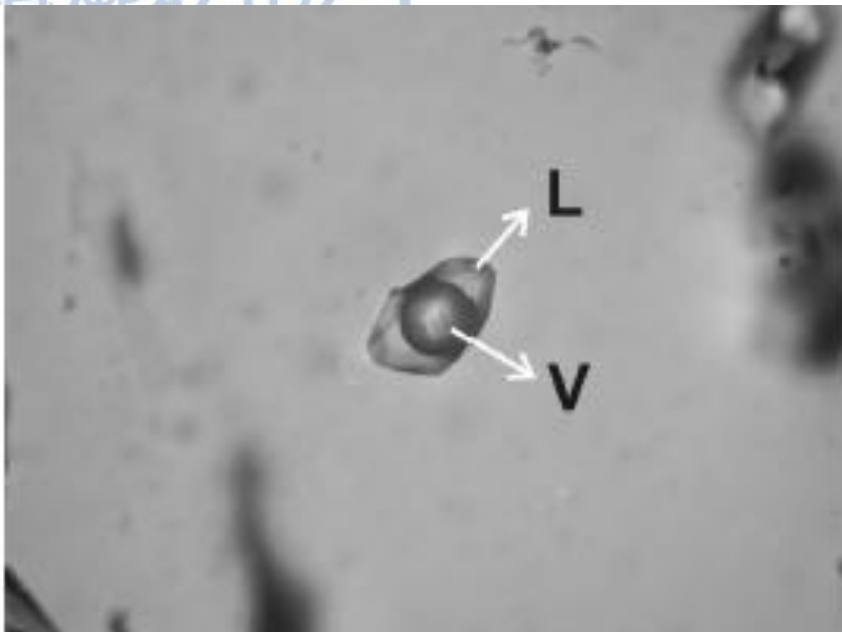


Εικόνα 51: Ιδιόμορφοι κρύσταλλοι αμέθυστου στην περιοχή του Σουφλίου & διφασικό έγκλεισμα (Μέλφος 2005).

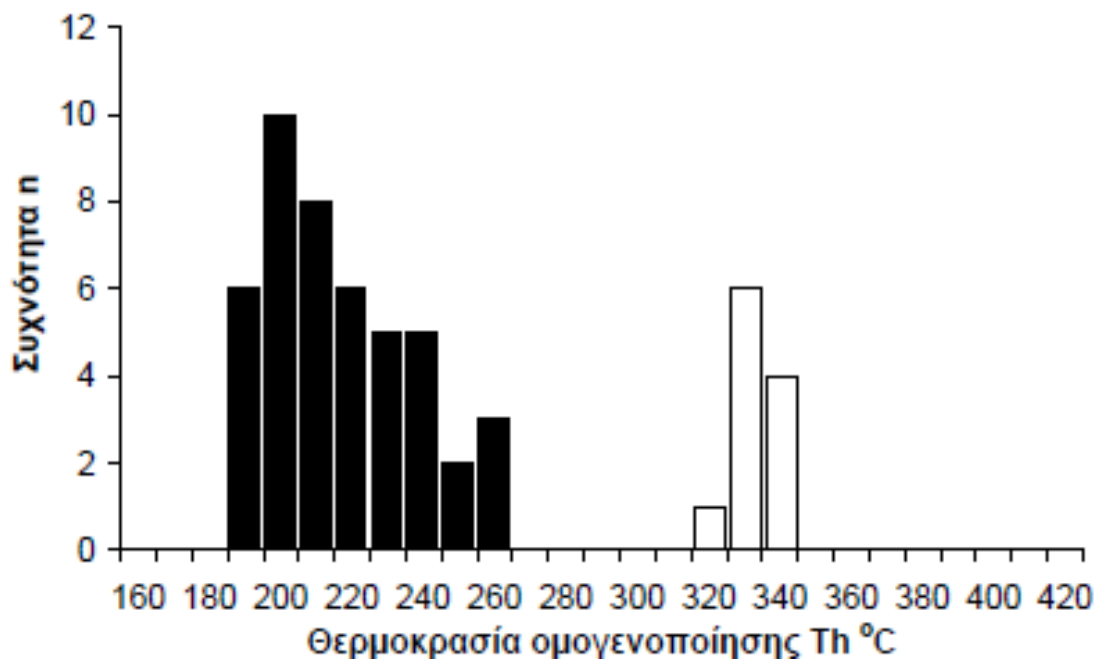


Εικόνα 52: Ιστόγραμμα θερμοκρασιών ομογενοποίησης & διάγραμμα συσχέτισης θερμοκρασιών ομογενοποίησης και αλατότητας των ρευστών εγκλεισμάτων από το Σουφλί (Μέλφος 2005).

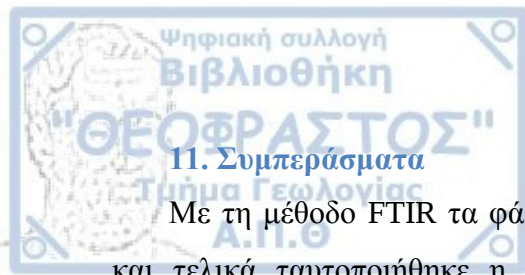
Οι αμέθυστοι από το Κάτω Νευροκόπι σχηματίστηκαν από δύο μη αναμίξιμα ρευστά με διαφορετικό χημισμό. Το πρώτο ρευστό περιέχει $H_2O-NaCl$ με αλατότητα από 1.4 έως 2.1 wt% ισοδ. NaCl και θερμοκρασία ομογενοποίησης 193-267 C°. Το δεύτερο ρευστό περιέχει $H_2O-NaCl-CO_2$ με αλατότητα από 2.6 έως 6.7 wt% ισοδ. NaCl και θερμοκρασία ομογενοποίησης 324-343 C°.



Εικόνα 53: Διφασικό ρευστό έγκλεισμα σε αμέθυστο της περιοχής Κ. Νευροκοπίου (Μέλφος 2005).



Εικόνα 54: Ιστόγραμμα των θερμοκρασιών ομογενοποίησης των ρευστών εγκλεισμάτων τύπου 1 (μαύρο) και τύπου 2 (λευκό) στους αμέθυστους στη περιοχή του Κ. Νευροκοπίου (Μέλφος 2005).



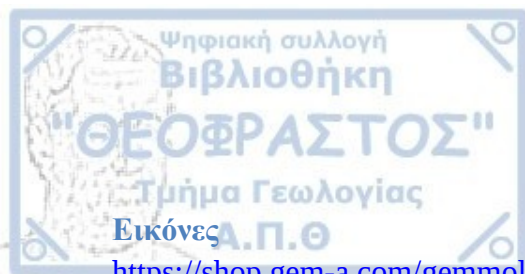
11. Συμπεράσματα

Με τη μέθοδο FTIR τα φάσματα που λήφθηκαν δεν είχαν καμία διαφορά μεταξύ τους και τελικά ταυτοποιήθηκε η χημική ένωση SiO_2 , που είναι το κύριο συστατικό του αμέθυστου, καθώς αποτελεί ποικιλία του χαλαζία. Άλλα ιχνοστοιχεία δεν ανιχνεύθηκαν εξαιτίας του ορίου ανίχνευσης του φασματογράφου που είναι 2-3%. Αναφορικά με τα ρευστά εγκλείσματα στα δείγματα αμέθυστου από τις Σάπες, το Σουφλί και το Κάτω Νευροκόπι έδειξαν χαμηλές αλατότητες, γεγονός που δηλώνει τη συμμετοχή μετεωρικού νερού. Πιο συγκεκριμένα, η θερμοκρασία ομογενοποίησης για τις Σάπες κυμαίνεται από 188 C° έως 246 C°, ενώ για το Σουφλί από 320 C° έως 378 C°. Οι αμέθυστοι από το Κάτω Νευροκόπι σχηματίστηκαν από δύο μη αναμιγνυόμενα ρευστά με διαφορετική σύσταση. Για το πρώτο ρευστό η θερμοκρασία ομογενοποίησης κυμαίνεται από 193-267 C°, ενώ για το δεύτερο ρευστό η θερμοκρασία ομογενοποίησης κυμαίνεται από 324-343 C°.

- Γ. Χριστοφίδης και Τ. Σολδάτος (2008). Ορυκτοδιαγνωστική (Εργαστηριακές σημειώσεις).
- Μέλφος Β. (2000). Σημειώσεις στο μάθημα «Γεμμολογία-Πολύτιμοι λίθοι», για τους σπουδαστές του Πολιτιστικού ΙΕΚ Θεσσαλονίκης, σελ. 87
- Μέλφος Β. (2005). Μελέτη ρευστών εγκλεισμάτων σε αμέθυστους από περιοχές της Μακεδονίας και Θράκης: Κ. Νευροκόπι, Σαπές, Σουφλί. Πρακτικά 2ου Συνεδρίου της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, 219-228
- .Ορφέα περί λίθων (1992). σελ 97
- Antoinette L., Matlins, Antonio C. Bonanno (1999) Αναγνώριση πολύτιμων λίθων.
- Maneta V., Voudouris P., (2010) Quartz megacrysts in Greece: mineralogy and environment of formation.
- Panagiotis Voudouris, Vasilios Melfos, Athanasios Kareriniopoulos, (2006) Precious stones in Greece: mineralogy and geological environment of formation.
- Randive, Kirtikumar & Hari, K.R. & Dora, M.L. & Malpe, D.B. & Bhondwe, Abhijeet. (2014). Study of Fluid Inclusions: Methods, Techniques and Applications. Gondwana Geological Magazine. 291. 19-28.
- S. Karampelas, E. Fritsch, T.Zorba, K. M. Paraskevopoulos and S. Sklavounos (2005). Distinguishing natural from synthetic amethyst: the presence and shape of the 3595 cm⁻¹ peak.
- S. Karampelas, E. Fritsch, T.Zorba, K. M. Paraskevopoulos and S. Sklavounos (2007). An update in the separation of natural from synthetic amethysts.
- V. Breskovska and M. Tarkian (1993). Mineralogy and Fluid Inclusion Study of Polymetallic Veins in the Madjarovo Ore Field, Eastern Rhodope, Bulgaria
- Voudouris et al., (2007) Serifos island, Aegean Sea/Greece: a worldwide unique mineralogical and petrological geotope.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- http://jewelrysupplier.com/2_amethyst/amethyst_geography.html
- http://www.sbgeo.org.br/tese_sp_04.html
- <http://nrmima.nrm.se//imalist.htm>
- <http://www.macsopals.com/opal-guide/opal-doublets-triplets/>



<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/loupes-and-magnifiers/gem-a-10x-re-chargeable-led-loupe.html>

<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/loupes-and-magnifiers/gem-a-10x-re-chargeable-led-loupe.html>

<https://www.gia.edu/gems-gemology/fall-2014-introduction-pleochroism-faceted-gems>

<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/spectroscopes-and-dichroscopes/gem-a-wide-view-calcite-dichroscope.html>

<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/spectroscopes-and-dichroscopes/gem-a-wide-view-calcite-dichroscope.html>

<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/polariscopes/gem-a-table-polariscope.html>

<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/microscopes/gem-a-led-zoom-microscope.html>

<https://shop.gem-a.com/gemmological-instruments/spectroscopes-and-dichroscopes/gem-a-chelsea-colour-filter.html>

<https://www.mindat.org/photo-173935.html>

<https://www.mindat.org/photo-266098.html>

<https://www.mindat.org/photo-31333.html>

<https://www.mindat.org/photo-31080.html>

<https://www.mindat.org/photo-263079.html>

<https://www.mindat.org/photo-150665.html>

<https://www.mindat.org/photo-408352.html>

<https://www.mindat.org/photo-638190.html>

<https://www.mindat.org/photo-423222.html>

<https://www.mindat.org/photo-423281.html>

<https://www.mindat.org/photo-510356.html>

<https://www.mindat.org/photo-87073.html>

<https://www.mindat.org/photo-175059.html>

<https://www.mindat.org/photo-102474.html>

<https://www.mindat.org/photo-216523.html>

<https://www.mindat.org/photo-119730.html>

<https://www.mindat.org/photo-65540.html>



<https://www.mindat.org/photo-886555.html>

<https://www.mindat.org/photo-830060.html>

<https://www.mindat.org/photo-262222.html>

<https://www.mindat.org/photo-148497.html>

<https://www.mindat.org/photo-31333.html>