



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης
και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση
και την εξόρυξή τους.

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΜΑΥΡΟΓΟΝΑΤΟΣ





ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ"**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΛ ΤΗΝΟΥ.

**Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και
περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΜΑΥΡΟΓΟΝΑΤΟΣ

A.M.: 21028

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

A. Μαγκανάς, Καθηγητής (επιβλέπων)

M. Κατή, Επίκ. Καθηγήτρια

Σ. Λόζιος, Επίκ. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Π.Μ.Σ. ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Μεταπτυχιακή Εργασία

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΑ ΤΗΝΟΥ.

**Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και
περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.**

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΜΑΥΡΟΓΟΝΑΤΟΣ

A.M.: 21028

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

A. Μαγκανάς, Καθηγητής (επιβλέπων)

M. Κατή, Επίκ. Καθηγήτρια

Σ. Λόζιος, Επίκ. Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο αυτής της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, είναι η ορυκτολογική και πετρογραφική μελέτη των οφίτασβεστιτών της ΒΔ Τήνου. Ο πολυσύνθετος αυτό σχηματισμός, γνωστός περισσότερο με την εμπορική του ονομασία ως ‘πράσινο μάρμαρο της Τήνου’ εξορύσσεται ήδη από τα από τα αρχαία χρόνια. Γενικά, αποτελείται από σερπεντινιτικό υλικό που διασχίζεται ή και συγκολλάται από ασβεστίτη προσδίδοντάς του μία ιδιαίτερη ομορφιά. Έχει χρησιμοποιηθεί για επενδύσεις, δαπεδοστρώσεις, αλλά και για έργα γλυπτικής, σε πολλές περιόδους της Ιστορίας, με την μεγαλύτερη ζήτησή του να εντοπίζεται κυρίως στα Βυζαντινά χρόνια, αλλά και σήμερα. Παρά την εμπορική του φήμη και αξία, δεν υπήρχε μέχρι τώρα κάποια συστηματική μελέτη για την ορυκτολογία, την πετρογραφία και τις συνθήκες δημιουργίας αυτού του ιδιότυπου σχηματισμού. Η παρούσα εργασία καλείται να εστιάσει στους παραπάνω τομείς έρευνας, αλλά και στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την εξόρυξη και την χρήση αυτού του πετρώματος ως δομικού και διακοσμητικού λίθου.

Οι οφίτασβεστίτες της Τήνου, βρίσκονται στο ΒΔ τμήμα του νησιού και εντοπίζονται μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους της ανώτερης τεκτονικής ενότητας. Η μετάβαση από τους πρασινοσχιστόλιθους στα συνήθως ελλειψοειδή σώματα των οφίτασβεστιτών γίνεται πάντα με την μεσολάβηση μίας ζώνης πλούσιας σε τάλκη.

Οι κύριες μέθοδοι έρευνας που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από το ύπαιθρο, είναι μικροσκοπία σε οπτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM), χημικές αναλύσεις ολικού πετρώματος (ICP-MS) και περιθλασιμετρία ακτίνων-x (XRD).

Η σύνθεση των δεδομένων που προέκυψαν από την μελέτη του υλικού με τις παραπάνω μεθόδους, απέδειξε ότι το πράσινο «μάρμαρο της Τήνου» είναι ένα μονόμεικτο σερπεντινιτικό λατυποπαγές με ανθρακικό συγκολλητικό υλικό (ασβεστίτης). Η ορυκτολογική σύσταση του σχηματισμού αποτελείται από αντιγορίτη και ασβεστίτη, ενώ σε πολύ μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν δολομίτης, τάλκης, χλωρίτης, επίδοτο, τρεμολίτης, σπινέλιος και μαγνητίτης. Κύριος μηχανισμός γένεσης αυτού του σερπεντινιτικού λατυποπαγούς φαίνεται να είναι ο τεκτονισμός, εκφραζόμενος με την έντονη κατάκλαση που αποτυπώνεται στο σύνολο του σχηματισμού και λιγότερο οι ιζηματογενείς διεργασίες που αφορούν ιδιαίτερα τα ανώτερα τμήματα αυτού και υποδεικνύονται κυρίως από ιδιαίτερα ιστολογικά

χαρακτηριστικά. Η λεπτομερής πετρογραφική μελέτη του ανέδειξε επιπλέον εκτεταμένα φαινόμενα μετασωμάτωσης από τα οποία προκύπτει ότι το κατακλαστικό αυτό λατυποπαγές υπέστη έντονη υδροθερμική αλλοίωση σε διάφορες φάσεις της πολύπλοκης τεκτονομεταμορφικής ιστορίας του.

Οι σερπεντινίτες του λατυποπαγούς, φαίνεται να προέρχονται από χαρτσβουργίτες και λιγότερο δουνίτες, με βάση τις χημικές αναλύσεις αλλά και τον στοιχειακό αριθμό χρωμίου (#Cr) στους σπινέλιους και φαίνεται να σχετίζονται με γεωτεκτονικό περιβάλλον ζώνης διάνοιξης πάνω από ζώνη υποβύθισης (SSZ - supra-subduction zone). Επίσης, από την ορυκτολογική μελέτη προκύπτει ότι το κατακλαστικό αυτό λατυποπαγές υπέστη έντονη υδροθερμική αλλοίωση σε διάφορες φάσεις της πολύπλοκης τεκτονομεταμορφικής ιστορίας του.

Η δημιουργία αυτού του σχηματισμού, φαίνεται να έλαβε χώρα σε ωκεάνιο περιβάλλον, πιθανότατα κατά μήκος ενός ενδοωκεάνιου κανονικού ρήγματος (intraoceanic detachment), το οποίο έφερε τα υπερβασικά πετρώματα στον πυθμένα του ωκεανού, με αποτέλεσμα αρχικά την σερπεντινίωσή τους. Εκεί έλαβε χώρα η κατάκλαση του σερπεντινίτη και η καθίζηση του ανθρακικού υλικού, από ρευστά υδροθερμικού τύπου πλούσια σε Ca, αλλά και από την αντίδραση του πετρώματος με το θαλασσινό νερό. Την κατάκλαση του σερπεντινίτη ακολούθησε η καθίζηση ανθρακικού υλικού, από κυκλοφορούντα υδροθερμικά ρευστά πλούσια σε Ca αλλά και από την αντίδραση του πετρώματος με το θαλασσινό νερό. Στα ανώτερα τμήματα, και ιδιαίτερα όπου η μορφολογία το επέτρεψε, σχηματίστηκε οριζοντας οφίτασβεστιτών πλούσιος σε κύρια μάζα, πιθανότατα μέσω διεργασιών ροών ιζημάτων από βαρύτητα -ειδικότερα τύπου ροής θραυσμάτων (debris flow)- υποκινούμενων σαφώς από την τεκτονική δραστηριότητα.

Η παρούσα εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο σχηματισμός των οφίτασβεστιτών της ΒΔ Τήνου συνιστά στο σύνολό του ένα τεκτονικό έως τεκτονοϊζηματογενές σερπεντινιτικό λατυποπαγές που δημιουργήθηκε σε ένα πολύ μεταγενέστερο στάδιο της ανω-Κρητιδικής SSZ διάνοιξης κάτι που το διαφοροποιεί σημαντικά από τους κλασικούς οφίτασβεστίτες των Άλπεων (Plata, Davos, κλπ.), ο σχηματισμός των οποίων συνδέεται άμεσα με τα τελευταία στάδια ηπειρωτικής διάρρηξης.

Τέλος, επισημαίνονται κάποια περιβαλλοντικά θέματα, που αφορούν στην παρουσία ορυκτών της ομάδας του αμιάντου (με την μορφή σερπεντινικού και

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

αμφιβολικού αμιάντου), αλλά και προβλήματα που προκύπτουν από την λειτουργία των λατομείων και προτείνονται οι βέλτιστες λύσεις για την αντιμετώπισή τους.

Θεματική Ενότητα: Ορυκτολογία – Πετρολογία, Περιβαλλοντική Γεωλογία.

Λέξεις κλειδιά: Τήνος, πράσινο μάρμαρο, οφίτασβεστίτης, τεκτονικό λατυποπαγές.

ABSTRACT

The main goal of this work is to study the mineralogy and the petrography of the opicalcite which are located in the NW part of Tinos island, Cyclades, Greece. This very complex lithology, better known as ‘green marble of Tinos’, has undergone intense exploitation since ancient times. The beautiful contrast between the green clasts and the numerous white veins is what made the ‘verde di Tinos’ so famous among the rest of the decorative stones. It has been used in many cases in sculpturing or in building and as a decorative material, especially during Byzantine times.

Despite its high commercial value, very little detailed research on the mineralogy, petrography and genesis of this opicalcite has been made.

This work intends to focus on all the previous topics, as well as to record any kind of environmental problems which arise from the use of the stone and the operation of the quarries which produce it.

The studied opicalcite is located in the NW part of Tinos island, 4km north of the Marlas village. The elleipsoidal opicalcitic bodies are enclosed in the upper unit greenschists and it is notable that a talc-rich zone is always found between the two lithologies.

The main methods used during this work, after the detailed sampling from the filed, were optical and scanning electron microscopy (SEM), x-ray diffraction (XRD) and whole rock chemical analyses conducted by ICP-MS. Composition of data from this work proves that the ‘green marble’ of Tinos is a polygenetic serpentinitic breccia with calcitic cement. Its mineralogical composition consists mainly of serpentine (antigorite) and calcite, whereas dolomite, Cr-rich chlorite, epidote, tremolite, sericite, talc, spinel and magnetite are present as accessory minerals.

Mineralogical, textural and geochemical data support the idea of a hartzburgitic and dunitic origin of the serpentines, which formed in a supra subduction zone geotectonic setting of late Cretaceous age. The main genetic cause of this irregular formation is tectonism of ultrabasic rocks due to activation of intraoceanic detachment faults. Sedimentary processes played an incidental minor role to the formation of Tinos opicalcites and are usually recognized at the upper parts of the opicalcites, which are attributed to debris-flows deposits. A hydrothermal overprint can also be traced, based on mineralogical alterations of the rock.

The most possible geotectonic setting where such a polygenetic rock formed, could be along a large scale intraoceanic detachment, which brought the deepest part of the ophiolitic sequence (ultrabasic rocks) at the seabed and thus, caused their serpentinization and tectonic fracturing. Later, these fractures were filled by calcite, which precipitated from hydrothermal fluids as well as from the reaction of the ultrabasic rock with the sea water. Locally, matrix-supported breccias were formed, due to debris flows which took place in topographic lows, along the fault scarps.

This present work comes to the conclusion that Tinos ophicalcite indicates a cataclastic tectonic breccia which was formed along an intraoceanic detachment, in contradiction to the typical alpine ophicalcites (Totalp, Davos etc.), which were formed by tectonosedimentary mechanisms along a mid-ocean ridge.

Lastly, a few environmental matters were noted, regarding the presence of serpentine minerals in the ophicalcite as well as the environmental degradation due to the operation of the quarries in the broader area. Despite the fact that no important problems were detected, few proposals are made in order to optimize the production of the ‘green marble’ and to protect the local environment as well.

Subject area: Mineralogy – Petrology, Environmental Geology

Keywords: Tinos-Greece, green marble of Tinos, ophicalcite, tectonic breccia.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

I. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Σκοπός της Εργασίας.....	3
1.2 Γενικά στοιχεία για τους οφίταςβεστίτες	5
1.3 Ιστορική αναδρομή - Χρήσεις.....	10
1.4. Γεωγραφική θέση.....	14
1.5 Στοιχεία Γεωλογίας.....	16
1.5.1 Αττικοκυκλαδική Μάζα.....	16
1.5.2 Γεωλογία της Νήσου Τήνου	19
1.5.3 Προγενέστερη έρευνα	25
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ	27
2.1 Εργασία Υπαίθρου	27
2.2 Εργαστηριακές Αναλύσεις	28
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	29
4. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ - ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ	50
4.1 Περιβάλλοντα πετρώματα	50
4.1.1 Πρασινοςχιστόλιθοι.....	50
4.1.2 Σερπεντινίτες.....	52
4.1.3 Μεταβασίτες	54
4.1.4 Ταλκικοί σχιστόλιθοι	55
4.2 Οφίταςβεστίτες	55
4.2.1 Κατακλαστικοί Σερπεντινίτες.....	55
4.2.2 Ανθρακική φάση	56
4.2.3 Χρωμιτίτες	58
4.2.4 Επουσιώδη ορυκτά.....	59
5. ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ - ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ	60
5.1 Ορυκτοχημικές αναλύσεις.....	60

3.2 Χημικές αναλύσεις ολικού πετρώματος.....	78
6. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	85
7. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΣΩΜΑΤΩΣΗΣ.....	89
7. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΕΝΕΣΗΣ	91
9 ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	93
10. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΟΡΥΞΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΩΝ	103
11. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	112
11.1 Γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού.....	112
11.2 Καταγραφή περιβαλλοντικών επιπτώσεων	118
12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	122
II. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	125
III. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	133

Ι. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών ‘Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Γεωλογία’ του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Το θέμα της, μου ανατέθηκε το καλοκαίρι του 2011 από τον Καθηγητή κ. Ανδρέα Μαγκανά, ο οποίος είναι και ο επιβλέπων, ενώ ως μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, ορίστηκαν η Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Μαριάννα Κατή και ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Στυλιανός Λόζιος.

Η αρχική φάση δουλειάς περιλάμβανε την αναζήτηση σχετικής βιβλιογραφίας και την ενημέρωση σχετικά με το αντικείμενο των οφιτασβεστιτών και τις θεωρίες που αφορούν στον σχηματισμό τους, σύμφωνα με τις πιο σύγχρονες αντιλήψεις. Αυτό το στάδιο, της βιβλιογραφικής αναζήτησης ήταν συνεχές, μέχρι και τα τελευταία στάδια συγγραφής αυτής της εργασίας.

Ακολούθησαν η εργασία υπαίθρου και οι εργαστηριακές αναλύσεις, διαδικασίες που κράτησαν αρκετό χρόνο, ενώ στη συνέχεια έγινε αξιολόγηση και ερμηνεία όλων των δεδομένων που με οδήγησαν τελικά στη συγγραφή της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Στο σημείο αυτό, οφείλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ανδρέα Μαγκανά, που μου εμπιστεύτηκε αυτό το θέμα για την μεταπτυχιακή μου εργασία. Η βοήθειά του σε όλα τα στάδια, από την αρχική επαφή με το ύπαιθρο, έως την τελική συγγραφή και διόρθωση της εργασίας, ήταν πραγματικά πολύτιμη.

Επίσης, πολλές ευχαριστίες οφείλω στην Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Μαριάννα Κατή και στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Στυλιανό Λόζιο, μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, οι οποίοι στάθηκαν δίπλα μου σε κάθε βήμα αυτής της εργασίας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στην κ. Κατή για την πρόταση του θέματος αυτού, την αμέριστη και συνεχή βοήθειά της αλλά και την ηθική στήριξή της σε όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη εάν δεν ευχαριστούσα τον Καθηγητή κ. Αθανάσιο Κατερινόπουλο, η συμβολή του οποίου ήταν καθοριστική για την πραγματοποίηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και τον Καθηγητή κ. Daniel Bernoulli, από το Πανεπιστήμιο της Βασιλείας (Ελβετία), για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Ευχαριστίες οφείλω και στους Επίκουρους Καθηγητές κ. κ. Παναγιώτη Βουδούρη και Παναγιώτη Πομώνη, για τη συμπαράσταση που μου πρόσφεραν αλλά και τις χρήσιμες συμβουλές τους ιδιαίτερα σε θέματα ορυκτολογίας.

Ευχαριστίες επίσης εκφράζω και στους:

- Δρ. Χρίστο Παπατρέχα από το Ι.Γ.Μ.Ε, για την ευγενή παραχώρηση χρήσιμων πληροφοριών για τους οφιτασβεστίτες της Τήνου
- κ.κ. Σωτήρη Τρυποσκούφη (DionyssoMarbles S.A.), Σπύρο και Γιώργο Θεοτικό και Ιωάννη Τσιτσιμπή (Theotikos-Sotiros S.A.), τόσο επειδή μου επέτρεψαν να κάνω δειγματοληψία στα λατομεία των εταιριών τους όσο και επειδή μου πρόσφεραν πολύτιμες πληροφορίες και συμβουλές όποτε τους το ζήτησα.
- συναδέλφους γεωλόγους Ευάγγελο Γαλανόπουλο, Πέτρο Χατζημπαλόγλου και Αναστάσιο Σωτήρογλου, για τις πολλές ώρες που δαπανήσαμε μαζί, στην κοινή μας προσπάθεια να ολοκληρώσει ο καθένας την μεταπτυχιακή του εργασία.

Όμως, το μεγαλύτερο ευχαριστώ νιώθω ότι το οφείλω στους γονείς μου, οι οποίοι στηρίζουν κάθε βήμα μου και κάνουν τα πάντα προκειμένου να πετύχω τους στόχους μου.

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

Στους γονείς μου...

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην ορυκτολογική και πετρολογική μελέτη των οφίτασβεστιτικών πετρωμάτων της Τήνου. Τα πετρώματα αυτά, γνωστά περισσότερο με την εμπορική τους ονομασία ως ‘πράσινα μάρμαρα Τήνου’, παρουσιάζουν μεγάλο ερευνητικό αλλά και εμπορικό ενδιαφέρον.

Τα ‘πράσινα μάρμαρα της Τήνου’ είναι πασίγνωστα σε ολόκληρο τον κόσμο για την εξαιρετική ομορφιά τους. Αποτελούν αντικείμενο λατομικής εκμετάλλευσης ήδη από την αρχαιότητα, ενώ η εξόρυξη όγκων πράσινου μαρμάρου συνεχίζεται ακόμη και σήμερα, καθώς το ενδιαφέρον για την πλήρη και καθετοποιημένη εκμετάλλευσή τους παραμένει αμείωτο. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλά οικοδομήματα καθώς το ιδιαίτερο σμαραγδοπράσινο χρώμα τους, προκαλεί ένα αίσθημα πολυτέλειας και τα καθιστά περιζήτητους δομικούς και διακοσμητικούς λίθους.

Παρά την εξαιρετική ομορφιά και κατ’ επέκταση την οικονομική σημασία τους, τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον από ορυκτολογική και πετρολογική-πετρογενετική άποψη.

Οι οφίτασβεστίτες, δημιουργούνται από έναν συνδυασμό τεκτονικής κατάκλασης, διαπείρισμού, αντικατάστασης ορυκτών του σερπεντίνη από ασβεστίτη, και συγκόλλησης των θραυσμάτων με ασβεστίτη. Επίσης, σε περιπτώσεις οφίτασβεστιτών πλούσιων σε κύρια μάζα (matrix supported breccias) σημαντικό ρόλο στην γένεσή τους έχουν παίζει μηχανισμοί ροών ιζημάτων και επανιζηματογένεσης.

Η εντατική μελέτη οφίτασβεστιτών σε ολόκληρο τον κόσμο, απέδειξε ότι πρόκειται για σχηματισμούς κλειδιά, που προσφέρουν πολλές πληροφορίες για τον τρόπο και τα περιβάλλοντα γένεσής τους, που είναι πολύ ιδιαίτερα, επιτρέποντας στους ερευνητές να προχωρήσουν ακόμα και σε παλαιογεωγραφικά συμπεράσματα. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς οι οφίτασβεστίτες σχηματίζονται σε περιοχές όπου η πολυπλοκότητα των γεωδυναμικών διεργασιών που έχουν λάβει χώρα είναι τέτοια, που δεν αφήνει πολλά περιθώρια μελέτης.

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εκπονήθηκε με αφορμή το γεγονός ότι για τους οφίτασβεστίτες της Τήνου δεν υπάρχει κάποια εξειδικευμένη και συστηματική σύγχρονη έρευνα για την ορυκτολογία τους, την πετρογραφία τους, τα ποιοτικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους αλλά και τις γεωτεκτονικές διεργασίες που οδήγησαν στον σχηματισμό τους. Έγινε εκτεταμένη προσπάθεια να καλυφθούν όλοι οι

παραπάνω τομείς έρευνας. Αναγνωρίστηκαν λοιπόν τα ορυκτολογικά συστατικά των οφίτασβεστιτών της Τήνου. Έγιναν χημικές αναλύσεις για να προσδιοριστεί ένα πιθανό γεωτεκτονικό περιβάλλον γένεσης των σερπεντινιτών του σχηματισμού. Με βάση τα διαθέσιμα από την παρούσα εργασία δεδομένα αλλά και τη σχετική διεθνή βιβλιογραφία, προτάθηκε ένα μοντέλο δημιουργίας και εξέλιξής τους. Περιγράφηκε η εκμετάλλευση που υπέστησαν από την αρχαιότητα έως σήμερα ως διακοσμητικοί λίθοι. Ακολούθησε μία καταγραφή των περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλεί η ύπαρξη και λειτουργία των λατομείων και προτάθηκαν λύσεις για την αντιμετώπιση των όποιων προβλημάτων διαπιστώθηκαν. Τέλος, καταβλήθηκε μία προσπάθεια να αναγνωριστεί εάν η χρήση των οφίτασβεστιτών προκαλεί προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, καθώς στην ορυκτολογική τους σύσταση συμμετέχουν ορυκτά της ομάδας του αμιάντου, τα οποία έχουν θεωρηθεί ότι είναι επιβλαβή, αφού μπορεί να είναι αιτία πρόκλησης σοβαρών ασθενειών.

1.2 Γενικά στοιχεία για τους οφίτασβεστίτες (ophicalcites).

Οι οφίτασβεστίτες με την ιδιαίτερη εμφάνιση και σύστασή τους κίνησαν από πολύ νωρίς το ερευνητικό ενδιαφέρον. Η μορφολογική και ορυκτολογική ποικιλία τους όμως, ο εντυπωσιακός κατακλαστικός ιστός τους καθώς και η σχετική σπανιότητά τους στο ύπαιθρο, αποτέλεσαν ανασταλτικό παράγοντα στην μελέτη τέτοιου είδους πετρωμάτων. Αυτό όμως που χρειάστηκε πολύς χρόνος για να διαλευκανθεί, ήταν η διαδικασίες που οδηγούν στον σχηματισμό αυτού του ιδιαίτερου είδους πετρωμάτων.

Ο Steinmann με δύο εργασίες σταθμούς για την μελέτη βασικών και υπερβασικών αθροισμάτων πετρωμάτων (1905, 1913) περιέγραψε πρώτος τους οφίτασβεστίτες που παρατήρησε στα οφιολιθικά συμπλέγματα της ανατολικής Ελβετίας. Επίσης, ο Cornelius (1935), ασχολήθηκε με τις εμφανίσεις οφίτασβεστιτών στην ίδια περιοχή και παρατήρησε την στενή γενετική σχέση τους με τα υπόλοιπα υπερβασικά και βασικά πετρώματα που αργότερα θα αναγνωρίζονταν ως μία πλήρης οφιολιθική ακολουθία. Οι οφίτασβεστίτες αυτοί, εμφανίζονταν υπό την μορφή σερπεντινιτικών λατυποπαγών, με ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό, στα οποία εύκολα αναγνωριζόταν ο έντονος τεκτονισμός και η επίδραση μιας κάποιας υδροθερμικής δραστηριότητας.

Το γεγονός αυτό, οδήγησε τον Steinmann στο να υποθέσει ότι δεν είναι άλλο παρά προϊόντα μεταμόρφωσης επαφής ανάμεσα στους οφιολίθους και τα γειτονικά συνοδά τους ιζήματα βαθιάς θάλασσας. Αντίστοιχες απόψεις διατύπωσε έναν χρόνο

αργότερα (1936) και ο Peters. Η σκέψη αυτή ήταν σύμφωνη με την γενική θεώρηση της εποχής ότι οι μεγάλες εμφανίσεις βασικών-υπερβασικών πετρωμάτων δημιουργούνταν από διεισδύσεις μαγμάτων αντίστοιχης σύστασης. Η άποψη αυτή όμως, ανατράπηκε γρήγορα, διότι αποδείχθηκε ότι δεν είναι δυνατή η ύπαρξη τέτοιων μαγμάτων (Bowen, 1928, 1927). Από τότε, διάφοροι ερευνητές, υποστήριζαν κατά καιρούς ποικίλες θεωρίες για τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών. Υποτέθηκε ότι μπορούσαν να είναι αποτέλεσμα πεδογενετικών διαδικασιών (Folk & McBride, 1976), ότι μπορεί να προέρχονται από μαγματικούς καρμπονατίτες (Bailey & McCallien, 1960) ή ακόμα και να είναι προϊόντα τοπικής μεταμόρφωσης (Trommsdorff et al., 1980). Νέα δεδομένα από την μελέτη οφίτασβεστιτών από όλο τον κόσμο, έδειξαν ότι τα πετρώματα αυτά, δημιουργούνται από έναν συνδυασμό τεκτονικής κατάκλασης, αντικατάστασης ορυκτών του σερπεντίνη από ασβεστίτη, και συγκόλλησης των θραυσμάτων με ασβεστίτη. Επίσης, σε περιπτώσεις οφίτασβεστιτών πλούσιων σε κύρια μάζα (matrix supported breccias) σημαντικό ρόλο στην γένεσή τους έχουν παίζει μηχανισμοί ροών ιζημάτων και επανιζηματογένεσης (debris flows – talus, resedimentation) (Bernoulli & Weissert, 1985; Lemoine et al., 1987; Fruh-Green et al., 1990).

Οι οφίτασβεστίτες φαίνεται ότι σχηματίστηκαν σε διάφορες γεωλογικές εποχές, σε πλήρη αντιστοιχία με την δημιουργία οφιολιθικών συμπλεγμάτων, των οποίων αποτελούν συνήθως αναπόσπαστο κομμάτι. Οι παλαιότεροι σήμερα γνωστοί οφίτασβεστίτες προέρχονται από το ορδοβίσιας ηλικία οφιολιθικό σύμπλεγμα των Απαλλαχίων ορέων, στο Κεμπέκ του Καναδά, ενώ ενώ οι νεότεροι σχηματίζονται ακόμη και σήμερα, όπως δείχνει το ακτουαλιστικό παράδειγμα του υδροθερμικού πεδίου Lost City (μεσοατλαντική ράχη). Σημαντικές όμως πληροφορίες για την γένεση των οφίτασβεστιτών αντλούνται και από τους σχηματισμούς που συναντώνται σε Νέα Γη και στην Ιβηρική χερσόνησο, οι οποίοι θεωρείται πως αντιπροσωπεύουν μεταβατικές ακολουθίες από τα ηπειρωτικά περιθώρια στον ωκεάνιο χώρο του Ατλαντικού ωκεανού (OCT, ocean-continent transition). Φαίνεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, ο σχηματισμός των οφίτασβεστιτών οφείλεται στην έκθεση στον θαλάσσιο πυθμένα, τμημάτων υπερβασικών πετρωμάτων, μετά από δράση τεκτονικών αιτίων, μία άποψη που πρώτοι υποστήριζαν οι Spooner & Fyfe, (1973). Αυτό μπορεί να συμβεί σε σημεία όπου δρουν κανονικά ρήγματα μικρής κλίσης (low-angle normal faults), τα οποία αναπτύσσονται σε περιβάλλοντα

μετάβασης από μία ήπειρο προς έναν νέο-ανοιγόμενο ωκεανό (ocean-continent transition - OCT) (Bernoulli & Jenkyns, 2009).

Επίσης, άλλα περιβάλλοντα στα οποία μπορούν να σχηματιστούν οφίτασβεστίτες είναι τα ρήγματα μετασχηματισμού ή κανονικά ρήγματα κατά μήκος μεσοωκεάνιων ραχών αργής διάνοιξης (slow-spreading). Η έκθεση των υπερβασικών πετρωμάτων (κυρίως χαρτσβουργιτών και λερζολίθων και λιγότερο δουνιτών) στον πυθμένα της θάλασσας, οδηγεί στην υδροθερμική τους εξαλλοίωση, μέσω της αντίδρασης των πετρωμάτων με το πλούσιο σε ιόντα θαλασσινό νερό και τελικά στον σχηματισμό σερπεντινιτών. Στα ανώτερα τμήματα του σερπεντινιτικού σώματος, η κατάκλαση που επικρατεί, καταλήγει σε κάποιες περιπτώσεις στην δημιουργία οφίτασβεστιτών, μέσω της συγκόλλησης των σερπεντινιτικών θραυσμάτων από μικριτικό ή σπαριτικό ανθρακικό υλικό (συνήθως ασβεστίτη). Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, έχουν παρατηρηθεί ιζηματογενείς δομές στα ανώτερα τμήματα των οφίτασβεστιτών, που αφορούν κυρίως σε ροές ιζημάτων, καθώς οι σερπεντινιτικοί κλάστες παρασύρονται σε ταφροειδείς χώρους κατά μήκος των ενεργών κανονικών ρηγμάτων, όπου υφίστανται επανεπεξεργασία και επαναπόθεση. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στην δημιουργία διαβαθμισμένης ή και ελασματοειδούς στρώσης αλλά και άλλων χαρακτηριστικών ιζηματογενών δομών όπως γεωπεταλικές (geopetal filling) κλπ. Ο σχηματισμός της ανθρακικής φάσης στους οφίτασβεστίτες σήμερα αποδίδεται στην διαδικασία της εξαλλοίωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες των υπερβασικών πετρωμάτων (σερπεντινίωση) (Bonatti et al., 1980), η οποία προκαλεί την καθίζηση ανθρακικών ορυκτών, κυρίως ασβεστίτη αλλά και δολομίτη ή μαγνησίτη. Επίσης, η καθίζηση ασβεστίτη μπορεί να προέλθει και από την υδροθερμική μεταμόρφωση των υπερβασικών πετρωμάτων, όπως μας υποδεικνύει το ακτουαλιστικό παράδειγμα του υδροθερμικού πεδίου Lost City στον Ατλαντικό Ωκεανό (Kelley et al., 2005). Ο ασβεστίτης αυτός είναι συνήθως είτε μικρίτης είτε σπαρίτης, ενώ το χρώμα του μπορεί να είναι λευκό, πρασινωπό, λόγω ανάμειξής του με λεπτόκοκκο σερπεντινιτικό υλικό, ή ακόμα και ρόδινο, λόγω αντιδράσεων οξείδωσης του σιδήρου, που περιέχεται σε ορυκτά των σερπεντινιτών, ή λόγω οξείδωσης μαγνητίτη, που μετατρέπεται σε αιματίτη. Επίσης, είναι σύνηθες μαζί με τον ασβεστίτη να έχει καθιζήσει σε ορισμένες περιπτώσεις και δολομίτης, ενώ συχνή είναι και η παρουσία τάλκη, ορυκτών του σερπεντίνη, επίδοτου και σπανιότερα χλωρίτη, τρεμολίτη, ακτινόλιθου και τιτανίτη.

Σχετικά με την ποσοτική συμμετοχή της ασβεστιτικής ή λοιπών συστάσεων κύριας μάζας, οι οφίτασβεστίτες φαίνεται να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα από αδρόκκοκα λατυποπαγή με κοκκοστηριζόμενο ιστό (clast-supported breccias), έως και λατυποπαγή με πηλοστηριζόμενη υφή (matrix-supported breccias), στα οποία κλάστες σερπεντινίτη και άλλων συστάσεων περιέχονται μέσα σε μεγάλα ποσοστά κύριας μάζας.

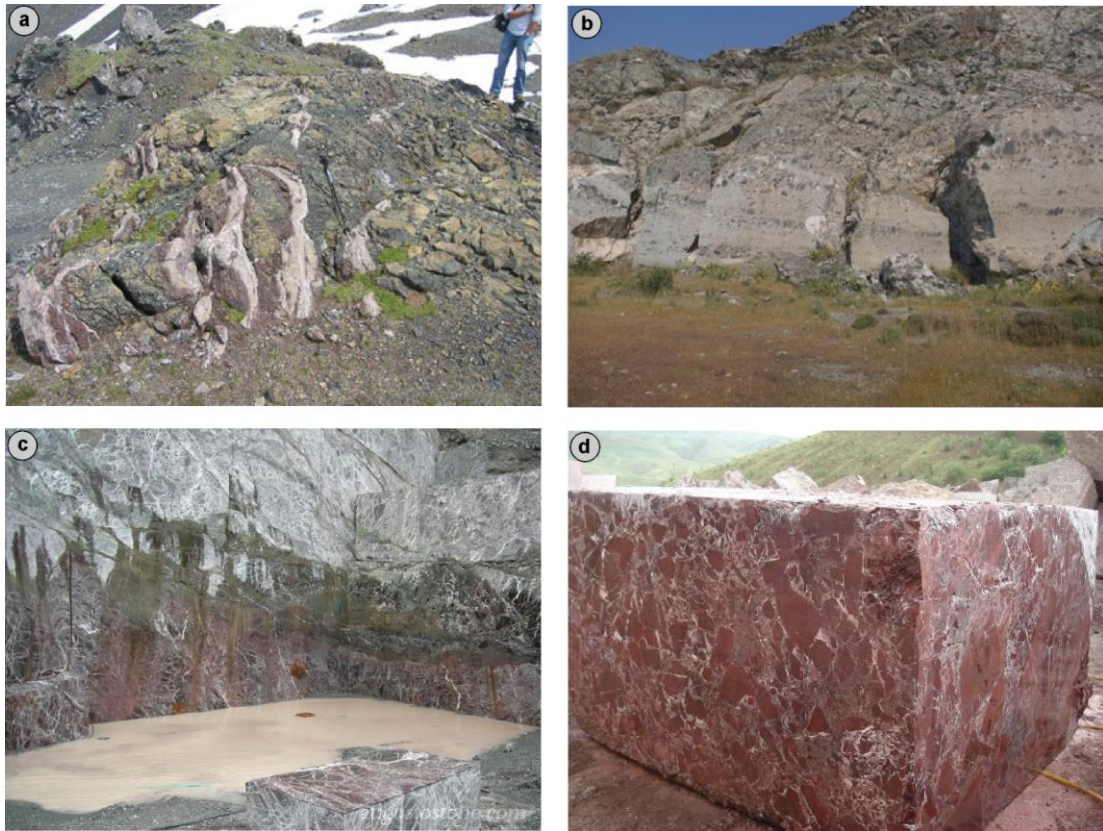
Αξίζει να σημειωθεί ότι αναφέρονται συμπλέγματα οφίτασβεστιτών, στα οποία έχουν εντοπιστεί κλάστες από διάφορες λιθολογίες πέραν των υπερβασικών πετρωμάτων, των οποίων η σύσταση αντανakλά τις λιθολογίες που βρίσκονταν στον ευρύτερο χώρο των περιοχών, όπου έλαβε χώρα ο σχηματισμός των οφίτασβεστιτών. Τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα, αποτελούν κλάστες μεταμορφωμένων ή ιζηματογενών πετρωμάτων, οι οποίοι ενεπλάκησαν στον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών μέσω της μεταφοράς τους στον χώρο σχηματισμού από τεκτονοϊζηματογενείς διεργασίες (ρηγμάτωση, ροές κορημάτων, ροές βαρύτητας). Οι κλάστες αυτοί μπορεί να προέρχονται από μία μεγάλη ποικιλία πετρωμάτων όπως γρανίτες, γνεύσιοι, ασβεστόλιθοι και κρυσταλλικά μάρμαρα. Οι Bernoulli & Weissert (1989) έχουν περιγράψει τέτοιες διαφορές σε συστάσεις κλαστών από τους οφίτασβεστίτες της ζώνης South Penina Rosa (Totalp, Davos) των Ελβετικών Άλπεων, ενώ αντίστοιχες περιπτώσεις επισημαίνονται και στην Ελλάδα, από τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών της Λάρισας, όπου έχουν εντοπιστεί κλάστες από γνευσίους, γρανίτες και άλλα πετρώματα που αποδίδονται στο προαλπικό υπόβαθρο της γειτονικής Πελαγονικής Ζώνης (Kati et al. 2009; Melfos et al. 2009).

Τελικά, οι οφίτασβεστίτες είναι σχηματισμοί που καταγράφουν μία πολύπλοκη δομική εξέλιξη, τόσο μέσω των πολλαπλών επεισοδίων εύθραυστης ή/και πλαστικής παραμόρφωσης που υφίστανται, όσο και μέσω της υδροθερμικής εξαλλοίωσης που τους επηρεάζει. Συνήθως, αυτή η εξελικτική πορεία συμβαίνει σε ένα καθεστώς σταδιακά μειούμενων πιέσεων και θερμοκρασιών (Cortesogno et al., 1987; Treves and Harper, 1994). Σήμερα, η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει καταλήξει ότι μία περιοχή στον πλανήτη (Lost City), μπορεί να ανταποκριθεί αρκετά καλά σε ανάλογα μοντέλα σχηματισμού οφίτασβεστιτών. Δύο ακόμα περιοχές που μελετήθηκαν από γεωτρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο του προγράμματος DSDP (Deep Sea Drilling Project) και στις οποίες απαντούν οφίτασβεστίτες, φαίνεται να δίνουν πολλές σημαντικές πληροφορίες. Η πρώτη βρίσκεται στην μεσοατλαντική ράχη, στο υδροθερμικό πεδίο Lost City (Ludwig et al., 2006; Kelley et al., 2007;) και η δεύτερη,

στο περιβάλλον μετάβασης από ωκεανό σε ήπειρο μεταξύ Iberia και Newfoundland (OCT transition, Iberia Abyssal Plain) (Milliken et al., 1996).

Οι οφίτασβεστίτες συναντώνται σε πολλές περιοχές του κόσμου. Οι πιο γνωστοί και αναμφίβολα οι πιο καλά μελετημένοι, είναι οι οφίτασβεστίτες των ανατολικών Ελβετικών Άλπεων (Davos, Totalp) (Εικ. 1a). Επίσης, αρκετά γνωστές και καλά μελετημένες, είναι οι εμφανίσεις οφίτασβεστιτών στην περιοχή Levanto, στα βόρεια Απέννινα όρη της Ιταλίας. Άλλες εμφανίσεις οφίτασβεστιτών υπάρχουν στα Απαλάτσια όρη (νότιο Κεμπέκ, Καναδάς), στην Αίγυπτο, στη Ρωσία, στη Συρία και στην Ελλάδα. Από τις παραπάνω εμφανίσεις, οι δύο πρώτες, έχουν υποστεί εκτεταμένη εκμετάλλευση για εμπορική εκμετάλλευση των οφίτασβεστιτών ως διακοσμητικών λίθων. Ειδικά η περίπτωση του Levanto, όπου η σερπεντινιτική κύρια μάζα έχει υποστεί αιματιώωση, το ρόδινο χρώμα της, σε συνδυασμό με τις πολλαπλές λευκές ασβεστιτικές φλέβες, έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον ήδη από την αρχαιότητα, καθιστώντας το ‘Rosso di Levanto’ ένα από τα πιο περιζήτητα διακοσμητικά πετρώματα (Εικ. 1c,d).

Στην Ελλάδα, εμφανίσεις οφίτασβεστιτών έχουν εντοπιστεί σε διάφορες περιοχές. Οι πιο αξιόλογες από αυτές είναι της Λάρισας (λατομεία Χασάμπαλης – Εικ. 1b), (Melfos et al., 2009), της Τήνου, της Εύβοιας (Κύμη), της Βέροιας, της Κοζάνης (Παρασκευόπουλος και Κανάκη, 1973) και της Πάρου (Baltatzis, 1984). Από τις παραπάνω εμφανίσεις, οι οφίτασβεστίτες της Λάρισας και της Τήνου έχουν υποστεί εκτεταμένη εκμετάλλευση από τους αρχαίους χρόνους καθώς χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως δομικοί και διακοσμητικοί λίθοι.



Εικόνα 1. (a) Εμφάνιση οφίτασβεστιτών στην περιοχή Klosters (Totalp nappe, Davos) Ελβετία. (b) Λατομεία οφίτασβεστιτών στην Χασάμπαλη Λάρισσας. (c) Λατομεία οφίτασβεστιτών στην περιοχή Levanto, βόρεια Ιταλία. (d) Όγκος εξορυγμένου οφίτασβεστιτίτη ‘rosso di Levante’ (d).

1.3 Ιστορική Αναδρομή - Χρήσεις

Πέρα από την ορυκτολογική πολυπλοκότητα, η απaráμιλλη αισθητική εικόνα είναι αυτό που χαρακτηρίζει τους οφίτασβεστιτές της Τήνου. Το πράσινο χρώμα σε διάφορες αποχρώσεις και οι αντίθεσή του με το εκτυφλωτικό λευκό του πυκνότητας δικτύου των ασβεστιτικών φλεβών, προκάλεσε το ενδιαφέρον των μαρμαρογλυπτών ήδη από την αρχαιότητα. Εκτός όμως από το ‘πράσινο μάρμαρο’, η Τήνος διαθέτει και μεγάλα αποθέματα λευκών μαρμάρων. Το γεγονός αυτό, αποτέλεσε την βάση για την ανάπτυξη της μαρμαροτεχνίας στο νησί, καθώς από αρχικά δομικός λίθος, το μάρμαρο εξελίχθηκε μέσα στο πέρασμα του χρόνου σε κύριο μέσο της δημιουργικής έκφρασης των κατοίκων του νησιού, πολλοί από τους οποίους ειδικεύτηκαν στην μαρμαρογλυπτική και την μαρμαροτεχνία.

Οι αρχαίοι Έλληνες γλύπτες της Κλασσικής περιόδου, από την οποία προέρχονται τα απaráμιλλης αισθητικής και τέχνης οικοδομήματα και γλυπτά, είχαν φανερή προτίμηση προς τα λευκά μάρμαρα. Γι αυτόν τον λόγο, η χρήση έγχρωμων μαρμάρων

στην Κλασσική Ελλάδα δεν ήταν γνωστή και κατά συνέπεια οι περιγραφές της είναι εξαιρετικά σπάνιες.

Φαίνεται πως οι Ρωμαίοι ήταν οι πρώτοι που εκτίμησαν την ιδιαίτερη ομορφιά των έγχρωμων φυσικών δομικών υλικών. Στην Ρωμαϊκή περίοδο λοιπόν, τα έγχρωμα ‘μάρμαρα’ γίνονται πολύ γρήγορα ταυτόσημα της πολυτέλειας. Οι Ρωμαίοι αυτοκράτορες, χαρακτηριζόμενοι από τον άκρατο πόθο για επίδειξη πλούτου και δύναμης, έστελναν εξειδικευμένους εργάτες για τον εντοπισμό και την εξόρυξη έγχρωμων μαρμάρων. Από όλα τα μήκη και πλάτη της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, εξορύσσονταν τα περίφημα Verde antico και Rosso antico, πράσινου και κόκκινου χρώματος αντίστοιχα. Η απήχηση που βρήκαν ήταν τεράστια. Χρησιμοποιήθηκαν σε ναούς, ανάκτορα, δημόσια κτήρια, σε οικίες ως επιστρώσεις δαπέδων και λιθεπενδύσεις, σε κατασκευή λουτήρων και αγγείων και πολλών άλλων αντικειμένων. Από αυτήν την εποχή χρονολογείται και η πρώτη εξορυκτική δραστηριότητα στο νησί της Τήνου. Ο περίφημος ‘Οφίτης Λίθος’ ή Verde antico της Τήνου (όρος ο οποίος καθιερώθηκε στην συνέχεια και για τα λατομεία οφίτασβεστίτη της Λάρισας) γνώρισε μεγάλη ζήτηση. Μάλιστα, ο Siegel που επισκέφτηκε το νησί το 1849, περιέγραψε 3 τουλάχιστον αρχαία λατομεία, από την Ρωμαϊκή και εντεύθεν περίοδο. Αυτό είναι ενδεικτικό της ζήτησης που είχαν οι οφίτασβεστίτες της Τήνου, καθώς σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν αντί του θεσσαλικού πράσινου λίθου.

Όπως είναι λογικό, η αγάπη των Ρωμαίων αρχιτεκτόνων για τα έγχρωμα μάρμαρα, μοιραία κληρονομήθηκε από τους Βυζαντινούς. Τα εντυπωσιακά χρώματα των ερυθρών και πράσινων μαρμάρων, χρησιμοποιήθηκαν εντατικά αυτήν την περίοδο στη ναοδομία και στα παλάτια των Βυζαντινών Αυτοκρατόρων. Σχεδόν όλα τα μεγάλα αριστουργήματα της εκκλησιαστικής αρχιτεκτονικής της Βυζαντινής και λιγότερο της μεταβυζαντινής περιόδου, κοσμούνται από πράσινα και κόκκινα μάρμαρα από πολλές περιοχές, μεταξύ των οποίων και η Τήνος.

Μετά την πτώση της Βυζαντινής αυτοκρατορίας, η υποδούλωση στους Τούρκους λειτούργησε ανασταλτικά στην ανάπτυξη του Ελληνικού Έθνους. Σαν άμεση συνέπεια, καταγράφεται και η μείωση των πάσης φύσεως εμπορικών δραστηριοτήτων σε όλα τα επίπεδα. Έτσι, τα λατομεία πράσινου μαρμάρου της Τήνου παρακμάζουν, όχι όμως μόνιμα. Ως παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί ότι αυτήν την περίοδο, κτίζεται ο ναός του Αγίου Πέτρου (Βατικανό, 1506), στον οποίο το πράσινο μάρμαρο έχει χρησιμοποιηθεί τόσο σαν επένδυση σε τοίχους, όσο και σε τμήματα του δαπέδου.

Τους επόμενους αιώνες η εξόρυξη συνεχίζεται, με πολύ μικρούς ρυθμούς και κυρίως αφορά στην αγορά του εξωτερικού. Χαρακτηριστική είναι επίσης η μαρτυρία του Grimm, (1861), ο οποίος περιγράφει ότι ο Siegel προέβη στην εξόρυξη μεγάλων όγκων οφίταςβεστιτών από τα λατομεία των περιοχών Κολώνα και Τηγάνια, κατόπιν αντίστοιχης εντολής του Βασιλιά Φρειδερίκου Γουλιέλμου του Δ', ο οποίος ήθελε να διακοσμήσει με οφίτη λίθο δημόσια κτήρια της Γερμανίας. Την ίδια περίοδο, αρχίζει η ανοικοδόμηση του Μητροπολιτικού Ναού των Αθηνών (1842-1862), στον οποίο βρίσκουμε το πράσινο μάρμαρο της Τήνου σε επιτοιχία διακοσμητικά αλλά και στο δάπεδο. Επίσης, ο Μητροπολιτικός Ναός του Αγίου Διονυσίου του Αρεοπαγίτου των Καθολικών, στην οδό Πανεπιστημίου, ο οποίος κτίζεται το 1853, έχει στο εσωτερικό του 12 κολώνες ύψους 5m από Τηνιακό πράσινο μάρμαρο (Εικ. 2b,c). Η αντίθεση των δύο πράσινων κιονοστοιχιών που διαχωρίζουν το κεντρικό κλίτος από τα δύο μικρότερα δεξιά και αριστερά, με το κατάλευκο πεντελικό μάρμαρο του δαπέδου, δίνει στο εσωτερικό του ναού μία αίσθηση ασύγκριτης μεγαλοπρέπειας.

Η λίστα με γνωστά κτήρια στα οποία χρησιμοποιήθηκε το πράσινο μάρμαρο της Τήνου είναι πολύ μεγάλη και περιλαμβάνει πολλά κτήρια διεθνούς φήμης, όπως το παλάτι του Μπάκινγχαμ στην Βρετανία και το Μουσείο του Λούβρου στην Γαλλία.

Στις αρχές του περασμένου αιώνα, η αγγλική εταιρεία Grecian marbles εντατικοποιεί την εξορυκτική δραστηριότητα και την εξαγωγή του οφίτη λίθου. Από τότε και μέχρι σήμερα, η εξορυκτική δραστηριότητα συνεχίζεται ανελλιπώς, αφού μετά από τόσους αιώνες ιστορίας το πράσινο μάρμαρο της Τήνου έχει επάξια καταστεί ως ένα από τα πιο περιζήτητα πράσινα μάρμαρα του κόσμου. Ιδιαίτερα τις δεκαετίες 1970-1990, το πράσινο μάρμαρο εφαρμόζεται σε επενδύσεις εισόδων οικιών και καταστημάτων αλλά και σε εσωτερικές και εξωτερικές διακοσμητικές επιστρώσεις, όπως επενδύσεις τοίχων, κατασκευή σκαλοπατιών κλπ., με χαρακτηριστικό παράδειγμα το κτήριο που στεγάζεται σήμερα η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, στην οδό Β. Σοφίας, στην Αθήνα (Εικ. 2d).

Το πράσινο μάρμαρο της Τήνου εφαρμόζεται με απόλυτη επιτυχία και πολύ αισθητικά αποτελέσματα σε εσωτερικές επενδύσεις τοίχων (σε πλάκες ή κομμένο σε μπορντούρες σε συνδυασμό με άλλα υλικά) ή σε διακοσμητικά έργα μικρογλυπτικής. Όσον αφορά στην χρήση του σε εξωτερικές επιφάνειες, παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι μακροχρόνια, τα λευκά φλεβίδια κιτρινίζουν από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι επέδειξε μειωμένη ανθεκτικότητα σε περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε ως υλικό επίστρωσης

σε δάπεδα, χάνοντας προϊόντος του χρόνου την όμορφη όψη του. Τα τελευταία όμως χρόνια, με την χρήση ειδικών ρητινών, η αντοχή του πράσινου μαρμάρου σε εξωτερικές ή/και επιδαπέδιες επενδύσεις έχει αυξηθεί σημαντικά, καθιστώντας το και πάλι περιζήτητο για διακοσμητικούς λόγους. Τέτοια χαρακτηριστική εφαρμογή του πράσινου μαρμάρου έχει γίνει στις εξωτερικές επιφάνειες του εμπορικού κέντρου Attica, στο Σύνταγμα. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το μετρό της Μόσχας, όπου κατά την ανακαίνιση, χρησιμοποιήθηκε σε αρκετούς σταθμούς το πράσινο μάρμαρο της Τήνου, δίνοντας ένα πολύ καλαίσθητο αποτέλεσμα (Εικ. 2α).

Όμως, παρά την βελτιωμένη πια αντοχή τους, η ανακάλυψη ότι τα ορυκτά της ομάδας του αμιάντου είναι υπεύθυνα για μία σωρεία προβλημάτων υγείας (ακόμα και για πρόκληση καρκίνου των πνευμόνων), προκάλεσε εκ νέου μείωση του αγοραστικού ενδιαφέροντος. Αυτό συνέβη διότι τα πράσινα μάρμαρα της Τήνου, είναι εκ φύσεως πλούσια σε μέλη αυτής της ομάδας ορυκτών. Επίσης στην πτώση του αγοραστικού ενδιαφέροντος συντέλεσε και το γεγονός ότι πια, είναι διαθέσιμα άλλα υλικά με παρόμοιο χρώμα, από χώρες όπως η Ινδία, με κόστος αγοράς πολύ μικρότερο από αυτό του αυθεντικού Τηνιακού μαρμάρου. Σήμερα στο νησί λειτουργούν μόνο δύο λατομεία πράσινου μαρμάρου, τα οποία είναι ιδιοκτησία των εταιριών DionysoMarbles S.A. και Theotikos-Sotiros S.A. Η κύρια επιχείρηση εξόρυξης του πράσινου μαρμάρου είναι τα λατομεία της πρώτης εταιρείας, η οποία τα αγόρασε από την αγγλικών συμφερόντων 'Grecian Marbles'. Η εταιρεία αυτή, κατείχε τα λατομεία από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα και είναι η πρώτη που εισήγαγε στην Τήνο καινοτόμες μορφές εκμετάλλευσης, όπως η συρματοκοπή.

Σήμερα για όλους τους προαναφερθέντες λόγους, η παραγωγή συνεχίζεται, αλλά αισθητά μειωμένη. Στην μείωση της ποσότητας πράσινου μάρμαρου που πωλείται στο εξωτερικό συντελούν κυρίως εισαγωγές φυσικών λίθων με ανάλογους χρωματισμούς, από διάφορες χώρες της Ασίας, από όπου μεταφέρονται με σχετικά μικρό κόστος. Όσον αφορά στην εσωτερική αγορά, αυτή εμφανίζεται μειωμένη τόσο λόγω στροφής των καταναλωτών προς φυσικούς λίθους λευκούς ή με απαλά χρώματα, όσο και λόγω της περιορισμένης οικονομικής δύναμης του αγοραστικού κοινού, μιας και το πράσινο μάρμαρο της Τήνου συγκαταλέγεται ανάμεσα στα ακριβότερα φυσικά υλικά. Καταβάλλεται όμως προσπάθεια, τόσο από τους ιδιοκτήτες των εταιριών, όσο και από τους επίσημους φορείς να αναζωοπωθεί το αγοραστικό ενδιαφέρον του κοινού.

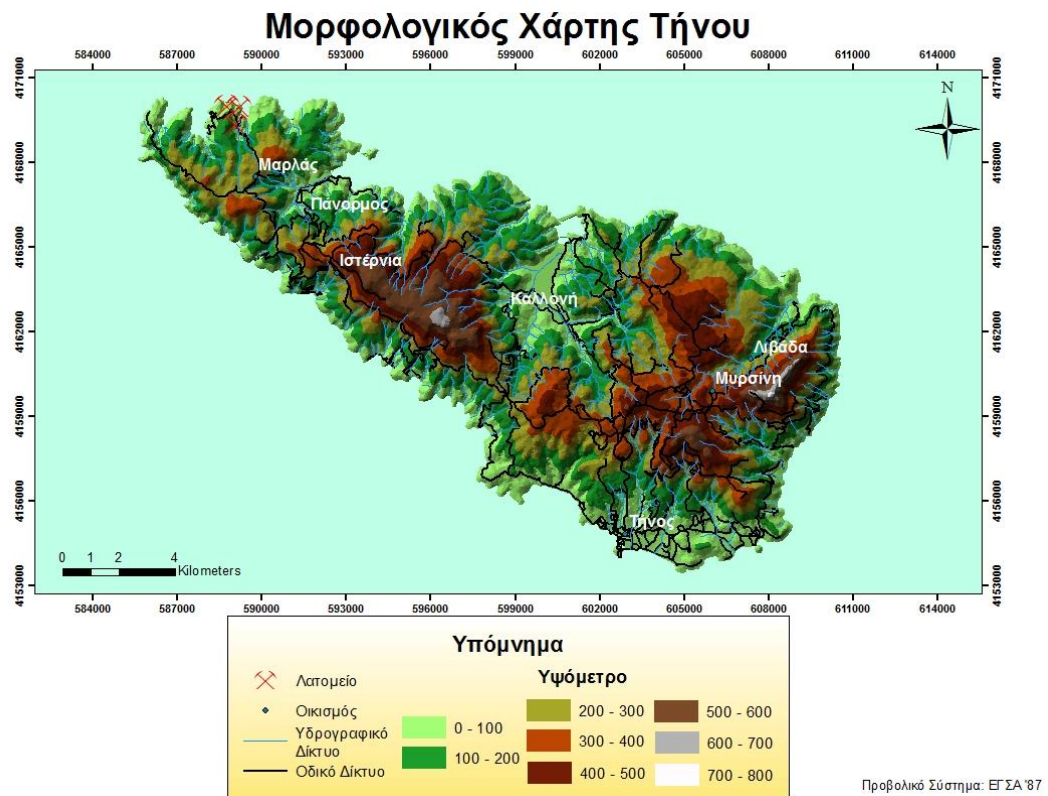


Εικόνα 2. (a) Εφαρμογή του οφίτασβεστίτη της Τήνου σε σταθμό του μετρό στην Μόσχα. (b),(c) Κολώνες από οφίτασβεστίτη Τήνου στον Καθεδρικό του Αγ. Διονυσίου Αρεοπαγίτου των Καθολικών, Αθήνα. (d) Επένδυση σε σκαλοπάτια εισόδου πολυκατοικίας με πλάκες πράσινου μάρμαρου, Αθήνα.

1.4 Γεωγραφική θέση

Η νήσος Τήνος εντοπίζεται στο βόρειο τμήμα του νησιωτικού συμπλέγματος των Κυκλάδων, στο κεντρικό Αιγαίο πέλαγος. Απέχει περίπου 86 ναυτικά μίλα από τον Πειραιά και γειτνιάζει με τα νησιά Σύρο, Μύκονο και Άνδρο. Είναι το τρίτο μεγαλύτερο σε έκταση νησί των Κυκλάδων, μετά την Άνδρο και την Νάξο και η συνολική έκτασή του ανέρχεται σε 194 km². Χαρακτηρίζεται ως ημιορεινή περιοχή, με έντονο κατακόρυφο διαμελισμό. Η υψηλότερη κορυφή της είναι ο Τσικνιάς με υψόμετρο 792m (Εικ. 3).

Τα αρχαιολογικά ευρήματα απέδειξαν ότι το νησί κατοικήθηκε για πρώτη φορά κατά την πρόιμη εποχή του Χαλκού. Η παράδοση αναφέρει πως πήρε το όνομά της από τον Τήνο, αρχηγό των Ιώνων εποίκων του νησιού που κατέφθασαν εκεί από την Μικρά Ασία. Άλλοι ερευνητές, υποστηρίζουν πως το όνομα Τήνος προέρχεται από την φοινικική λέξη ‘tannoth’, που σημαίνει φίδι. Η άποψη ενισχύεται και από το γεγονός ότι η Τήνος κατά την Ελληνιστική περίοδο ονομαζόταν Οφιούσα, από το πλήθος των φιδιών που ζούσαν στο νησί. Τέλος, αναφέρεται και ως Υδρούσα, από τις πολλές πηγές υδάτων που εντοπίζονταν στο νησί.



Εικόνα 3. Μορφολογικός χάρτης της νήσου Τήνου.

Στο νησί υπάρχουν 52 συνολικά οικισμοί, ενώ ο πληθυσμός του δεν ξεπερνά τους 10.000 κατοίκους. Κύριο αρχιτεκτονικό χαρακτηριστικό των οικημάτων της Τήνου είναι η πλούσια διακόσμησή τους με μαρμάρινα μέλη (παραστάδες, υπέρθυρα).

Επίσης, χαρακτηριστικά είναι τα μαρμαρόγλυπτα καμπαναριά του συνόλου σχεδόν των εκκλησιών του νησιού, που αποτελούν αληθινά κομψοτεχνήματα. Αυτό όμως για το οποίο κυρίως φημίζεται η Τήνος, είναι ο ορθόδοξος Ιερός Ναός της Ευαγγελιστριάς της Τήνου ή Παναγίας της Τήνου, που λειτουργεί επίσης ως φιλανθρωπικό και κοινωνικό ίδρυμα, καθώς και οι διάσημοι περιστερώνες της, που

με το πέρασμα του χρόνου εξελίχθηκαν από απλές κατασκευές σε αληθινά έργα τέχνης.

Η Τήνος είναι επίσης η ιδιαίτερη πατρίδα πολλών καλλιτεχνών και ιδίως ζωγράφων, όπως ο Νικόλαος Γύζης, ο Νικηφόρος Λύτρας και φυσικά μαραμαρογλυπτών, όπως Γιαννούλης Χαλεπάς, ο Δημήτρης Φιλιππότης κ. ά.. Όμως, η Τήνος, διαθέτει και εξαιρετικό φυσικό περιβάλλον, που εκφράζεται από μία ποικιλία γεωλογικών, μορφολογικών και βιολογικών συνόλων.

Η λιθολογική πολυπλοκότητα, η βιολογική ποικιλία καθώς και οι σπάνιες γεωμορφές που υπάρχουν στο νησί, δημιουργήματα της αέναης διαβρωτικής δράσης του νερού και του ανέμου πάνω στα πετρώματα, το καθιστούν έναν τόπο γεμάτο φυσικές ομορφιές και σπάνιους βιότοπους, στους οποίους εγκαταβιούν αξιόλογα είδη της ελληνικής νησιωτικής χλωρίδας και πανίδας.

1.5 Στοιχεία Γεωλογίας

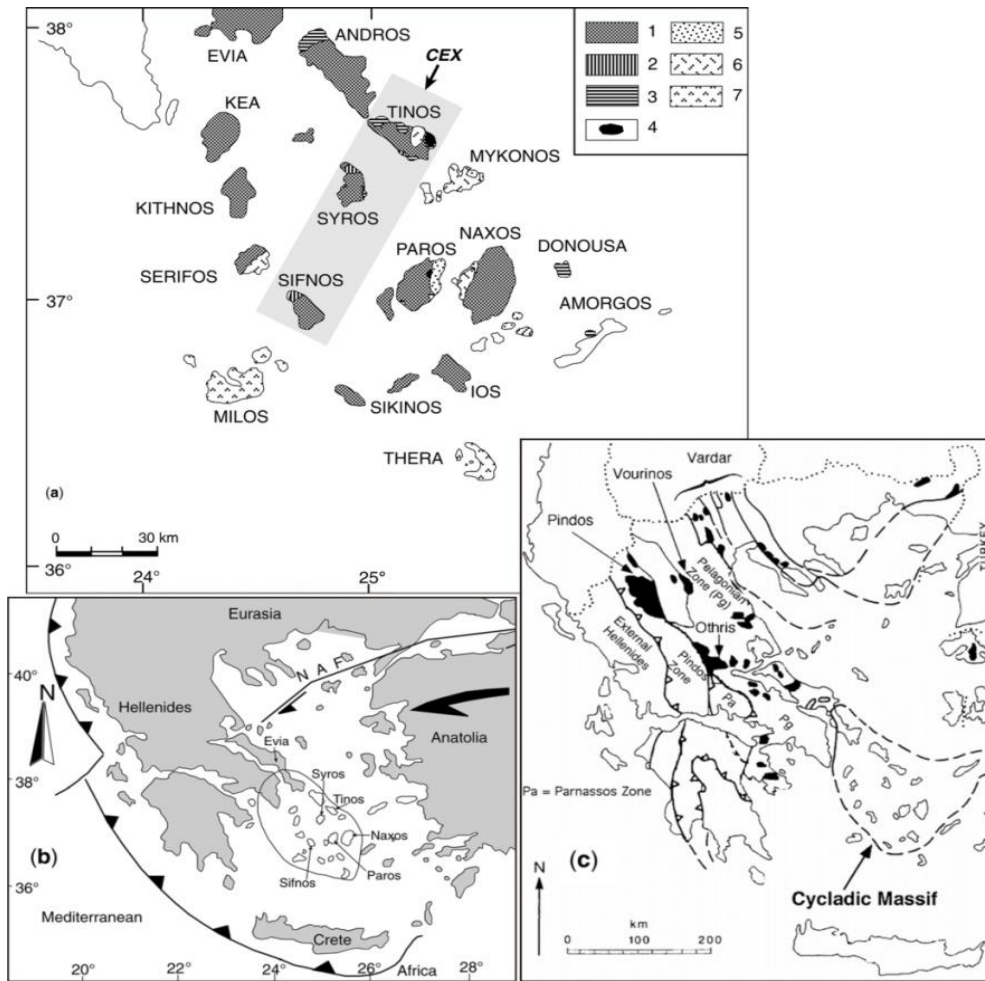
1.5.1 Αττικοκυκλαδική Μάζα

Η Ελλάδα ανήκει γεωτεκτονικά στο λεγόμενο Αλπικό ορογενετικό σύστημα, το οποίο απαρτίζεται από ένα σύνολο οροσειρών που προέκυψαν από σύγκλιση και κατά θέσεις σύγκρουση, τμημάτων της πρώην υπερηπείρου Γκοντβάνα με την Ευρασιατική ήπειρο κατά τον ανώτερο Καινοζωικό αιώνα. Παρατηρήσεις στην λιθολογία, την στρωματογραφία, την τεκτονομεταμορφική ιστορία και την προορογενετική παλαιογεωγραφία, μας έχουν επιτρέψει να διαχωρίσουμε τα πετρώματα που συναντώνται στον Ελληνικό χώρο, σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες. Ο χώρος των Κυκλάδων, αποτελεί ένα από τα πιο μελετημένα πεδία στην Ελλάδα, λόγω της πολυπλοκότητας του, τόσο από λιθολογικής άποψης όσο και από πλευράς τεκτονομεταμορφικής εξέλιξης, των σχηματισμών που συναντώνται σε αυτόν. Στο Αιγαίο, έχει πιστοποιηθεί ήδη από το κατώτερο Μειόκαινο πως κυριαρχεί η παραμόρφωση εκφραζόμενη με εκτατικές δυνάμεις. Η συνεχής αυτή διαδικασία, έχει οδηγήσει στην απολέπτυση του φλοιού μέσω της δημιουργίας κανονικών ρηγμάτων μικρής κλίσης, τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποκάλυψη στην επιφάνεια πετρωμάτων με κυανοσχιστολιθικές παραγενέσεις που σχηματίστηκαν σε μεγάλα βάθη (Lee and Lister, 1992; Gautier and Brunn 1994a, 1994b).

Η Αττικοκυκλαδική ζώνη ή μάζα, όρος που έχει επικρατήσει διεθνώς για το σύνολο των λιθολογιών που συναντώνται στον χώρο των Κυκλάδων, της Αττικής και

της νότιας Εύβοιας, βρίσκεται σε θέση κλειδί γιατί συνδέει την Πελαγονική ζώνη στην Ελλάδα με την μάζα του Μεντερές στην ανατολική Μικρά Ασία. Οι σχηματισμοί της, μέσω των αλληπάλληλων μεταμορφικών επεισοδίων, έχουν καταγράψει την εξέλιξη του χώρου κατά τον Αλπικό ορογενετικό κύκλο. Η βασική ενότητα που παρουσιάζει και την μεγαλύτερη ανάπτυξη στον χώρο της Αττικοκυκλαδικής, είναι η λεγόμενη ενότητα των Κυκλαδικών Κυανοσχιστολίθων (Cycladic Blueschist Unit - CBU), η οποία είναι επίσης γνωστή και ως κατώτερη ενότητα (Lower Unit). Τα πετρώματα της ενότητας αυτής, υπέστησαν μεταμόρφωση σε συνθήκες κυανοσχιστολιθικής και τοπικά εκλογιτικής φάσης, κατά την διάρκεια του συμπίεστικού επεισοδίου του ανώτερου Κρητιδικού-Ηωκαίνου (φάση μεταμόρφωσης M1) (Altherr et al, 1979; Andriessen et al., 1979; Maluski et al., 1981, 1987; Wijbrans and McDougall 1988; Bröcker et al, 1993; Bröcker and Enders, 1999, 2001; Tomaschek et al, 2003; Putlitz et al, 2005). Έχει προταθεί πως η τεκτονική απολέπτυνση του φλοιού σε συνδυασμό με την έκταση που επικρατεί πίσω από το τόξο (στο χώρο δηλαδή του Αιγαίου), αποτέλεσαν έναν ικανοποιητικό μηχανισμό για την ταχεία άνοδο και διατήρηση των κυανοσχιστολιθικών πετρωμάτων στην Αττικοκυκλαδική (Lister et al, 1984; Gautier and Brunn, 1994; Jolivet and Patriat, 1994; Trotet et al, 2001a). Άλλοι ερευνητές (π.χ. Avigad et al., 1997) αμφισβήτησαν αυτήν την άποψη, υποστηρίζοντας πως υπάρχει ένα χρονικό κενό μεταξύ της ανώθησης των κυανοσχιστολίθων και της έναρξης έκτασης του φλοιού του Αιγαίου.

Αξίζει να σημειωθεί, πως η μελέτη των πετρωμάτων της CBU επικεντρώνεται στα νησιά Σίφνος, Σύρος και Τήνος, τα οποία βρίσκονται κατά μήκος μίας νοητής γραμμής με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, η οποία συνήθως αποκαλείται στην βιβλιογραφία ‘κεντρικός άξονας εκλογιτών’ (Central Eclogite Axis - CEX) (Εικ. 4). Οι πετρολογικές έρευνες έχουν δείξει πως το μεταμορφικό γεγονός M1 ήταν υψηλής πίεσης – μέσης θερμοκρασίας σε συνθήκες 15 ± 3 kbar και $450-500^{\circ}\text{C}$. Γεωχρονολογικά δεδομένα U-Pb από ζιρκόνια της Σύρου, έδωσαν ηλικία έναρξης του M1 επεισοδίου στα 78 ± 1 εκατομμύρια χρόνια, ενώ οι αντίστοιχες ηλικίες από την Τήνο προσδιορίστηκαν στα 63-61 εκατομμύρια χρόνια, συνδεδεμένες πιθανόν με ένα επιπλέον μεταμορφικό (και παραμορφωτικό;) επεισόδιο (Bröcker and Enders, 1999).



Εικόνα 4. (a) Γεωλογικός χάρτης της Ενότητας Κυανοσχιστολίθων Κυκλάδων (CBU), κατά Avigad & Garfunkel, (1991): (1) Πετρώματα υψηλών πιέσεων Ηωκαίνου, επηρεασμένα από την ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης του κάτω Μειόκαινου. (2) Πετρώματα εκλογιτικής φάσης Ηωκαίνου. (3) Μεταμορφωμένα πετρώματα χαμηλών πιέσεων άνω Κρητιδικής κυρίως ηλικίας. (4) Οφιόλιθοι. (5) Κάτω Μειοκαινικά κλαστικά ιζήματα. (6) Γρανίτες Μειοκαινικής ηλικίας. (7) Πλειοκαινικά και σύγχρονα ηφαιστειακά πετρώματα. CEX: Κεντρικός Άξονας Εκλογιτών. (b) Ευρύτερος χάρτης της Κυκλαδικής Μάζας, όπου σημειώνονται οι κυριότερες τεκτονικές δομές του Αιγαίου χώρου. NAF: Ρήγμα της Ανατολίας. (c) Χάρτης της Ελλάδας με τις τεκτονικές ζώνες και τις κυριότερες οφιολιθικές εμφανίσεις (από Smith, 1993).

Σημαντικά νεότερες είναι οι ηλικίες της νότιας Εύβοιας, απ' όπου χρονολογήσεις Ar-Ar σε γλαυκοφανή και φεγγίτη έδωσαν ηλικίες 55-50 εκατομμύρια χρόνια (Maluski et al, 1981). Επίσης, πέρα από την χρονική καθυστέρηση, έχει παρατηρηθεί και μία προοδευτική μείωση των P-T συνθηκών από τα N-NA (Σύρος, Σίφνος, Τήνος – CEX με 15 ± 3 kbar και $450-500^\circ\text{C}$) προς τα B-ΒΔ (νότια Εύβοια, 8 kbar και 300°C), (Blake et al., 1981; Bonneau and Kienast, 1982). Οι Katzir et al., 2007, πρότειναν δύο πιθανά σενάρια για την προοδευτική μείωση των συνθηκών P-T. Σύμφωνα με το πρώτο, οι κυανοσχιστόλιθοι της νότιας Εύβοιας υποβυθίστηκαν σε μικρότερα βάθη από τους κυανοσχιστολίθους του CEX, ενώ σύμφωνα με το δεύτερο, οι κυανοσχιστόλιθοι και των δύο περιοχών βρέθηκαν στο ίδιο βάθος, αλλά αυτοί των

κεντρικών Κυκλάδων έμειναν περισσότερο χρονικό διάστημα στο βάθος αυτό, αποκτώντας έτσι ορυκτές φάσεις που αντιστοιχούν σε υψηλότερες P-T συνθήκες από αυτές των κυανοσχιστολίθων της νότιας Εύβοιας. Ακολούθησε σε περίπου ίδιες θερμοκρασίες, αλλά σημαντικά χαμηλότερες πιέσεις (5-7 kbar) το μεταμορφικό γεγονός M2, σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης.

Το M2 μεταμορφικό γεγονός, τοποθετείται χρονολογικά πριν από 23-21 εκατομμύρια χρόνια και συμπίπτει με την έναρξη της εκτατικής τεκτονικής στον χώρο του Αιγαίου (Mathews and Schliestedt 1984; Dixon and Ridley, 1987; Schliestedt et al, 1987; Okrusch and Bröcker, 1990; Avigad et al, 1992; Bröcker et al, 1993, 2004; Bröcker and Franz 1998). Τοπικά, όπως στην Νάξο και στην Πάρο, κατά την κορύφωση των διαδικασιών του μεταμορφικού επεισοδίου M2, οι πιέσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 6–7 Kbar και οι θερμοκρασίες έφτασαν τους 700°C και οδήγησαν στον σχηματισμό θερμικών δόμων με φαινόμενα τοπικής ανάτηξης και γένεσης μιγματιτών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η ανάδρομου τύπου πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση, σχεδόν εξαφάνισε τις κυανοσχιστολιθικές παραγενέσεις από το νότιο τμήμα των Κυκλάδων, αφήνοντας μόνο υπολείμματα στο κεντρικό και βόρειο τμήμα και κυρίως σε Σίφνο, Σύρο και Τήνο.

Ακολούθησε το μεταμορφικό γεγονός M3, το οποίο αφορά σε μεταμόρφωση επαφής γύρω από γρανιτικά s.l. σώματα, τα οποία έχουν διεισδύσει σε πετρώματα της κατώτερης ενότητας των κυανοσχιστολίθων, με εξαίρεση την περίπτωση της Τήνου, όπου ο γρανίτης έχει διαπεράσει την τεκτονική επαφή της κατώτερης ενότητας των κυανοσχιστολίθων με την ανώτερη ενότητα των πρασινοσχιστολίθων, οι οποίοι σύμφωνα με τους Katzir et al., 1996, αντιστοιχούν σε ένα μεταμορφωμένο και διαμελισμένο οφιολιθικό σύμπλεγμα.

1.5.2 Γεωλογία της Νήσου Τήνου

Από τα πετρώματα που σήμερα συναντώνται στο νησί, η πλειοψηφία τους είναι μεταμορφωμένα και καλύπτουν συνολικά το 79% της ολικής έκτασης του νησιού. Ακολουθούν με ποσοστό 17% τα μαγματικά πετρώματα και τέλος τα ιζηματογενή, τα οποία καλύπτουν μόλις το 4% της επιφάνειας του νησιού. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν στην ύπαρξη τριών διαφορετικών γεωτεκτονικών ενοτήτων στο νησί, που έχουν διαχωριστεί με βάση την διαφορετική τους λιθολογία και την τεκτονομεταμορφική τους εξέλιξη (Εικ. 5). Στις δύο ανώτερες

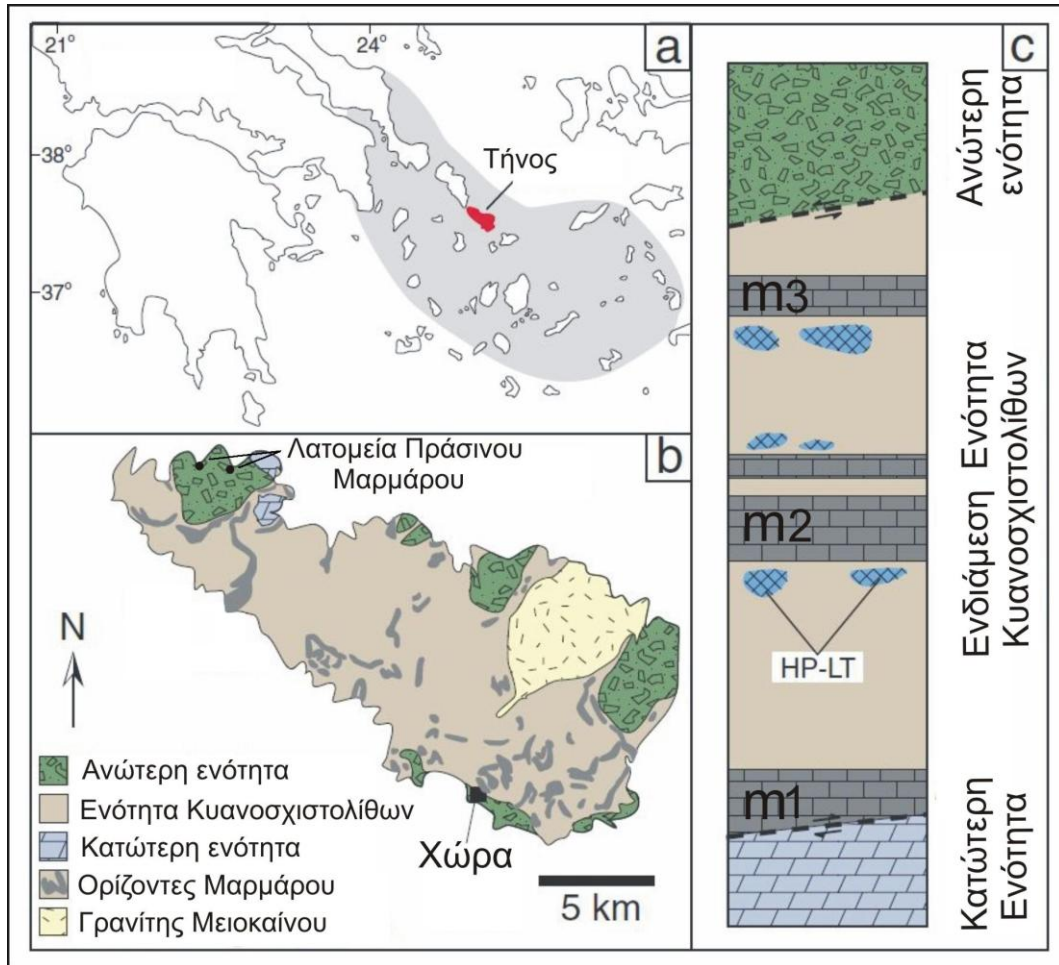
τεκτονικά ενότητες έχει διεισδύσει ο άνω Μειοκαινικής ηλικίας γρανίτης της Τήνου. Την όλη εικόνα συμπληρώνουν οι μεταλπηκοί σχηματισμοί.

Μεταμορφωμένοι σχηματισμοί

Η ανώτερη ενότητα, που αναφέρεται και ως ενότητα των πρασινοσχιστολίθων, έχει περιορισμένη επιφανειακή εξάπλωση στην Τήνο και αποτελείται από μία ακολουθία πάχους περίπου 250m που περιλαμβάνει σερπεντινίτες, μεταγάββρους, οφίτασβεστίτες, φυλλίτες και αμφιβολίτες (Melidonis, 1980; Avigad and Garfunkel, 1989; Bröcker, 1990; Patzak et al., 1994; Katzir et al., 1996; Stolz et al., 1997).

Εμφανίζεται γενικά με την μορφή τεκτονικών ρακών στο όρος Τσικνιάς, στην πόλη της Τήνου (θέσεις Ακρωτήρι, Φωκάς, Σταυρός, Κιόνια), στο χωριό Μαρλάς, στα βορειοδυτικά του νησιού και στις θέσεις Καλλονή και Κλεφτοβούνι στα βόρεια. Η ακολουθία αυτή έχει θεωρηθεί ότι αποτελεί ένα μεταμορφωμένο και διαμελισμένο οφιολιθικό σύμπλεγμα (Katzir et al., 1996; Putlitz et al., 2001), στο οποίο, τα ανώτερα μέλη (οι διαβασικές φλέβες και το ιζηματογενές κάλυμμα) δεν εμφανίζονται.

Πιο συγκεκριμένα, τα πετρώματα που ανήκουν στην ενότητα αυτή κατηγοριοποιούνται σε τρεις βασικούς λιθότυπους: (α) μαφικούς φυλλίτες, με δομές και ορυκτολογία (αλβίτης-επίδοτο-ακτινόλιθος-χλωρίτης) που υποδεικνύουν βασαλτικό ή ακόμα και πυροκλαστικό πρωτόλιθο, (β) μεταγάββρους, που έχουν υποστεί έντονη ουραλιτίωση και σωσσυριτίωση, αλλά διατηρούν ακόμα μερικώς τον αρχικό (πυριγενή) ιστό τους και (γ) σερπεντινίτες, σκουρόχρωμους και συνήθως συμπαγείς. Οι σερπεντινίτες αυτοί, συναντώνται τεκτονικά παραμορφωμένοι και σχετίζονται με ταλκικούς και τρεμολιτικούς σχιστόλιθους, που εντοπίζονται κατά μήκος ζωνών διάτμησης που έχουν αναπτυχθεί μέσα στους σερπεντινίτες. Οι τελευταίοι, εμφανίζονται κατά θέσεις με την μορφή τεκτονοϊζηματογενών λατυποπαγών, τα θραύσματα των οποίων έχουν συγκολληθεί από ανθρακικό υλικό, σχηματίζοντας έτσι τους οφίτασβεστίτες, που αποτελούν και το αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας. Τα πετρώματα της ανώτερης ενότητας κατά την τεκτονική τους τοποθέτηση υπέστησαν μεταμόρφωση σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης, χωρίς ποτέ να επηρεαστούν από κυανοσχιστολιθικού τύπου μεταμόρφωση.



Εικόνα 5. Χάρτης της κεντρικής Ελλάδας με την θέση της Τήνου μέσα στο Κυκλαδικό νησιωτικό σύμπλεγμα (a); Γεωλογικός Χάρτης της Τήνου κατά Μελιδώνης (1980) και Bröcker et al. (2003) (b); σχηματική στρωματογραφική στήλη των τεκτονικών ενότητων της Τήνου (c). Από Breeding et al. (2003), τροποποιημένο.

Οι συνθήκες πίεσης – θερμοκρασίας της μεταμόρφωσης της ανώτερης ενότητας προσδιορίστηκαν στα 7-4kbar και στους 440-470°C (Brocker et al., 1993; Parra et al., 2002), ενώ ραδιοχρονολογικά δεδομένα K-Ar, Ar-Ar και Rb-Sr από λευκούς μαρμαρυγίες έδειξαν ηλικίες μεταμόρφωσης μεταξύ 25-18 εκατομμυρίων ετών (Altherr et al., 1982; Bröcker et al., 1993; Bröcker and Frantz, 1998). Στην βάση της ανώτερης ενότητας, έχει εντοπιστεί και περιγραφεί μία τεκτονική επαφή, την οποία ο Melidonis, 1980, είχε θεωρήσει ως μία τυπική επώθηση. Νεότερες όμως έρευνες, αμφισβήτησαν τον επωθητικό χαρακτήρα αυτής της τεκτονικής επιφάνειας, για την οποία θεώρησαν πως πρόκειται για ένα κανονικό ρήγμα μικρής κλίσης –ρήγμα αποκόλλησης της Τήνου (Tinos detachment)–, που την φέρνει σε επαφή με την αμέσως υποκείμενη, ενδιάμεση ενότητα των Κυανοσχιστολίθων (Avigad and Garfunkel, 1989, 1993; Faure et al., 1991; Lee and Lister, 1992).

Η ενότητα αυτή, γνωστή στην Τήνο και ως ενδιάμεση (Intermediate Tectonic Unit-ITU) ή ακόμα και ως ενότητα των Βορείων Κυκλάδων, έχει πολύ μεγάλη επιφανειακή ανάπτυξη. Αποτελείται από μία ακολουθία πάχους 1250-1800m (κατά τον Μελιδώνη, (1980) το συνολικό πάχος της σειράς φτάνει τα 2400m) που περιλαμβάνει μάρμαρα, ασβεστιτικούς και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, μεταβασάλτες, μετατόφφους, χαλαζίτες και μετακροκαλοπαγή (Μελιδώνης, 1980). Η ενότητα αυτή μεταμορφώθηκε σε συνθήκες υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας (HP-LT), με αποτέλεσμα την δημιουργία κυανοσχιστολιθικού τύπου παραγενέσεων. Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν πιέσεις 15-18kbar και θερμοκρασίες 450-500°C (Bröcker et al., 1993; Parra et al., 2002). Και εδώ, ραδιοχρονολογήσεις K-Ar, Ar-Ar και Rb-Sr σε λευκούς μαρμαρυγίες, έδειξαν ηλικίες μεταμόρφωσης μεταξύ 55-40 εκατομμυρίων ετών (Altherr et al., 1982; Bröcker et al., 1993; Bröcker and Frantz, 1998). Κύρια ορυκτολογικά συστατικά των λιθολογιών της ενότητας αυτής, είναι ο γλαυκοφανής, ο γρανάτης, το επίδοτο, ο φεγγίτης, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν περιγραφεί και παραγενέσεις εκλογιτικής φάσης μεταμόρφωσης με ομφακίτη, γρανάτη και επίδοτο. Αργότερα, τα πετρώματα της ενότητας αυτής επηρεάστηκαν από το ανάδρομο, πρασινοσχιστολιθικού τύπου μεταμορφικό επεισόδιο, που ήταν τόσο έντονο, ώστε αναλλοίωτες παραγενέσεις HP-LT να έχουν διατηρηθεί μόνο ως υπολείμματα σε μερικές θέσεις. Οι κύριοι ορίζοντες μαρμάρου που περιλαμβάνονται στην ενδιάμεση ενότητα είναι τρεις και αναφέρονται από τον κατώτερο στρωματογραφικά ως m1, m2 και m3 (Μελιδώνης, 1980). Φαίνεται πως η στρωματογραφική θέση των τριών αυτών οριζόντων και των υπολοίπων μεταϊζημάτων έχει διατηρηθεί, παρά την πολύπλοκη τεκτονομεταμορφική ιστορία της ενότητας. Οι ορίζοντες αυτοί έχουν ποικίλο πάχος, αλλά γενικά είναι πιο παχυστρωματώδεις στην βορειοδυτική Τήνο και πιο λεπτοστρωματώδεις στους ΝΑ τομείς του νησιού. Αξίζει να σημειωθεί πως η θέση των τριών αυτών μαρμαροφόρων οριζόντων φαίνεται να έχει κάποια σχέση με την διατήρηση των κυανοσχιστολιθικών παραγενέσεων. Έχει προταθεί το σενάριο πως οι αδιαπέρατοι μαρμαροφόροι ορίζοντες δεν επέτρεψαν την είσοδο των μεταμορφικών ρευστών σε περιοχές υποκείμενές τους, διατηρώντας εκεί, σχεδόν ατόφεις τις κυανοσχιστολιθικές παραγενέσεις, (Mathews and Schliested. 1984). Νεότερες απόψεις, δέχονται πως ο κατώτερος ορίζοντας μαρμάρου του Μελιδώνη (1980), ανήκει σε ξεχωριστή γεωτεκτονική ενότητα, ομόλογη των μεταμορφωμένων εξωτερικών Ελληνίδων που

παρατηρούνται σε τεκτονικά παράθυρα (Avigad and Garfunkel, 1989; Papanikolaou, 1993).

Ακολουθεί, η κατώτερη, σχετικά αυτόχθονη γεωτεκτονική ενότητα της Τήνου (Basal Unit -BU) που εμφανίζεται μόνο στο ΒΔ τμήμα του νησιού, κοντά στο χωριό Πάνορμος, από το οποίο πήρε και την τοπική ονομασία της. Η κατώτερη ενότητα αποτελείται από μάρμαρα, συνήθως δολομιτικά, με λίγους μεταπηλίτες (Avigad and Garfunkel, 1989). Λόγω της κυριαρχίας των δολομιτικών μαρμάρων, δεν μπορούν να ανιχνευθούν εύκολα ορυκτά-δείκτες των μεταμορφικών συνθηκών, στις οποίες μεταμορφώθηκε η ενότητα αυτή. Παρά το γεγονός αυτό, οι Brocker and Frantz, 2002, εντόπισαν φεγγίτες πλούσιους σε Si, πράγμα το οποίο δηλώνει πως η ενότητα αυτή μπορεί να έφτασε σε συνθήκες HP-LT μεταμόρφωσης. Σήμερα δεχόμαστε πως η ενότητα αυτή, αποτελεί την προς ανατολάς εμφάνιση του μεταμορφωμένου τμήματος της πλατφόρμας των Εξωτερικών Ελληνίδων, υπό μορφή τεκτονικών παράθυρων κάτω από καλύμματα εσωτερικότερων ενοτήτων (Papanikolaou et al, 2004). Η επαφή της ενδιάμεσης ενότητας των κυανοσχιστολίθων με την κατώτατη ενότητα Πανόρμου, είναι τεκτονική και μάλιστα με πολύπλοκη ιστορία. Φαίνεται ότι η επαφή αυτή, περί το ανώτερο Ολιγόκαινο ήταν αρχικά μία επώθηση, που έφερε τους κυανοσχιστόλιθους πάνω στην κατώτερη ενότητα, προκαλώντας μάλιστα στην τελευταία μεταμόρφωση σε HP-LT συνθήκες (Avigad and Garfunkel, 1989; Shaked et al. 2000; Ring and Layer, 2003; Ring et al. 1999, 2007). Αξίζει να σημειωθεί ότι ΝΔ του Πανόρμου, η ενδιάμεση ενότητα των κυανοσχιστολίθων έχει αποσφηνωθεί και η ανώτερη ενότητα έρχεται σε άμεση επαφή μέσω του ρήγματος αποκόλλησης της Τήνου με την κατώτατη, σχετικά αυτόχθονη ενότητα.

Γρανιτικές διεισδύσεις

Με τον γενικό όρο ‘γρανίτης της Τήνου’ νοείται συνήθως το σύνολο των μαγματικών διεισδύσεων του νησιού, χωρίς όμως αυτό να σημαίνει ότι πρόκειται για μία μόνο γρανιτική μάζα. Ουσιαστικά πρόκειται για τρεις κύριες γρανιτικές διεισδύσεις και το σύνολο των υπολοίπων λευκογρανιτών που υπάρχουν στο νησί.

Το κύριο γρανιτικό σώμα, το οποίο έχει και την μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση στο νησί είναι γνωστό στην βιβλιογραφία ως γρανίτης του Βόλακα και είναι γρανοδιοριτικής σύστασης. Η δεύτερη διείσδυση είναι ο γρανίτης του Εξώμβουργου και τέλος η τρίτη γρανιτική διείσδυση εντοπίζεται στα ΒΔ του προηγούμενου σώματος. Οι κύριες λιθοφασικές ενότητες που τον αποτελούν είναι

γρανοδιοριστικής σύστασης και καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη επιφάνεια του πλουτωνίτη και των λευκογρανιτών που έχουν τοποθετηθεί περιφερειακά του γρανοδιορίτη με την μορφή φλεβών, κοιτών και διηθήσεων. Επίσης έχουν παρατηρηθεί και απλιτικές ή/και πηγματιτικές φλέβες, ως αποφύσεις του κύριου γρανιτικού σώματος που έχουν διεισδύσει σε περιβάλλοντες σχιστόλιθους τόσο της κατώτερης όσο και της ανώτερης ενότητας. Η ηλικία διείσδυσης με βάση ραδιοχρονολογήσεις έχει καθοριστεί στα 19 εκατομμύρια χρόνια (Altherr et al., 1982), ενώ ραδιοχρονολογήσεις U-Pb σε ζirkόνια από λευκογρανίτες έδωσαν ηλικία 14 εκατομμυρίων ετών (Keay, 1998).

Η διείσδυση του γρανίτη έγινε σίγουρα μετά την τοποθέτηση της ενότητας των πρασινοσχιστόλιθων πάνω στην ενότητα των κυανοσχιστόλιθων, καθώς έχουν παρατηρηθεί στο ύπαιθρο γρανιτικές φλέβες που διαπερνούν την μεταξύ τους τεκτονική επαφή και συνεχίζουν μέσα στην ανώτερη ενότητα. Μάλιστα, απευθείας επαφή της ανώτερης ενότητας με τον γρανίτη έχει παρατηρηθεί στην περιοχή του όρμου Λειβάδας, στο ανατολικό τμήμα του νησιού. Η διείσδυση του γρανίτη έχει προκαλέσει έντονα φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής, κυρίως στο ΝΔ και Ν κομμάτι της επαφής του με την κατώτερη ενότητα. Εκεί, η άλως επαφής φτάνει σε πλάτος το 1km με χαρακτηριστικές παραγενέσεις ασβεστοπυριτικών ορυκτών όπως βολλαστονίτης, σκαπόλιθος, εδεμβεργίτης, μελίλιθος, επίδοτο, γρανάτης, ακτινόλιθος, διοψίδιος. Η ένταση της μεταμόρφωσης επαφής εξασθενεί προοδευτικά προς τα ΒΔ του νησιού, ενώ στα δυτικό τμήμα και στο ανατολικό, τα πετρώματα τόσο της κατώτερης ενότητας όσο και της ανώτερης δεν εμφανίζουν φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί πως με την γρανιτική διείσδυση της Τήνου σχετίζεται η δημιουργία μεταλλοφοριών θειούχων ορυκτών, οι οποίες εντοπίζονται σε διάφορες θέσεις (Tombros et al., 2007).

Μεταλικοί σχηματισμοί

Οι μεταορογενετικές αποθέσεις στο νησί είναι κυρίως Τεταρτογενούς ηλικίας. Πρόκειται κυρίως για θαλάσσιες και λιγότερο για λιμναίες χερσαίες ή χειμάρριες αποθέσεις. Ο Μελιδώνης (1980), διαχώρισε τις μεταλλικές αυτές αποθέσεις σε τρεις κατηγορίες: (i) σε στρώματα μαργαϊκού ασβεστόλιθου, που εντοπίζονται ανατολικά του χωριού Καρδιανή. Πρόκειται για λιμναίας φάσης, κάτω Πλειστοκαινικής κατά πάσα πιθανότητα ηλικίας, ιζήματα που αποτελούνται από μαργαϊκό ασβεστόλιθο με σαφή στρώση και χρώμα κίτρινο που τοποθετείται με ασυμφωνία πάνω στα

μεταμορφωμένα πετρώματα της κατώτερης ενότητας των κυανοσχιστολίθων; (ii) σε στρώματα ψαμμίτη, που απαντούν σε τρεις θέσεις κατά μήκος των βόρειων ακτών του νησιού (όρμος Μαλί, 2km νοτιοανατολικά του όρμου Πάνορμος και λίγο δυτικότερα του όρμου Κολυμβήθρες). Πρόκειται για λεπτόκοκκους, έως αδρόκοκκους, συμπαγείς, τεφρού έως τεφρόλευκου χρώματος ψαμμίτες που φέρουν κατά θέσεις πλούσια απολιθωμένη πανίδα (γαστερόποδα και ελασματοβράγχια) άνω Πλειστοκαινικής ηλικίας και τέλος (iii), έχουν περιγραφεί και ολοκαινικές αλλουβιακές αποθέσεις, που περιλαμβάνουν όλων των τύπων τις χερσαίες αποθέσεις και κυρίως τα πλευρικά κορήματα, τις χειμάρριες αποθέσεις και τις παράκτιες άμμους.

1.5.3 Προγενέστερες έρευνες

Η πολύπλοκη γεωλογική δομή της Τήνου έχει αποτελέσει αντικείμενο εντατικών ερευνών ήδη από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Πληθώρα ερευνητών, τόσο Ελλήνων αλλά και ξένων από διάφορα μέρη του κόσμου, έχουν ασχοληθεί κατά καιρούς με την μελέτη της τεκτονικής δομής και μεταμορφικής εξέλιξης των πετρωμάτων του νησιού, με την ορυκτολογική και πετρολογική έρευνα των σχηματισμών του, με τον εντοπισμό και την μελέτη των μεταλλοφόρων εμφανίσεων που εντοπίζονται στο νησί. Το σύνολο των ερευνών αυτών, έχουν αποτελέσει ένα σημαντικό υπόβαθρο για την γνώση της γεωλογίας του νησιού.

Όσον αφορά στο ‘πράσινο μάρμαρο’, και αυτό προκάλεσε από νωρίς το ερευνητικό ενδιαφέρον, κυρίως λόγω της απήχησης που είχε ως πολυτελής δομικός λίθος από τα ρωμαϊκά και κυρίως κατά τα βυζαντινά χρόνια. Ο Fiedler (1840-41), ήταν ο πρώτος που επισκέφθηκε την Τήνο και ασχολήθηκε με την περιγραφή των αρχαίων λατομείων πράσινου μαρμάρου. Ακολούθησε μερικά χρόνια αργότερα ο Siegel, ο οποίος το 1849 μετέβη στην Τήνο και περιέγραψε τα αρχαία λατομεία πράσινου μαρμάρου (γνωστού τότε ως verde antico) στα ακρωτήρια Σκυλάκια, Κολώνα και Τηγάνια. Τις σημειώσεις αυτές του καθηγητή Siegel, εξέδωσε ο H. Grimm, το έτος 1861. Τα δύσκολα χρόνια που ακολούθησαν, φαίνεται ότι απέτρεψαν τους ερευνητές να ασχοληθούν με την μελέτη της γεωλογίας και των οφίτασβεστιτών της Τήνου. Χρειάστηκε να παρέλθει ένας ολόκληρος αιώνας για να αναζωπυρωθεί το ερευνητικό ενδιαφέρον. Στα νεότερα λοιπόν χρόνια, ο Παπαγεωργάκης (1966), περιέγραψε τους οφίτασβεστίτες (υπό την εμπορική ονομασία ‘πράσινο μάρμαρο

Τήνου') αλλά και τα υπόλοιπα ασβεστίτικα μάρμαρα της Τήνου, στο πλαίσιο της εργασίας του για 'Τά εις τήν μαρμαρικήν τέχνην χρήσιμα πετρώματα τῆς Ἑλλάδος'.

Το 1972 ακολούθησε η πρώτη έρευνα Ελλήνων επιστημόνων για το πράσινο μάρμαρο της Τήνου στην οποία ο σχηματισμός αυτός χαρακτηρίζεται ως 'οφίτασβεστίτες'. Οι Παρασκευόπουλος και Κανάκη (1972), ασχολήθηκαν με την περιγραφή των εμφανίσεων οφίτασβεστιτών της ΒΔ Τήνου, στο πλαίσιο της εργασίας τους για την γένεση των Ελληνικών οφίτασβεστιτών και πρότειναν με βάση τα τότε γνωστά στοιχεία της βιβλιογραφίας έναν μηχανισμό σχηματισμού, που αφορούσε φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής ανάμεσα σε μάρμαρα και σερπεντινίτες. Από τότε και μέχρι σήμερα, δεν έγινε καμία συστηματική μελέτη των οφίτασβεστιτών της Τήνου.

Την τελευταία περίοδο, στην νήσο Τήνο εργάστηκαν με διδακτορικές διατριβές ο Ι. Βακόνδιος (1997), ο οποίος σύγκρινε μεταλλοφορίες χρωμιτών από τα Γεράνεια όρη και την Τήνο, αλλά και ο Ι. Παντζίρης, ο οποίος ασχολήθηκε με την συγκριτική μελέτη των οφιολιθικών πετρωμάτων νησιών του Αιγαίου (2000). Τέλος, ο Σ. Τόμπρος, μελέτησε την μεταλλοφόρες εμφανίσεις που σχετίζονται με την κατώτερη ενότητα της Τήνου (2001).

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Εργασία υπαίθρου

Η εργασία υπαίθρου ξεκίνησε ουσιαστικά το φθινόπωρο του 2011, με την πρώτη επίσκεψη στο ύπαιθρο, που πραγματοποιήθηκε το τελευταίο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου 2011. Σε αυτήν, έγινε η πρώτη αναγνωριστική επαφή με το αντικείμενο της εργασίας, που είναι οι οφίτασβεστίτες που εμφανίζονται στο ΒΔ τμήμα του νησιού. Τις ημέρες που ακολούθησαν συλλέχθηκαν 40 δείγματα πετρωμάτων από τρεις περιοχές, που αντιστοιχούν σε τρία λατομεία εξόρυξης πράσινου μαρμάρου και έγινε λήψη φωτογραφιών από τις εμφανίσεις αυτές.

Επίσης έγιναν πολλές παρατηρήσεις υπαίθρου και έγινε ικανός αριθμός τεκτονικών μετρήσεων. Ακολούθησε νέα επίσκεψη στην περιοχή μελέτης, το Μάιο του 2012, κατά την οποία δόθηκε έμφαση στην παρατήρηση και συλλογή πληροφοριών για τις κύριες τεκτονικές δομές της περιοχής μελέτης, οι οποίες φαίνεται να έχουν παίξει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην δημιουργία και την εξέλιξη των οφίτασβεστιτών. Επίσης έγινε συμπληρωματική δειγματοληψία και εκ νέου φωτογραφήθηκαν σημεία ιδιαίτερου ενδιαφέροντος. Το στάδιο αυτό, διαδέχτηκε η εξέταση των δειγμάτων με ποικίλες αναλυτικές μεθόδους, για να διατυπωθούν στην συνέχεια κάποιες βασικές διαπιστώσεις για τους οφίτασβεστίτες της ΒΔ Τήνου.

2.2 Εργαστηριακή έρευνα

Από τα δείγματα που συλλέχθηκαν, παρασκευάστηκαν στα εργαστήρια του Τομέα Ορυκτολογίας και Πετρολογίας 60 λεπτές τομές για πολωτικό μικροσκόπιο και 12 λεπτές-στιλπνές τομές για μελέτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (SEM). Οι αναλύσεις των δειγμάτων από τα οποία παρασκευάστηκαν λεπτές-στιλπνές τομές, έγιναν στο τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, με όργανο τύπου JEOL JSM-5600 και με μέθοδο EDS, κάτω από συνθήκες τάσης 20KV και ρεύμα δέσμης 0.5 Na. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό OXFORD SEMQuant για την διόρθωση ZAF των ποσοτικών μικροαναλύσεων. Επίσης, σε επιλεγμένα 27 δείγματα έγιναν αναλύσεις με την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X. (XRD). Και οι αναλύσεις αυτές έγιναν στο εργαστήριο του Τομέα Ορυκτολογίας και

Πετρολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, με όργανο τύπου Brooker (Siemens) Model 5005 X-ray diffractometer, σε συνδυασμό με το λογισμικό DIFFRACplus. Οι συνθήκες λειτουργίας του περιθλασίμετρου είναι οι ακόλουθες: ακτινοβολία CuK α , τάση ρεύματος 40 kV, ένταση ρεύματος 40 mA, ταχύτητα γωνιομέτρου 0.020°/sec και βήμα 1sec. Τα ακτινογραφήματα αποτιμήθηκαν με την χρήση του προγράμματος EVA 10.0 του λογισμικού Brooker (Siemens) DIFFRACplus. Να σημειωθεί ότι, για την ακτινοσκοπική διάκριση των πολύμορφων του σερπεντίνη, χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια που προτάθηκαν από Whittaker & Zussman, (1956).

Τέλος, 10 επιλεγμένα δείγματα πετρωμάτων σε μορφή σκόνης (6 σερπεντινίτες και 4 μεταβασίτες) στάλθηκαν στα αναλυτικά εργαστήρια ACME (Καναδάς) για χημική ανάλυση ολικού πετρώματος. Σε αυτά προσδιορίστηκαν τα κύρια στοιχεία (%) και τα ιχνοστοιχεία (ppm), με την μέθοδο της φασματοσκοπίας μάζας (ICP-MS). Επίσης, υπολογίστηκε η απώλεια πύρωσης (LOI, %) το ολικό Θείο (S_{tot} %) και ο ολικός άνθρακας C_{tot} (%).

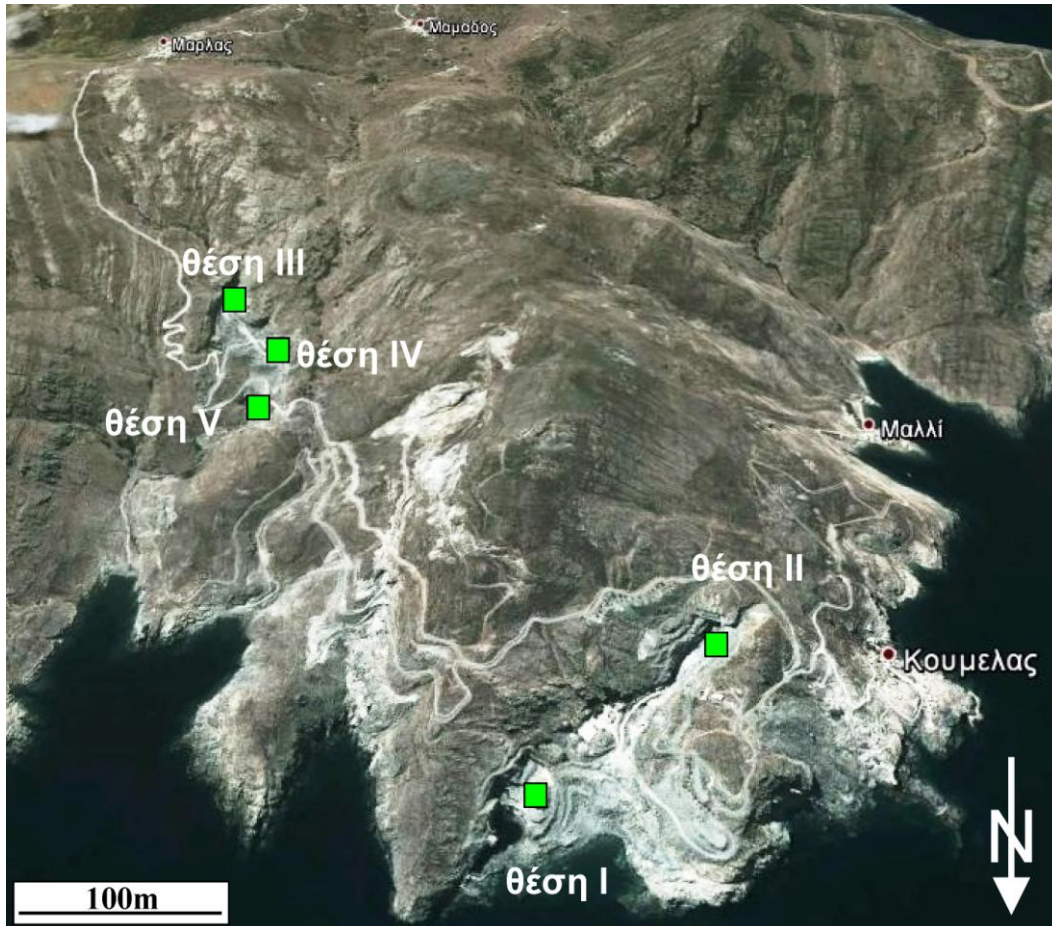
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ



Εικόνα 6. Γεωλογικός χάρτης της ΒΔ Τήνου. Τροποποιημένος από τον χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε (1990).

Η περιοχή της εμφάνισης των οφίτασβεστιτικών σχηματισμών εντοπίζεται στο ΒΔ άκρο του νησιού, περίπου 4km βόρεια του χωριού Μαρλάς. Έχει σχετικά έντονο ανάγλυφο, το οποίο εκφράζεται από 3 βασικές λοφώδεις εξάρσεις με υψόμετρο 300m. Παρατηρείται μία γενική τάση μείωσης του υψομέτρου, καθώς κινείται κανείς από το νότιο προς το βόρειο τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι θέσεις όπου γίνεται η εκμετάλλευση οφίτασβεστιτών περιορίζονται από την ισοϋψή των +200m και την ακτή (0m), αλλά κατά θέσεις έχουν γίνει εξορύξεις και σε αρνητικά υψόμετρα. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσεται η ανώτερη γεωτεκτονική ενότητα, μέσα στην οποία εντοπίζονται κατά θέσεις υπολειμματικές βασικές ή/και υπερβασικές λιθολογίες, φυσικά μεταμορφωμένες (Εικ. 6 και Εικ. II, παράρτημα). Στην περιοχή του Μαρλά, κυριαρχούν οι πρασινοσχιστόλιθοι της ανώτερης τεκτονικής ενότητας (greenschist upper unit). Εμφανίζονται με μεταβαλλόμενες κλίσεις, γεγονός που είναι λογικό, καθώς όλη η ανώτερη ενότητα είναι έντονα πτυχωμένη και παραμορφωμένη

(Εικ. 8). Η γενικότερη διεύθυνση των αξόνων των πτυχών είναι ΒΔ-ΝΑ, παρατηρούνται όμως και σημαντικές αποκλίσεις, καθώς στην περιοχή υπάρχουν και εφελκυστικές διαρρήξεις, οι οποίες μπορεί να έχουν επιφέρει αλλαγές στις διευθύνσεις των δομών που διαρρηγνύουν.



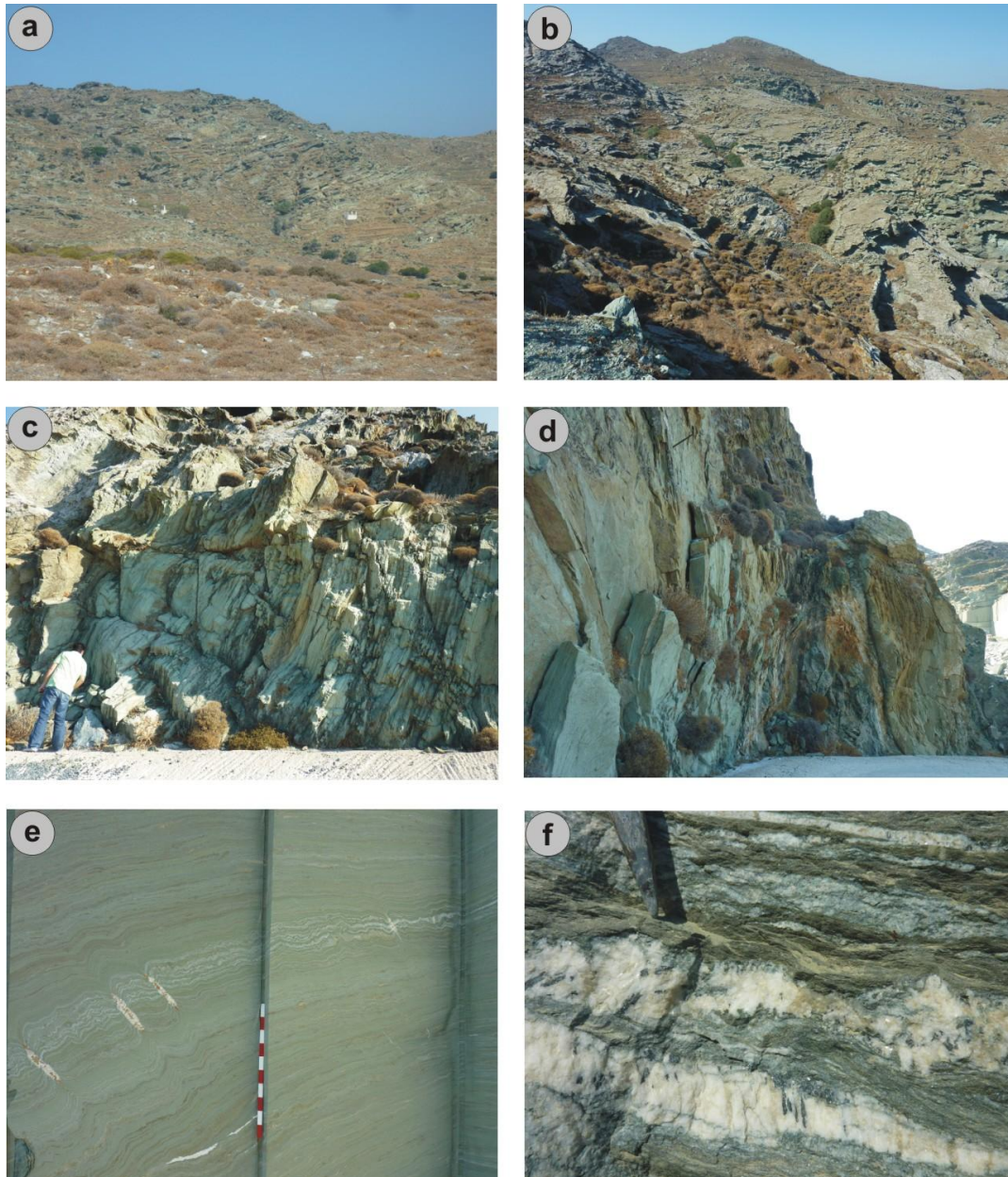
Εικόνα 7. Θέσεις μελέτης οφίτασβεστιτών. Φωτογραφία από το GoogleEarth.

Σε πολλές θέσεις, η διάβρωση των πρασινοσχιστόλθων από την δράση του αέρα και του θαλασσινού νερού, έχει δημιουργήσει χαρακτηριστικές διαβρωσιγενείς μορφές που είναι γνωστές ως tafoni, με οπτικό αποτέλεσμα ένα ιδιαίτερα εντυπωσιακό τοπίο. Για τους πρασινοσχιστόλιθους της ανώτερης ενότητας, οι Katzir et al., 1996, υποστηρίζουν ότι προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών λαβών ή/και πυροκλαστικών, από ένα διαμέλισμένο οφιολιθικό σύμπλεγμα, το οποίο στο σύνολό του αποτελεί σήμερα την ανώτερη γεωτεκτονική ενότητα της Τήνου. Αξίζει να σημειωθεί εδώ, πως η βάση της ενότητας αυτής στην περιοχή του Μαρλά, επισημαίνεται στο ύπαιθρο από την παρουσία ενός λεπτού σερπεντινιτικού σώματος. Με αυτό αλλά και άλλα σερπεντινιτικά σώματα τα οποία απαντώνται κατά θέσεις

στην περιοχή, σχετίζονται και ταλκικοί-τρεμολιτικοί σχιστόλιθοι και σχεδόν μονο-ορυκτολογικές ζώνες τάλκη. Μάλιστα, από τέτοιες ζώνες, γινόταν κατά το παρελθόν (δεκαετίες 1960-1980) ανάκτηση τάλκη υψηλής καθαρότητας. Στο ανατολικό άκρο της περιοχής, η εμφάνιση της ανώτερης ενότητας έρχεται σε τεκτονική επαφή (υπέρκειται) με μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους της ενδιάμεσης ενότητας. Εκατέρωθεν της επαφής, οι σχιστολιθικές λιθολογίες και των δύο ενότητων είναι σε συμφωνία, δίνοντας την εντύπωση μίας κανονικής μετάβασης από την κατώτερη (blueschists) στην ανώτερη ενότητα (greenschists). Όμως η συμφωνία αυτή στις εκατέρωθεν σχιστότητες έχει επέλθει από την δράση του μεταξύ τους επωθητικού ρήγματος.

Στο ανατολικό άκρο της περιοχής ενδιαφέροντος, εμφανίζεται η σχετικά συτόχθονη κατώτερη ενότητα του Πανόρμου. Πρόκειται κυρίως για ασβεστιτικά και δολομιτικά μάρμαρα με ελάχιστες μετακλαστικές ενδιαστρώσεις.

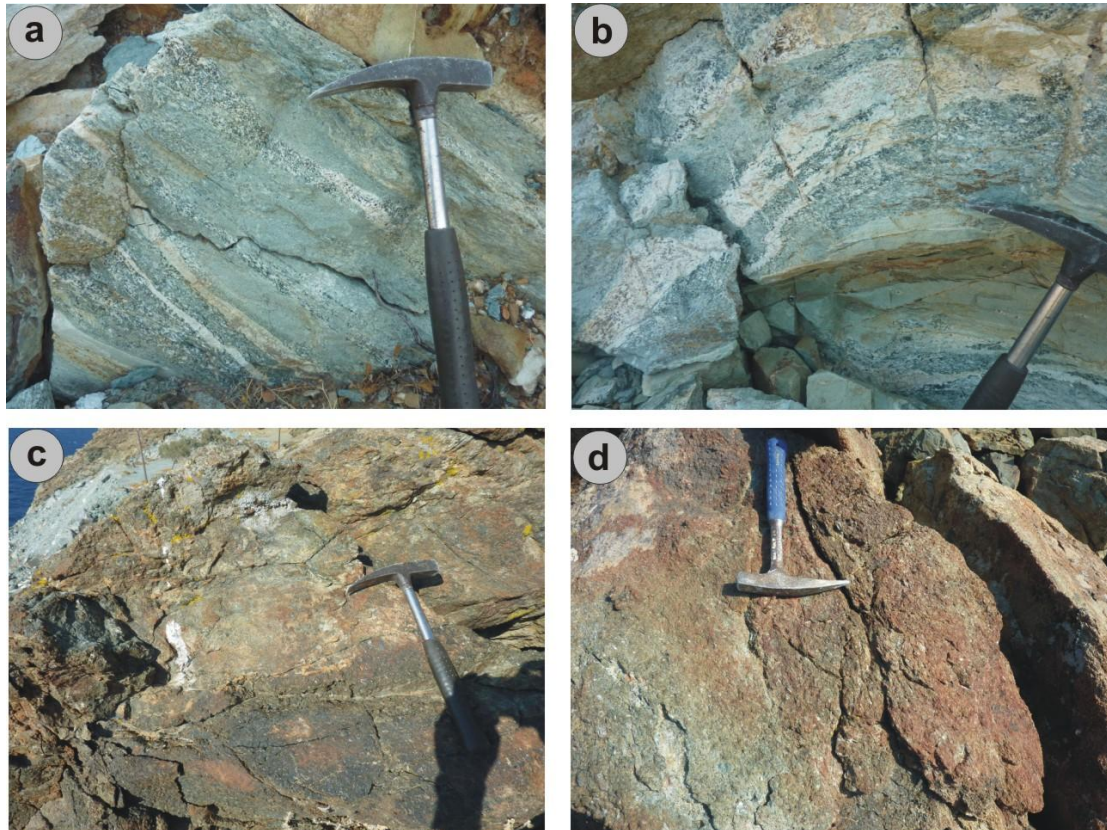
Συνολικά μελετήθηκαν 5 θέσεις, από τις οποίες 2 εξακολουθούν ακόμη και σήμερα να υφίστανται εκμετάλλευση (II και III). Από αυτές, οι θέσεις I και II ανήκουν στην εταιρεία DionysoMarble S.A., ενώ οι υπόλοιπες ανήκουν στην εταιρεία Theotikos-Sotiros S.A (Εικ. 7).



Εικόνα 8. Οι πρασινοσχιστόλιθοι στην περιοχή της ΒΔ Τήνου: (a) εμφάνιση στην περιοχή Αγία Ξένη, με θέα προς ΒΔ. (b) Εμφάνιση στην περιοχή του Μαρλά; (c,d). Εμφανίσεις με σχεδόν κατακόρυφες κλίσεις πλησίον του λατομείου Θεοτικού (e) Μέτωπο κοπής με εμφανείς φλέβες (veins) δευτερογενώς πληρωμένες. (f) Κοντινή άποψη φλέβας δευτερογενώς πληρωμένης με ασβεστίτη και αιματίτη.

Κοντά στο λατομείο Διονύσου, στον όρμο Αχινοί, εντοπίστηκαν μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους, τεμάχη (blocks) μεταγάββρων (Εικ. 9a,b) και μεταπυροξενιτών (Εικ. 9c,d), διαστάσεων μερικών μέτρων. Τα τεμάχη αυτά είναι ακανόνιστου σχήματος και φαίνεται να έχουν παραμείνει σχετικά υγιή και να έχουν αποφύγει την έντονη παραμόρφωση και μεταμόρφωση. Οι μεταγάββροι εμφανίζονται ταινιωτοί, με εναλλαγές λευκοκρατικών και μελανοκρατικών ζωνών. Τα πάχη των ζωνών αυτών κυμαίνονται από μερικά χιλιοστά έως και 20cm. Σε άμεση επαφή με τους

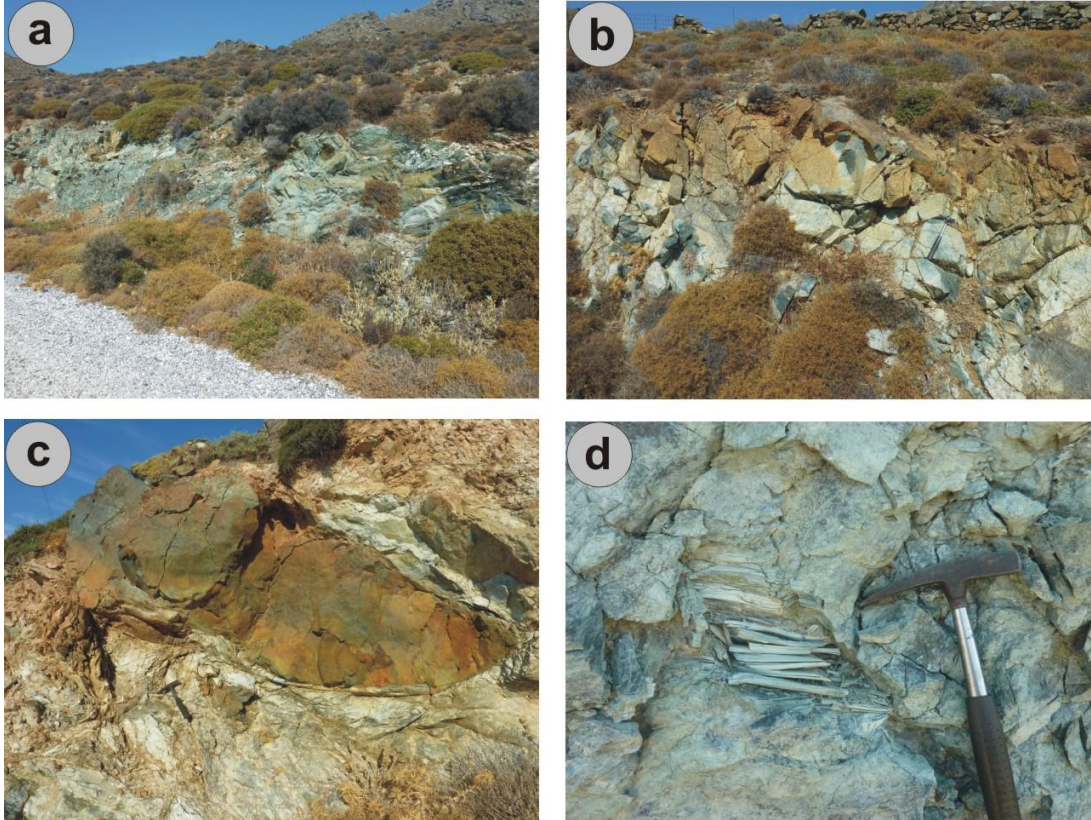
μεταγάββρους, συναντώνται κατά θέσεις σώματα διαστάσεων έως και 1m τα οποία μακροσκοπικά φαίνονται να αποτελούνται σε ποσοστό μεγαλύτερο από 90% από πυροξένους. Πρόκειται λοιπόν για πυροξενίτες, στους οποίους οι κρύσταλλοι των πυροξένων φτάνουν σε μέγεθος έως και 4cm, ενώ έχουν χαρακτηριστικό ελαιοπράσινο χρώμα. Είναι αξιοσημείωτο ότι κατά θέσεις οι κρύσταλλοι των πυροξένων είναι διατεταγμένοι σε μία διεύθυνση, η οποία τείνει να ταυτιστεί με την διεύθυνση της σχιστότητας των περιβαλλόντων πρασινοσχιστόλιθων.



Εικόνα 9. Εμφανίσεις μεταγάββρων (a,b) και μεταπυροξενιτών (c,d) πλησίον του λατομείου Διονύσου, στην θέση Αχινού.

Επίσης, σε κάποιες θέσεις, μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους εντοπίζονται σώματα σερπεντινωμένων υπερβασικών πετρωμάτων, μήκους αρκετών μέτρων (Εικ. 10a-c). Στα σώματα αυτά, παρατηρούνται διακλάσεις που έχουν πληρωθεί με ινώδη αθροίσματα αντιγορίτη, μεγέθους αρκετών εκατοστών του μέτρου (Εικ. 10d). Τα σώματα των αυτά εμφανίζονται συμπαγή, ενώ είναι χαρακτηριστική η παντελής έλλειψη ανθρακικών φλεβιδίων στο εσωτερικό τους, σε πλήρη αντιδιαστολή με τους γειτονικούς οφίτασβεστιτικούς σχηματισμούς. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην εμφάνιση σερπεντινιτών στην περιοχή Αγία Ξένη, η σερπεντινίωση είναι μεν πλήρης,

αλλά οι βασίτες που δημιουργήθηκαν κατά την αντικατάσταση των πυροξένων από σεπρεντίνη είναι ορατοί, δίνοντας έτσι χαρακτηριστικό ψευδομορφικό ιστό στο πέτρωμα, που διακρίνεται ακόμα και στις εμφανίσεις στο ύπαιθρο.



Εικόνα 10. Εμφανίσεις σερπεντινωμένων υπερβασικών πετρωμάτων εντός της ανώτερης τεκτονικής ενότητας των πρασινοσχιστόλιθων: Θέση Αγία Ξένη (a,b); Λατομείο Διονύσου (c); Λατομείο Θεοτικού (d).

Τα σώματα των οφίτασβεστιτών παρουσιάζονται με επιμήκη ή ατρακτοειδή σχήματα και εντοπίζονται πάντα μέσα σε πρασινοσχιστόλιθους (βλ. παράρτημα, Εικ. Ι). Η μεγαδομή της περιοχής εκφράζεται από πτυχές με διεύθυνση ΒΒΔ-NNA, η οποία ταυτίζεται εν πολλοίς με την κύρια διεύθυνση διάνοιξης των λατομείων. Τα λατομεία εντοπίζονται ουσιαστικά σε κορυφαία αντικλίνων, με γενική διεύθυνση αξόνων ΒΒΔ-NNA και κλίση μεταβαλλόμενη είτε προς Βορρά (λατομεία Διονύσου), είτε προς Νότο (λατομεία Θεοτικού). Η μετάβαση από τον πρασινοσχιστόλιθο στους οφίτασβεστίτες, γίνεται πάντα μέσω μίας μετασωματικής ζώνης μέλανος τοίχου (blackwall zone) με κύριο ορυκτολογικό συστατικό τον χλωρίτη (χρωμιούχο κλινόχλωρο) και τον τάλκη (έχουν εντοπιστεί και μεταλλικά ορυκτά), της οποίας το μήκος κυμαίνεται από αρκετά εκατοστά έως και πλέον του ενός μέτρου σε ορισμένες περιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατά το παρελθόν, γινόταν εκμετάλλευση και

τέτοιων ζωνών για την ανάκτηση του τάλκη. Οι μετασωματικές ζώνες, εμφανίζουν έντονη τεκτονική καταπόνηση, λόγω του ότι βρίσκονται ανάμεσα σε δύο λιθολογικά σύνολα που παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά κατά την παραμόρφωση. Από την μία πλευρά οι πρασινοσχιστόλιθοι, απορρόφησαν πολύ καλά τις τάσεις που ασκήθηκαν, οι οποίες οδήγησαν στην ανάπτυξη των επιφανειών σχιστότητας και πτύχωσης, ενώ από την άλλη μεριά οι σεπρπεντινίτες παρουσίασαν μεγαλύτερη αντοχή, με αποτέλεσμα οι ενδιάμεσες ζώνες blackwall να δεχτούν εξαιρετικά έντονη παραμόρφωση, και να δημιουργηθούν σε αυτές χαρακτηριστικές δομές. Σχετικά με τους οφίτασβεστίτες, μελετήθηκαν συνολικά 5 θέσεις, που ανήκουν σε δύο εταιρείες, οι οποίες εκμεταλλεύονται σήμερα τα κοιτάσματα του πράσινου μαρμάρου.

Θέση I

Η πρώτη θέση που μελετήθηκε, ανήκει στο λατομείο της εταιρείας DionyssoMarbles S.A., και βρίσκεται στον όρμο Αχινοί (Εικ. 11a). Στην θέση αυτή συναντάται εμφάνιση οφίτασβεστιτών, ελάχιστου πάχους περίπου 30m, η οποία βρίσκεται μέσα σε πρασινοσχιστόλιθους. Η μετάβαση από την μία λιθολογία στην άλλη, γίνεται πάντα μέσω μίας ενδιάμεσης ζώνης πλούσιας σε τάλκη με χαρακτηριστική λιπαρή αφή, η οποία έχει κυμαινόμενο πάχος (από λίγα εκατοστά μέχρι και πλέον του ενός μέτρου). Το λατομείο αυτό έχει γενική διεύθυνση ανάπτυξης BBD-NNA και ο σχηματισμός στο ΒΑ τμήμα του λατομείου συνεχίζεται και κάτω από το επίπεδο της στάθμης της θάλασσας.

Στο ΒΔ άκρο του κατώτερου τμήματος του λατομείου, εντοπίστηκε η μεγαλύτερη σε πλάτος ζώνη μετάβασης ανάμεσα στους πρασινοσχιστόλιθους και τους οφίτασβεστίτες. Στην περιοχή αναπτύσσεται αμέσως μετά τους πρασινοσχιστόλιθους μία λευκή-μπεζ ζώνη με λεπτόκοκκο τάλκη, πάχους περίπου 2m. Ακολουθεί με σαφή όρια μία ζώνη σκούρου πράσινου ως μαύρου χρώματος, έντονα σχιστοποιημένη (φυλλίτες) και πάχους περίπου 3m, στην οποία επικρατεί ο χλωρίτης, ο άστριος, ο βιοτίτης και μεταλλικά ορυκτά με πιο συχνό τον σιδηροπυρίτη. Στην ζώνη αυτή, εμφανίζονται πολυάριθμα χαλαζιακά φλεβίδια, με τυχαίο προσανατολισμό. Εδώ παρατηρήθηκε η ανάπτυξη μίας σχιστότητας S_n , η οποία υπέστη πτύχωση από μία δεύτερη παραμορφωτική φάση D_{n+1} με αποτέλεσμα την δημιουργία μίας δεύτερης σχιστότητας S_{n+1} , με στοιχεία $55^\circ/275^\circ$. Από την τομή των δύο σχιστοτήτων, δημιουργήθηκαν επίπεδα πτυχοσχισμού (crenulation cleavages) με στοιχεία $09^\circ/000^\circ$, τα οποία ουσιαστικά είναι οριζόντια.

Ακολουθεί με απότομο και σαφές όριο άλλη μία ζώνη τάλκη, πάχους περίπου 3m (Εικ. 11b). Τέλος, συναντάται η μετάβαση της ζώνης του τάλκη στους οφίτασβεστίτες μέσω μίας παραμορφωμένης αλλά σαφούς επιφάνειας, η οποία έχει και αυτή γενική διεύθυνση $55^{\circ}/270^{\circ}$, είναι δηλαδή παράλληλη προς την κύρια σχιστότητα (Εικ. 11c).

Η επαφή μεταξύ τάλκη και οφίτασβεστιτών είναι έντονα παραμορφωμένη με ανάπτυξη πτυχών σε διάφορες κλίμακες. Εικάζεται ότι η έντονη παραμόρφωση που εμφανίζεται στην μετάβαση μεταξύ των δύο πετρωμάτων, μπορεί να οφείλεται στην διαφορετική συμπεριφορά που αυτά επέδειξαν κατά την διάρκεια της παραμόρφωσης. Παρατηρήθηκε επίσης ότι ο οφίτασβεστιτικός σχηματισμός, στα εγγύτερα της επαφής τμήματα, παρουσιάζει μυλονιτική υφή, η οποία χάνεται σταδιακά μέσα στα επόμενα λίγα μέτρα από αυτήν, μεταβαίνοντας πια στο εσωτερικό του σχηματισμού που είναι λιγότερο παραμορφωμένο.

Εκεί παρατηρήθηκε μία βασική λιθολογική φάση (λιθότυπος i) με δύο υποφάσεις σε εναλλαγές. Στο κατώτερο τμήμα του λατομείου, συναντάμε ουσιαστικά ένα σερπεντινιτικό λατυποπαγές (υποφάση 1), με ασβεστίτη για συγκολλητικό υλικό (Εικ 11d). Το μέγεθος των κλαστών είναι σχετικά ομοιόμορφο, και κυμαίνεται γενικά μεταξύ <1 και 10cm. Οι σερπεντινιτικοί κλάστες εμφανίζονται γενικά γωνιώδεις ή και υπογωνιώδεις, με σκούρο πράσινο χρώμα. Ο ασβεστίτης συναντάται με την μορφή λεπτών φλεβιδίων, πάχους μικρότερου από 5cm. Τα φλεβίδια αναπτύσσονται σε μία πληθώρα διευθύνσεων δίνοντας έτσι μία χαοτική γενική εικόνα στον σχηματισμό. Βρίσκονται συνήθως στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ των κλαστών, αλλά κάποια από τα φλεβίδια διαπερνούν τους σερπεντινιτικούς κλάστες. Διακριτές ζώνες με σαφή μυλονιτικό χαρακτήρα εμφανίζονται μέσα στο κατακλαστικό λατυποπαγές και αποτελούν την δεύτερη λιθοφασική υποενότητα.

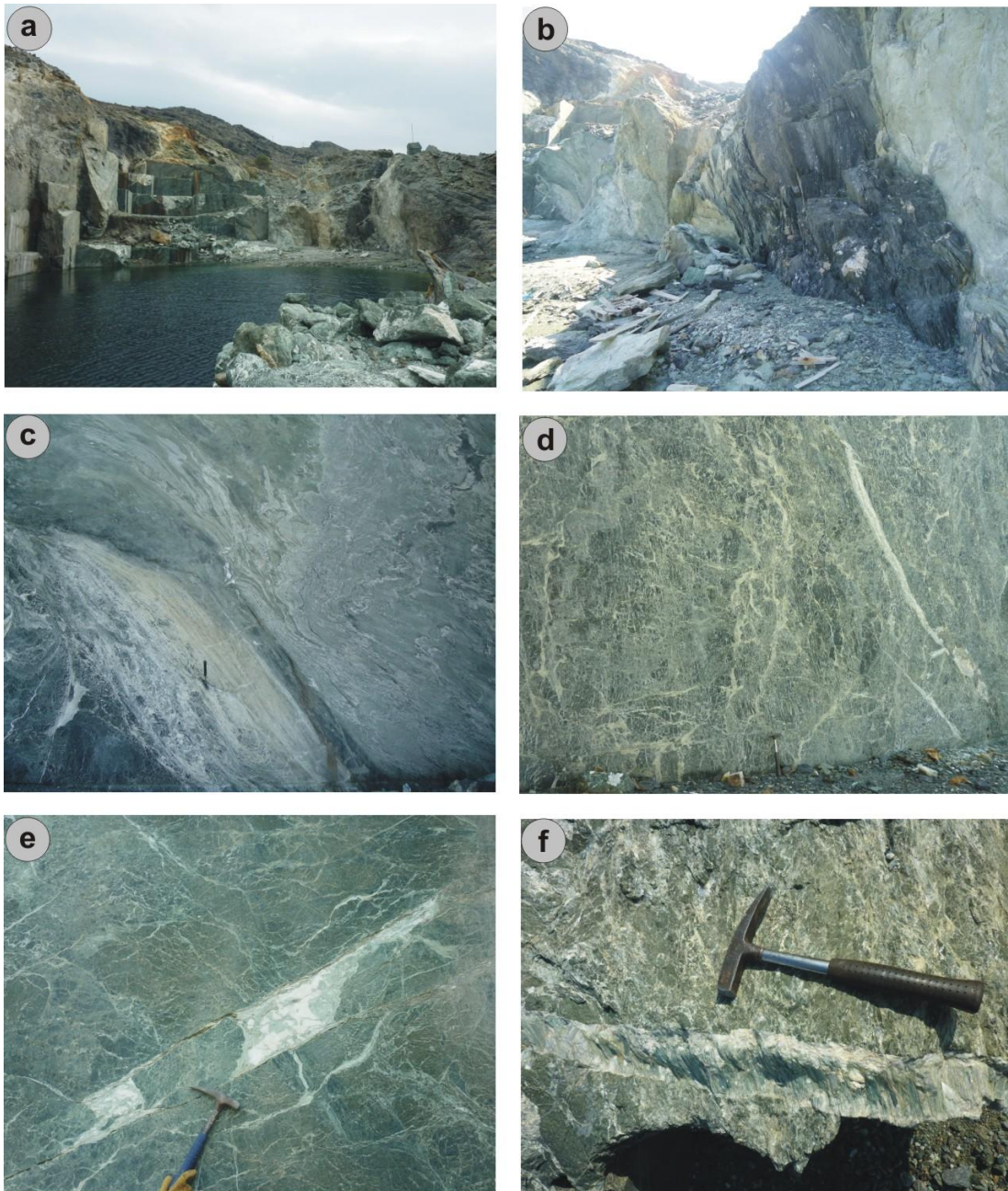
Σε αυτές, η κατάκλαση είναι εντονότατη, με αποτέλεσμα οι κλάστες να είναι όλοι αποστρογγυλεμένοι και τα μεγέθη τους να μην ξεπερνούν τα 2-3cm (υποφάση 2). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ζώνες αυτές δημιουργήθηκαν από την έντονη διάτμηση που ασκήθηκε στον σχηματισμό. Η διάτμηση δεν κατανεμήθηκε με τον ίδιο τρόπο σε όλη την έκτασή του και φαίνεται πως μηχανικά ασθενείς ζώνες (πιθανόν κατά μήκος κάποιων προϋπαρχουσών φλεβών), δεν άντεξαν στην παραμόρφωση και ουσιαστικά θρυμματίστηκαν από την πίεση που τους ασκήθηκε, με αποτέλεσμα σήμερα να παρουσιάζονται σαν ζώνες με μυλονιτική υφή. Σε αυτές τις ζώνες, παρατηρείται επιμήκυνση των σερπεντινιτικών κλαστών κατά την διεύθυνση της διάτμησης.

Κατά θέσεις, συναντώνται κοιλότητες (dykes), οι οποίες έχουν γεμίσει με σπασμένους ασβεστιτικούς κλάστες, που συγκολλήθηκαν εκ νέου από μίγμα ασβεστίτη και αντιγορίτη (Εικ 11e). Οι κοιλότητες αυτές δεν ξεπερνούν σχεδόν ποτέ τα 20cm σε μήκος. Η όλη εικόνα τους δίνει την εντύπωση μιας προϋπάρχουσας ασβεστιτικής φλέβας, η οποία έσπασε λόγω τεκτονισμού. Τα ασβεστιτικά θράυσματα, αναμειγμένα με λεπτομερές σερπεντινιτικό υλικό, συγκολλήθηκαν αργότερα με ασβεστίτη, κατά την διάρκεια ενός μεταγενέστερου επεισοδίου υδροθερμικής δραστηριότητας και καθίζησης ανθρακικού υλικού.

Τέλος, ξεχωρίζει μία γενεά ασβεστιτικών φλεβών με αντιγορίτη, οι οποίες είναι γενικά πολύ μεγαλύτερες σε μήκος (ξεπερνούν σε κάποιες περιπτώσεις τα 5m) και εύρος (πλέον των 20cm) και διατέμνουν όλες τις προηγούμενες δομές (Εικ 11f). Οι κρύσταλλοι τόσο του ασβεστίτη όσο και του αντιγορίτη είναι σε μεγέθη που ξεπερνούν τα 2-5cm. Οι φλέβες αυτές φαίνεται να έχουν έναν συστηματικό προσανατολισμό και μάλιστα εμφανίζονται παράλληλες με την επαφή πρασινοσχιστόλιθων-οφιτασβεστιτών. Αυτό πιθανώς να αποτελεί ένδειξη ότι οι φλέβες αυτές σχηματίστηκαν τελευταίες, καθώς υδροθερμικά ρευστά επέδρασαν στον σχηματισμό κατά την διάρκεια της πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.

Περισσότερες παρατηρήσεις είναι δύσκολο να γίνουν, καθώς ο χώρος στον οποίο γινόταν η εξόρυξη, έχει κατακλυστεί σήμερα από την θάλασσα (Εικ. 11a). Είναι όμως σημαντικό να τονιστεί εδώ, πως ο σχηματισμός των οφιτασβεστιτών στο σημείο αυτό συνεχίζει και κάτω από την στάθμη της θάλασσας, επομένως είναι αδύνατον να εκτιμηθεί στην θέση αυτή το μέγιστο πάχος του.

Ο συντελεστής αποληψιμότητας σε αυτήν την θέση είναι χαμηλός και κυμαίνεται μεταξύ 30-35%, διότι οι ζώνες πλησίον της επαφής με τους πρασινοσχιστόλιθους είναι ακατάλληλες για εμπορική εκμετάλλευση.



Εικόνα 11. Γενική άποψη της θέσης I (a); Ζώνες τάλκη και χλωρίτη από την μετάβαση πρασινοσχιστόλιθου-οφιτασβεστίτη (b); Μετάβαση προς τον οφιτασβεστίτη μέσω παραμορφωμένης ζώνης με τάλκη (c); Κατακλαστικό λατυποπαγές (λιθότυπος i) (d); Φλέβα πληρωμένη με κλάστες ασβεστίτη (e); Φλέβα με ασβεστίτη και αντιγορίτη (f).

Θέση II

Η δεύτερη θέση παρατήρησης και δειγματοληψίας βρίσκεται 150m ΔΒΔ της προηγούμενης, ανήκει και αυτή στην εταιρεία DionyssoMarbles S.A., και είναι ο χώρος στον οποίο σήμερα συνεχίζεται η εξόρυξη (Εικ. 12a). Σε αυτό το τμήμα παρατηρήθηκαν δύο λιθότυποι σε τρεις εναλλαγές. Το κοίτασμα είναι ελλειψοειδούς σχήματος με μήκος μεγάλου άξονα περί τα 120m, μήκος μικρού άξονα περί τα 70m και διεύθυνση ανάπτυξης ΔΒΔ – ΑΝΑ. Πρέπει να αναφερθεί ότι το μέγιστο πάχος

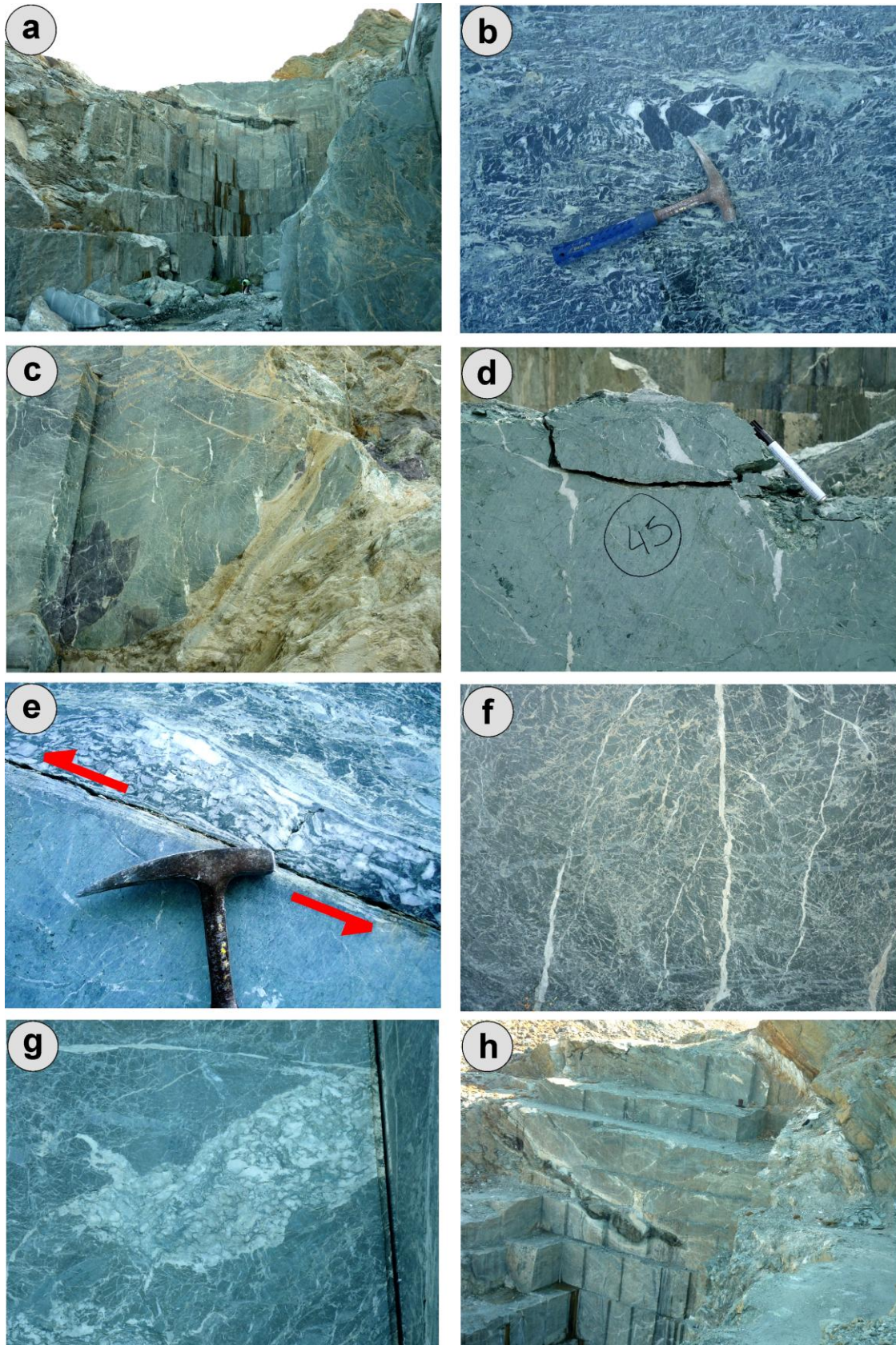
εκτιμάται περίπου στα 50m και ότι ο συντελεστής αποληψιμότητας κυμαίνεται μεταξύ 40-50%. Ο σχηματισμός και εδώ εγκλείεται σε πρασινοσχιστόλιθους και μεταξύ τους παρεμβάλλεται τόσο στο ανώτερο, όσο και στο κατώτερο τμήμα, ζώνη τάλκη με πάχος γενικά μικρότερο του 1m. Η εικόνα στο κατώτερο τμήμα της θέσης αυτής είναι όμοια με την προηγούμενη εμφάνιση.

Κυριαρχεί το σερπεντινιτικό λατυποπαγές, όπως ακριβώς περιγράφηκε παραπάνω (Εικ. 12b). Εντοπίστηκε όμως και μία βασική διαφοροποίηση. Στο κατώτερο τμήμα του λατομείου και σε θέση εφαπτόμενη της επαφής πρασινοσχιστόλιθων-οφίτασβεστιτών, παρατηρήθηκαν σκουρόχρωμα σώματα ακανόνιστου σχήματος και διαστάσεων μερικών μέτρων (Εικ. 12c). Τα σώματα αυτά διαπερνώνται από ασβεστιτικές φλέβες, σχετικά αραιότερες από ότι το σερπεντινιτικό λατυποπαγές που το περιβάλλει. Επιτόπου δοκιμή γραμμής σκόνης ενός δείγματος έδειξε καφέ χρώμα, υποστηρίζοντας τις αρχικές σκέψεις για σώματα χρωμίτη, κάτι που επιβεβαιώθηκε αργότερα από την ορυκτολογική μελέτη του υλικού. Το γεγονός ότι και αυτά τα σώματα διαπερνώνται από την ανθρακική φάση που υπάρχει στους οφίτασβεστίτες, αποτελεί ένδειξη ότι τα χρωμιτικά σώματα προϋπήρχαν στο υπερβασικό πέτρωμα πριν αυτό σερπεντινιωθεί και φυσικά, πριν την κατάκλασή του και την απόθεση του ασβεστίτη.

Στην συνέχεια, περνώντας προς τα ανώτερα στρωματογραφικά τμήματα του λατομείου, φαίνεται κατά θέσεις να εμφανίζεται μία δεύτερη λιθοφασική ενότητα, η οποία τοπικά υπόκειται της πρώτης, που περιγράφηκε προηγουμένως. Η δεύτερη αυτή ενότητα, εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις. Ο σερπεντινίτης εδώ είναι ουσιαστικά συμπαγής και η ανθρακική φάση περιορίζεται σημαντικά (Εικ. 12d). Ασβεστίτης αναπτύσσεται μόνο σε λίγες περιοχές όπου ο σερπεντινίτης έχει σπάσει. Κατά θέσεις παρατηρούνται και βασίτες, οι οποίοι διέφυγαν την καταστροφή από τις αλληπάλληλες υδροθερμικές φάσεις εξαλλοίωσης που υπέστη ο σερπεντινίτης. Σχετικά με την επαφή της λιθοφάσης αυτής με την σχετικά υπερκείμενη, πρώτη λιθοφασική ενότητα του κατακλαστικού λατυποπαγούς, μπορούν να παρατηρηθούν τα εξής: Η επαφή είναι έντονα γεωμετρική, επίπεδη, με μικρή σχετικά κλίση, (10-20°Δ). Εμφανίζει έντονα χαρακτηριστικά διάτμησης εκατέρωθεν της, με την υπερκείμενη λιθοφασική ενότητα να εμφανίζει πολύ πιο έντονη παραμόρφωση από την υποκείμενη, του συμπαγούς σερπεντινίτη (Εικ. 12e). Ακριβώς στην επαφή, συναντώνται κλάστες ασβεστίτη, παραλληλόγραμμου σχήματος, οι οποίοι προφανώς έχουν δημιουργηθεί από σπάσιμο ασβεστιτικής φλέβας που είχε αναπτυχθεί ακριβώς

στο σημείο που βρίσκουμε σήμερα την διατμητική επιφάνεια. Η όλη εικόνα των κλαστών φέρει εντυπωμένη την έντονη διάτμηση που ασκήθηκε κατά μήκος αυτής της γραμμής, ενώ είναι εμφανής η διευθέτησή τους λόγω της παραμόρφωσης σε en echelon διάταξη. Μάλιστα, η διεύθυνση της διάτμησης με βάση την διάταξη των κλαστών φαίνεται να είναι top-to-NE (top-left, όπως βλέπουμε την εικόνα 12e). Η ανώτερη λιθοφασική ενότητα, ακριβώς πάνω από την επαφή έχει υποστεί πολύ έντονη παραμόρφωση λόγω της διάτμησης. Οι κλάστες εμφανίζονται επιμηκυσμένοι, έχουν αποκτήσει ελλειπτικό σχήμα και ο μεγάλος άξονάς τους έχει διαταχθεί παράλληλα με την διεύθυνση της διάτμησης. Η ένταση του φαινομένου αυτού ελαττώνεται σε συνάρτηση με την απόσταση από την επιφάνεια της διάτμησης, έτσι ώστε στα επόμενα 1-3m, οι κλάστες να είναι και πάλι απαραμόρφωτοι, δίνοντας την κλασική εικόνα του σερπεντινιτικού λατυποπαγούς. Το λατυποπαγές αυτό (λιθότυπος-ι) συνεχίζεται στα ανώτερα τμήματα του λατομείου (συνολικό πάχος περί τα 40m).

Συναντώνται διάφορες γενεές φλεβών, με κυρίαρχες φλέβες πάχους λίγων εκατοστών που περιβάλλουν ή/και διαπερνούν τους κλάστες σερπεντινίτη, δημιουργώντας την γνωστή χαώδη εικόνα του σχηματισμού (Εικ. 12f). Κατά θέσεις, εντοπίζονται κοιλότητες, οι οποίες έχουν γεμίσει με κλάστες ασβεστίτη, οι οποίοι εμφανίζουν χαρακτηριστικά χημικής διάλυσης (εικ. 12g). Ο σχηματισμός αυτών των δομών αποδίδεται σε διάλυση/κατάρρευση προϋπαρχουσών ανθρακικών φλεβών. Έτσι σχηματίζονται οι ασβεστιτικοί κλάστες, οι οποίοι παρασύρονται με μηχανικό τρόπο και συγκολλώνται εκ νέου με ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό και λεπτόκοκκη σερπεντινιτική και ασβεστιτική κύρια μάζα, κατά την διάρκεια ενός ύστερου υδροθερμικού επεισοδίου. Και εδώ, συναντώνται οι φλέβες αδροκρυσταλλικού ασβεστίτη και αντιγορίτη, οι οποίες διατέμνουν όλες τις προηγούμενες δομές, σηματοδοτώντας έτσι το τελευταίο υδροθερμικό επεισόδιο. Οι φλέβες αυτές, εμφανίζονται υποπαράλληλες, σχετικά επίπεδες, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις αναστομώνονται ή αποσφηνώνονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι λίγα μέτρα πριν την μετάβαση του σχηματισμού στους πρασινοσχιστόλιθους της οροφής, εμφανίζεται ένα συμπαγές σερπεντινιτικό σώμα μήκους περίπου 20m και πλάτους μικρότερου από 2m, το οποίο περιβάλλεται από λεπτή ζώνη με τάλκη και δεν διαπερνάται από ασβεστιτικές φλέβες (Εικ. 12h). Το σερπεντινιτικό σώμα αυτό περιβάλλεται από μία λεπτή ζώνη λευκού χρώματος, η οποία πιθανότατα αποτελείται από τάλκη.



Εικόνα 12. (a) Γενική άποψη της θέσης Π. (b) Κατακλαστικό λατυποπαγές (λιθότυπος i). (c) Χρωμικά σώματα από το κατώτερο τμήμα του λατομείου. (d) Σχετικά συμπαγής σερπεντινίτης (λιθότυπος ii). (e) Top-left shear zone μεταξύ των λιθότυπων i & ii. (f) Διαφορετικές γενεές φλεβών από ασβεσίτη στον λιθότυπο i. (g) Κοιλότητα πληρωμένη με ανθρακικούς κλάστες. (h) Σώμα συμπαγούς σερπεντινίτη στο ανώτερο τμήμα του λατομείου.

Θέση III

Η τρίτη θέση που μελετήθηκε, είναι το ενεργό λατομείο της εταιρείας Theotikos-Sotiros S.A., στην Τήνο. Στην ίδια εταιρία, ανήκουν και τα λατομεία των θέσεων IV και V, αλλά σήμερα είναι ανενεργά. Η θέση αυτή, παρουσιάζει την μεγαλύτερη λιθοφασική ποικιλία.

Η γενική μορφή του κοιτάσματος αυτού είναι ελλειψοειδής έως φακοειδής και έχει διεύθυνση B-N και μέση κλίση 60-70°Δ. Το ελάχιστο πάχος του σχηματισμού εκτιμάται στα 45m, η απουσία όμως γεωτρήσεων και άλλων δεδομένων δεν επιτρέπει τον ακριβή καθορισμό του, ενώ με τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα στοιχεία, η θέση αυτή έχει μέσο συντελεστή αποληψιμότητας 45%.

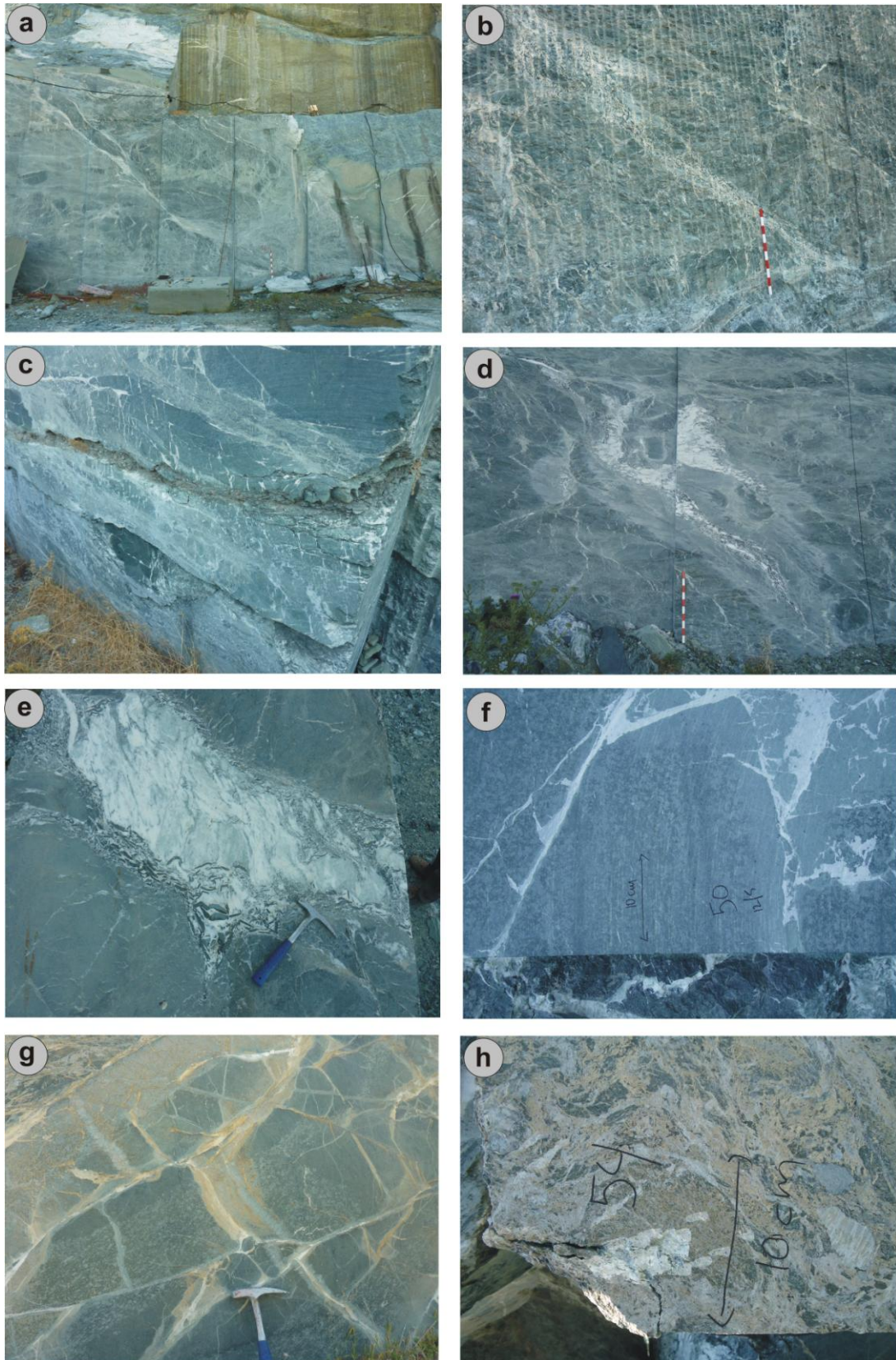
Η επαφή του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών με τους πρασινοσχιστόλιθους που τους περιβάλλουν, γίνεται και σε αυτήν την θέση με την παρουσία ενδιάμεσης ζώνης τάλκη πάχους γενικά μικρότερου από 20cm. Αξίζει να σημειωθεί οι πρασινοσχιστόλιθοι στο ανατολικό πρानές του λατομείου είναι κατακόρυφοι, με την επαφή ανάμεσα στις δύο λιθολογίες να ακολουθεί την ίδια ακριβώς κλίση και να έχει διεύθυνση BBD-NNA (Εικ. 13a). Στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού, εμφανίζεται ο λιθότυπος (i) όπως περιγράφηκε και από προηγούμενες θέσεις, με την διαφορά όμως, ότι δεν παρουσιάζονται εδώ διακριτές ζώνες με μυλονιτικό χαρακτήρα (Εικ. 13b). Η όψη του σχηματισμού εδώ είναι σχετικά ομοιογενής, με τα μεγέθη των σερπεντινιτικών κλαστών να είναι γενικά μικρότερα των 10cm. Οι ασβεστιτικές φλέβες είναι και εδώ χαώδεις και είτε περιβάλλουν, είτε διατέμνουν τους κλάστες. Εντοπίστηκαν κατά θέσεις μεγάλων διαστάσεων φλέβες (μήκος >2m και πλάτος 10-30cm) με αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη και σερπεντίνη, που διασχίζουν τον σχηματισμό. Οι φλέβες αυτές είναι συνήθως επίπεδες και μπορεί να αναστομώνονται, να διακλαδίζονται ή ακόμα και να αποσφηνώνονται. Στις φλέβες αυτές, που είναι η τελευταία γενεά καθώς διατέμνουν όλες τις άλλες γενεές φλεβών, μπορεί να έχουν εγκλειστεί μικρά κομμάτια σερπεντινίτη, που δεν ξεπερνούν σε μέγεθος τα 2-3cm.

Η μετάβαση στον επόμενο λιθότυπο (iii) γίνεται μέσω μίας έντονα γεωμετρικής επαφής, η οποία εμφανίζεται ελάχιστα στο ύπαιθρο. Κατά μήκος αυτής της επαφής παρατηρείται έντονη πλαστική παραμόρφωση, με επιμήκυνση σερπεντινιτικών κλαστών (Εικ. 13c). Πρόκειται για μία ζώνη διάτμησης, η οποία διαχωρίζει τον προηγούμενο και υποκείμενο λιθότυπο, από ένα εμφανώς διαφορετικό λατυποπαγές, με λιγότερη κατάκλαση και πιο αραιό δίκτυο ασβεστιτικών φλεβών. Εδώ τα μεγέθη των κλαστών είναι μεγαλύτερα (συνήθως μεταξύ 10-40cm). Ο λευκός

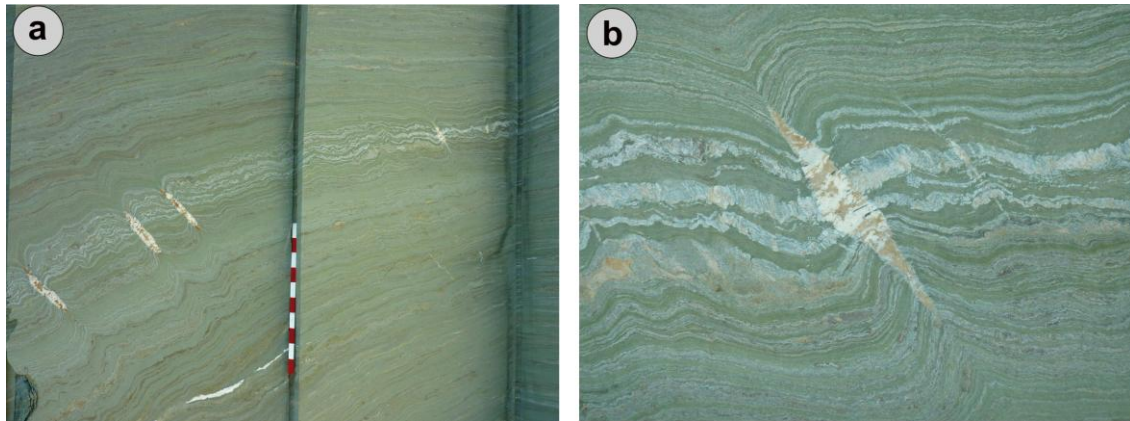
αδροκρυσταλλικός ασβεστίτης συναντάται πιο συχνά περιφερειακά των κλαστών, ενώ όταν σχηματίζει φλέβες αυτές είναι λίγες και μικρές σε πάχος (έως 5cm). Στους σερπεντινιτικούς κλάστες της λιθοφάσης αυτής, συχνά εντοπίζονται βασίτες. Στην λιθοφασική ενότητα αυτή, εντοπίζονται κατά θέσεις ασβεστιτικές φλέβες που έχουν σπάσει και συγκολληθεί σε μεταγένεστερα επεισόδια καθίζησης ασβεστίτη. Οι φλέβες αυτές είναι γενικά μεγάλων διαστάσεων (>1m) και έχουν ποικίλο πάχος (Εικ. 13d,e).

Η επαφή αυτής της ενότητας με την υπερκείμενή της, δεν είναι σήμερα ορατή στην περιοχή του λατομείου. Αυτό συμβαίνει διότι το ανώτερο τμήμα του λατομείου, έχει εξορυχθεί και απορριφθεί ως ακατάλληλο για χρήση. In situ παρατήρηση δεν μπορεί να γίνει, με αποτέλεσμα να χάνονται σημαντικές πληροφορίες για την στρωματογραφία και την επαφή αυτού του τμήματος του σχηματισμού με το υποκείμενό του. Όμως, υπάρχουν στην περιοχή εξορυγμένα μπλοκ, από τα οποία μπορούν να βγουν τουλάχιστον κάποια βασικά συμπεράσματα (Εικ. 13g). Εδώ, η εικόνα του σχηματισμού αλλάζει ριζικά. Εμφανίζονται ιζηματογενείς χαρακτήρες, καθώς συναντώνται σερπεντινιτικοί κλάστες, μεγέθους μερικών εκατοστών, να πλέουν σε άφθονη θεμελιώδη μάζα, μπεζ έως κιτρινωπού χρώματος (λιθότυπος iv). Πρόκειται για ένα πολύ πτωχά ταξινομημένο λατυπο-κροκαλοπαγές, με βασικό χαρακτηριστικό την ποσοτική υπεροχή της κύριας μάζας έναντι των κλαστών (Εικ. 13h). Αξίζει να σημειωθεί, ότι παρά τον εμφανή τεκτονο-ιζηματογενή χαρακτήρα αυτού του τμήματος του σχηματισμού, δεν παρατηρήθηκε στρώση. Οι κλάστες είναι αποστρογγυλεμένοι στην πλειονότητα των περιπτώσεων (ένδειξη μεταφοράς), παρατηρήθηκαν όμως και λίγοι γωνιώδεις. Τα μεγέθη τους κυμαίνονται σημαντικά, μεταξύ 2-30cm.

Η εταιρεία έχει προχωρήσει στην εξόρυξη και εμπορία όγκων πρασινοσχιστόλιθου, με την εμπορική ονομασία 'oasis'. Τα κατακόρυφα πρανή που δημιουργήθηκαν από την κοπή όγκων πρασινοσχιστόλιθου, στο δυτικό τμήμα του λατομείου, έχουν αποκαλύψει χαρακτηριστικές μορφές που έχουν προκύψει από την έντονη παραμόρφωση που έχουν υποστεί οι πρασινοσχιστόλιθοι (Εικ. 14). Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για φλέβες (veins) οι οποίες είναι εφελκυστικές διαρρήξεις και δημιουργήθηκαν πριν από την σχιστότητα. Δευτερογενώς, οι αρχικά χαίνουσες αυτές φλέβες, πληρώθηκαν από αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη και φυλλώδεις κρυστάλλους αιματίτη (βλ. κεφ. 7).



Εικόνα 13. (a) Σχεδόν κατακόρυφη επαφή πρασινοσχιστόλιθων και οφιτασβεστιτών από το Α πρανές του λατομείου. (b) Κατακλαστικό λατυποπαγές – λιθότυπος i. (c) Ζώνη διάτμησης στην επαφή μεταξύ των λιθότυπων i και iii. (d),(e) Ασβεστιτική φλέβα που έχει υποστεί διάλυση και ανακρυστάλλωση. (f) Σερπεντινιτικός κλάστης με βασίτες από τον λιθότυπο iii. (g) Επαφή μεταξύ των λιθότυπων iii και iv. (h) Matrix-supported breccia από τον λιθότυπο iv.

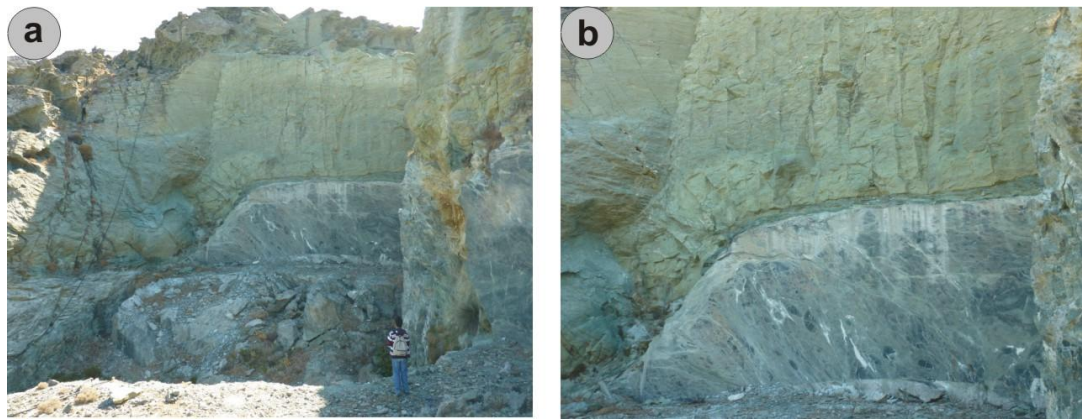


Εικόνα 14. (a) Φλέβες (veins) σε πρασινοσχιστόλιθο δευτερογενώς πληρωμένες με ασβεστίτη και αιματίτη; (b) Κοντινή άποψη. Εύρος φωτογραφίας 40cm.

Θέση IV

Η τέταρτη θέση, βρίσκεται περίπου 100m ΒΔ από την προηγούμενη. Αποτελεί δοκιμαστική εκσκαφή για την διαπίστωση ή μη της ύπαρξης οφίτασβεστιτών στην περιοχή. Στο μέτωπο που δημιουργήθηκε, αποδείχθηκε πως το πέτρωμα δεν είναι κατάλληλο για εμπορική χρήση, δίνονται όμως σημαντικότερες πληροφορίες για την στρωματογραφία του σχηματισμού. Αντιπροσωπεύει το ανώτατο τμήμα του σχηματισμού, το οποίο βρέθηκε in situ μόνο σε άλλη μία από τις υπόλοιπες θέσεις, που ερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Πρόκειται για μία τομή, η οποία δείχνει εμφανείς τεκτονο-ιζηματογενείς χαρακτήρες (λιθότυπος iv). Σερπεντινιτικοί κλάστες, μεγέθους μέχρι 10-20cm, πλέουν σε μία κύρια μάζα ανοικτοπράσινου-λευκού χρώματος (Εικ. 15). Μερικοί κλάστες εμφανίζονται αποστρογγυλεμένοι, ένδειξη του ότι υπέστησαν μικρής κλίμακας μεταφορά. Ο μηχανισμός δημιουργίας της λιθοφάσης αυτής πιθανότατα αντιστοιχεί σε αποθέσεις βαρυτικών ροών ιζημάτων με τυπική block-in-matrix δομή (Festa et al., 2012).

Δεν παρατηρούνται κοκκομετρικές διαβαθμίσεις, εντούτοις, διαφαίνεται κάποια παράλληλη στρωμάτωση, η οποία φυσικά σήμερα εμφανίζεται κεκλιμένη, λόγω παραμόρφωσης. Η χαώδης εικόνα που δημιουργείται από το μικρό ποσοστό κλαστών και την αφθονία της κύριας μάζας, διακόπτεται κατά θέσεις από λίγες λευκές ασβεστιτικές φλέβες και κοιλότητες που επίσης έχουν πληρωθεί με λευκό ασβεστίτη. Η επαφή με τους υπερκείμενους πρασινοσχιστόλιθους είναι έντονα τεκτονισμένη και παρατηρείται μικρού πλάτους ζώνη μυλωνιτωμένων σχιστόλιθων και ακολούθως ζώνη λευκού-μπεζ χρώματος, που πιθανότατα είναι πλούσια σε τάλκη. Η εκμετάλλευση δεν προχώρησε καθώς αυτό το τμήμα του σχηματισμού είναι μη εμπορεύσιμο.



Εικόνα 15. (α) Γενική άποψη της θέσης IV. (β) Επαφή των οφίτασβεστιτών (λιθοφάση iv) με πρασινοσχιστόλιθους.

Θέση V

Η θέση αυτή εντοπίζεται σε ανενεργό λατομείο, περίπου 300m BBA των δύο προηγούμενων θέσεων και αποτελεί την τελευταία θέση παρατήρησης και δειγματοληψίας οφίτασβεστιτών, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Οι λατομικές δραστηριότητες έχουν δημιουργήσει ένα μέτωπο εκσκαφών ύψους περίπου 40m σε τρεις βαθμίδες. Η γενική διεύθυνση των μετώπων αυτών είναι ABA – ΔΝΔ και σε αυτά, αποτυπώνεται με τον καλύτερο τρόπο μία εγκάρσια τομή από την εμφάνιση των οφίτασβεστιτών, που δίνει πολλές πληροφορίες για τον σχηματισμό (Εικ. 16a).

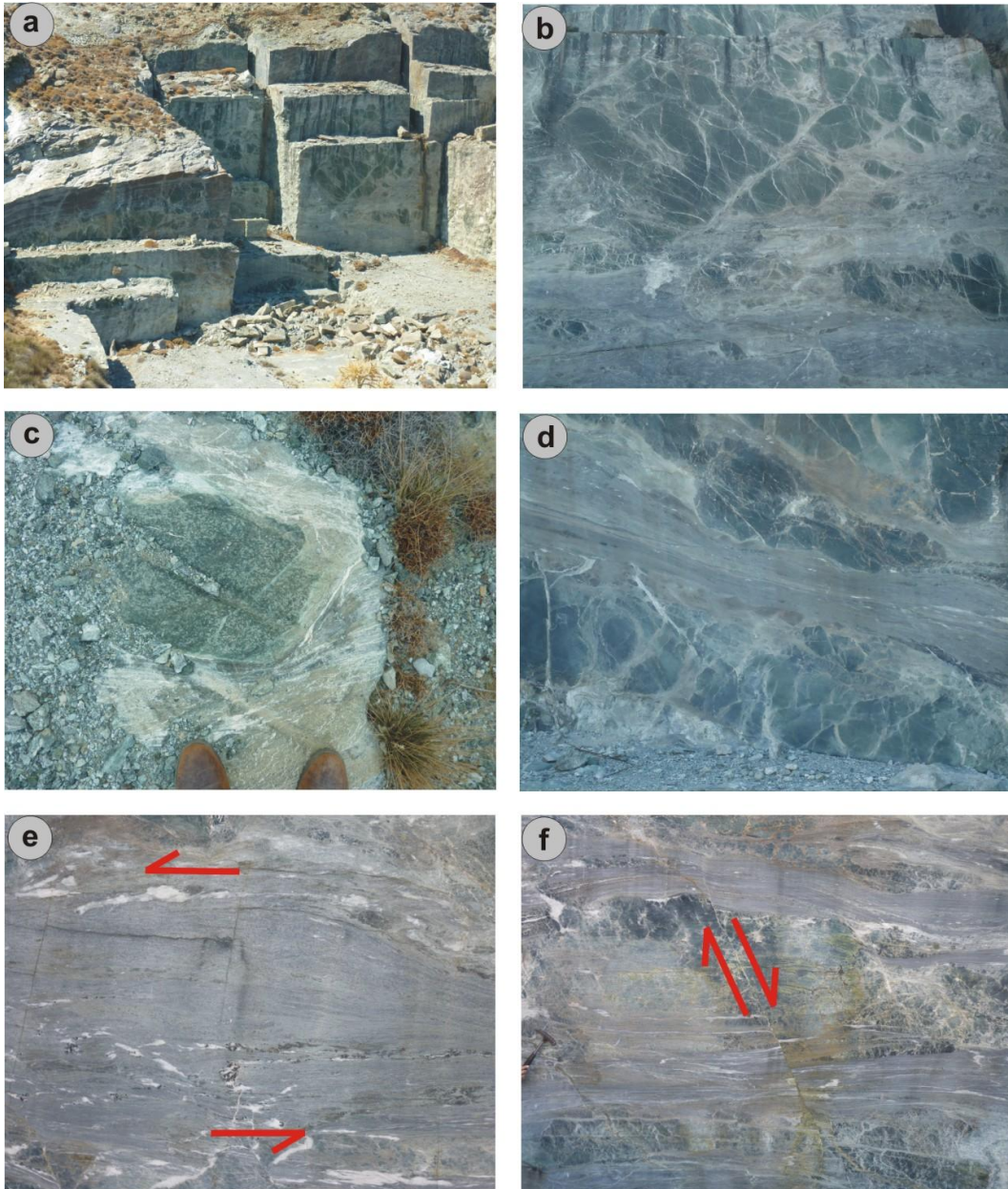
Πρόκειται για ένα σερπεντινιτικό mega-λατυποπαγές (λιθότυπος iii), μεγωνιώδεις όγκους σερπεντινιτών μεγέθους έως και πλέον των 2m. Τα τεμάχια αυτά συνήθως εμφανίζονται με ατρακτοειδή, ακανόνιστα, ακόμα και με αποστρογγυλεμένα σχήματα, ενώ το δίκτυο ασβεστιτικών φλεβών είναι αραιό (Εικ. 16b). Οι σερπεντινιτικοί κλάστες περιέχουν κατά θέσεις βασίτες (Εικ. 16c) οι οποίοι φτάνουν σε μέγεθος 1-2cm. Κατά κανόνα οι ασβεστιτικές φλέβες αναπτύσσονται ανάμεσα στα σερπεντινιτικά τεμάχια, παρατηρήθηκαν όμως και φλέβες που τα διαπερνούν. Οι φλέβες αυτές έχουν εύρος μερικών εκατοστών, αλλά το μήκος τους μπορεί να ξεπερνά τα 3m. Συνήθως έχουν επίπεδο σχήμα και μπορεί να συνενώνονται με άλλες φλέβες υπό γωνία, να διακλαδίζονται ή και να αναστομώνονται κατά θέσεις. Και σε αυτό το λατομείο, παρατηρήθηκαν οι γνωστές από τις προηγούμενες εμφανίσεις, μεγάλες φλέβες ασβεστίτη και αντιγορίτη, που διατέμνουν τις υπόλοιπες μικρότερες φλέβες.

Στο κατώτερο τμήμα του λατομείου, παρατηρούνται ζώνες διάτμησης ανεπτυγμένες μέσα σε θραυσμένο σερπεντινίτη (Εικ. 16d,e). Οι ζώνες αυτές,

εμφανίζονται με μικρή κλίση και είναι υποπαράλληλες μεταξύ τους. Έχουν μία σημαντική διακύμανση στο πάχος τους, το οποίο μπορεί να φτάνει και να ξεπερνά το 1m, ενώ κατά θέσεις μπορεί να απολεπτύνεται σε λιγότερο από 20cm. Το μήκος αυτών των ζωνών, καλύπτει όλη την έκταση του λατομείου. Η διάτμηση που ασκήθηκε κατά μήκος αυτών των επιφανειών, έχει προκαλέσει έντονη κατάκλαση στο πέτρωμα, με αποτέλεσμα το μέγεθος των κόκκων να είναι πολύ μικρό. Το οπτικό αποτέλεσμα είναι συνεχείς γκρίζες ζώνες, στις οποίες τεμάχια πετρωμάτων που διέφυγαν την κατάκλαση εμφανίζουν χαρακτηριστικούς κινηματικούς δείκτες.

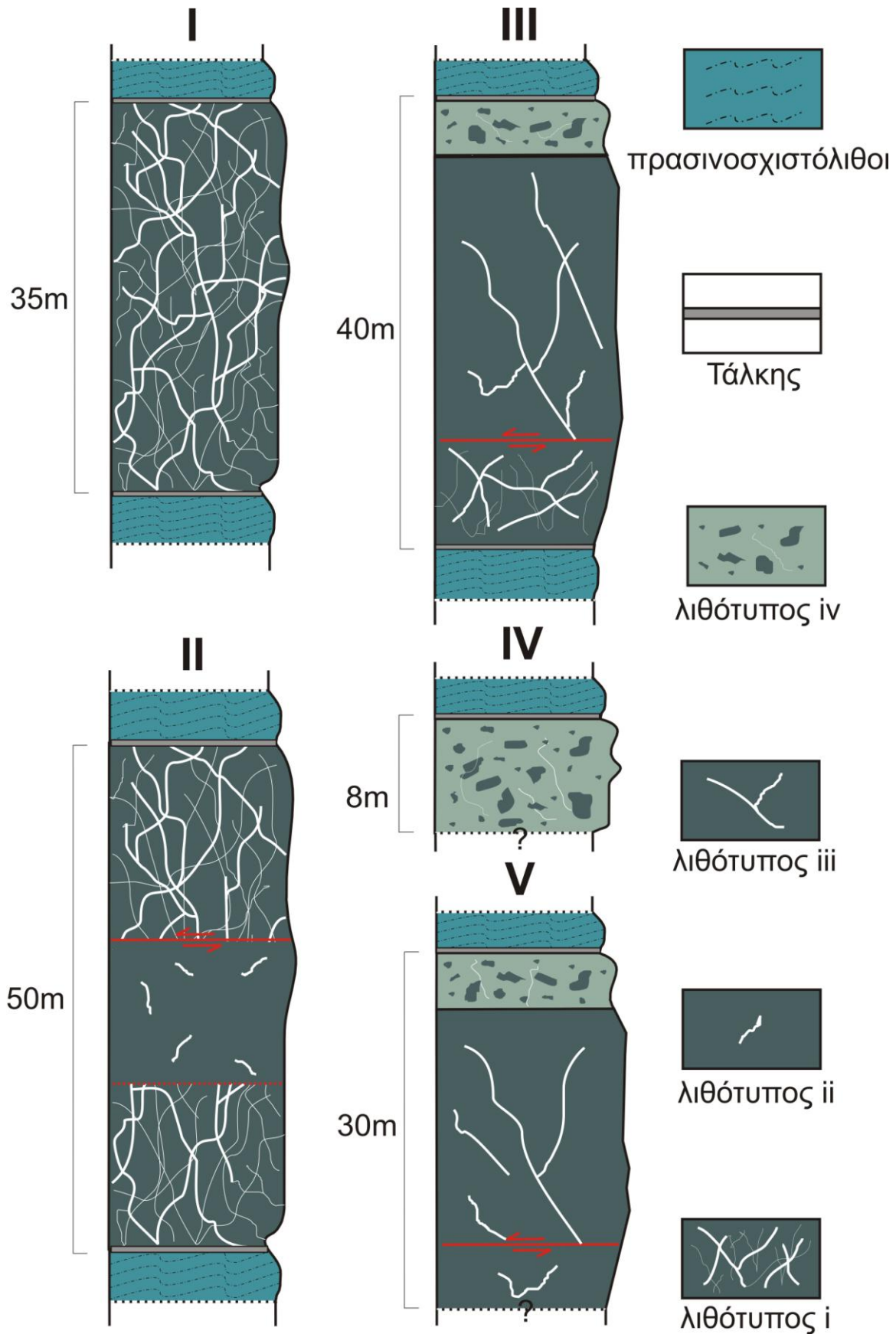
Επίσης, φαινόμενα νεοκρυστάλλωσης ασβεστίτη ή/και αιματίτη παρατηρούνται κατά μήκος των ζωνών αυτών, οι οποίες φαίνεται να απουσιάζουν από το ανώτερο τμήμα του λατομείου. Όπως είναι λογικό, τα εγγύτερα στις ζώνες διάτμησης τμήματα του σερπεντινιτικού μεγα-λατυποπαγούς, εμφανίζουν κλάστες επιμηκυσμένους, με τον μεγάλο άξονα της έλλειψης διατεταγμένο παράλληλα με την διεύθυνση της διάτμησης. Ανάμεσα σε δύο διαδοχικές επιφάνειες διάτμησης, επικρατεί κατακλαστικό λατυποπαγές, με κλάστες μεγέθους μερικών εκατοστών και σχετικά πλούσιο σε κύρια μάζα από ασβεστίτη και σερπεντίνη. Επίσης, παρατηρήθηκαν μικροδιαρρήξεις, οι οποίες μεταθέτουν τόσο το λατυποπαγές, όσο και τις ζώνες διάτμησης, καθιστώντας σαφές ότι δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια μίας μεταγενέστερης τεκτονικής φάσης, θραυσιγενούς αυτήν την φορά, χαρακτήρα (Εικ. 16f). Το άλμα αυτών των κανονικών διαρρήξεων δεν ξεπερνά τα 30cm.

Στα ανώτερα τμήματα, τα γωνιώδη τεμάχια φαίνονται να περιορίζονται και δίνουν την θέση τους σε περισσότερο αποστρογγυλεμένους όγκους σερπεντινιτών, οι οποίοι εμφανίζονται και με μικρότερα μεγέθη. Τέλος, στα τελευταία λίγα εκατοστά πριν την μετάβαση του σχηματισμού, μέσω μίας ζώνης τάλκη, στους πρασινοσχιστόλιθους, εντοπίζεται ένας ορίζοντας με ιζηματογενείς χαρακτήρες (λιθότυπος iv). Το ποσοστό της κύριας μάζας αυξάνεται δραματικά και οι ελάχιστοι σερπεντινιτικοί κλάστες είναι διαστάσεων μερικών cm μόνο. Παρατηρείται άφθονος χλωρίτης, σε φυλλώδεις καφέ κρυστάλλους που φτάνουν τα 4cm. Στα ανώτατα τμήματα, η κύρια μάζα εμφανίζεται με αποχρώσεις καφέ ή κόκκινες και η παρουσία αιματίτη που διαπιστώθηκε, αποδεικνύει την επίδραση στο τμήμα αυτό του σχηματισμού, οξειδωτικών υδροθερμικών ρευστών. Αξίζει τέλος να σημειωθεί, ότι δεν εμφανίζεται το υπόβαθρο του σχηματισμού, καθώς η λατόμευση δεν έφτασε σε μεγάλο βάθος και επομένως δεν υπάρχει δυνατότητα παρατήρησης.



Εικόνα 16. (a) Γενική άποψη του λατομείου; (b) Άποψη του σχηματισμού (λιθότυπος iii); (c) Βασίτες σε σερπεντινιτικό κλάστη; (d),(e) Top-left ζώνη διάτμησης από το κατώτερο τμήμα του λατομείου; (f) Μικροδιαρρήξεις στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού.

Ο έντονος τεκτονισμός του συμπλέγματος, σε όλες τις θέσεις παρατήρησης, δεν επιτρέπει έναν ασφαλή συσχετισμό των επιμέρους στηλών, για την δημιουργία μιας ενιαίας στρωματογραφικής στήλης. Η γενική εικόνα όμως περιλαμβάνει ένα κατακλασμένο σερπεντινιτικό λατυποπαγές (λιθότυπος i) στα κατώτερα τμήματα, ακολουθούμενο από λιγότερο ή περισσότερο κατακλασμένο σερπεντινίτη (λιθότυποι ii, iii) και τέλος το πλούσιο σε κύρια μάζα λατυποπαγές (λιθοφάση iv) (Εικ. 17).



Εικόνα 17: Τεκτονοστρωματογραφικές στήλες των πέντε θέσεων δειγματοληψίας. Με συνεχή κόκκινη γραμμή και αμφίρροπα βέλη επισημαίνονται ζώνες διάτμησης. Με στικτή κόκκινη γραμμή επισημαίνονται αβέβαια όρια μετάβασης.

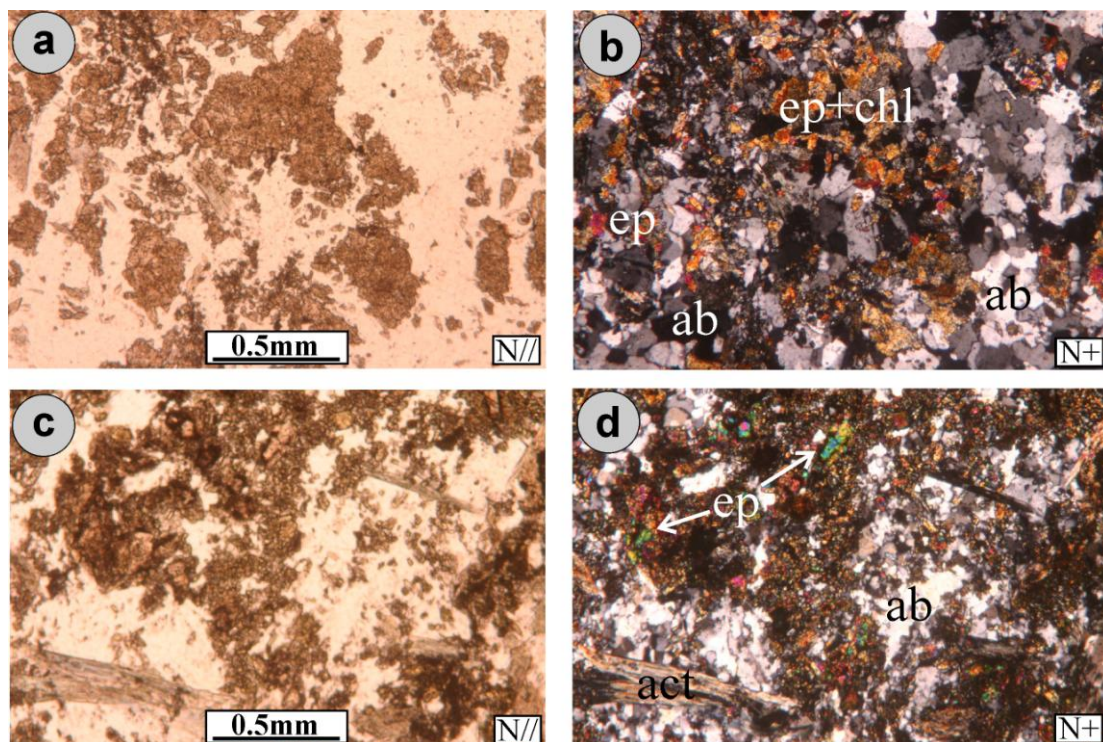
4. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΑ-ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑ.

Ο προσδιορισμός του ορυκτολογικού περιεχομένου των λιθοτύπων που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, έγινε όπως έχει αναφερθεί, με χρήση οπτικού μικροσκοπίου, ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και περιθλασιμετρίας ακτίνων-χ. Ειδικά για τον τελευταίο τύπο αναλύσεων, μία πρώτη εικόνα για το ορυκτολογικό περιεχόμενο των δειγμάτων που αναλύθηκαν δίνεται στον πίνακα 1. Επίσης, στον Πίνακα Ι του Παραρτήματος δίνεται η ορυκτολογική σύσταση και η θέση του συνόλου των δειγμάτων που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν.

4.1 Περιβάλλοντα πετρώματα

4.1.1 Πρασινοσχιστόλιθοι

Από δείγματα πρασινοσχιστόλιθων που μελετήθηκαν στο οπτικό μικροσκόπιο, προέκυψε μία κλασική για μεταβασίτες ορυκτολογική παραγένεση πρασινοσχιστολιθικής φάσης μεταμόρφωσης. Οι πρασινοσχιστόλιθοι της ευρύτερης περιοχής του Μαρλά, εμφανίζουν γενικά λεπιδοβλαστικό ιστό.



Εικόνα 18: Φωτογραφίες οπτικού μικροσκοπίου από αλβιτικούς (ab)-επιδοτιτικούς (ep)-χλωριτικούς (chl) πρασινοσχιστόλιθους της περιοχής Μαρλά.

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

Πίνακας 1: Αποτελέσματα XRD	calcite	dolomite	antigorite	clinochlore	chromite	epidote	albite	talc	orthoclase	quartz	muscovite	diopside	amphibole	hematite
TIM 2	+							+					+	
TIM 4	+	+	+	+				+					+	
TIM 5				+			+		+	+	+			
TIM 6	+			+	+									
TIM 7			+											
TIM 8b			+											
TIM 10	+			+									+	
TIM 11	+		+											
TIM 12			+											
TIM 13				+			+				+		+	
TIM 15	+		+					+						
TIM 16	+													
TIM 18	+													
TIM 19	+		+		+									
TIM 22												+	+	
TIM 23				+			+						+	
TIM 26				+		+	+						+	
TIM 27				+		+	+						+	+
TIM 29	+		+											
TIM 31	+		+											
TIM 33				+		+	+						+	
TIM 36							+						+	
TIM 39				+									+	
TIM 40			+											
TIM 51				+									+	
TIM 55a	+	+	+										+	
TIM 60	+			+										

Χαρακτηρίζονται κυρίως από την αφθονία επίδοτου, το οποίο παρατηρείται ως διάσπαρτοι κόκκοι, ως σφαιρικές ή ελλειψοειδείς συγκεντρώσεις, ή ως βασικό ορυκτολογικό συστατικό της κύριας μάζας (Εικ. 18).

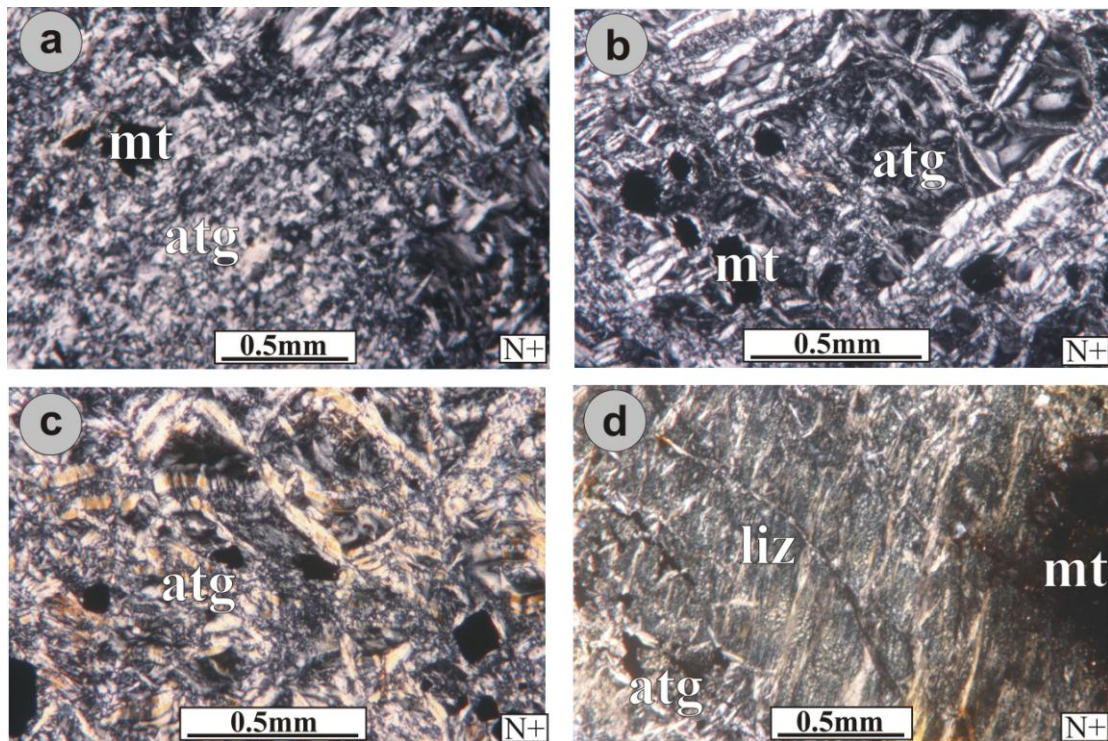
Συχνή είναι επίσης και η αντικατάσταση άστριων από επίδοτο, το οποίο δίνει την χαρακτηριστική εικόνα της ανάπτυξης μικροσκοπικών αλλοτριόμορφων κρυστάλλων επίδοτου, στην περιφέρεια κρυστάλλων άστριων ή/και στο εσωτερικό τους. Ο αλβίτης, παρατηρείται με μικροσκοπικούς (0,5mm) αλλοτριόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους, οι οποίοι κατά περιπτώσεις παρουσιάζουν διδυμία ή εμφανίζουν εγκλείσματα άλλων ορυκτών (επίδοτο, ακτινόλιθος). Σε μερικές θέσεις, αναπτύσσονται λεπτότατα φλεβίδια πλούσια σε χαλαζία και άστριο, στα οποία δευτερογενώς, αναπτύσσονται ευμεγέθεις και υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι ασβεστίτη και αιματίτη. Αξίζει να αναφερθεί, ότι εκτός από τα φλεβίδια, χαλαζίας αναπτύσσεται μόνο σποραδικά και σε μικρότατους κρυστάλλους (<0,10mm). Ο ακτινόλιθος είναι σχετικά συχνά παρών, με χαρακτηριστικούς κρυστάλλους μακροπρισματικού ή βελονοειδούς σχήματος. Ο τιτανίτης, εμφανίζεται, με κατά κανόνα μικρά μεγέθη (<0,01mm) και μπορεί να σχηματίζει ιδιόμορφους κρυστάλλους, γύρω από μικροσκοπικό πυρήνα ρουτιλίου χωρίς να είναι αναγκαία η παρουσία του τελευταίου. Τέλος, απατίτης, μαγνητίτης και σιδηροπυρίτης συμμετέχουν σαν επουσιώδη ορυκτά.

4.1.2 Σερπεντινίτες

Οι σερπεντινίτες αυτής της κατηγορίας, προέρχονται από θέσεις κοντινές στις περιοχές εμφάνισης των οφίτασβεστιτών, δεν αποτελούν όμως μέλη του σχηματισμού. Εμφανίζουν μη ψευδόμορφη δομή τόσο συμπλεκτική, όσο και αλληλοδιεισδυτική, ανάλογα με τον τρόπο σύμφυσης των συνήθως λεπιδόμορφων (στην πραγματικότητα ινωδών) κρυστάλλων (Εικ. 19). Τα μεγέθη των κρυστάλλων κυμαίνονται από 0,01 έως και >0,5mm και αναπτύσσονται με τυχαίο προσανατολισμό. Κατά θέσεις, εμφανίζονται βασίτες, με μεγέθη που φτάνουν έως και το 1cm. Μέσα στους βασίτες, εντοπίστηκαν σε κάποιες περιπτώσεις, πολύ μικροί πλακώδεις κρύσταλλοι λιζαρδίτη (ο οποίος διαπιστώθηκε και ακτινοσκοπικά, βλ. Παράρτημα), οι οποίοι αναπτύσσονται σε τέτοιες διευθύνσεις που θυμίζουν τον σχισμό του αρχικού πυρόξενου (Εικ. 19d). Οι κρύσταλλοι του λιζαρδίτη, αντικαθίστανται στην συνέχεια από αντιγορίτη. Στις περιπτώσεις αυτές, παρατηρείται χαρακτηριστική ψευδόμορφη δομή, ολικής αντικατάστασης πυρόξενου από σερπεντίνη (αντιγορίτη) διαφορετικής οπτικής συμπεριφοράς, από τον σερπεντίνη της

κύριας μάζας (επίσης αντιγορίτη). Σε λίγες θέσεις, οι βασίτες εμφανίζουν υπολειμματικές περιοχές με πυρόξενο, ο οποίος όμως είναι σε κακή κατάσταση διατήρησης, λόγω της προχωρημένης αντικατάστασης από σερπεντίνη και δεν μπορεί να προσδιοριστεί.

Επίσης, σε ορισμένα δείγματα σερπεντινιτών, παρατηρήθηκαν μικροσκοπικά φλεβίδια τάλκη, ενώ σπάνια (και οριακά) δημιουργείται ιστός κλεψύδρας. Τέλος, παρατηρήθηκαν και μικροσκοπικοί κρύσταλλοι αμιβόλων (σπάνια) και αδιαφανή ορυκτά, κυρίως σπινέλιοι (αλουμινούχοι χρωμίτες) και θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων: μιλλερίτης, πολυδυμίτης, κοβαλτίτης, βιολαρίτης και η φάση $\text{Ni}_3\text{Fe}_2\text{S}_5$. Η φάση αυτή έχει την μορφή υπιδιόμορφου κόκκου μεγέθους περίπου $30\mu\text{m}$ και βρίσκεται σε σύμφυση με βιολαρίτη, κοβαλτίτη και μιλλερίτη. Αξίζει να σημειωθεί πως αντίστοιχη ορυκτή φάση δεν έχει περιγραφεί μέχρι στιγμής στην διεθνή βιβλιογραφία, οπότε χρειάζεται περεταίρω έρευνα για να αποδειχτεί αν πρόκειται για ένα νέο ορυκτό της ομάδας MSS (monosulphide solid solutions). Τέλος, μαζί με τα προηγούμενα θειούχα ορυκτά εμφανίζονται σπινέλιοι και μαγνητίτες, οι οποία συναντώνται διάσπαρτοι στην σερπεντινιτική μάζα, ή κατά συγκεντρώσεις.



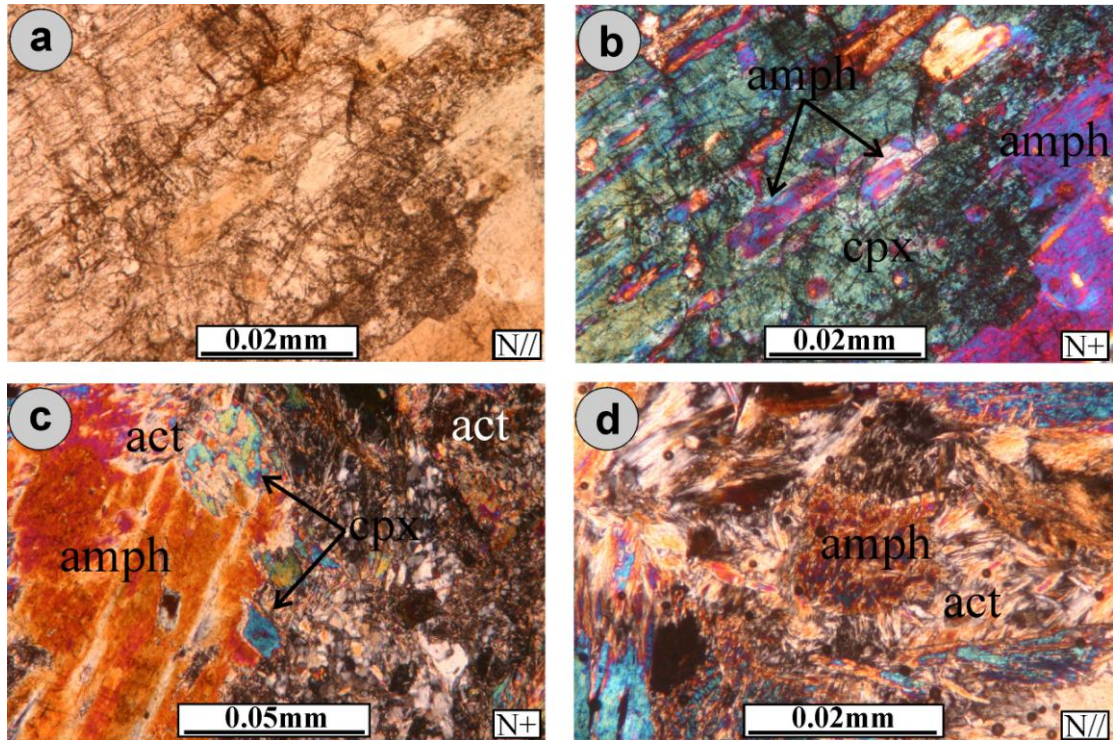
Εικόνα 19: Φωτογραφίες οπτικού μικροσκοπίου από σερπεντινίτες της περιοχής Μαρλά. Πυκνός αλληλοδιεδυτικός ιστός από κρυστάλλους αντιγορίτη (atg) παρουσία μαγνητίτη (mt) (a); Ιστός κυψέλης (mesh texture-b,c); Βασίτης από λιζαρδίτη (liz) που μιμείται τον αρχικό σχισμό του πυρόξενου, τον οποίο αντικατέστησε. Ο λιζαρδίτης στα άκρα του αντικαθίσταται από αντιγορίτη (atg).

4.1.3 Μεταβασίτες

Στην περιοχή μελέτης, συναντώνται σώματα μεταβασιτών, τα οποία βρίσκονται εγκλωβισμένα στους πρασινοσχιστόλιθους. Οι μεταβασίτες αυτοί συνίστανται από μεταμορφωμένους γάββρους και πυροξενίτες.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των μεταγάββρων από την περιοχή του Μαρλά είναι ο χαρακτηριστικός πορφυροβλαστικός ιστός τους. Η κύρια μάζα αποτελείται κυρίως από άστριο (αλβίτη) και λιγότερο χαλαζία που συμφύονται δημιουργώντας γρανοβλαστικό ιστό. Τα ορυκτά αυτά εμφανίζουν ισοδιαμετρικούς, υπιδιόμορφους κρυστάλλους σε μεγέθη 0,01-2mm και δίνουν την εντύπωση ενός νεφελώδους συσσωματώματος. Οι πορφυροκρύσταλλοι αποτελούνται από έντονα πλεοχρωικούς αμφίβλους, κυρίως κεροστίλβη και ακτινόλιθο, που έχουν αντικαταστήσει παλαιούς μαγματικούς πυρόξενους (ψευδομορφώσεις). Οι πυρόξενοι εμφανίζονται μόνο ως υπολείμματα, τα οποία αντικαθίστανται από κεροστίλβη, η οποία με την σειρά της μετατρέπεται σε ακτινόλιθο, ιδίως στα άκρα των κρυστάλλων. Οι κρύσταλλοι των αμφιβόλων έχουν ιδιόμορφο έως υπιδιόμορφο σχήμα και φτάνουν σε μεγέθη μεγαλύτερα των 3mm. Επίσης, παρατηρείται άφθονο επίδοτο με ζωνώσεις, λίγοι κλινοζοϊσίτες και τιτανίτες ενώ σπάνια υπάρχει και πουμελυνίτης. Τέλος, υπάρχουν αρκετά εγκλείσματα βελονοειδών κρυστάλλων ακτινόλιθου μέσα στην λευκοκρατική κύρια μάζα (Εικ. 19).

Σχετικά με τους μεταπυροξενίτες, οι αρχικοί μαγματικοί πυρόξενοι διατηρούνται σε μερικές περιπτώσεις, ενώ αλλού έχουν αντικατασταθεί πλήρως από ακτινόλιθο και κεροστίλβη. Από τις ιστολογικές σχέσεις που παρατηρούνται μεταξύ των ορυκτών φάσεων, είναι εμφανές πως πρώτα δημιουργήθηκαν οι κεροστίλβες, αντικαθιστώντας τους αρχικούς μαγματικούς πυρόξενους και μεταγενέστερα ο ακτινόλιθος, ο οποίος συνήθως περιβάλλει τις κεροστίλβες. Σε περιπτώσεις όπου η αντικατάσταση του πυρόξενου είναι πλήρης, εμφανίζονται πια μεγάλοι (μέχρι και >5mm) ιδιόμορφοι έως υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι κεροστίλβης με χαρακτηριστικό διπλό σχισμό σε γωνία 124°. Σε σημεία όπου υπάρχουν υπολείμματα πυροξένων, η αντικατάσταση έχει γίνει στην περιφέρεια του κρυστάλλου και κατά μήκος των επιπέδων σχισμού. Αλβίτης, τιτανίτης, ρουτίλιο και επίδοτο είναι παρόντα σαν εποψιόση ορυκτά. Συνήθως ο αλβίτης και το επίδοτο αναπτύσσονται στην περιφέρεια κρυστάλλων αμφιβόλων, ενώ στις περιπτώσεις εμφάνισης τιτανίτη, αυτός μπορεί να εγκλείεται σε άλλα ορυκτά ή να περιβάλλει μικρότατους κρυστάλλους ρουτίλιου (έως 0,5mm).



Εικόνα 19: Φωτογραφίες οπτικού μικροσκοπίου από μεταπυροξενίτες (a,b) και μεταγάββρους (c,d) της περιοχής Μαρλά. (a,b) Αντικατάσταση πυροξένου (cpx) από αμφίβολο (amph) στην περιφέρεια και τα επίπεδα σχισμού του κρυστάλλου. (c,d) Υπολείμματα πυροξένου (cpx) που έχει αντικατασταθεί από κεροστίλβη (amph) και ακτινόλιθο (act).

4.1.4 Ταλκικοί σχιστόλιθοι

Οι ταλκικοί σχιστόλιθοι περιβάλλουν σε όλες τις θέσεις μελέτης τα σώματα των οφίτασβεστιτών. Αποτελούνται από θυσανοειδή συσσωματώματα τάλκη (έως και 90%), ενώ μπορεί να συμμετέχουν ακτινόλιθος, τρεμολίτης, χλωρίτης και ελάχιστο επίδοτο σαν επουσιώδη ορυκτά.

4.2 Οφίτασβεστίτες

Στην περίπτωση, των κατακλαστικών και τεκτονο-ιζηματογενών λατυποπαγών, που αποτελούν τους οφίτασβεστίτες, τα βασικά ορυκτολογικά συστατικά είναι τρία: σερπεντινικοί κλάστες, ανθρακικά ορυκτά, με την μορφή κύριας μάζας, συγκολλητικού υλικού και σπανιότερα κλαστών και τέλος, σώματα χρωμιτιτών.

4.2.1 Κατακλαστικοί σερπεντινίτες

Σχετικά με τους κλάστες των σερπεντινιτών, αυτοί εμφανίζουν ακριβώς τα ίδια πετρογραφικά χαρακτηριστικά με αυτά των σερπεντινιτών που εντοπίζονται εκτός του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών. Παρατηρούνται και εδώ τόσο μη ψευδόμορφες όσο και ψευδόμορφες δομές, με την παρουσία των χαρακτηριστικών

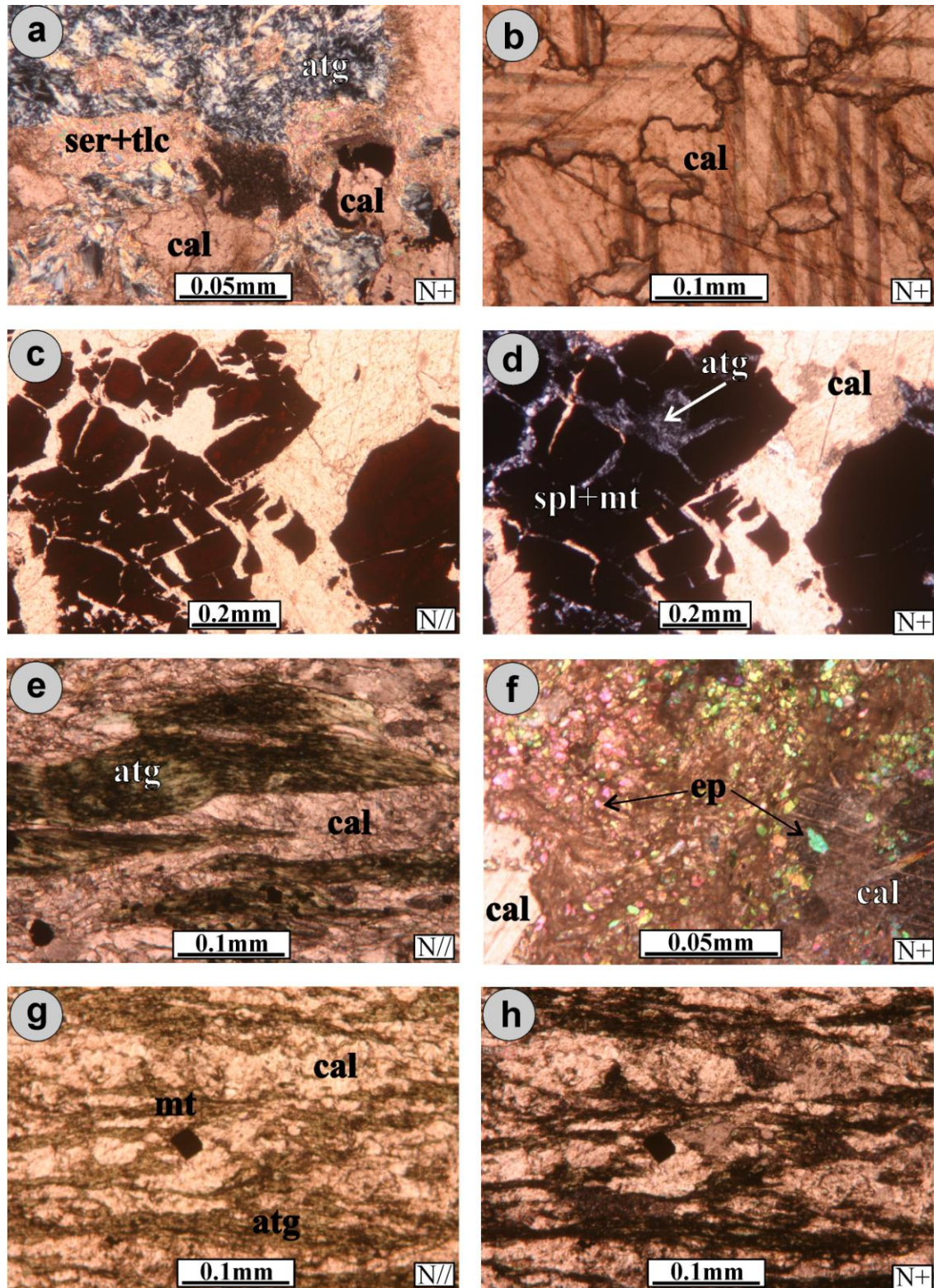
βαστιτών. Οι περισσότεροι βασίτες, αποτελούνται από οπτικά διακριτό αντιγορίτη, αλλά και εδώ, στους σερπεντινιτικούς κλάστες εντοπίστηκαν κρύσταλλοι λιζαρδίτη μέσα σε βασίτες, που αποτελούν υπόλειμμα της πρώιμης αντικατάστασης του κλινοπυρόξενου από λιζαρδίτη, κατά την φάση της υδροθερμικής εξαλλοίωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες (σερπεντινίωση). Επίσης, κατά θέσεις μέσα στους σερπεντινίτες, υπάρχουν εγκλείσματα μικρών κρυστάλλων επιδότου, που μάλλον δημιουργήθηκαν σε κάποια φάση υδροθερμικής εξαλλοίωσης του πετρώματος. Πολύ σπάνια συναντάται επίδοτο και στα όρια μεταξύ κρυστάλλων ασβεστίτη και τμημάτων σερπεντινίτη, μαζί με τάλκη και σερίκίτη. Σε πολλές περιπτώσεις, τα σερπεντινιτικά τεμάχια είναι επιμηκυσμένα και το σχήμα τους είναι ατρακτοειδές ή ελλειψοειδές, με αποτέλεσμα να διατάσσονται με τον μεγάλο τους άξονα παράλληλο προς την διεύθυνση της παραμόρφωσης, δίνοντας έτσι μία προσανατολισμένη υφή στο πέτρωμα.

4.2.2 Ανθρακική φάση

Το δεύτερο βασικό ορυκτολογικό συστατικό στον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών, είναι η ανθρακική φάση. Στην συντριπτική πλειονότητα των δειγμάτων που μελετήθηκαν, η ανθρακική φάση αντιπροσωπεύεται από ασβεστίτη, όμως, σε λίγες περιπτώσεις εντοπίστηκε και δολομίτης.

Ο ασβεστίτης γενικά εμφανίζεται με έντονο διπλό (ρομβοεδρικό) σχισμό, ο οποίος εκφράζεται με χρωματιστές ταινίες στο οπτικό μικροσκόπιο. Το κύριο όμως χαρακτηριστικό που επικρατεί στην περίπτωση των οφίτασβεστιτών, είναι οι δομές αντικατάστασης του αντιγοριτικού σερπεντινίτη από ασβεστίτη (Εικ. 20). Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται μία εικόνα των σερπεντινιτικών κλαστών, στην οποία κυριαρχεί η διάλυση του σερπεντινιτικού υλικού και η αντικατάστασή του από ασβεστίτη, με μικρότερη συμμετοχή τάλκη ή χλωρίτη και τρεμολίτη. Έτσι, παρατηρούνται θέσεις στις οποίες ο ασβεστίτης έχει εισχωρήσει σε περιοχές σερπεντινιτικού υλικού και αναπτύσσεται εις βάρος του ή περιοχές στις οποίες ο ασβεστίτης έχει κρυσταλλωθεί σε ενδιάμεσο χώρο μεταξύ κλαστών σερπεντινίτη, παγιδύοντας ταυτόχρονα μικρότατα τμήματα σερπεντινίτη ή και μεμονωμένους ινώδεις κρυστάλλους αντιγορίτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στα όρια μεταξύ των δύο ορυκτών φάσεων συχνά παρατηρούνται ίχνη χημικής διάλυσης (ανώμαλα όρια) ενώ μπορεί να αναπτύσσεται τάλκης, χλωρίτης ή σερίκίτης. Ο ασβεστίτης εμφανίζει ισχυρό κρυσταλλοβλαστικό ιστό γύρω από μικρά τεμάχια σερπεντινίτη, τα οποία και

συγκολλά. και οι κρύσταλλοί του συνήθως είναι λεπτοκρυσταλλικοί έως πολύ λεπτοκρυσταλλικοί με συνηθέστερα μεγέθη 0,02-0,005 mm.



Εικόνα 20: Φωτογραφίες οπτικού μικροσκοπίου από οφιτασβεστίτες της περιοχής Μαρά; (a) Αντικατάσταση αντιγορίτη (atg) από ασβεστίτη (cal) με την μεσολάβηση τάλκη (tlc) και σερίκίτη (ser); (b) Ξενοτοπικός ιστός σε κρυστάλλους ασβεστίτη; (c,d) Ασβεστίτης σε ρωγμές κόκκων

σπινελίων και μαγνητίτη (spl+mt); (f) Επίδοτο (ep) σε λεπτοκρυσταλλικό ασβεστίτη; (g,h) Λεπιδοβλαστικός ιστός σε φλέβες ασβεστίτη και αντιγορίτη.

Όμως, υπάρχουν και περιοχές, στις οποίες οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη είναι πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων (>10mm) και προφανώς τέτοιες περιοχές αντιστοιχούν στις τελευταίες μεγάλες φλέβες του σχηματισμού.

Οι κρύσταλλοι του ασβεστίτη εμφανίζουν αρκετά συχνά διδυμίες, ενώ σε λίγες περιπτώσεις, ιδίως σε δείγματα που προέρχονται από ζώνες διάτμησης, ο ασβεστίτης παρουσιάζεται με πεπλατυσμένους κρυστάλλους που εμφανίζουν κυματοειδή κατάσβεση, ως αποτέλεσμα του έντονου τεκτονισμού. Επίσης είναι σύνηθες, ιδίως σε μεγάλες αβεστιτικές φλέβες, τα υπολείμματα σερπεντινιτών να εμφανίζονται επιμηκυσμένα και να διατάσσονται προς την διεύθυνση ροής του υλικού κατά την διάρκεια της κρυστάλλωσης των φλεβών αυτών. Στις περιπτώσεις αυτές, ο ιστός του πετρώματος είναι έντονα λεπιδοβλαστικός. Στον λιθότυπο i, που αντιστοιχεί στο κατακλαστικό λατυποπαγές με ενδιάμεσες μυλωνιτωμένες ζώνες, εντοπίζονται κρύσταλλοι ασβεστίτη με χαρακτηριστικό ισοδιαμετρικό (έως 1mm) ξενοτοπικό ιστό (Εικ. 20b), εξαιτίας πίεσης που ασκήθηκε από τεκτονικά αίτια. Αξίζει να σημειωθεί, ότι πολλές από τις αβεστιτικές φλέβες εμφανίζουν πιο αδρούς κρυστάλλους στο εσωτερικό από ότι στην περιφέρεια της φλέβας, που και αυτό αποτελεί ένδειξη του έντονου τεκτονισμού που έχει υποστεί ο οφίτασβεστίτης.

4.2.3 Χρωμιτίτες

Το τρίτο βασικό συστατικό των οφίτασβεστιτών, είναι σώματα χρωμιτιτών, που εντοπίστηκαν στο εσωτερικό του σχηματισμού, στις θέσεις I και II. Η μικροσκοπική και ιστολογική μελέτη, δειγμάτων από αυτό το υλικό, έδειξε ότι πρόκειται για χρωμιτίτες. Οι κρύσταλλοι του σπινελίου (αλουμινούχου χρωμίτη σε ποσοστό ~90%) είναι συνήθως υπιδιόμορφοι και εμφανίζουν έντονο κατακλαστικό ιστό. Στην περιφέρεια και κατά μήκος των επιφανειών θραυσμού, ο σπινέλιος έχει αντικατασταθεί αρχικά από χρωμιούχο μαγνητίτη και στην συνέχεια μαγνητίτη. Επίσης, παρατηρήθηκαν θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων σαν μικρά εγκλείσματα μέσα σε κόκκους σπινελίων, ή ακόμα και στην περιφέρειά τους. Σημαντική είναι η παρουσία χλωρίτη, ο οποίος αναπτύσσεται σε φυλλώδεις κρυστάλλους (έως 1mm). Πρέπει να σημειωθεί, ότι παρατηρήθηκαν φλεβίδια μικροκρυσταλλικού ασβεστίτη να διαπερνούν το παραπάνω ορυκτολογικό σύνολο. Συχνά, στα φλεβίδια αυτά αναπτύσσεται και χλωρίτης (χρωμιούχο κλινόχλωρο) (Εικ. 20c,d).

4.2.4 Επουσιώδη ορυκτά

Πέρα από τα βασικά ορυκτολογικά συστατικά, στον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών, συμμετέχουν σε περιορισμένη ποσότητα και διάφορα άλλα ορυκτολογικά στοιχεία.

Στον λιθότυπο i, ανευρίσκεται λίγος τάλκης και χλωρίτης, ορυκτά που αφθονούν κυρίως στον λιθότυπο ii. Σε αυτήν την περίπτωση, ο τάλκης και ο χλωρίτης σχηματίζουν θυσανοειδή συσσωματώματα, συνοδεύονται από μικροσπαριτικό ή ακόμα και μικριτικό ανθρακικό υλικό (ασβεστίτη) και άφθονα μικρά τεμάχια από σερπεντινίτη σε κυμαινόμενα μεγέθη από 0,01 έως 5mm. Ακτινολίθος και τρεμολίτης μπορεί να είναι παρόντες, με την μορφή βελονοειδών εγκλεισμάτων στην ανθρακική φάση.

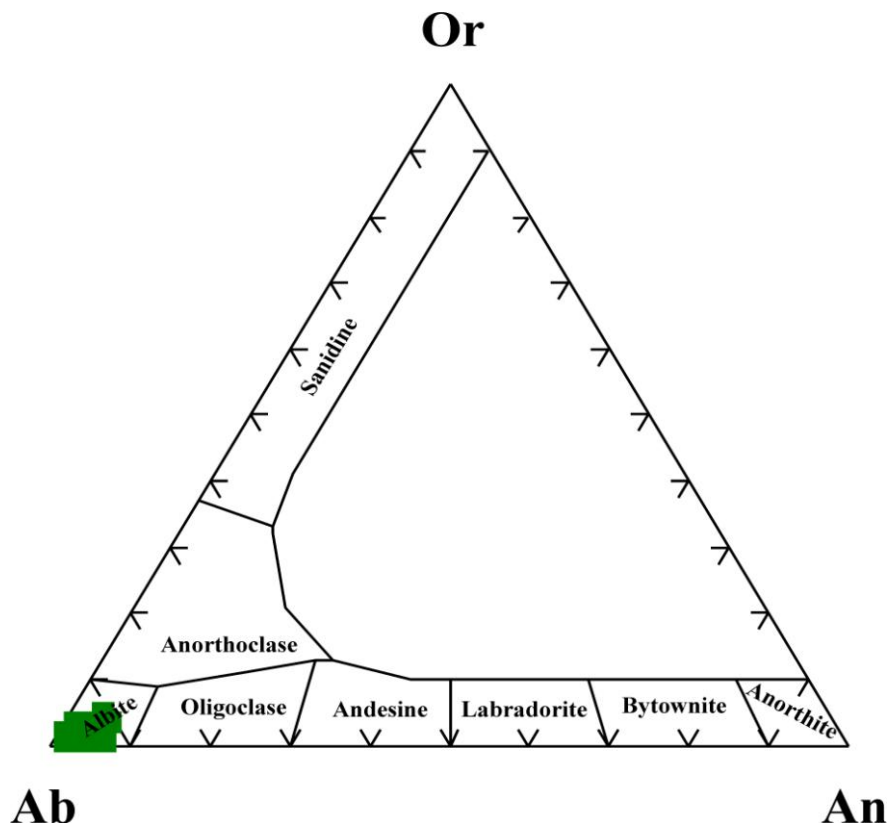
Κατά θέσεις, οι κρύσταλλοι των χλωριτών (χρωμιούχα κλινόχλωρα) που συνήθως εμφανίζονται φυλλώδεις ή λεπιδοειδείς, φτάνουν μεγέθη που φαίνονται και μακροσκοπικά (έως 4cm) ενώ το έντονο καφετί χρώμα τους υποδηλώνουν ότι είναι πλούσιοι σε σίδηρο (αλλά και χρώμιο, όπως έδειξαν οι χημικές αναλύσεις). Στην ίδια λιθοφασική ενότητα, παρατηρείται άφθονος μαγνητίτης, ο οποίος έχει αντικατασταθεί σε πολλές περιπτώσεις από αιματίτη, η παρουσία του οποίου δίνει ένα ρόδινο χρωματισμό στην κύρια μάζα, σε λίγες όμως θέσεις. Ο μαγνητίτης εντοπίζεται σε όλες τις λιθοφασικές ενότητες και είναι άφθονος μέσα στους σερπεντινίτες όπου περιβάλλει ή έχει αντικαταστήσει πλήρως κόκκους σπινέλιων (αλουμινούχων χρωμιτών). Όμως, μαγνητίτης εντοπίζεται και στην ανθρακική φάση του σχηματισμού, περίπτωση που προέρχεται από την δράση ρευστών πλούσιων σε Fe, κατά την μακρά ιστορία σχηματισμού των οφίτασβεστιτών. Τέλος, σε ελάχιστες περιπτώσεις, βρέθηκαν μέσα σε αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων (χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης), η απόθεση των οποίων προέρχεται από επανακινητοποίηση των μετάλλων από τους σερπεντινίτες και εκ νέου καθίζησή τους με την μορφή θειούχων ενώσεων από κάποια φάση υδροθερμικής δραστηριότητας. Τα ορυκτά αυτά εμφανίζονται με την μορφή ιδιόμορφων κόκκων σε μεγέθη από 0,05-5mm, ενώ σε λίγες περιπτώσεις σχηματίζουν συμφύσεις (κυρίως χαλκοπυρίτης και σφαλερίτης) που είναι ορατές και δια γυμνού οφθαλμού.

5. ΟΡΥΚΤΟΧΗΜΕΙΑ - ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

5.1 Ορυκτοχημικές Αναλύσεις

Ορυκτολογικό περιεχόμενο πρασινοσχιστόλιθων

Οι πρασινοσχιστόλιθοι της περιοχής Μαρλά αποτελούνται από αλβίτη, επίδοτο (Πίν. 3), χλωρίτη και ακτινόλιθο. Το ποσοστό του SiO_2 κυμαίνεται μεταξύ 68,68-69,54%, του Al_2O_3 από 18.66-19.65% και του από Na_2O 10,49-11,65%. Οι αλβίτες έχουν ελάχιστο CaO (0-0,23%) και η συμμετοχή του αλβιτικού μορίου είναι >95% (Πίν. 2, Εικ. 21). Κατά θέσεις, οι πρασινοσχιστόλιθοι εμφανίζονται πολύ πλούσιοι σε επίδοτο, το οποίο μπορεί να σχηματίζει ταινίες σε εναλλαγές με πιο πλούσιες σε αλβίτη και ακτινόλιθο περιοχές. Η συμμετοχή του πιστακιτικού μορίου στα επίδοτα κυμαίνεται από 10,21-16,92%, όπως αυτό υπολογίστηκε με βάση την σχέση $\text{Ps}=(100*\text{Fe}^{3+})/(\text{Fe}^{3+}\text{Al})$. Το περιεχόμενό τους σε TiO_2 κυμαίνεται από 0-0,24%, ενώ δεν περιέχουν καθόλου Mn (Πίν. 3, Εικ. 22).



Εικόνα 21. Προβολή στο τριγωνικό διάγραμμα Or-Ab-An, συστάσεων αστρίων από τους πρασινοσχιστόλιθους που περιβάλλουν τον οφίτασβεστίτη της Τήνου.

Ανάλυση	17/5-02	17/5-03	17/5-04	17/5-05	17/5-06	17/5-10	17/5-15	17/5-22	17/5-23	17/5-24
SiO ₂	69,54	68,91	68,68	68,81	68,94	69,22	68,83	68,91	69,1	68,98
Al ₂ O ₃	19,29	19,56	18,94	19,04	18,99	18,66	18,93	19,14	19,13	19,16
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	0	0	0	0	0	0,23	0,1	0,1	0,14	0,12
Na ₂ O	10,49	11,53	11,16	11,13	11,41	11,63	11,49	11,65	11,69	11,6
K ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σύνολο	99,32	100	98,78	98,98	99,34	99,74	99,35	99,8	100,06	99,86
Αριθμός κατιόντων στην βάση 8 (O)										
Si	3,034	3,003	3,024	3,023	3,022	3,027	3,019	3,011	3,012	3,012
Al	0,992	1,005	0,983	0,986	0,981	0,962	0,979	0,986	0,983	0,986
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,005	0,005	0,007	0,006
Na	0,887	0,974	0,953	0,948	0,970	0,986	0,977	0,987	0,988	0,982
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

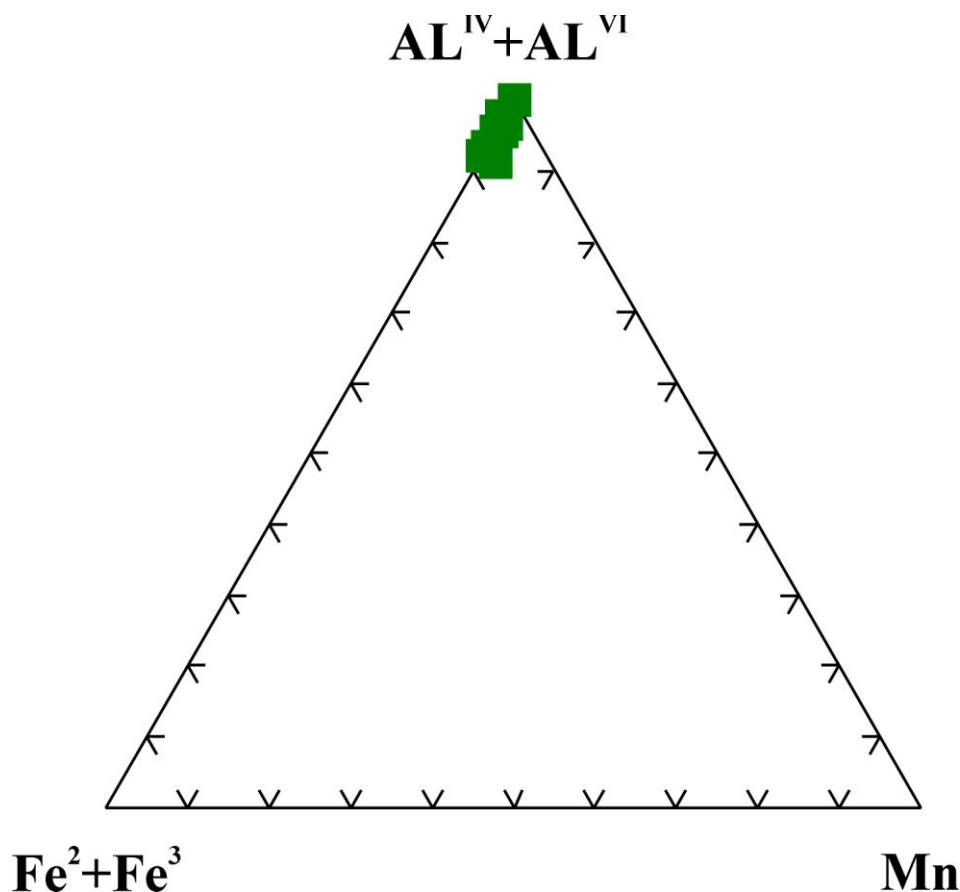
Πίνακας 2. Αντιπροσωπευτικές μικροανλύσεις αλβιτών σε πρασινοσχιστόλιθους, από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων (SEM-EDS). Δείγμα TIM17.

Επίσης, ως δευτερεύοντα ορυκτολογικά συστατικά μπορεί να απαντούν μοσχοβίτης (άχρωμος μαρμαρυγίας), βιοτίτης, χαλαζίας, τιτανίτης, αιματίτης και ασβεστίτης. Τόσο η ορυκτολογία, όσο και η λεπτόκοκκη εικόνα που εμφανίζουν οι πρασινοσχιστόλιθοι στο μικροσκόπιο, αποτελούν στοιχεία που ενισχύουν την προέλευσή τους από έναν βασικό ηφαιστειακό πρωτόλιθο (λάβες ή ακόμα και πυροκλαστίτες).

Ανάλυση	17/5-01	17/5-27	17/5-28	17/5-31	17/5-34	17/5-36	17/5-36	17/5-40	17/5-41	17/5-42
SiO ₂	38,80	39,97	38,38	38,61	39,18	38,56	38,58	39,38	39,89	39,25
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,06	0,19	0,24	0,07	0,21	0,09	0,14
Al ₂ O ₃	28,29	28,39	27,64	27,61	27,06	27,26	27,74	28,00	27,06	27,34
FeO	5,30	4,55	5,94	5,80	7,56	7,13	7,04	6,29	6,70	6,78
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	24,09	25,15	23,73	23,42	22,81	23,11	23,63	24,98	23,71	23,72
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	96,48	98,23	95,69	95,50	96,80	96,30	97,06	98,86	97,45	97,23
Αριθμός κατιόντων στην βάση 25 (O)										
Si	6,145	6,201	6,150	6,185	6,229	6,164	6,123	6,130	6,281	6,205
Ti	0,000	0,000	0,000	0,007	0,023	0,029	0,008	0,025	0,011	0,017

Al	5,280	5,191	5,220	5,213	5,070	5,136	5,189	5,137	5,022	5,094
Fe²⁺	0,702	0,590	0,796	0,777	1,005	0,953	0,934	0,819	0,882	0,896
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	4,088	4,181	4,074	4,020	3,885	3,958	4,018	4,166	4,000	4,018
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Πίνακας 3. Αντιπροσωπευτικές μικροανλύσεις επίδοτων σε πρασινοσχιστόλιθους από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων (SEM-EDS). Δείγμα TIM 17.



Εικόνα 22. Προβολή συστάσεων επίδοτων από πρασινοσχιστόλιθους της ανώτερης ενότητας στο τριαδικό διάγραμμα (Al^{IV}+Al^{VI})-Fe²⁺+Fe³⁺-Mn. Δείγμα TIM 17.

Ορυκτολογικό περιεχόμενο σερπεντινιτών

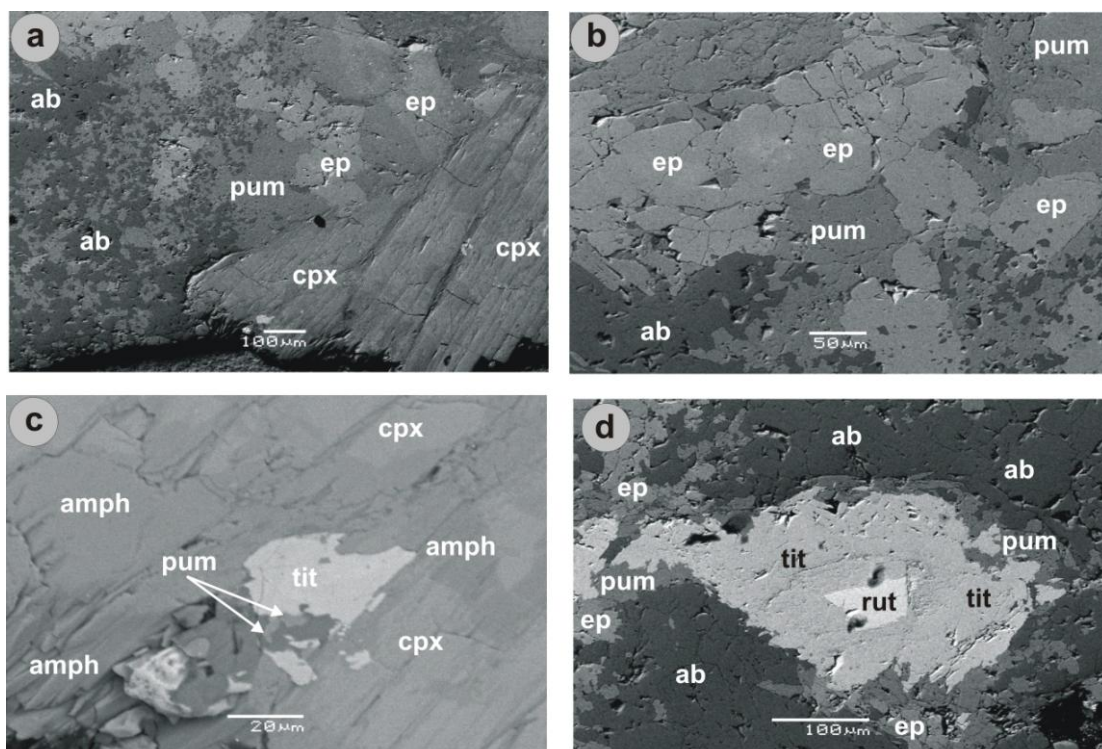
Μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους, εντοπίζονται κατά θέσεις σώματα σερπεντινιτών με διαστάσεις που κυμαίνονται από μερικά έως αρκετές δεκάδες μέτρα. Οι σερπεντινίτες αυτοί, είναι συμπαγείς, με σκούρο πράσινο χρώμα και εμφανείς βασίτες, σε μεγέθη 1-2cm, με ανοικτότερο πράσινο χρώμα. Δείγματα από αυτούς τους σερπεντινίτες μελετήθηκαν για να διαπιστωθούν τυχόν ομοιότητες ή διαφορές μεταξύ αυτών και των σερπεντινιτών του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών.

Αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από αντιγορίτη, ενώ σε σημαντικά μικρότερα ποσοστά συμμετέχουν σπινέλιοι, μαγνητίτες και θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων. Οι αντιγορίτες εμφανίζουν μικρά ποσοστά Al_2O_3 (0-2%) ενώ ο FeO μπορεί να κυμαίνεται σημαντικά (1,46-7,01%). Σε λίγες περιπτώσεις εντοπίστηκε και μικρή συμμετοχή NiO (έως 0,74%). Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι δεν περιέχουν καθόλου Cr_2O_3 .

Ορυκτολογικό περιεχόμενο μεταβασιτών

Στην περιοχή κοντά στο λατομείο Διονύσου, εντοπίστηκε ένα σύνολο πετρωμάτων που μπορεί να αποδοθεί με βεβαιότητα στα βασικά τμήματα του οφιολιθικού συμπλέγματος που αντιπροσωπεύει η ανώτερη ενότητα των πρασινοσχιστόλιθων. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν μεταμορφωμένοι γάββροι και πυροξενίτες, σε σώματα διαστάσεων μερικών μέτρων, τα οποία βρίσκονται μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους.

Οι μεταγάββροι εμφανίζονται στρωματώδεις, με εναλλαγές λευκοκρατικών (αλβίτης) και μελανοκρατικών (αμφίβολοι) ταινιών, πάχους γενικά μικρότερου των 5cm.



Εικόνα 23. Φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου SEM-EDS, από παραγενέσεις μεταβασιτών της περιοχής του Μαρλά. Δείγμα TIM 36 (μεταγάββρος).

Μελέτη δειγμάτων σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (Εικ. 23), έδειξε ότι αποτελούνται από υπιδιόμορφους φαινοκρυστάλλους ασβεστούχων αμφιβόλων, οι οποίοι φτάνουν μεγέθη τα οποία είναι ορατά ακόμη και διά γυμνού οφθαλμού. Γενικά μπορεί να αναφερθεί ότι ο αρχικός πυριγενής ιστός δεν έχει καταστραφεί ολοκληρωτικά, ενώ απουσιάζει οποιοσδήποτε προσανατολισμός των ορυκτολογικών συστατικών. Από αναλύσεις στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, προέκυψε ότι πρόκειται για κεροστίλβες, που αντικαθίστανται από ακτινόλιθο ή/και τρεμολίτη. Η αντικατάσταση μπορεί να είναι πλήρης, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες διατηρείται πυρήνας από κεροστίλβη, ενώ γύρω του αναπτύσσεται ακτινόλιθος και σπανιότερα τρεμολίτης. Παρατηρήθηκαν ακόμα και κάποια πολύ μικροσκοπικά εγκλείσματα υπολειμματικών πυρόξενων, με την μορφή αλλοτριόμορφων κρυστάλλων μέσα σε πρίσματα αμφιβόλων, εντός της κύριας μάζας. Όλοι οι παραπάνω φαινοκρύσταλλοι πλέουν σε μία πολύ καλά αναπτυγμένη λεπτοκρυσταλλική κύρια μάζα. Η σύστασή της αποτελείται κυρίως από αλβίτη και δευτερευόντως από χλωρίτη, πουμπελυίτη και κλινοζωισίτη, ενώ ως επουσιώδη ορυκτά εμφανίζονται τιτανίτης (Πίν. 5), ρουτίλιο, βιοτίτης και μεταλλικά ορυκτά. Οι πουμπελυίτες εμφανίζουν τυπικές συστάσεις με κυμαινόμενα ποσοστά FeO (1,42-3,10%) και MgO (2,77-3,95%) (Πίν. 6). Ο τιτανίτης συνήθως αναπτύσσεται γύρω από μικρούς υπιδιόμορφους κρυστάλλους ρουτιλίου. Διαπιστώθηκε περιορισμένη συμμετοχή Al_2O_3 (0-2%) στο πλέγμα του ορυκτού καθώς και μικρή συμμετοχή FeO (0-1.46%). Αξίζει να σημειωθεί πως έχουν διατηρηθεί κατά θέσεις και κρύσταλλοι μαγνητίτη, προερχόμενοι πιθανόν από αντικατάσταση αρχικών σπινέλιων.

Ανάλυση	37/1-05	37/1-07	37/2-01	37/3-01	37/3-02	37/3-04	37/3-06	37/3-07	37/4-05	37/4-06
SiO ₂	39,26	39,80	39,91	38,99	39,34	39,42	41,57	39,64	37,51	39,18
Al ₂ O ₃	23,36	22,37	26,76	25,88	25,59	26,57	27,67	26,05	25,10	26,02
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	2,35	2,03	2,01	1,48	1,42	1,46	2,26	1,61	1,68	3,10
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	3,59	3,77	3,49	3,75	3,95	3,71	3,73	3,86	3,66	2,77
CaO	22,24	21,67	23,16	22,88	23,37	23,31	23,28	23,28	23,17	23,26
Na ₂ O	0,00	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	90,80	90,38	95,33	93,12	93,73	94,47	98,51	94,44	91,12	94,53
Αριθμός κατιόντων στην βάση 24,5 (O)										
Si	6,372	6,483	6,156	6,152	6,173	6,130	6,193	6,171	6,083	6,141
Al	4,468	4,295	4,865	4,812	4,733	4,870	4,859	4,780	4,797	4,807

Ti	0,000	0,000	0,000	0,017	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024
Fe³⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe²⁺	0,319	0,277	0,259	0,195	0,186	0,190	0,282	0,210	0,228	0,406
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,868	0,915	0,802	0,882	0,924	0,860	0,828	0,896	0,885	0,647
Ca	3,867	3,782	3,828	3,868	3,929	3,884	3,716	3,883	4,026	3,906
Na	0,000	0,234	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Πίνακας 4. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις πουμπελιτών σε μεταγάββρους, από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (SEM-EDS). Δείγμα TIM 37 (μεταγάββρος).

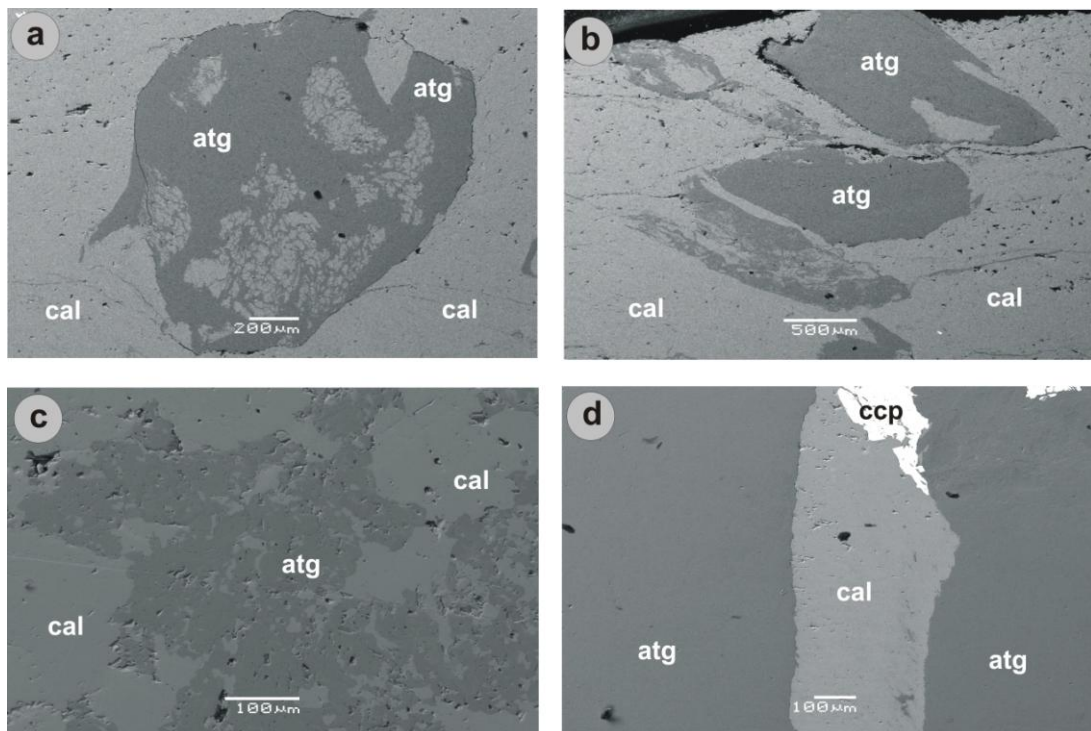
Ανάλυση	15/1-01	15/1-02	15/1-03	15/1-04	15/1-05	15/1-06	37/1-03	37/1-04	37/1-09	37/4-03	37/4-01
SiO₂	31,59	32,36	31,26	31,93	31,67	32,44	31,01	31,24	31,33	30,66	31,15
TiO₂	39,40	39,35	39,29	38,50	39,01	38,85	39,20	36,74	38,64	40,81	40,02
Al₂O₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,76	0,00	0,00
FeO	0,72	1,21	0,88	1,46	1,45	0,84	0,76	1,10	0,79	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	27,77	28,41	27,83	28,21	27,91	27,76	28,42	28,07	27,91	28,02	28,53
Na₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	99,47	101,33	99,27	100,11	100,04	99,89	99,38	99,15	99,43	99,49	99,7
Αριθμός κατιόντων στην βάση 10 (O)											
Si	2,067	2,083	2,054	2,084	2,068	2,103	2,039	2,052	2,052	2,008	2,035
Ti	1,939	1,905	1,942	1,890	1,916	1,911	1,939	1,814	1,903	2,010	1,966
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,155	0,059	0,000	0,000
Fe²⁺	0,039	0,065	0,048	0,080	0,079	0,046	0,042	0,060	0,043	0,000	0,000
Ca	1,947	1,959	1,960	1,973	1,953	1,928	2,002	1,975	1,959	1,966	1,997
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sum cat	5,953	5,947	5,956	5,947	5,937	5,942	5,980	5,841	5,914	5,984	5,998

Πίνακας 5. Αντιπροσωπευτικές μικροαναλύσεις τιτανιτών από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (SEM-EDS), από δείγματα μεταγάββρων.

Η δεύτερη λιθολογία των μεταπυροξενιτών, απαντά σε εντυπωσιακά μπλοκ διαστάσεων μερικών μέτρων σε γειτονία με τα μπλοκ των μεταγάββρων. Οι πυροξενίτες, οι οποίοι μέχρι στιγμής δεν έχουν αναφερθεί από μελέτες προηγούμενων ερευνητών στην ευρύτερη περιοχή του Μαρλά, εμφανίζονται ως διακριτοί όγκοι, αποτελούμενοι σχεδόν ολοκληρωτικά από βραχυπρισματικούς κρυστάλλους ελαιοπράσινου χρώματος, σε μεγέθη που φτάνουν τα 3-5cm. Μικροσκοπική μελέτη των ανωτέρω πυροξενιτών, έδειξε ότι οι μαγματικοί πρωτογενείς πυροξένοι έχουν διατηρηθεί σε μεγάλο βαθμό. Γύρω από τους κρυστάλλους όμως έχουν αναπτυχθεί αντιδρασιογενείς στεφάνες από αμφίβολο (κεροστίλβη ή/και ακτινόλιθο). Η κύρια μάζα είναι ίδια με αυτή των μεταγάββρων.

Ορυκτολογικό περιεχόμενο οφίτασβεστιτών

Τα ορυκτά που εντοπίζονται στον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών, πέρα από τον σερπεντίνη και τον ασβεστίτη δεν είναι ιδιαίτερα πολλά. Οι κλάστες που αποτελούν τους οφίτασβεστίτες στην ΒΔ Τήνο είναι μόνο τριών κατηγοριών: (i) σερπεντινίτες, (ii) ασβεστίτες και (iii) σώματα χρωμιτιτών. Το συγκολλητικό υλικό μεταξύ των κλαστών, είναι στην συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων ασβεστίτης, αν και παρατηρήθηκε και αντικατάσταση του τελευταίου από δολομίτη. Σε πολύ μικρότερη συμμετοχή, σαν δευτερεύοντα ορυκτολογικά συστατικά των οφίτασβεστιτών αναπτύσσονται χλωρίτης (Cr-κλινόχλωρο), τάλκης, αμφίβολοι και ορυκτά της ομάδας του επίδοτου, ιδίως σε περιοχές όπου αναπτύσσονται ζώνες διάτμησης και σε τμήματα του σχηματισμού που παρατηρείται αφθονία κύριας μάζας. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η βασική εικόνα που εμφανίζεται είναι η αντικατάσταση του σερπεντινιτικού υλικού από ασβεστίτη, καθώς και η πλήρωση ρωγμών μεταξύ σερπεντινιτικών τεμαχών από ασβεστίτη και λεπτοκρυσταλλικό αντιγορίτη (Εικ 24).



Εικόνα 24. Φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου SEM-EDS, από δείγματα οφίτασβεστιτών. Χαρακτηριστικές μορφές αντικατάστασης αντιγορίτη (atg) από ασβεστίτη (cal) (a,b,c); φλεβίδιο ασβεστίτη (cal) με χαλκοπυρίτη (ccp) που διασχίζει αντιγορίτικο σερπεντινίτη (atg). Δείγμα TIM4.

Σερπεντίνης

Σε όλα τα δείγματα των σερπεντινιτών που μελετήθηκαν, από όλα τα τμήματα των οφίτασβεστιτών, οι σερπεντινίτες αποτελούνται ολοκληρωτικά από

μικροσκοπικούς κρυστάλλους αντιγορίτη. Παρουσιάζουν στην πλειονότητα των δειγμάτων, μη ψευδομορφικό ιστό, αποτελούμενο από οπτικά διακριτούς αλληλοδιεισδύοντες (interpenetrating) λεπιδοειδείς κρυστάλλους αντιγορίτη. Οι κρύσταλλοι αυτοί είναι τυχαία διατεταγμένοι, δίνοντας την εικόνα ινωδών συσσωματωμάτων, ανεπτυγμένων σε μία πληθώρα διευθύνσεων. Συχνό ιστολογικό γνώρισμα των σερπεντινιτών αυτών είναι ο ιστός κυψελών (mesh texture), αλλά και ο ιστός κλεψύδρας (hourglass texture), που παρατηρείται σπανιότερα.

Αναλύσεις από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, έδειξαν ότι οι ανιγορίτες περιέχουν 39,31-42,44% SiO_2 και εμφανίζουν σχετικά μεγάλη διακύμανση στο ποσοστό του περιεχόμενου FeO (2,56-7,14%) (Πίν. 6).

Χαρακτηριστικός ψευδομορφικός ιστός απαντάται σε περιπτώσεις όπου εντοπίζονται βασίτες, στους οποίους η αντικατάσταση του αρχικού ορυκτού (κλινοπυρόξενος) από αντιγορίτη, είναι πλήρης. Ένα άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα των σερπεντινιτικών κλαστών είναι ότι σε όλους εντοπίστηκαν σπινέλιοι, οι συστάσεις των οποίων αντιστοιχούν σε αλουμινούχους χρωμίτες (aluminian chromites). Οι κρύσταλλοι των σπινελίων εμφανίζονται συνήθως υπιδιόμορφοι, διάσπαρτοι μέσα στην σερπεντινιτική κύρια μάζα.

Σε κάποια δείγματα, οι κρύσταλλοι των σπινελίων εντοπίστηκαν σε αθροίσματα γύρω από ασβεστιτικές φλέβες διατεταγμένοι κατά μήκος τους ή ακόμα και μέσα σε κάποιες από αυτές. Το γεγονός αυτό φανερώνει την μερική αναδιάρθρωση κάποιων ορυκτολογικών συστατικών των σερπεντινιτών κατά την διάρκεια της υδροθερμικής εξαλλοίωσης και της κρυστάλλωσης των ασβεστιτικών φλεβών. Επίσης, σε ορισμένους σερπεντινίτες, προσδιορίστηκαν και θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων (Fe, Cu, Ni, Co, As). Τα ορυκτά αυτά εμφανίζονται γενικά με ιδιόμορφους ως υπιδιόμορφους κρυστάλλους και μεγέθη που κυμαίνονται από μικρότερα από 0,02mm έως και λίγα mm (Εικ. 25).

Αξίζει να σημειωθεί πως τέτοιου είδους ορυκτά είναι συχνότερα σε περιπτώσεις ζωνών διάτμησης που έχουν αναπτυχθεί μέσα σε σερπεντινίτες, γεγονός που υποδηλώνει το ότι μπορεί να σχηματίστηκαν από επανακινητοποίηση των μετάλλων κατά την διάρκεια της φάσης της διάτμησης. Τα μεταλλικά ορυκτά που εντοπίστηκαν είναι ο χαλκοπυρίτης, ο σφαλερίτης, ο σίδηροπυρίτης, ο πεντλανδίτης, ο μιλλερίτης, ο πολυδυμίτης, ο βιολαρίτης και ο κοβαλτίτης.

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

Ανάλυση	30-02-05	30-03-06	30-03-08	30-03-09	30-03-10	30-04-02	30-05-01	30-05-02	35-05-03	35-05-04	11-01-01	11-01-02	11-01-03	11-01-04
SiO ₂	42,40	44,74	42,26	41,54	41,88	43,30	42,65	42,04	41,91	41,96	39,51	39,31	40,60	39,32
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	1,98	1,92	1,89
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	2,56	2,33	2,10	3,62	1,96	1,52	1,46	2,31	1,96	1,84	7,01	6,58	6,56	7,14
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	37,94	39,07	38,12	37,53	38,39	38,56	38,27	37,70	37,44	37,52	32,44	32,34	33,24	32,30
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,74	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σύνολο	82,90	86,14	82,48	82,69	82,23	83,51	82,38	82,76	82,05	81,86	80,96	80,21	82,32	80,65
Αριθμός κατιόντων στην βάση 9 (Ο)														
Si	2,659	2,690	2,658	2,632	2,643	2,677	2,674	2,661	2,670	2,671	2,600	2,605	2,617	2,600
Al	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,155	0,155	0,146	0,147
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ²⁺	0,134	0,117	0,110	0,192	0,103	0,079	0,077	0,122	0,104	0,098	0,386	0,365	0,354	0,395
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	3,547	3,502	3,574	3,544	3,611	3,553	3,576	3,556	3,555	3,560	3,182	3,194	3,194	3,184
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

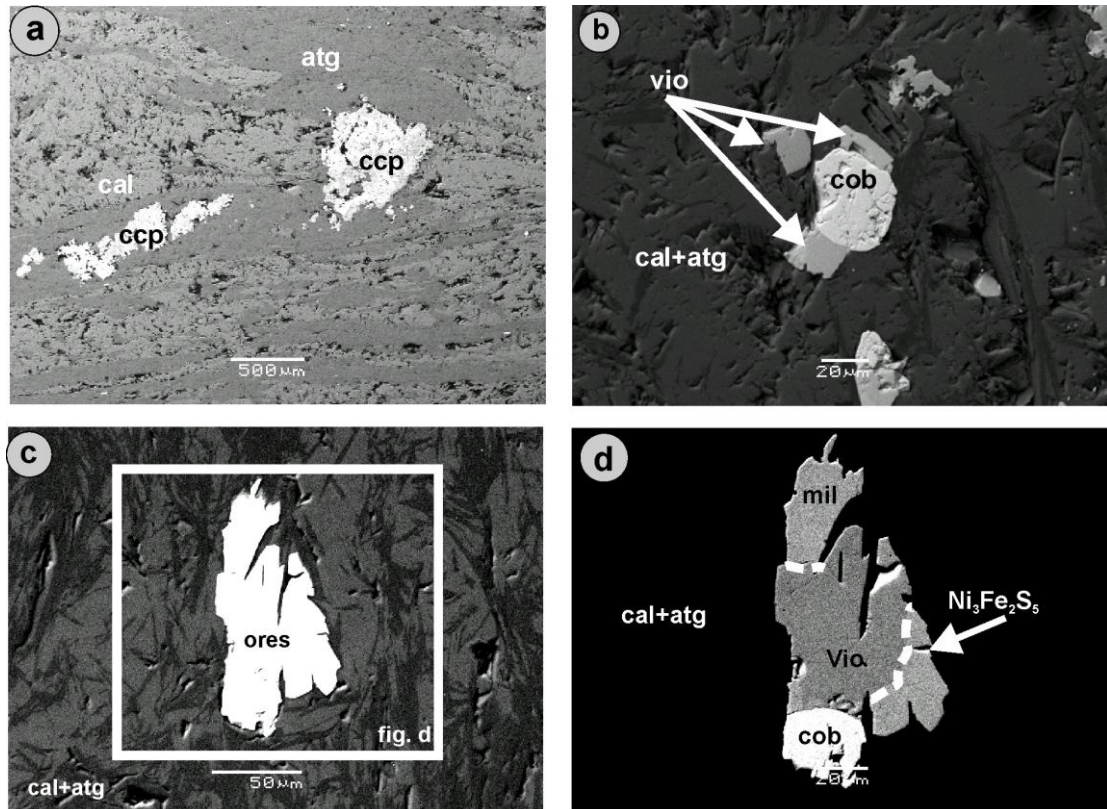
Πίνακας 6. Αντιπροσωπευτικές μικροανλύσεις αντιγοριτών, από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (SEM-EDS). Οι αντιγορίτες προέρχονται από σερπεντινίτες τόσο εντός όσο και εκτός του οφίτασβεστιτικού σχηματισμού.

Ανάλυση	28/6-02	28/1-02	28/1-03	28/6-03	28/1-05	28/1-06	28/1-07	28/6-09	28/6-20	28/6-21
As	47,21	47,43	47,04	47,45	47,01	-	-	-	-	-
Fe	0,89	0,91	1,01	1,27	1,48	14,03	13,87	11,93	11,97	12,49
Co	29,52	29,05	29,05	27,66	27,93	8,09	7,98	9,9	10,02	9,66
Ni	4,61	4,58	4,78	5,36	5,33	35,62	35,05	35,39	34,69	35,45
S	18,6	18,14	17,95	18,82	18,24	42,85	42,5	42,85	42,53	41,68
Total	100,83	100,11	99,83	100,55	99,99	100,6	99,39	100,08	99,2	99,29
αναγωγή στα	3 άτομα (κοβαλτίτης)					7 άτομα (βιολαρίτης)				
As	1,047	1,064	1,058	1,054	1,053	-	-	-	-	-
Fe	0,027	0,027	0,03	0,038	0,044	0,754	0,754	0,065	0,652	0,083
Co	0,832	0,828	0,831	0,781	0,795	0,412	0,411	0,507	0,517	0,501
Ni	4,35	0,131	0,137	0,152	0,152	1,821	1,813	1,818	1,8	1,845
S	0,964	0,95	0,944	0,977	0,955	4,012	4,021	4,031	4,034	3,991

Ανάλυση	28/7-1	28/9-1	28/9-2	28/6-13	28/6-4	28/6-7	28/6-8	28/6-9
As	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	15,17	13,15	12,82	1,01	0,95	24,28	23,91	23,92
Co	7,03	9,88	9,72	0,46	0,21	0,36	0,51	0,42
Ni	35,38	33,99	33,84	62,07	63,1	42,33	41,8	41,35
S	42,25	42,58	42,01	35,95	35,14	33,72	33,78	33,62
Total	100,03	99,6	98,38	99,49	99,39	100,7	100	99,3
αναγωγή στα	9 άτομα (πολυδυμίτης)			2 άτομα (μυλλερίτης)		10 άτομα (φάση Ni₃Fe₂S₅)		
As	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe	1,174	1,019	1,007	0,016	0,015	1,964	1,944	1,957
Co	0,516	0,726	0,723	0,007	0,003	0,028	0,039	0,032
Ni	2,618	25,06	2,527	0,959	0,989	3,257	3,253	3,219
S	5,998	5,794	5,844	1,017	1,000	4,751	4,784	4,792

Πίνακας 7. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (SEM-EDS), θειούχων ορυκτών βασικών μετάλλων, από δείγματα σερπεντινιτών του σχηματισμού των οφίταςβεστιτών. Δείγμα TIM28.

Να τονιστεί εδώ, ότι σε μία περίπτωση, βρέθηκε η φάση **Ni₃Fe₂S₅** (Εικ 25d), η οποία δεν έχει περιγραφεί μέχρι στιγμής στην βιβλιογραφία από την Τήνο. Πρόκειται για μέλος της ομάδας ορυκτών γνωστών ως MSS (monosulphide solid solutions), που είναι μεικτές φάσεις, οι οποίες όταν απομινγνύονται δημιουργούν σουλφίδια Ni, Fe και Co. Η φάση αυτή εμφανίζεται με την μορφή υπιδιόμορφου κόκκου μεγέθους περίπου 30μm και συμφύεται με μυλλερίτη, βιολαρίτη και κοβαλτίτη. Το συσσωμάτωμα αυτό των μεταλλικών ορυκτών, βρίσκεται εγκλεισμένο σε ασβεστιτική φλέβα που περιέχει ινώδεις κρυστάλλους αντιγορίτη. Συστάσεις όλων των παραπάνω μεταλλικών ορυκτών που αναλύθηκαν, από δείγματα σερπεντινιτών της Τήνου παρατίθενται στον πίνακα 7, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι αναλύσεις που έγιναν έδωσαν συστάσεις που ανταποκρίνονται απόλυτα στις στοιχειομετρικές αναλογίες των ορυκτών.

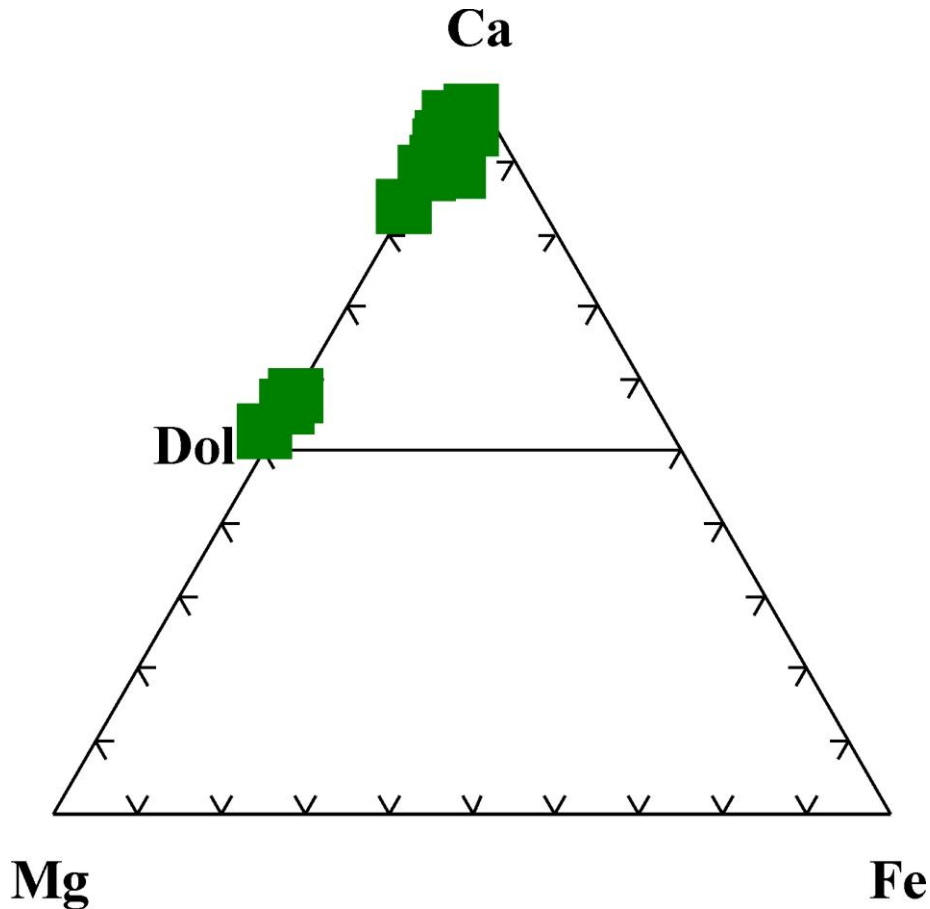


Εικόνα 25: Φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM-EDS) από θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων: (a) χαλκοπυρίτης (ccp) σε αντιγορίτη (atg) και ασβεστίτη (cal). (b) Σύμφυση βιολαρίτη (vio) και κοβαλτίτη (cob) σε ασβεστίτη και αντιγορίτη. (c,d) Σύμφυση μίλλερίτη (mil), βιολαρίτη, κοβαλτίτη και της φάσης $\text{Ni}_3\text{Fe}_2\text{S}_5$ από σερπεντινίτη.

Ασβεστίτης και Δολομίτης

Το δεύτερο βασικό ορυκτολογικό συστατικό των οφιτασβεστιτών είναι φυσικά ο η ανθρακική φάση, που εκφράζεται στην συντριπτική πλειοψηφία των δειγμάτων που εξετάστηκαν, με την μορφή του ασβεστίτη (Εικ. 26). Μικροαναλύσεις έδωσαν μικρή συμμετοχή μαγνησίου (MgO έως 6.22%) και σε λίγες περιπτώσεις ελάχιστο MnO (έως 0,44%). Πολύ σπανιότερα, εμφανίζεται και δολομίτης. Στους οφιτασβεστίτες της Τήνου, ο ασβεστίτης έχει εντοπιστεί ως συγκολλητικό υλικό, ως βασικό συστατικό της κύριας μάζας τους και σε λίγες περιπτώσεις ως κλάστης. Η πιο συχνή μορφή εμφάνισης του ασβεστίτη είναι σε φλεβίδια και φλέβες οι διαστάσεις των οποίων ποικίλουν πολύ, τόσο σε μήκος όσο και σε εύρος. Υπάρχουν φλέβες μήκους δεκάδων εκατοστών και εύρους λίγων εκατοστών που αναπτύσσονται γύρω ή και μέσα από τους σερπεντινιτικούς κλάστες. Οι φλέβες αυτές διατάσσονται τυχαία στον χώρο, δίνοντας μία εικόνα χαώδη, στην οποία σερπεντινιτικοί κλάστες περιβάλλονται πλήρως από το πυκνότερο αυτό δίκτυο των ασβεστιτικών φλεβών. Παρατηρήθηκαν

όμως, και φλέβες οι οποίες εμφανίζουν μία συστηματικότητα στην διεύθυνση ανάπτυξής τους, δημιουργώντας συστήματα παράλληλων ή υποπαράλληλων φλεβών.



Εικόνα 26: Προβολή συστάσεων ανθρακικών ορυκτών από τους οφιτασβεστίτες της Τήνου στο διάγραμμα Ca-Mg-Fe (Rock., 1987, 1991).

Επίσης, ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των θέσεων που μελετήθηκαν, είναι φλέβες αδροκρυσταλλικού ασβεστίτη και αντιγορίτη, οι οποίες διατέμνουν όλες τις υπόλοιπες γενεές φλεβών. Οι συγκεκριμένες φλέβες ξεπερνούν κατά αρκετές τάξεις μεγέθους τις άλλες φλέβες, ενώ τέμνουν συνήθως υπό μεγάλη γωνία όλες τις προϋπάρχουσες δομές των οφιτασβεστιτών. Από το γεγονός αυτό, συμπεραίνεται ότι η δημιουργία αυτών των φλεβών οφείλεται στο τελευταίο υδροθερμικό γεγονός που επηρέασε τον σχηματισμό.

Ο δολομίτης, συναντάται σχετικά σπάνια στους οφιτασβεστίτες της Τήνου. Μικροαναλύσεις έδειξαν ότι το ποσοστό του περιεχόμενου MgO φτάνει μέχρι και 25,22%. Αξίζει να σημειωθεί ότι δολομίτης βρέθηκε σε δείγματα τα οποία σχετίζονται με ζώνες διάτμησης, τόσο στην θέση II όσο και στην θέση V, οπότε πιθανολογείται ότι δημιουργήθηκε από ρευστά που σχετίζονται με την φάση της

διατμησιγενούς παραμόρφωσης, όπου αντικατέστησε τοπικά τον προϋπάρχοντα ασβεστίτη.

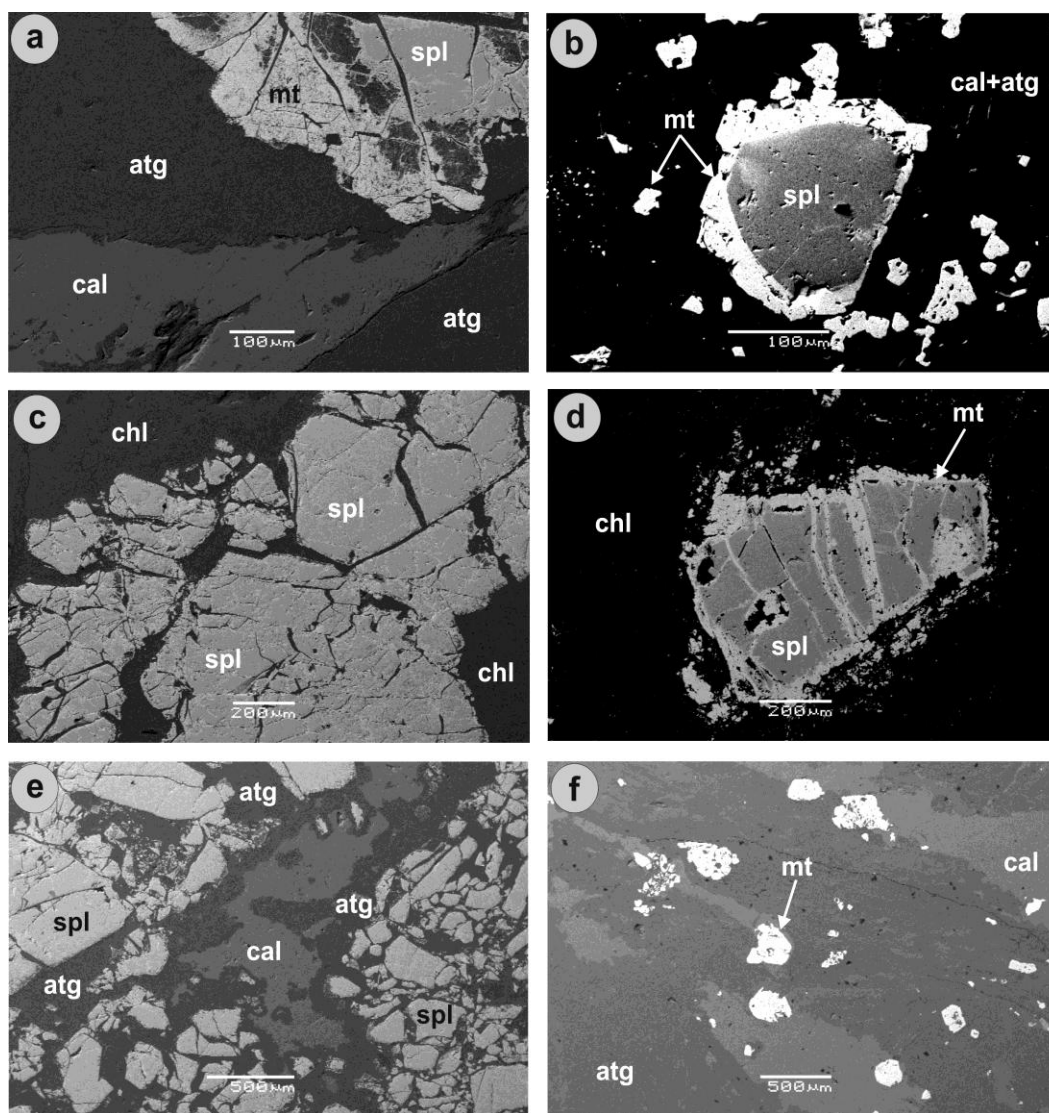
Σπινέλιοι

Στην θέση II, εντοπίστηκαν λίγες περιοχές στις οποίες μέσα στον οφίτασβεστίτη παρατηρήθηκαν μεγάλοι κλάστες αποτελούμενοι από λεπτόκοκκο συσσωμάτωμα χρωμιτών και χλωρίτη. Πρόκειται για δύο θέσεις στις οποίες αναπτύσσονται ακανόνιστου σχήματος σώματα σκούρου καφέ ως μαύρου χρώματος. Τα σώματα αυτά, περιβάλλονται από πράσινο πέτρωμα, η μακροσκοπική παρατήρηση του οποίου δίνει την εντύπωση ότι πρόκειται για τεμάχια μεταμορφωμένου δουνίτη (δεν στάθηκε δυνατή η δειγματοληψία). Οι συνολικές διαστάσεις των όγκων αυτών είναι μερικά μέτρα (μικρότερα από 10m) και σχηματίζουν ένα αδρό λατυποπαγές τα θραύσματα του οποίου είναι συγκολλημένα με λευκό αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη. Η μελέτη δειγμάτων τόσο στο οπτικό όσο και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, έδειξε ότι πρόκειται για αλουμινούχους χρωμίτες που παρουσιάζουν κατακλαστικό ιστό και στην περιφέρειά τους αντικαθίστανται από μαγνητίτη (Εικ. 27). Οι χρωμίτες αυτοί εμφανίζονται γενικά ως υπιδιόμορφοι κρύσταλλοι και βρίσκονται σε γειτονία με χρωμιούχο χλωρίτη αλλά και ασβεστίτη, ο οποίος συναντάται σε μικρά φλεβίδια. Το χρώμιο στους σπινέλιους κυμαίνεται από 50,77-55,83%, ενώ το αργίλιο συμμετέχει με ποσοστά από 14,30-17,67%. Σε λίγες αναλύσεις βρέθηκε και ψευδάργυρος (έως 2,28%).

Το MgO συνήθως παίρνει τιμές μεταξύ 9,03-14,67%, το FeO εμφανίζει σημαντική διακύμανση από 12,39-20,95% και το Fe₂O₃ βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, ανάμεσα σε 1,61-3,07%.

Σε καμία ανάλυση δεν εντοπίστηκε Mn, ενώ το ποσοστό TiO₂ δεν ξεπερνά το 0,22% (Πίν. 8). Αξίζει να σημειωθεί, ότι μέσα στα χρωμικά αυτά συμπλέγματα, συναντώνται κατά θέσεις θειούχα ορυκτά βασικών μετάλλων (Fe, Cu, Ni, Co), τα οποία γενικά εμφανίζονται ως υπιδιόμορφοι κόκκοι χιλιοστομετρικών ή και μικρότερων διαστάσεων. Πρόκειται κυρίως για κοβαλτίτη, μιλλερίτη, βιολαρίτη και πολυδυμίτη.

Στην περιφέρειά τους οι αλουμινούχοι χρωμίτες μεταπίπτουν αρχικά σε χρωμιούχους μαγνητίτες (Cr₂O₃ έως 10,22%) και προοδευτικά σε μαγνητίτες, με σταδιακή μείωση του περιεχόμενου χρωμίου και αντίστοιχη αύξηση του ποσοστού του σιδήρου (Εικ. 28,29).

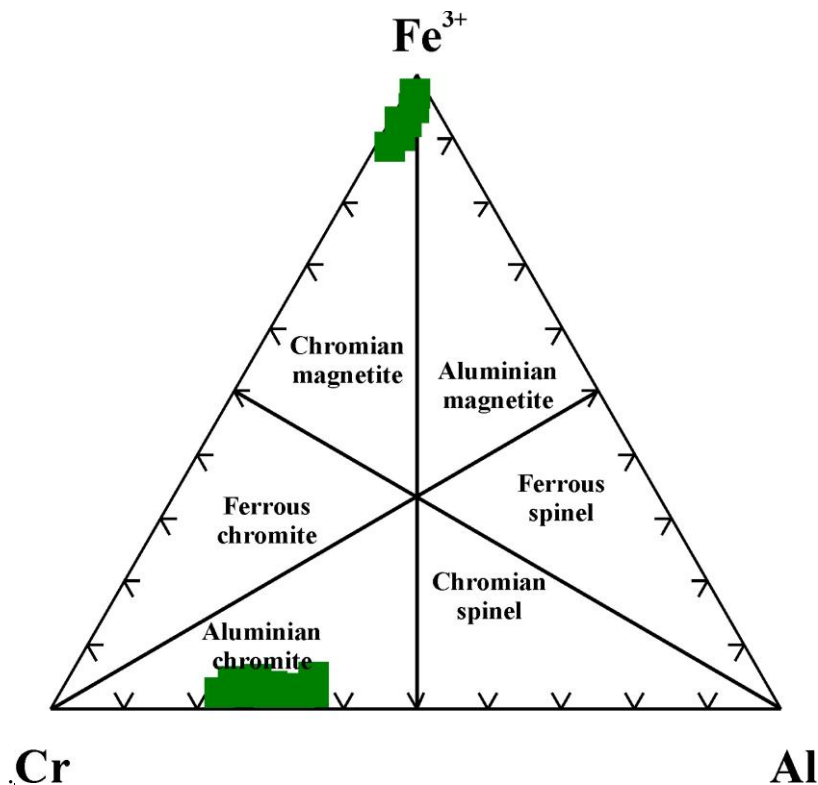


Εικόνα 27: Φωτογραφίες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM-EDS) από σπινέλιους (spl) που μετατρέπονται σε μαγνητίτη (mt); (a,b,d) Αντικατάσταση σπινέλιου από μαγνητίτη; (c) Κόκκοι σπινελίων σε χλωρίτη; (e) Σπινέλιοι και (f) μαγνητίτες σε κύρια μάζα από ασβεστίτη (cal) και αντιγορίτη (atg).

Ανάλυση	19/01-01	19/01-03	19/02-01	19/03-01	19/05-03	08/01-01	08/01-03	08/01-07	28/1-12	06/02-01
SiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
Al ₂ O ₃	16,96	17,27	17,67	16,71	16,92	14,85	14,74	14,30	17,36	15,77
Cr ₂ O ₃	53,53	53,81	52,47	53,10	53,41	55,42	54,32	55,83	50,77	54,19
Fe ₂ O ₃	2,25	1,64	2,85	2,50	3,07	1,57	2,19	1,61	1,72	2,04
FeO	14,02	14,05	12,39	12,49	13,01	19,17	20,95	19,54	18,95	17,56
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	13,60	13,63	14,67	14,31	14,33	10,21	9,03	9,90	10,57	11,49
Σύνολο	100,37	100,39	100,05	99,11	100,74	101,22	101,23	101,18	99,70	101,26
κατανομή ατόμων σε δομικές θέσεις										
Si	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000

Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Al	0,625	0,635	0,646	0,620	0,619	0,560	0,561	0,542	0,654	0,587
Cr	1,322	1,327	1,287	1,321	1,310	1,402	1,386	1,419	1,283	1,354
Fe³⁺	0,053	0,038	0,067	0,059	0,072	0,038	0,053	0,039	0,041	0,048
Fe²⁺	0,366	0,366	0,321	0,329	0,337	0,513	0,566	0,525	0,507	0,464
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,634	0,634	0,679	0,671	0,663	0,487	0,434	0,475	0,504	0,541
tot. cat.	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
tot. ox.	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

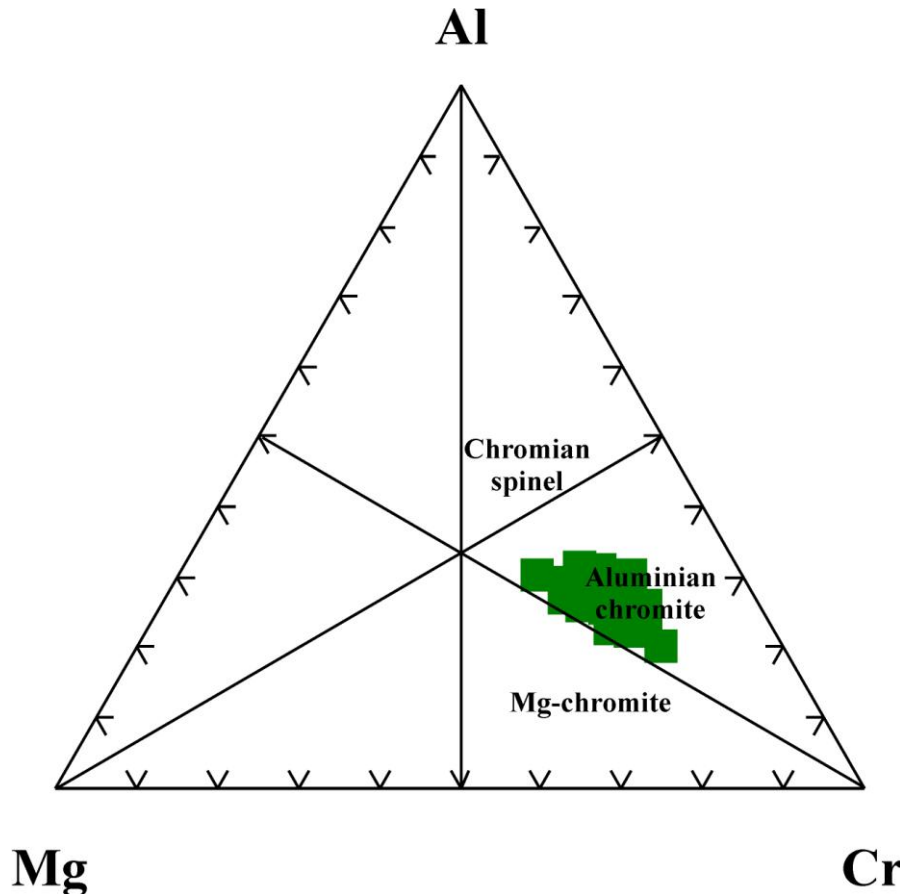
Πίνακας 8. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (SEM-EDS), σπινελίων, από δείγματα σερπεντινιτών του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών.



Εικόνα 28. Προβολή στο τριγωνικό διάγραμμα Fe^{3+} -Cr-Al, συστάσεων σπινελίων και μαγνητιτών από τους σερπεντινίτες των οφίτασβεστιτών της Τήνου.

Το παραπάνω ορυκτολογικό άθροισμα, διαπερνάται από πυκνότατο δίκτυο ασβεστιτικών φλεβών, οι οποίες αποτελούνται από λευκό μικροκρυσταλλικό ασβεστίτη. Οι φλέβες αυτές είναι σχετικά ομοιογενείς και δεν εμφανίζουν κάποιο προσανατολισμό, δίνοντας μία χαώδη εικόνα. Το γεγονός ότι και τα σώματα των χρωμιτιτών, έχουν υποστεί την ίδια υδροθερμική φάση εξαλλοίωσης με τους σερπεντινίτες, (που οδήγησε στην καθίζηση του ασβεστίτη και τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών) αποδεικνύει ότι οι χρωμιτίτες, προϋπήρχαν του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών, προφανώς ως μέλος των υπερβασικών τμημάτων του ωκεάνιου

φλοιού, στον πυθμένα του ωκεανού όπου δημιουργήθηκαν οι σερπεντινίτες που τους φιλοξενούν.



Εικόνα 29. Προβολή στο τριγωνικό διάγραμμα Mg-Cr-Al, συστάσεων σπινέλιων από τους σερπεντινίτες των οφιτασβεστιτών της Τήνου.

Τάλκης

Ο είναι ένα από τα βασικά δευτερεύοντα ορυκτολογικά συστατικά των οφιτασβεστιτών. Μικροαναλύσεις έδωσαν τυπικές συστάσεις. Συναντάται πιο συχνά στους λιθότυπους iii και iv, σε σύμφυση με χλωρίτη και μικριτικό ασβεστίτη. Σπανιότερα συναντάται και στις υπόλοιπες λιθοφασικές ενότητες κυρίως ανάμεσα σε ασβεστίτη και σερπεντινιτικούς κλάστες, όπου συμφύεται συνήθως με σερικήτη. Επίσης, μικροκρυσταλλικές συμφύσεις τάλκη και σερικήτη, παρεμβάλλονται ορισμένες φορές ανάμεσα σε τεμάχη σερπεντινιτών και ασβεστιτικές φλέβες,. Σε αυτές τις περιπτώσεις, προέρχονται πιθανότατα από αντιδράσεις κατά την φάση διείσδυσης του ανθρακικού υλικού στον κατακλασμένο σερπεντινίτη. Τέλος, εκεί που ο τάλκης είναι βασικό ορυκτολογικό συστατικό, είναι οι ζώνες μεταξύ των οφιτασβεστιτών και των πρασινοσχιστόλιθων. Σε αυτές τις ζώνες ο τάλκης

εμφανίζεται με την μορφή θυσάνων, ενώ συμμετέχουν σερίκίτης, επίδοτο, ακτινόλιθος και χλωρίτης σε μικρά ποσοστά. Αξίζει να σημειωθεί, ότι κατά το παρελθόν από τέτοιες ζώνες γινόταν ανάκτηση τάλκη για βιομηχανική χρήση.

Χλωρίτης

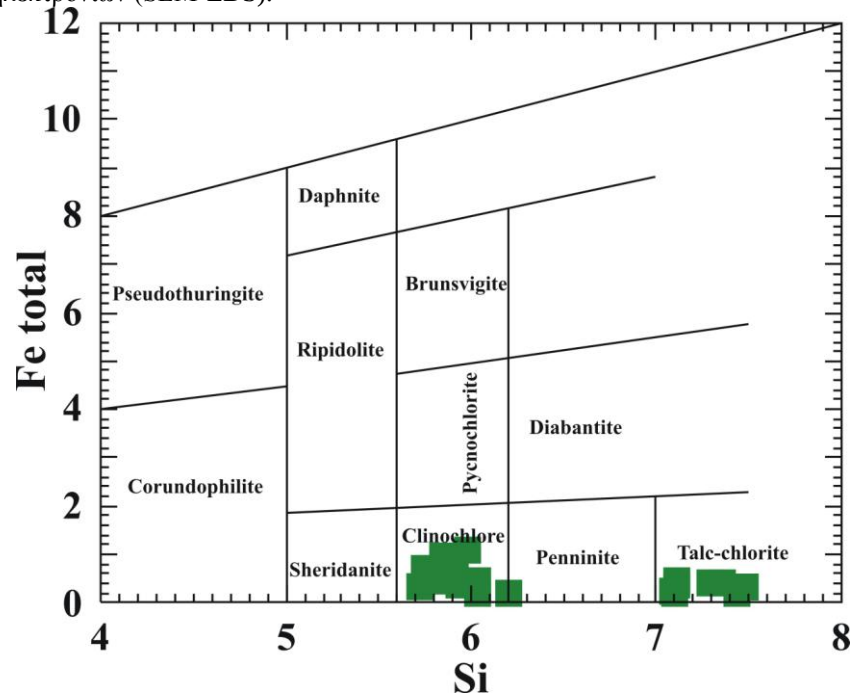
Οι χλωρίτες είναι ένα από τα σημαντικότερα δευτερεύοντα ορυκτά που συναντώνται στον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών. Σχεδόν πάντα είναι χρωμιούχοι, με το ποσοστό του περιεχόμενου χρωμίου να κυμαίνεται από 1,08 έως 11,79%, όπως έδειξαν οι αναλύσεις που έγιναν με την χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (Πίν. 9). Οι περισσότεροι χρωμιούχοι χλωρίτες (3,5-11,79% Cr_2O_3) προέρχονται από σώματα χρωμιτιτών, που είναι εγκλωβισμένα μέσα στον οφίτασβεστιτικό σχηματισμό. Σπάνια υπάρχει και NiO στο πλέγμα των χλωριτών, σε ποσοστό μέχρι 0,32%, ενώ ακόμη σπανιότερη είναι η συμμετοχή του ασβεστίου (έως 0,06%). Από το διάγραμμα ταξινόμησης $\text{Fe}_{\text{tot}}\text{-Si}$, προκύπτει ότι οι χλωρίτες που αναλύθηκαν ανήκουν στις ποικιλίες του κλινόχλωρου και του ταλκικού χλωρίτη (Εικ. 30). Συναντώνται με την μορφή συνήθως υπιδιόμορφων κρυστάλλων, με μεγέθη που αγγίζουν ακόμα και τα 2mm. Συμμετέχουν σε πολλές περιπτώσεις ως έγκλεισμα σε ασβεστίτη που αποτελεί υλικό πλήρωσης ρωγμών σερπεντινιτών και είναι πολύ συχνοί σε περιοχές όπου έχουν αναπτυχθεί ζώνες διάτμησης, όπου συνοδεύονται από τιτανίτη, ασβεστούχους αμφιβόλους (κεροστίλβη, τρεμολίτη) και τάλκη. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εμφανίζουν συσσωματώματα ή συμφύονται με ασβεστίτη, γεγονός που καταδεικνύει την κρυστάλλωσή τους από υδροθερμικού τύπου ρευστά, που επέδρασαν στον σχηματισμό κατά την φάση της διάτμησης. Επίσης, αποτελούν το δεύτερο μετά τον αλουμινούχο χρωμίτη, βασικό ορυκτολογικό συστατικό των σκουρόχρωμων χρωμιτικών σωμάτων (ποσοστό συμμετοχής ~5-10%), που εντοπίστηκαν στο κατώτερο τμήμα του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών, στο λατομείο Διονύσου.

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΑ ΤΗΝΟΥ.

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

Ανάλυση	06/01-02	06/01-03	06/02-02	06/03-06	06/03-07	06/03-08	06/03-09	19/01-02	19/01-04
SiO ₂	35,44	35,22	34,00	36,48	36,04	34,95	33,70	35,17	35,17
TiO ₂	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	6,07	5,53	6,33	6,72	7,93	9,27	6,84	5,95	9,20
FeO	2,46	2,48	2,35	2,64	2,35	1,78	3,37	1,30	1,25
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	35,62	36,96	33,78	36,30	34,42	34,95	34,34	35,27	36,47
CaO	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NiO	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	7,21	6,53	7,47	6,54	6,43	4,17	11,79	7,97	5,73
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	86,80	86,78	84,29	88,68	87,17	85,12	90,04	85,71	87,86
κατανομή σε δομικές θέσεις									
Si	6,829	6,792	6,767	7,104	7,355	7,481	6,398	6,837	6,616
Al IV	1,171	1,208	1,233	0,896	0,645	0,519	1,530	1,163	1,384
Al VI	0,207	0,049	0,251	0,646	1,262	1,820	0,000	0,200	0,655
Ti	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cr	1,098	0,996	1,175	1,007	1,037	0,706	1,770	1,225	0,852
Mg	10,231	10,625	10,022	10,538	10,472	11,153	9,719	10,222	10,227
Fe	0,396	0,400	0,391	0,430	0,401	0,319	0,535	0,211	0,197
Ni	0,000	0,000	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,008
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe/(Fe+Mg)	0,037	0,036	0,038	0,039	0,037	0,028	0,052	0,020	0,019

Πίνακας 9. Αντιπροσωπευτικές αναλύσεις χλωριτών από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπίσθιας σκέδασης ηλεκτρονίων (SEM-EDS).



Εικόνα 30: Προβολή στο δυαδικό διάγραμμα Fetotal - Si, συστάσεων χλωριτών από τους οφιτασβεστίτες της Τήνου (σύμφωνα με Hey, 1954)

5.2 Γεωχημικές Αναλύσεις

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκαν 10 αντιπροσωπευτικά δείγματα για ανάλυση ολικού πετρώματος με την μέθοδο ICP-MS. Από τα 10 αυτά δείγματα, 6 είναι σερπεντινίτες και προέρχονται από διάφορα τμήματα του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών, αλλά και από σερπεντινίτες που βρίσκονται μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους της ανώτερης τεκτονικής ενότητας. Τα υπόλοιπα 4 δείγματα είναι μεταβασίτες (μεταγάββροι και μεταπυροξενίτες), που και αυτοί εντοπίστηκαν μέσα στους ίδιους πρασινοσχιστόλιθους που φιλοξενούν τις εμφανίσεις των οφίτασβεστιτών (Πίν. 10).

Σχετικά με τους σερπεντινίτες, οι αναλύσεις δείχνουν ότι πρόκειται για τυπικά υπερβασικά πετρώματα με το MgO να κυμαίνεται από 24,82-35,99% και Fe_2O_3 από 7,01 – 13,87%. Το ποσοστό Al_2O_3 εμφανίζεται γενικά χαμηλό, μεταξύ 0,44-1,21%. Ασυνήθιστα υψηλή τιμή Al_2O_3 εμφανίζει το δείγμα TIM25, που φτάνει το 7,95%.

Χαρακτηριστική διαφοροποίηση παρατηρείται μεταξύ των δειγμάτων, στο ποσοστό του CaO . Τα δείγματα που προέρχονται από τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών εμφανίζουν υψηλά ποσοστά CaO , που κυμαίνονται από 1,39-8,06%, τα οποία προφανώς αποτελούν αποτύπωμα της ανθρακικής φάσης των οφίτασβεστιτών. Αντιθέτως, τα δείγματα σερπεντινιτών που προέρχονται εκτός του οφίτασβεστιτικού σχηματισμού, εμφανίζουν σημαντικά μειωμένες περιεκτικότητες σε CaO , που δεν ξεπερνούν το 0,73%. Το TiO_2 εμφανίζεται εξαιρετικά χαμηλό και δεν ξεπερνά το 0,01%, ενώ αντιστοίχως χαμηλό εμφανίζεται και το V (περιεκτικότητες μικρότερες από 24ppm), γεγονός που μπορεί να οφείλεται σε αντιδράσεις ενυδάτωσης του υπερβασικού σώματος.

Το MnO είναι επίσης χαμηλό, αφού κυμαίνεται από 0,05-0,24% και το Na_2O είναι κάτω από το όριο ανιχνευσιμότητας σε όλα τα δείγματα σερπεντινιτών που αναλύθηκαν.

Πίνακας 10. Χημικές αναλύσεις ολικού πετρώματος σε επιλεγμένα δείγματα από την περιοχή του Μαρλά, ΒΔ Τήνος.										
Δείγμα	TIM 8	TIM 25	TIM 29	TIM 40	TIM 45	TIM 49	TIM 22	TIM23	TIM 36	TIM 42
Λιθότυπος	serpentinite	serpentinite	serpentinite	serpentinite	serpentinite	serpentinite	metabasic	metabasic	metabasic	metabasic
Θέση	III	Αχινοί	V	Αγία Ξένη	II	III	Αχινοί	Αχινοί	Αχινοί	Αχινοί
SiO ₂	42.79	29.68	40.87	42.32	36.81	39.25	55.14	51.95	54.21	59.85
Al ₂ O ₃	1.51	17.95	0.44	0.84	1.21	2.08	2.72	13.05	13.76	14.4
Fe ₂ O ₃	7.48	13.87	7.35	7.38	7.01	8.43	7.01	7.43	5.74	5.26
MnO	0.08	0.24	0.09	0.07	0.1	0.07	0.17	0.14	0.12	0.1
MgO	35.99	24.82	35.17	35.87	30.02	32.48	16.52	11.61	9.95	6.14
CaO	1.39	0.73	1.95	0.07	8.06	3.08	18.74	8.07	8.35	6.33
Na ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.01	0.34	3.18	3.49	6.14
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.02	0.74	1.07	0.06
TiO ₂	0.01	0.15	0.01	0.01	0.004	0.01	0.25	0.16	1.07	0.06
P ₂ O ₅	<0,01	0.01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0.01	0.01	0.02	0.02
Cr ₂ O ₃	0.24	0.04	0.41	0.32	0.17	0.42	0.33	0.09	0.07	0.03
Total	99.41	99.53	99.42	99.4	99.49	99.43	99.65	99.76	99.79	99.86
LOI %	11.9	11.2	12.9	12.3	16	13.3	1.4	3.3	2.8	1.2
Ni (20)	1838	137	176	1513	1102	2362	258	160	127	74
Sc (1)	5	3	7	7	6	13	86	36	34	22
Ba (1)	b.d.l.	2	2	6	2	2	30	85	87	4
Be (1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	3	2	b.d.l.	2	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Co (0,2)	80	52	80	86	64	124	52	45	42	33
Cs (0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.8	2	b.d.l.	0.6	0.6	b.d.l.
Ga (0,5)	b.d.l.	13	b.d.l.	1	1	3	3	12	9	7
Hf (0,1)	b.d.l.	2	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	1	1	2	2
N (0,1)	b.d.l.	0.8	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.2	b.d.l.	b.d.l.
R (0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	1	10	11	b.d.l.
Sn (1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Sr (0,5)	2	3	10	2	107	13	11	46	17	23
Ta (0,2)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.2	0.2	0.2
Th (0,2)	b.d.l.	0.3	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.2	b.d.l.	0.3
U (0,1)	b.d.l.	0.2	0.2	b.d.l.	b.d.l.	0.1	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΛ ΤΗΝΟΥ.

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

V	(8)	19	24	15	17	34	57	244	133	105	86
W	(0,5)	36	2	20	39	8	30	143	137	176	143
Zr	(0,1)	2	62	1	1	2	1	4	14	53	48
Y	(0,1)	b.d.l.	22	b.d.l.	1	1	1	7	7	9	15
La	(0,1)	b.d.l.	2	b.d.l.	0.0	2	1	1	2	1	2
Ce	(0,1)	b.d.l.	5	b.d.l.	b.d.l.	3	b.d.l.	1	3	2	5
Pr	(0,02)	b.d.l.	0.9	b.d.l.	0.06	0.1	b.d.l.	0.2	0.3	0.3	0.7
Nd	(0,3)	b.d.l.	5.9	b.d.l.	b.d.l.	0.4	b.d.l.	1.4	2.7	2.1	1.4
Sm	(0,05)	b.d.l.	2.24	b.d.l.	0.07	0.17	b.d.l.	0.56	0.53	0.72	1.34
Eu	(0,02)	b.d.l.	0.56	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.21	0.21	0.31	0.38
Gd	(0,05)	0.07	3.12	b.d.l.	b.d.l.	0.07	b.d.l.	0.90	1.02	1.12	1.69
Tb	(0,01)	b.d.l.	0.64	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.18	0.12	0.21	0.36
Dy	(0,05)	b.d.l.	4.42	b.d.l.	b.d.l.	0.07	b.d.l.	1.31	1.13	1.08	2.69
Ho	(0,02)	0.03	1.02	b.d.l.	b.d.l.	0.03	0.03	0.27	0.25	0.32	0.56
Er	(0,03)	b.d.l.	2.64	b.d.l.	0.08	0.03	0.12	0.82	0.68	1.10	1.75
T	(0,01)	0.01	0.38	0.90	0.01	b.d.l.	0.03	0.13	0.07	0.17	0.23
Yb	(0,05)	0.10	2.49	b.d.l.	0.07	0.23	0.20	0.81	0.75	1.07	1.52
Lu	(0,01)	b.d.l.	0.34	b.d.l.	0.02	b.d.l.	b.d.l.	0.10	0.06	0.16	0.21
Mo	(0,1)	0.10	b.d.l.	0.10	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	0.10	b.d.l.
Cu	(0,1)	15	33	8	13	6	30	178	17	8	39
Pb	(0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	2	1	1	4	4	1	1
Zn	(1)	6	42	4.00	5	24	17	8	26	12	8
Ag	(0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Ni	(0,1)	1465	91	1366	1221	834	1973	62	64	45	20
As	(0,5)	3.50	1	8.60	2	2	4	1	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Cd	(0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
S	(0,1)	b.d.l.	0.2	b.d.l.	b.d.l.	0.30	0.1	0.10	b.d.l.	b.d.l.	0.20
Bi	(0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Hg	(0,01)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Tl	(0,1)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.
Se	(0,5)	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.	b.d.l.

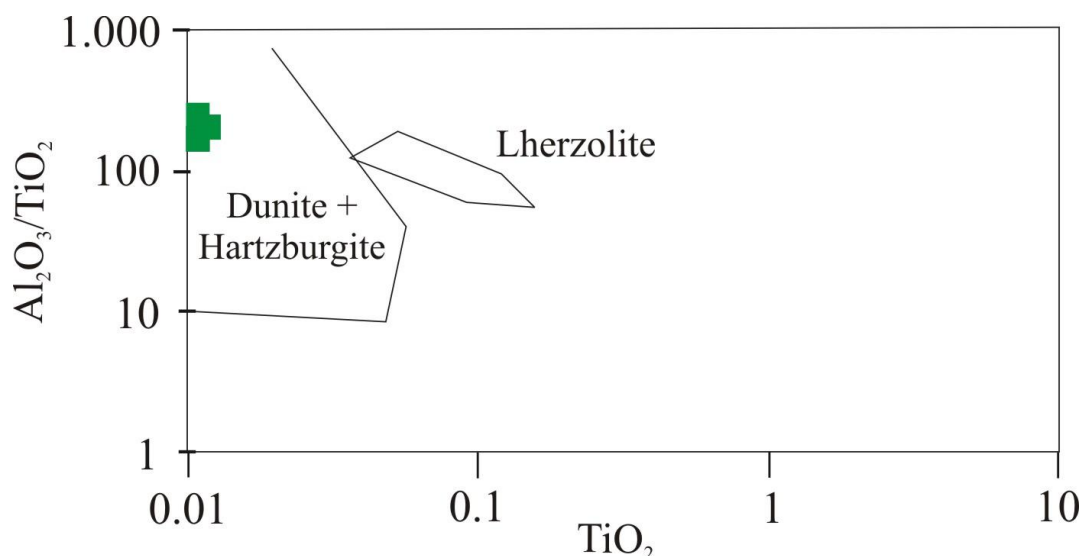
Επίσης, οι σερπεντινίτες που αναλύθηκαν, χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά απώλειας πύρωσης (LOI – Loss On Ignition), τα οποία κυμαίνονται μεταξύ 11,2-16% κ.β. Σχετικά ψηλές είναι και οι τιμές των Cr_2O_3 (0,05-0,42 %), Ni (91-1465 ppm), Co (52-124 ppm), V (19-224 ppm), Zn (6-42 ppm), Cu (6-33 ppm) και As (0,70-8,60 ppm), οι οποίες προφανώς σχετίζονται με την παρουσία σπινελίων και θειούχων ορυκτών βασικών μετάλλων στους σερπεντινίτες.

Οι μεταβασίτες, χαρακτηρίζονται κύρια από υψηλές τιμές SiO_2 , που κυμαίνονται από 51,95-59,85%. Παρατηρείται όμως μία διαφοροποίηση στα υπόλοιπα στοιχεία ανάλογα με τον λιθολογικό τύπο. Τα τρία δείγματα που αντιστοιχούν σε μεταμορφωμένους γάββρους, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές Al_2O_3 , (13,05-14,4%) και Na_2O (3,18-6,14%).

Το CaO κυμαίνεται από 6,33-8,35% , το Fe_2O_3 από 5,26- 7,43% ενώ σημαντική διακύμανση εμφανίζει το MgO , που κυμαίνεται από 6,14-11,61%. Επίσης, οι μεταγάββροι αυτοί εμφανίζονται εμπλουτισμένοι σε μία σειρά από ιχνοστοιχεία, όπως: Ba (έως 85ppm), V (86-133 ppm), W (137-175 ppm), Y (7-14 ppm), Sc (22-36 ppm), Sr (22-46 ppm), Zr (14-53 ppm) και Ga (7-12 ppm).

Το τέταρτο δείγμα (TIM22) από τους μεταβασίτες, αντιστοιχεί σε μεταπυροξενίτη και εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις από τα δείγματα μεταγάββρων. Εμφανίζεται εμπλουτισμένο σε CaO (18,74 %) και MgO (16,52 %) και σημαντικά πτωχότερο σε Al_2O_3 (2,72 %) και Na_2O (0,34 %). Σχετικά με τα ιχνοστοιχεία, εμφανίζει περισσότερο Sc (86 ppm), V (244 ppm), ενώ παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε Sr (11 ppm), Zr (3,80 ppm) και Ga (3,4 ppm).

Αξίζει εδώ να σημειωθεί, πως το χαμηλό ποσοστό του Al_2O_3 στους σερπεντινίτες, (0,44-1,21%) είναι ένδειξη ότι ο αρχικός υπερβασικός πρωτόλιθος ήταν μάλλον χαρτσβουργίτης και όχι λερζόλιθος. Για την διάκριση αυτή, μεταξύ χαρτσβουργιτών και λερζόλιθων, έχει προταθεί από τους Beccaluva et al., (1983), το διλογαριθμικό διάγραμμα $(\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2)\text{-TiO}_2$, στο οποίο τα δείγματα σερπεντινιτών που αναλύθηκαν, προβάλλονται στο πεδίο των χαρτσβουργιτών (Εικ. 31). Επομένως, με βάση αυτό το διάγραμμα, είναι πιθανότερο οι σερπεντινίτες του συμπλέγματος των οφίτασβεστιτών να προέρχονται από δουνίτες και χαρτσβουργίτες, παρά από λερζόλιθους.

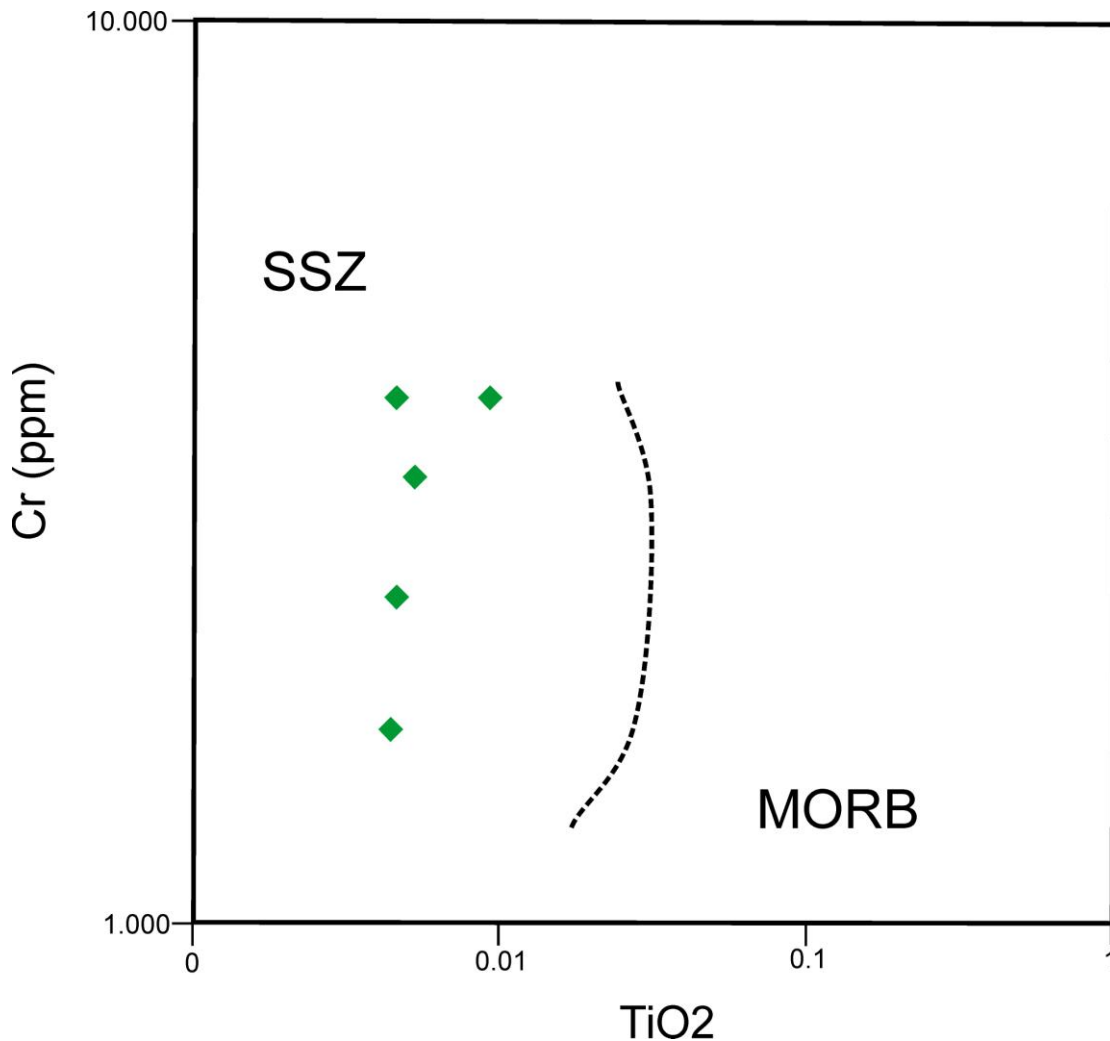


Εικόνα 31. Προβολή δειγμάτων από σερπεντινίτες (του οφιτασβεστιτικού συμπλέγματος) της περιοχής Μαρλά στο διάγραμμα TiO_2 -($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$), σύμφωνα με Beccaluva et al., (1983).

Ακόμα, από τις τιμές των παραπάνω χημικών αναλύσεων, μπορούν με βάση την βιβλιογραφία να κατασκευαστούν χρήσιμα διαγράμματα, όπως αυτό των Pearce et al., (1984), που παρέχει σημαντικές πληροφορίες για το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού των σερπεντινιτών (Εικ. 32).

Το διάγραμμα των Pearce et al. (1984), χρησιμοποιεί Cr και TiO_2 και διαχωρίζεται σε δύο πεδία. Στο πρώτο πεδίο, προβάλλονται υπερβασικά πετρώματα με χαμηλό έως μηδενικό TiO_2 , και θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν περιβάλλον ζώνης διάνοιξης υπεράνω μίας ζώνης υποβύθισης (supra-subduction zone-SSZ). Το δεύτερο πεδίο, στο οποίο το TiO_2 είναι αυξημένο, θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε περιβάλλον μεσοωκεάνιας ράχης. Όλα τα δείγματα σερπεντινιτών που αναλύθηκαν εμφανίζουν από μηδενικό έως πολύ μικρό ποσοστό TiO_2 και κατατάσσονται σε σερπεντινίτες που σχετίζονται με περιβάλλον SSZ.

Επίσης, πληροφορίες για το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού των σερπεντινιτών του οφιτασβεστιτικού συμπλέγματος, μπορούμε να πάρουμε και από την ορυκτοχημεία των σπινελίων. Οι σπινέλιοι είναι μία ορυκτή φάση που εντοπίζεται πάντα σε περιδοτίτες αλλά και βασάλτες και αν εξαιρεθεί το Cr_2O_3 , δεν συνεισφέρουν ουσιαστικά με κάποιο άλλο στοιχείο στην συνολική χημική σύσταση του πετρώματος.

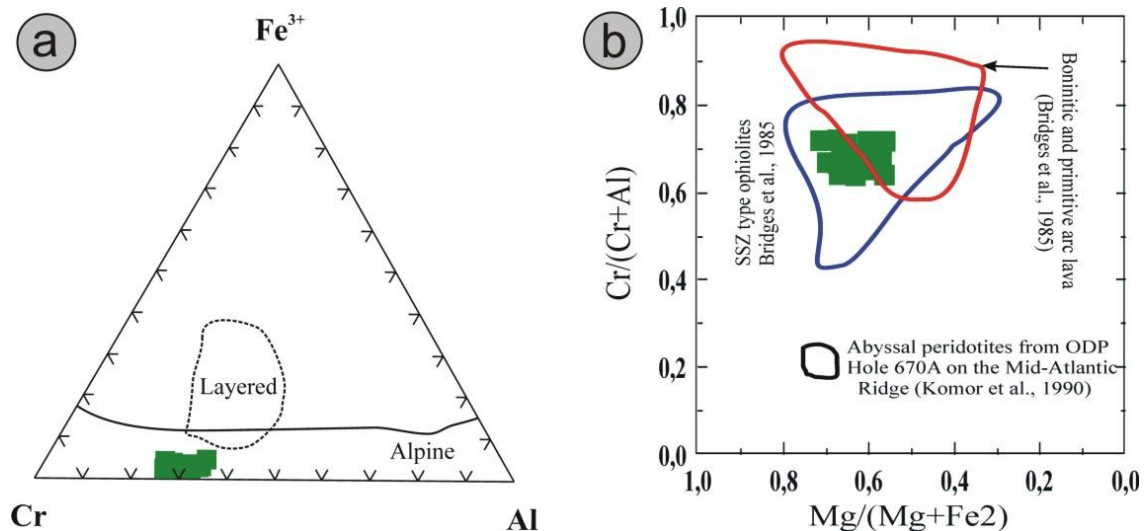


Εικόνα 32. Προβολή των σερπεντινιτών που αναλύθηκαν στο διάγραμμα των Pearce et al, 1984, σύμφωνα με το οποίο οι σερπεντινίτες της Τήνου προέρχονται από υπερβασικά πετρώματα που σχετίζονται με SSZ.

Είναι όμως εξαιρετικά ευαίσθητοι στις μεταβολές της χημικής σύστασης του τήγματος από το οποίο κρυσταλλώνονται τα πετρώματα που τους φιλοξενούν (e.g. Dick 1977a, Fisk & Bence, 1980). Αυτό συμβαίνει διότι τα συστατικά του σπινέλιου συμπεριφέρονται πολύ διαφορετικά κατά την κλασματική κρυστάλλωση ή την μερική τήξη, με το Cr και το Mg να εμπλουτίζονται στο στερεό, ενώ αντιθέτως το Al να εμπλουτίζεται στο τήγμα. Αυτή ακριβώς η χημική διαφοροποίηση, εκφραζόμενη συνήθως μέσω του στοιχειακού αριθμού χρωμίου, $\#Cr [=Cr/(Cr+Al)]$ και του στοιχειακού αριθμού μαγνησίου, $\#Mg [=Mg/(Mg+Fe^{2+})]$, είναι χρήσιμος οδηγός για την διαπίστωση του γεωτεκτονικού περιβάλλοντος στο οποίο κρυσταλλώθηκε ο σπινέλιος, άρα και το πέτρωμα το οποίο τον φιλοξενεί. Χρησιμοποιώντας λοιπόν το κλασσικό διάγραμμα (Εικ. 33a) Fe^{3+} -Cr-Al των Dickey et al. (1975) προκύπτει αλπικός ο χαρακτήρας των σπινελίων της εξεταζόμενης περιοχής, δηλαδή οι

σπινέλιοι αυτοί αποτελούν μανδουακής προέλευσης υλικό αλπικού τύπου περιδοτιτών και όχι υλικό ανάλογο των εστρωμένων μαφικών-υπερμαφικών συμπλεγμάτων.

Το δεύτερο βασικό διάγραμμα (Εικ. 33b) είναι το διάγραμμα διασποράς Cr# vs Mg# κατά Stevens (1994) (τα πεδία σύμφωνα με Bridges et al., 1985), στο οποίο είναι φανερό πως οι σπινέλιοι φιλοξενούνται σε υπερβασικά πετρώματα που σχηματίστηκαν σε περιβάλλον ζώνης διάνοιξης πάνω από ζώνη υποβύθισης (SSZ). Μικρό μέρος των τιμών, προβάλλεται εντός του πεδίου που αντιστοιχεί σε περιβάλλον νησιωτικού τόξου. Οι Dick & Bullen (1984), θεωρούν ότι σπινέλιοι με $\#Cr > 0,60$, σχηματίζονται σε υπερβασικά πετρώματα τα οποία σχετίζονται με περιβάλλοντα νησιωτικού τόξου (island arc-related). Οι σπινέλιοι από τους σερπεντινίτες της Τήνου, έχουν $\#Cr$ που κυμαίνεται από 0,648-0,723 και βάση αυτού του διαχωρισμού, φαίνεται να έχουν σχηματιστεί σε αρχικούς υπερβασικούς πρωτόλιθους, που προήλθαν από υπόλοιπο μερικής τήξης κατά την διαδικασία γένεσης μάγματος σε ένα περιβάλλον νησιωτικού τόξου, υπεράνω δηλαδή μίας ζώνης υποβύθισης.



Εικόνα 33. Προβολή σπινελίων στο διάγραμμα (a) Fe^{3+} -Cr-Al και (b) $\#Cr$ vs $\#Mg$.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα από την παρούσα εργασία, έρχονται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα των (Katzir et al., 1996), που πρώτοι πρότειναν ένα περιβάλλον σχηματισμού SSZ για τους οφιόλιθους της ανώτερης ενότητας της Τήνου, χρησιμοποιώντας κυρίως αναλύσεις ιχνοστοιχείων από τα μεταηφαιστειακά πετρώματα (πρασινοσχιστόλιθους).

6. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Βασικό ρόλο στον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών της Τήνου, έχουν διαδραματίσει και οι τεκτονικές διεργασίες. Πρέπει όμως να ληφθεί υπόψιν, ότι πέραν των αρχικών φάσεων παραμόρφωσης που σχετίζονται με την έκθεση στον θαλάσσιο πυθμένα του υπερβασικού υλικού, την κατάκλασή του και τον σχηματισμό τελικά των οφίτασβεστιτών, ο σχηματισμός έχει υποστεί τουλάχιστον ένα πολύ έντονο μεταμορφικό επεισόδιο, το οποίο συνοδεύτηκε από πολυφασική παραμόρφωση. Έτσι, είναι μάλλον δύσκολο να αναγνωριστούν, δομές οι οποίες να οφείλουν την δημιουργία τους στα αρχικά στάδια παραμόρφωσης, όταν το υπερβασικό σώμα εκτέθηκε στον πυθμένα του ωκεανού. Είναι μάλιστα πολύ πιθανόν, κατά την φάση της αλπικής παραμόρφωσης, δομές που προϋπήρχαν από την φάση της ωκεάνιας παραμόρφωσης, να επαναδραστηριοποιήθηκαν, καθιστώντας την διάκριση των τεκτονικών φάσεων ακόμα πιο πολύπλοκη.

Επομένως, η λεπτομερής διάκριση δομών της αρχικής παραμόρφωσης είναι εξαιρετικά δύσκολη και ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Πλην όμως, μπορούν να γίνουν κάποιες διαπιστώσεις, που αφορούν τόσο στην παραμόρφωση κατά την διάρκεια του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών, όσο και στην ύστερη τεκτονομεταμορφική τους εξέλιξη.

Από την μακροσκοπική αλλά και μικροσκοπική παρατήρηση, προκύπτει ότι η βασική μορφή τεκτονισμού που υπέστη ο σερπεντινίτης είναι η κατάκλαση (εύθραυστη παραμόρφωση). Η κατάκλαση αυτή, οφείλεται κυρίως στην δράση κανονικών ρηγμάτων μικρής κλίσης (low angle normal faults ή detachment faults) εντός του ωκεάνιου χώρου, τα οποία απέκοψαν τα ανώτερα τμήματα του οφιολιθικού συμπλέγματος και εξέθεσαν τα υπερβασικά του τμήματα στον θαλάσσιο πυθμένα. Είναι λοιπόν εμφανές, ότι κατά τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών, έλαβε χώρα εκτεταμένος τεκτονισμός εκτατικού κυρίως χαρακτήρα. Οι κατακλασμένοι σερπεντινίτες, αντιδρούν με το πλούσιο σε ιόντα θαλασσινό νερό, με αποτέλεσμα την καθίζηση ασβεστίτη, και την πλήρωση ρωγμών, δημιουργώντας έτσι το σερπεντινιτικό λατυποπαγές με ανθρακικό συγκολλητικό υλικό. Η διαδικασία αυτή δεν συνέβη μία φορά, αλλά επαναλήφθηκε σε διάφορα στάδια, όπως υποδηλώνουν οι διαφορετικές γενεές ανθρακικών φλεβών που εντοπίζονται στον σχηματισμό. Εξίσου διαχρονική, ήταν και η επούλωση των ρωγμών από την καθίζηση ασβεστίτη, τόσο

από την αντίδραση με το θαλασσινό νερό, όσο και από ανερχόμενα υδροθερμικά ρευστά.

Επίσης, πέρα από την βασική εύθραστη παραμόρφωση, έχουν παρατηρηθεί και δομές πλαστικής παραμόρφωσης. Πρόκειται κυρίως για ζώνες διάτμησης, οι οποίες φαίνεται να λειτούργησαν τοπικά, σε περιοχές όπου η θερμοκρασία του σερπεντινιτικού σώματος ήταν υψηλή, μη επιτρέποντας έτσι την εκδήλωση θραυσιγενούς παραμόρφωσης. Οι ζώνες αυτές, σχετίζονται επίσης και με νεοκρυστάλλωση ορυκτών (χλωρίτη, μαγνητίτη, θειούχων ορυκτών βασικών μετάλλων κ.λπ.), καθώς κατά την φάση της διάτμησης, οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες προκάλεσαν την επανακινητοποίηση ορισμένων χημικών στοιχείων και την εκ νέου απόθεσή τους.

Η ύπαρξη μικροδιαρρήξεων που μεταθέτουν τις παραπάνω ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης, είναι απόδειξη του ότι η πλαστική παραμόρφωση προϋπήρξε της εύθραυστης και μάλλον συνδέεται χωρικά με τα βαθύτερα τμήματα του σερπεντινίτη, κατά τα πρώιμα στάδια της έκθεσής του στον θαλάσσιο πυθμένα.

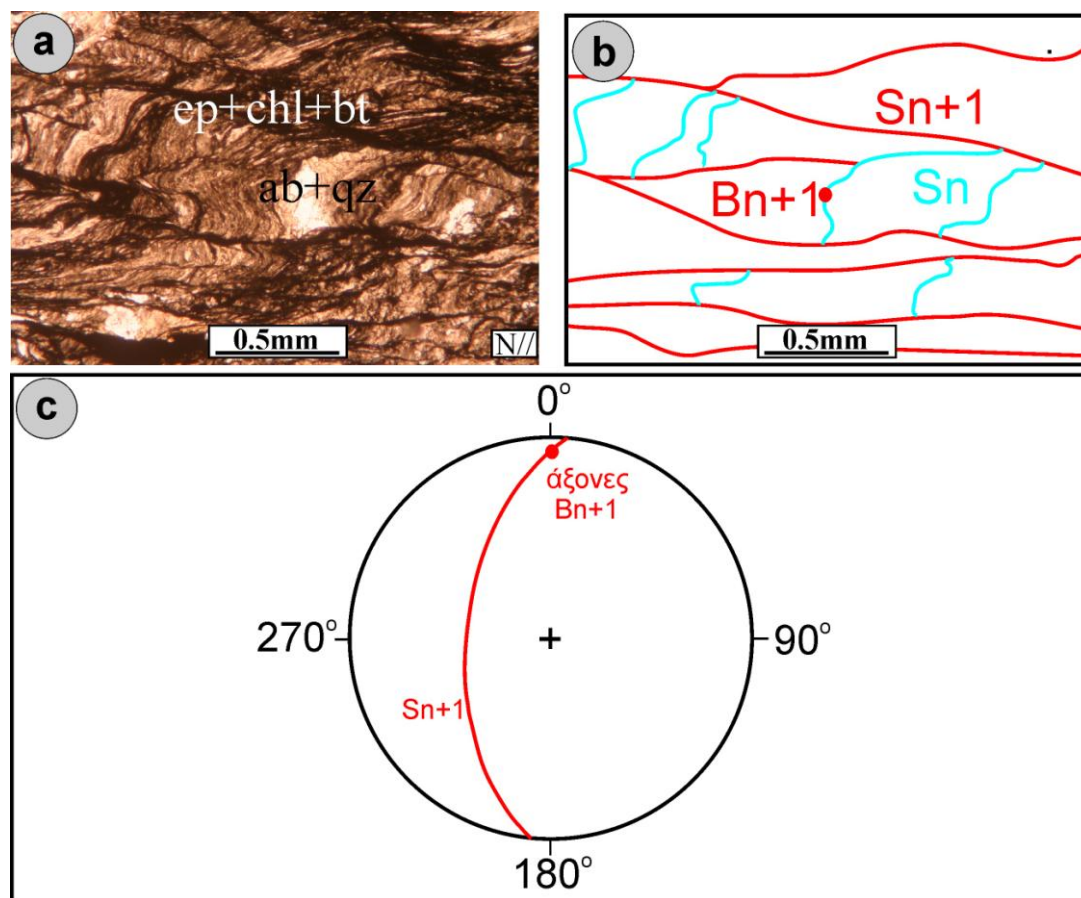
Πρέπει εδώ να σημειωθεί, ότι πολλές από τις φλέβες με αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη και αντιγορίτη, που διατέμνουν τις προηγούμενες γενεές φλεβών και εντοπίστηκαν σε όλες τις θέσεις, δείχνουν έναν προσανατολισμό BBD-NNA, προσπαθούν δηλαδή να ταυτιστούν με την κύρια διεύθυνση παραμόρφωσης του αλπικού τεκτονισμού, οπότε μπορεί να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι αυτές οι φλέβες είναι μάλλον συμμεταμορφικές, δημιουργήθηκαν δηλαδή από ανακρυστάλλωση προϋπαρχουσών φλεβών κατά την φάση της αλπικής παραμόρφωσης.

Σχετικά με την σημερινή εικόνα του οφίτασβεστιτικού σχηματισμού, φαίνεται ότι αυτή ελέγχεται τεκτονικά, από την παραμορφωτική φάση Dn+1, η οποία σχετίζεται με την μεταμόρφωση του Μειοκαίνου (μεταμορφικό γεγονός M2, Bröcker and Franz 1998).

Η ανώτερη ενότητα των πρασινοσχιστόλιθων, μέσα στην οποία εντοπίζονται οι οφίτασβεστίτες, είναι πολυπτυχωμένη και οι μεγαδομές της περιοχές αφορούν σε πτυχές, διεύθυνσης BBD-NNA. Οι οφίτασβεστίτες δεν βρίσκονται τυχαία μέσα στην ανώτερη ενότητα, αλλά εντοπίζονται στα κορυφαία τέτοιων πτυχών. Επομένως είναι λογικό, οι επαφές των οφίτασβεστιτών με τους πρασινοσχιστόλιθους να ακολουθούν την γεωμετρία των μεγαδομών της περιοχής (βλ. παράρτημα, εικ. I).

Οι πρασινοσχιστόλιθοι εμφανίζουν μεταβαλλόμενες κλίσεις στην μεσοσκοπική κλίμακα παρατήρησης, επικρατούν όμως οι διευθύνσεις πτύχωσης BBD-NNA, δηλαδή η διεύθυνση που έχουν οι μεγαδομές. Εντοπίζονται σε αυτούς τουλάχιστον δύο παραμορφωτικές φάσεις (μία αρχική φάση Dn, η οποία παραμορφώνεται αργότερα από μία φάση Dn+1, οι οποίες αμφότερες εκφράζουν παραμόρφωση συμπιεστικού χαρακτήρα).

Τα γεωμετρικά στοιχεία των πτυχών της πρώτης φάσης (Sn) είναι $55^{\circ}/275^{\circ}$, ενώ τα στοιχεία των αξόνων των πτυχών της δεύτερης φάσης (Sn+1) είναι $09^{\circ}/000^{\circ}$, η συνύπαρξη των οποίων δίνει έναν τυπικό πτυχοσχισμό (crenulation cleavage) (Εικ. 33).



Εικόνα 34. Πρασινοσχιστόλιθος με εμφανείς τις δύο φάσεις τεκτονικής παραμόρφωσης (a,b); Προβολή των στοιχείων των τεκτονικών φάσεων Dn και Dn+1 σε δίκτυο Schmidt (c).

Σημαντικές είναι και κάποιες τεκτονικές δομές, οι οποίες εντοπίστηκαν σε πρασινοσχιστόλιθους από την θέση III (βλ. Εικ. 13). Πρόκειται για φλέβες (veins), οι οποίες είναι πληρωμένες με αδροκρυσταλλικό ασβεστίτη και αιματίτη. Η συνύπαρξη της σχιστότητας με αυτές τις φλέβες, είναι μία δομή που ονομάζεται διεθνώς ‘shortened (foliation) boudins’ [ή ‘bulging (foliation) budins’ ή ‘double-sided

mullions’]. Η δημιουργία αυτών των δομών, αν και προϋποθέτει ένα ισχυρό αρχικά εφελκυστικό καθεστώς, εντούτοις γίνεται σε δύο στάδια. Πρώτα σε εφελκυστικό περιβάλλον σχηματίζονται μουντινάζ με ταυτόχρονη ενδιάμεση ανάπτυξη μεταξύ των χανδρών του δικτύου των φλεβών (veins) εγκάρσια (κάθετα δηλαδή) στη σχιστότητα, λόγω αυξημένης πίεσης ρευστών σε περιβάλλον χαμηλών διαφορικών τάσεων. Στη συνέχεια ακολουθεί ένα στάδιο όλκιμης βράχυνσης –συμπίεσης– παράλληλα με τη σχιστότητα, όπου οι ρεολογικές διαφορές ανάμεσα στις φλέβες και το περιβάλλον πέτρωμα, δημιουργούν αυτή την εντυπωσιακή δομή.

7. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΜΕΤΑΣΩΜΑΤΩΣΗΣ

Ο σχηματισμός του οφίτασβεστίτη της Τήνου έχει μία πολύπλοκη ιστορία, από την στιγμή της δημιουργίας του μέχρι την στιγμή της τελικής του τοποθέτησης στην σημερινή του γεωτεκτονική θέση. Κατά την διάρκεια αυτής της ιστορίας, υπέστη και μάλιστα πάνω από μία φορά, επιδράσεις από υδροθερμική δραστηριότητα και μεταμόρφωση.

Αναμφισβήτητα, η πρώτη υδροθερμική αλλοίωση του πετρώματος, δεν είναι άλλη από την σερπεντινίωση. Σε αυτό το στάδιο, ο ολιβίνης και οι κλινοπυρόξενοι που προϋπήρχαν στον αρχικό χαρτςβουργίτη, αντικαταστάθηκαν από ορυκτά του σερπεντίνη (λιζαρδίτη, χρυσοτίλλη, αντιγορίτη). Επίσης, μέρος των μαγνητιτών που υπάρχουν στον σχηματισμό, κρυσταλλώθηκαν από περίσσεια ιόντων σιδήρου, κατά την φάση της σερπεντινίωσης. Ο σχηματισμός των βασιτών που συναντώνται σε πολλά από τα δείγματα σερπεντινιτών που μελετήθηκαν, προέρχεται και αυτός από την σερπεντινίωση. Το στάδιο αυτό της πρώτης, ωκεάνιας υδροθερμικής μεταμόρφωσης γενικά έχει υποστεί επικάλυψη, από το πρασινοσχιστολιθικό επεισόδιο του Μειοκαίνου. Ανιχνεύεται όμως, από υπολειμματικούς κρυστάλλους λιζαρδίτη, οι οποίοι εντοπίζονται μέσα σε βασίτες, που δημιουργήθηκαν κατά την αρχική, χαμηλών θερμοκρασιών εξαλλοίωση ενός χαρτςβουργιτικού περιδοτίτη. Γενικά, οι σερπεντινίτες που μελετήθηκαν, αποτελούνται πια ολοκληρωτικά από αντιγορίτη και λιγότερο τάλκη, αμφίβολο και αδιαφανή ορυκτά (σπινέλιο, μαγνητίτη, σουλφίδια) καθώς η φάση μεταμόρφωσης που ακολούθησε αλλοίωσε την αρχική ορυκτολογία.

Κατά την αλπική μεταμόρφωση, ο αντιγορίτης, αντικατέστησε σχεδόν πλήρως τον λιζαρδίτη, καθώς ο λιζαρδίτης (και ο χρυσοτίλλης) δεν είναι σταθεροί στις θερμοκρασίες και πιέσεις της πρασινοσχιστολιθικής φάσης (Evans, 1977), την οποία υπέστη ο σχηματισμός. Από την φάση της σερπεντινίωσης, πρέπει να προέρχονται και φλεβίδια με ινώδεις κρυστάλλους σερπεντίνη (αντιγορίτη), τα οποία συναντώνται κατά θέσεις μέσα στους σερπεντινίτες και διατέμνονται από διάφορες φλέβες ασβεστίτη, γεγονός που υποδηλώνει ότι η φλέβες αντιγορίτη προϋπήρχαν της καθίζησης του ασβεστίτη.

Τέλος, στα τμήματα των οφίτασβεστιτών στα οποία βασικό ρόλο έπαιζαν και ιζηματογενή αίτια, πέρα από την συνεχή τεκτονική δραστηριότητα, ανιχνεύεται η υδροθερμική εξαλλοίωση από οξειδωτικά ρευστά πιο πλούσια σε (Fe^{2+}) . Το γεγονός

αυτό πιστοποιείται από την παρουσία Fe-πλούσιων ορυκτών φάσεων, όπως το επίδοτο, ο τάλκης, ο χλωρίτης, ο αιματίτης και ο μαγνητίτης, τα οποία απαντούν είτε για πρώτη φορά (επίδοτο, αιματίτης), είτε σε συγκεντρώσεις σημαντικά αυξημένες (τάλκης, χλωρίτης, μαγνητίτης) σε σχέση με τα υπόλοιπα τμήματα του σχηματισμού.

Χαρακτηριστικό μάλιστα, είναι και το ρόδινο χρώμα που αποκτά ο σχηματισμός σε αυτό το τμήμα, που είναι ενδεικτικό των οξειδωτικών ρευστών που το επηρέασαν. Ισοτοπικά δεδομένα από δείγμα σερπεντινίτη από τον οφίτασβεστίτη της περιοχής Μαρλά, έδωσε $\delta^{18}\text{O}$ 12‰, ενώ δείγμα ασβεστίτη από την κύρια μάζα έδωσε $\delta^{18}\text{O}$ 17,5-17,8‰ και $\delta^{13}\text{C}$ 2-3,2‰ (Katzir et al, 1996). Η ισοτοπική αναλογία $\delta^{13}\text{C}$, από τον ασβεστίτη της κύριας μάζας εμπίπτει στο πεδίο θαλάσσιας ιζηματογένεσης (2,0-3,2‰), ενισχύει δηλαδή την υπόθεση σχηματισμού των οφίτασβεστιτών, ως τεκτονοϊζηματογενών λατυποπαγών στον θαλάσσιο πυθμένα (Bernulli & Weissert 1985). Είναι όμως αναμφισβήτητο, ότι οι ισοτοπικές αναλογίες των σχηματισμών αυτών, έχουν σίγουρα μεταβληθεί και ότι πιθανότατα, έχει επέλθει ισοτοπική ανταλλαγή μεταξύ των οφίτασβεστιτών και των λοιπών υπερβασικών πετρωμάτων του οφιολιθικού συμπλέγματος, κατά την μεταμορφική τους ιστορία.

Αντίστοιχη ιστορία ορυκτολογικών εξαλλοιώσεων, παρατηρείται και στους μεταγάββρους. Μία αρχική εξαλλοίωση σε χαμηλές θερμοκρασίες, καθώς οι γάββροι εκτέθηκαν στο θαλάσσιο πυθμένα, οδήγησε στην λεγόμενη ουραλιτίωση, με αποτέλεσμα την αντικατάσταση των πυροξένων από αμφιβόλους (κυρίως κεροστίλβη). Στην συνέχεια, με την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση, αυτή η αντικατάσταση προχώρησε σε μεγαλύτερο βαθμό, σε σημείο που υπολειμματικοί πυρήνες των αρχικών πυροξένων να σπανίζουν. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μεταμορφικοί αμφίβολοι παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα συστάσεων, είναι όμως πάντα Ca-πλούσιοι, με χαρακτηριστικότερη εικόνα την μετατροπή κεροστιλβών σε ακτινόλιθο. Αυτή η διακύμανση, μπορεί να υποδηλώνει ένα μεταμορφικό επεισόδιο που έλαβε χώρα κατά κύματα, σε διαφορετικές θερμοκρασίες (πάντα βέβαια στα θερμοκρασιακά όρια της πρασινοσχιστολιθικής φάσης), αλλά υπό σχετικά χαμηλές πιέσεις.

8. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΓΕΝΕΣΗΣ

Από την συνολική αξιολόγηση των δεοδμένων που προκύπτουν από την παρούσα εργασία, είναι εμφανές ότι ο μελετούμενος σχηματισμός αποτελεί τμήμα της ανώτερης ενότητας των πρασινοσχιστόλιθων. Επομένως, είναι μέλος της μεταοφιολιθικής ακολουθίας, που αυτή η ενότητα αντιπροσωπεύει.

Από τις χημικές αναλύσεις των σερπεντινιτών του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών, που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε TiO_2 , προκύπτει ότι αυτοί έχουν σχηματιστεί σε περιβάλλον ζώνης διάνοιξης πάνω από μία ζώνη υποβύθισης (SSZ). Ανάλογο συμπέρασμα προκύπτει από την ορυκτοχημεία των σπινελίων, οι οποίοι είναι ένα βασικό εργαλείο προσδιορισμού του περιβάλλοντος γένεσης υπερβασικών πετρωμάτων. Οι σπινέλιοι των σερπεντινιτών που ανήκουν στο σύμπλεγμα των οφίτασβεστιτών της Τήνου, έχουν στοιχειακό αριθμό χρωμίου #Cr 0,648-0,723. Προβολή των τιμών αυτών στο διάγραμμα των Dick & Bullen (1984), δίνει επίσης ένα γεωτεκτονικό περιβάλλον Dick & Bullen (1984), (βλ. κεφ. 5.2).

Επομένως, όλα τα ορυκτοχημικά και γεωχημικά δεοδμένα υποστηρίζουν τον σχηματισμό των σερπεντινιτών σε περιβάλλον ζώνης διάνοιξης πάνω από μία ζώνη υποβύθισης (SSZ).

Η έντονη κατάκλαση που είναι αποτυπωμένη στον μελετούμενο σχηματισμό, είναι απόδειξη του ότι αυτός υπέστη έντονο τεκτονισμό. Η παρουσία τάλκη που περιβάλλει πάντα τα σώματα των οφίτασβεστιτών, είναι σύμφωνα με την βιβλιογραφία, ένδειξη ρηξιγενούς τεκτονισμού, καθώς ο τάλκης θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τεκτονικό πέτρωμα σε ωκεάνιες ζώνες διάνοιξης.

Γίνεται επομένως σαφές, ότι για την δημιουργία των μελετούμενων οφίτασβεστιτών, δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί στους οποίους οφείλουν την δημιουργία τους: τεκτονικές – τεκτονοϊζηματογενείς διεργασίες, και φαινόμενα μετασωμάτωσης.

Η έντονη μετασωμάτωση, η οποία έχει δημιουργήσει τις αλλεπάλληλες αντικαταστάσεις που περιγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, έχει παίξει βασικό ρόλο στην διαμόρφωση του σχηματισμού. Εδώ εντάσσεται και η δημιουργία ζωνών τάλκη, που περιβάλλουν πάντα τους οφίτασβεστίτες της Τήνου.

Οι τρεις πρώτοι λιθότυποι (i-iii), είναι τεκτονικά σερπεντινιτικά λατυποπαγή, με σημαντικές διαφορές στον βαθμό κατάκλασης. Ο τέταρτος λιθότυπος, φαίνεται να έχει δημιουργηθεί από βαρυτικές ροές ιζημάτων (debris flows), τις οποίες

πυροδότησαν τεκτονικές διεργασίες. Διεθνώς, τέτοιοι χαρακτηριστικοί σχηματισμοί αποκαλούνται ως broken formations (Festa et al., 2012).

Η ανάπτυξη τέτοιων συνόλων πετρωμάτων, εντοπίζεται σε δύο βασικά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα. Το πρώτο, αφορά σε κανονική διάνοιξη ωκεανού (slow spreading MOR), όπως το παράδειγμα του Ατλαντικού ωκεανού. Το δεύτερο, αφορά σε περιβάλλοντα SSZ και μάλιστα εντοπίζεται στα αρχικά στάδια της ορογενετικής διαδικασίας. Από γεωχημικά και πετρολογικά δεδομένα, οι σερπεντινίτες της Τήνου σχετίζονται με περιβάλλον SSZ, οπότε οι οφίτασβεστίτες της Τήνου φαίνεται να είναι αντίστοιχοι αυτών που σχηματίζονται σε τέτοια περιβάλλοντα και όχι αυτών που δημιουργούνται σε περιβάλλοντα ωκεάνιας διάνοιξης ατλαντικού τύπου.

Ο συνδυασμός των κατακλαστικών πετρωμάτων (λιθότυποι i-ii-iii), των χαοτικών μιγμάτων πλούσιων σε κύρια μάζα (λιθότυπος-iv), που μάλιστα παρουσιάζουν τυπική block-in-matrix δομή (Festa et al., 2012) αλλά και των ταλκικών πετρωμάτων που τα περιβάλλουν, συνιστούν ένα συνδυασμό λιθολογιών που χαρακτηρίζονται ως τεκτονικά πετρώματα σε ωκεάνιο περιβάλλον (fault rocks).

Αν όλα αυτά τα δεδομένα συνδυαστούν, το πιθανότερο μοντέλο γένεσης ενός τέτοιου σχηματισμού θα μπορούσε να είναι μία ωκεάνια ζώνη διάρρηξης, σε γεωτεκτονικό περιβάλλον SSZ (βλ. κεφ. 11.1).

9. ΦΥΣΙΚΑ, ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.

Είναι γεγονός πως ο άνθρωπος χρησιμοποίησε από πολύ νωρίς φυσικούς λίθους για δομικούς και διακοσμητικούς λόγους. Αυτό έγινε αρχικά σαν λύση ανάγκης, διότι δεν υπήρχαν τεχνητά υλικά. Και μεταγενέστερα όμως, αφότου υπήρξε παραγωγή τεχνητών δομικών υλών, η ομορφιά των φυσικών λίθων είναι αυτή που τους έκανε ξανά περιζήτητους. Οι εφαρμογές των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων στα σύγχρονα κτίρια, δεν γίνονται μόνο για το αισθητικό αποτέλεσμα που προσφέρουν, αλλά κυρίως διότι πληρούν τις οικονομικές, τεχνικές και οικολογικές απαιτήσεις. Η παρατήρηση της χρήσης των λίθων με την πάροδο του χρόνου και η πρόδος της τεχνολογίας, μας επιτρέπουν σήμερα, μέσω διαφόρων δοκιμών αξιολόγησης, να γνωρίζουμε πολύ καλά την συμπεριφορά ενός φυσικού λίθου απέναντι στην φθορά, σε όποια χρήση και αν εφαρμόζεται αυτός. Η τελική επιλογή του φυσικού διακοσμητικού πετρώματος για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που προορίζεται (π.χ. δαπεδόστρωση, ορθομαρμάρωση κλπ.), πρέπει να γίνεται μετά από λεπτομερή εξέταση όλων των φυσικών, τεχνικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του λίθου.

Είναι γεγονός, ότι ο πλήρης χαρακτηρισμός ενός φυσικού υλικού που χρησιμοποιείται ως δομικός ή διακοσμητικός λίθος, που θα αποτελέσει την βάση για την επιλογή ή όχι ενός λίθου, συνίσταται από δύο μέρη: (i) την ορυκτολογία του και (ii) τις φυσικές, τεχνικές και μηχανικές ιδιότητές του. Έχοντας καλύψει για τους οφίτασβεστίτες της Τήνου την πρώτη παράμετρο στα προηγούμενα κεφάλαια, εδώ, γίνεται μία προσπάθεια περιγραφής των βασικότερων φυσικών και τεχνικών χαρακτηριστικών των οφίτασβεστιτών της Τήνου, σύμφωνα με τα διεθνή και ευρωπαϊκά πρότυπα αξιολόγησης για φυσικούς λίθους..

Για την αποφυγή αστοχιών, απαιτείται η πιστοποίηση της ποιότητας του πετρώματος, μετά από εξέταση και καταγραφή των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων του, από τις οποίες εξαρτάται η ικανότητά του να αντισταθεί στη μόλυνση του περιβάλλοντος και τις μηχανικές καταπονήσεις, λαμβάνοντας υπόψη και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής του έργου στο οποίο εφαρμόζεται ο εκάστοτε φυσικός λίθος. Ο έλεγχος και η πιστοποίηση καταλληλότητας του υλικού γίνεται μόνο μέσα από την πλήρη εργαστηριακή μελέτη, μετά από μία σειρά δοκιμών, αναλόγως της εφαρμογής του, σε εξειδικευμένα εργαστήρια. Οι βασικές αυτές απαιτήσεις ικανοποιούνται εάν τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα πληρούν συγκεκριμένες Ευρωπαϊκές τεχνικές προδιαγραφές, όπως:

- εναρμονισμένα ευρωπαϊκά πρότυπα (CEN),
- ευρωπαϊκές τεχνικές εγκρίσεις (EOTA),
- αναγνωρισμένες εθνικές προδιαγραφές, αν υπάρχουν.

Στην Ελλάδα τέτοιου είδους ελέγχους πραγματοποιεί το κέντρο LITHOS του Ι.Γ.Μ.Ε., με βάση τις διεθνείς προδιαγραφές ASTM, DIN και UNI και τις νέες ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN για τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα, από την Τεχνική Επιτροπή CEN/TC 246.

Σύμφωνα με τις παραπάνω προδιαγραφές, οι ιδιότητες των φυσικών λίθων που πρέπει να ελέγχονται ανήκουν σε τρεις υποκατηγορίες και είναι οι εξής:

- **Φυσικές Ιδιότητες**

-Φαινόμενη ειδική πυκνότητα (kg/m^3)

Είναι ο λόγος της ξηρής μάζας του πετρώματος προς τον όγκο του. Επειδή όμως τα φυσικά διακοσμητικά πετρώματα έχουν πόρους, κοιλότητες και κενά, υπάρχουν δύο μετρούμενοι όγκοι: ο φαινόμενος, που είναι ο όγκος του πετρώματος μαζί με τα κενά, και ο πραγματικός, που είναι ο όγκος του πετρώματος χωρίς τα κενά. Επομένως, υπάρχουν δύο πυκνότητες για κάθε πέτρωμα, η φαινόμενη και η πραγματική. Χαρακτηριστική των πετρωμάτων είναι η φαινόμενη πυκνότητα, που εκφράζεται σε kg/m^3 . Με την ίδια διαδικασία που προσδιορίζουμε τη φαινόμενη πυκνότητα, μπορούμε να προσδιορίσουμε και άλλους δείκτες του πετρώματος, όπως ο βαθμός πυκνότητας ή συμπαγές (λόγος της ξηρής φαινόμενης πυκνότητας προς την πραγματική πυκνότητα) ή το ανοικτό και ολικό πορώδες, οιοποίοι χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση.

-Συντελεστής υδαταπορρόφησης (% κ.β.)

Με τον όρο υδαταπορρόφηση, εννοούμε την ιδιότητα των πετρωμάτων να απορροφούν (ή να κορένονται σε) νερό. Η υδαταπορρόφηση των φυσικών πετρωμάτων αποτελεί μέτρο της μάζας νερού που απορροφά ένα κορεσμένο δοκίμιο. Στον πίνακα 11 βλέπουμε μερικές ενδεικτικές τιμές των φυσικών ιδιοτήτων διαφόρων διακοσμητικών πετρωμάτων.

- **Μηχανικές Ιδιότητες**

-Αντοχή σε θλίψη (MPa ή kg/cm^2)

Ως αντοχή σε θλίψη ενός πετρώματος ορίζεται ο λόγος του μέγιστου φορτίου που ασκείται σε ένα δοκίμιο προς το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής του (κάθετη στη διεύθυνση φόρτισης). Κατά την καταπόνησή του και μέχρι την θραύση του, το

πέτρωμα περνάει από διάφορες καταστάσεις (ελαστική-πλαστική-εύθραυστη). Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη ενός πετρώματος είναι η ορυκτολογική του σύσταση, το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων του, η ύπαρξη ή όχι και ο βαθμός ανισοτροπίας, το πορώδες και ο βαθμός πυκνότητας.

-Αντοχή σε κάμψη (MPa ή kg/cm²)

Η αντοχή σε κάμψη των φυσικών πετρωμάτων είναι ο λόγος της ροπής κάμψης, κατά τη θραύση του δοκιμίου, προς την ροπή αντίστασης. Εξαρτάται επίσης από τα χαρακτηριστικά της σύστασης και της δομής του πετρώματος.

-Δυναμικό Μέτρο ελαστικότητας (GPa)

Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας E ή μέτρο του Young, είναι μία σταθερά του πετρώματος που ισούται με το λόγο της μεταβολής της τάσης που επιβάλλεται σε ένα δοκίμιο προς την αντίστοιχη μεταβολή της ανοιγμένης αξονικής παραμόρφωσης, $E = \Delta\epsilon / (\Delta l \times l^{-1})$. Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό της ελαστικότητας (λυγίσματος) πλακών, που θα τοποθετηθούν οριζοντίως ή επικλινώς.

• Τεχνικές Ιδιότητες

-Αντοχή σε φθορά μετά από τριβή

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει την αντίσταση των πετρωμάτων στην τριβή (από κυκλοφορία ανθρώπων, οχημάτων κ.λπ.). Ως φθορά ορίζεται η προοδευτική απώλεια υλικού από την επιφάνεια ενός σταθερού δοκιμίου, που προκαλείται μέσω μηχανικών αιτίων (μηχανή τριβής).

-Αντοχή σε κρούση ή Προσδιορισμός της ενέργειας θραύσης

Η δοκιμή αυτή εκφράζει την αντοχή των πετρωμάτων σε θραύση από κρούση και, ειδικότερα, σε καταπονήσεις που υφίστανται αυτά από την ελεύθερη πτώση αντικειμένων. Η ενέργεια θραύσης εκφράζεται ως η ελάχιστη δυναμική ενέργεια σφαίρας ορισμένου βάρους που πέφτει επί δοκιμίου και προκαλεί τη θραύση του.

-Μικροσκληρότητα κατά Knoop

Η ιδιότητα αυτή εκφράζει τη σχέση του συγκεκριμένου φορτίου που εξασκεί η ακίδα του διαμαντιού του μικροσκληρόμετρου τύπου Knoop και της διαγωνίου του αποτυπώματος που αφήνει σε μία γυαλισμένη επιφάνεια διακοσμητικού πετρώματος. Μαζί με την ορυκτολογική και την πετρογραφική εξέταση, μάς παρέχει στοιχεία για την συμπεριφορά του πετρώματος στη φθορά, στην κατεργασία κλπ.

-Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής εκφράζει την επιμήκυνση σε mm/m δοκιμίου φυσικού διακοσμητικού πετρώματος, από την αύξηση της θερμοκρασίας του κατά 1°C. Η γνώση της ιδιότητας αυτής είναι ιδιαίτερα σημαντική, όταν το πέτρωμα χρησιμοποιείται σε χώρες με έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές.

Τελευταία, έχει επικρατήσει οι λίθοι που προορίζονται για εξωτερική χρήση, να υφίστανται κάποιες επιπλέον 'περιβαλλοντικές' δοκιμές, με σκοπό την κατανόηση της συμπεριφοράς τους απέναντι στους καταστροφικούς παράγοντες (χημικοί, βιολογικοί ή φυσικοί) και την πρόληψη ζημιών και την αποκατάσταση φθορών σε σύγχρονα ή αρχαία κτίσματα. Οι περιβαλλοντικές δοκιμές περιλαμβάνουν:

-Αντοχή σε θλίψη μετά από κύκλους ψύξης-απόψυξης.

Αυτή η εξέταση, μάς δίνει πληροφορίες για την ανθεκτικότητα των φυσικών πετρωμάτων στην αποσάθρωση και είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς τους, γιατί πρόκειται να τοποθετηθούν σε κλίματα υγρά και ψυχρά. Η αντίσταση ενός πετρώματος στον παγετό εξαρτάται άμεσα από το πορώδες και τον συντελεστή υδαταπορρόφησής του.

-Αντίσταση στη γήρανση.

Η γνώση της αντίστασης σε γήρανση των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων από ατμοσφαιρικές επιδράσεις είναι καθοριστική για την συμπεριφορά τους, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους. Η επίδραση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας, το οποίο προκαλεί οξειδώσεις σε αρκετά ορυκτά, καθώς και η διαλυτική δράση του νερού της βροχής μαζί με το CO₂ και τους άλλους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές που περιέχει (όπως SO₂, SO₃, NO₂, Cl₂) και δημιουργεί την επικίνδυνη φωτοχημική αιθαλομίχλη και τα διαβρωτικά για τα πετρώματα οξέα (ανθρακικό, θειικό, νιτρικό, υδροχλωρικό), είναι οι κύριες χημικές επιδράσεις της ατμόσφαιρας πάνω στα πετρώματα. Η αντίσταση σε γήρανση των πετρωμάτων

συνδέεται επίσης με την υπεριώδη ακτινοβολία και τις βίαιες εναλλαγές των καιρικών φαινομένων και των θερμοκρασιακών μεταβολών.

Οι πίνακες που ακολουθούν, δείχνουν εν συντομία την σημαντικότητα των κυριότερων ιδιοτήτων (φυσικών, τεχνικών και μηχανικών) των δομικών λίθων.

Πίνακας 11	Ακατέργαστα προϊόντα	Ημικα-τεργασμένα προϊόντα	Τελικά προϊόντα για τις ακόλουθες χρήσεις					
			1		2		3	4
			α	β	α	β		
Πετρογραφικός προσδιορισμός	***	***	***	***	***	***	***	***
Μέγεθος και σχήμα	***	***	***	***	***	***	***	***
Φαινόμενη ειδική πυκνότητα	***	***	***	***	***	***	***	***
Αντοχή σε θλίψη	***	**	**	*	**	**	***	*
Αντοχή σε κάμψη	***	***	***	*	**	**	***	***
Μέτρο ελαστικότητας	***	**	***	*	**	*	***	*
Αντοχή στην πρόσκρουση	***	***	**	**	***	***	***	***
Μικροσκληρότητα Κnoop	***	**	*	*	***	***	**	*
Υδαταπορρόφηση	***	***	***	**	***	**	**	***
Συντελεστής θερμικής διαστολής	**	**	***	*	**	**	**	**
Αντοχή στον παγετό	***	**	***	*	***	*	**	***
Αντοχή στην τριβή	***	***	**	**	***	***	***	*
Αντοχή στη διάβρωση	***	***	***	*	***	*	***	***

* μικρός βαθμός σπουδαιότητας,
 ** μέτριος βαθμός σπουδαιότητας,
 *** μεγάλος βαθμός σπουδαιότητας

1. α. επενδύσεις εξωτερικές, β. επενδύσεις εσωτερικές
 2. α. δαπεδοστρώσεις εξωτερικές, β. δαπεδοστρώσεις εσωτερικές
 3. σκάλες
 4. στέγες

Πίνακας 11: Βαθμός σπουδαιότητας των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των διακοσμητικών πετρωμάτων ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται (Λασκαρίδης 2002).

α/α	Δοκιμή	Σχετικά Πρότυπα
1.	Φαινόμενη ειδική πυκνότητα	• ASTM C-97- 96 • DIN 52102 • EN 1936
2.	Ανοικτό πορώδες	• ASTM C-97-96 • DIN 52102 • EN 1936
3.	Υδαταπορρόφηση σε ατμοσφαιρική πίεση	• ASTM C-97-96 • DIN 52103 • EN 13755
4.	Ορυκτολογική -πετρογραφική μελέτη	• EN 12407 • DIN 52100-2
5.	Καθορισμός της μικροσκληρότητας κατά Κnoop	• UNI 9724 Μέρος 6^α • EN 14205
6.	Αντοχή στις θερμοκρασιακές μεταβολές	• EN ISO 10545-9 • DIN 52204
7.	Αντοχή στη θλίψη	• ASTM C-170-90 • DIN 52105 • EN 1926
8.	Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη (3 & 4 σημείων)	• ASTM C-99-87 • ASTM C-880-96

		• DIN 52112 • EN 12372
9.	Αντίσταση στην πρόσκρουση ή προσδιορισμός της ενέργειας θραύσης	• UNI U 32.07.248.0 • prEN 14158
10.	Προσδιορισμός του συντελεστή ευθύγραμμης θερμικής διαστολής	• DIN 18155 • DIN EN ISO 10545-8
11.	Αντοχή στην φθορά από τριβή κατά Boehme	• DIN 52108
12.	Προσδιορισμός της ολισθηρότητας με τη βοήθεια συσκευής δοκιμής με εκκρεμές	• EN 14231
13.	Αντίσταση στον παγετό μετά από εφαρμογή κύκλων ψύξης - απόψυξης	• ASTM C-666-97 • DIN 52104 Μέρος 1 • EN 12371
14.	Αντίσταση στη γήρανση λόγω αλατονέφωσης	• prEN 14147
15.	Μέτρηση ανωμαλιών επιφανείας	• DIN 4768 • DIN 4771 • ISO 468
16.	Αντίσταση στη γήρανση με θερμικό αιφνιδιασμό	• EN 14066

Πίνακας 12: Κατάλογος δοκιμών και αντίστοιχων προτύπων (Λασκαρίδης 2002)..

Τέλος, σύμφωνα με το πρότυπο prEN 1469 (Οκτώβριος 2003), καθορίζονται αυστηρά οι απαιτήσεις και οι απαραίτητες μέθοδοι δοκιμής για πλάκες ορθομαρμαρώσεων, καθώς και το σύστημα ελέγχου σε εργοστάσιο παραγωγής, για εσωτερικό έλεγχο της παραγωγής. Εδώ οι πλάκες διαστασιολογούνται λαμβάνοντας υπ' όψη το πρότυπο EN 13373 (Προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών), κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες και ορίζονται οι αντίστοιχες επιτρεπόμενες ανοχές:

Ονομαστικό πάχος σε mm	Ανοχή
>12 έως ≤ 30	±10%
> 30 έως ≤ 80	± 3 mm
> 80	± 5 mm

Το απαιτούμενο πάχος των πλακών ορίζεται όμως από ανάλυση της δομής του υλικού ή από παρεμφερή διαδικασία η οποία λαμβάνει υπόψη τις τεχνικές και φυσικές ιδιότητες του πετρώματος και την προτεινόμενη χρήση του. Στη συνέχεια το πρότυπο ορίζει τις ιδιότητες των πλακών ορθομαρμαρώσεως που πρέπει να ελέγχονται και αναφέρονται στον πίνακα 13.

Σχετικό άρθρο για την εφαρμογή	Ιδιότητες / χαρακτηριστικά	Μέθοδος δοκιμής σύμφωνα με
4.2.2.	Πετρογραφική περιγραφή	EN 12407
4.2.3	Μακροσκοπική παρατήρηση	Οπτικά
4.2.4	Αντοχή σε θλίψη	EN 12372 ή EN 13161
4.2.5	Φορτίο θραύσης στην οπή αγκύρωσης	EN 13364
4.2.6	Υδαταπορρόφηση σε ατμοσφαιρική πίεση	EN 13755
4.2.7	Αντίδραση στη φωτιά(μόνο εάν απαιτείται)	EN 13501-1
4.2.8	Υδαταπορρόφηση μέσω του τριχοειδούς	EN 1925
4.2.9	Φαινόμενη πυκνότητα και ανοικτό πορώδες	EN 1936
4.2.10	Αντίσταση σε παγετό	EN 12371
4.2.11	Αντίσταση σε θερμικό αιφνιδιασμό	EN 14066
4.2.12	Διαπερατότητα υδρατμών	EN 12524

Πίνακας 13: Ιδιότητες των πλακών ορθομαρμαρώσεως που πρέπει να ελέγχονται (Λασκαρίδης 2002). .

Επίσης το πρότυπο αναφέρει ότι πρέπει να δημιουργηθεί και να τεκμηριωθεί ένα Σύστημα Ελέγχου της Εργοστασιακής Παραγωγής (Σ.Ε.Ε.Π), για εσωτερικό έλεγχο της παραγωγής. Οι δοκιμές και οι έλεγχοι των επιθεωρήσεων πρέπει να είναι σύμφωνα με τα αναφερόμενα στον Πίνακα 14.

Σχετικό άρθρο για την εφαρμογή *	Χαρακτηριστικά	Συχνότητα ελέγχου	Μέθοδος δοκιμής σύμφωνα με
4.1 4.2.3	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά Μακροσκοπική παρατήρηση	Κάθε παρτίδα παραγωγής ¹⁾	EN 13373 Οπτικά
4.2.4 4.2.6 ή / και 4.2.9	Αντοχή σε θλίψη** Υδαταπορρόφηση** Φαινόμενη πυκνότητα και ανοικτό πορώδες**	Σύμφωνα με το σύστημα ελέγχου εργοστασιακής παραγωγής, αλλά τουλάχιστον κάθε 2 χρόνια	EN 12372 ή EN 13161 EN 13755 EN 1936
4.2.2 4.2.5 4.2.7 4.2.8 4.2.10 4.2.11 4.2.12	Πετρογραφική περιγραφή** Φορτίο θραύσης στην οπή αγκύρωσης** Αντίδραση στη φωτιά ²⁾ Υδαταπορρόφηση μέσω του τριχοειδούς** Αντίσταση σε παγετό** Αντίσταση σε θερμικό αιφνιδιασμό** Διαπερατότητα υδρατμών**	Σύμφωνα με το σύστημα ελέγχου εργοστασιακής παραγωγής, αλλά τουλάχιστον κάθε 10 χρόνια	EN 12407 EN 13364 EN 13501-1 EN 1925 EN 12371 EN 14066 EN 12524
¹⁾ Το μέγεθος ή η ποσότητα της παρτίδας παραγωγής ορίζεται από τον παραγωγό έχοντας σαν σημείο αναφοράς την ημερήσια παραγωγή, τον αριθμό των παραδόσεων και τον τελικό προορισμό της επιθυμητής ποσότητας πλακών ²⁾ μόνο εάν απαιτείται * Η αναφορά θα γίνεται σ' αυτά τα άρθρα ώστε να αποφασίζεται ποια χαρακτηριστικά πρέπει να προσδιορίζονται ** Όταν το αρχικό υλικό που ελέγχθηκε είναι παρόμοιας φύσης με το τελικό προϊόν, ο παραγωγός μπορεί να αναφέρεται στα σχετικά αποτελέσματα			

Πίνακας 14 (ΣΕΕΠ): Συχνότητα ελέγχου κατά την εργοστασιακή παραγωγή (Λασκαρίδης 2002). .

Η ολοκλήρωση όλων των παραπάνω δοκιμών, επιτρέπει την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, για την εξαγωγή των βέλτιστων τιμών. Σε τελευταίο στάδιο, ο παραγωγός ή ο εξουσιοδοτούμενος εκπρόσωπός του πρέπει να προετοιμάσει και να εξασφαλίσει την λεγόμενη 'Δήλωση συμμόρφωσης' που έχει την μορφή της εικ. 34. Όσον αφορά στη σήμανση CE, ο παραγωγός ή ο

εξουσιοδοτούμενος εκπρόσωπός του είναι υπεύθυνος για την απόδοσή της. Το σύμβολο CE για τα προϊόντα των πλακών πρέπει να εμφανίζεται στη συσκευασία ή/και στα συνοδεύοντα εμπορικά έγγραφα και πρέπει να συνοδεύεται από τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Αναφορά στο πρότυπο EN 1469,
- Το όνομα ή το χαρακτηριστικό γνώρισμα του παραγωγού ή του εισαγωγέα, εάν ο δεύτερος από τους αναφερόμενους είναι επιφορτισμένος να εγγυηθεί την συμμόρφωση του προϊόντος,
- Τα δύο τελευταία ψηφία του έτους κατά το οποίο αποδόθηκε το CE,
- Η ταξινόμηση του προϊόντος και η τελική χρήση του,
- Οι ενδείξεις για να αναγνωρίζονται τα χαρακτηριστικά του προϊόντος όπως φαίνονται στον Πίνακα 14.

CE ΈΤΟΣ: 2003	Πρότυπο αναφοράς: EN 1469 Προϊόν: Πλάκες από φυσικούς λίθους για ορθομαρμαρώσεις Ονομασία: Σύμφωνα με το πρότυπο EN 12440 Τελική εφαρμογή: Εξωτερική επένδυση τοίχου	
Όνομα και Διεύθυνση του παραγωγού: XXXXXX		
Χαρακτηριστικά	Προσδιορισθείσες τιμές	Μέθοδος δοκιμής ή προσδιορισμού
Αντίδραση στη φωτιά	Κατηγορία A1	Χωρίς δοκιμή (απόφαση 96/603/EC)
Αντοχή σε θλίψη	Χαμηλότερη αναμενόμενη τιμή, Μέσος όρος, τυπική απόκλιση, MPa	EN 12372 ή EN 13161
Φορτίο θραύσης στην οπή αγκύρωσης	Χαμηλότερη αναμενόμενη τιμή, Μέσος όρος, τυπική απόκλιση, N	EN 13364
Αντίσταση σε παγετό	Αλλαγή του Μ.Ο. της αντοχής σε θλίψη: μετά από 12 κύκλους εκφραζόμενη %	EN 12371
Διαπερατότητα υδρατμών	Δεν έχει ελεγχθεί	EN 12524
Αντίσταση σε θερμικό αιφνιδιασμό	Μετά από 20 κύκλους: -Μη απώλεια όγκου - Μείωση του δυναμικού μέτρου Ελαστικότητας < 6%(=...)	EN 14066
Φαινόμενη πυκνότητα	Απόέως....kg/m ³	EN 1936

Εικόνα 35: Παράδειγμα πιστοποιητικού CE, που αφορά σε πλάκες από φυσικούς λίθους για εξωτερικούς τοίχους.

Η Δήλωση Συμμόρφωσης για το πράσινο μάρμαρο της Τήνου, από την εταιρεία DionyssoMarble S.A., η οποία εκδόθηκε το έτος 2009, παρατίθεται στον πίνακα 15.

Όμως, πέρα από όλα τα παραπάνω στάδια πιστοποίησης, που είναι απαραίτητα για να κριθεί η καταλληλότητα του εκάστοτε λίθου, οι οφίτασβεστίτες, μπορεί να περιέχουν μικρά ποσοστά ινωδών ορυκτών (σερπεντίνης, αμφίβολοι κλπ.). Η νομοθεσία στην περίπτωση αυτή, προβλέπει την υποχρεωτική τοποθέτηση ειδικής σήμανσης (Εικ. 36) σε κάθε προϊόν που περιέχει αμιάντο, με στόχο την ενημέρωση και την προστασία των υποψήφιων αγοραστών του υλικού.

Πέρα από όλες τις παραμέτρους που αναλύθηκαν προηγουμένως, οι οποίες ισχύουν για κάθε φυσικό λίθο, θα πρέπει να επισημανθούν και ορισμένα χαρακτηριστικά που έχουν προκύψει ειδικά από την εμπειρία της χρήσης του ‘πράσινου μάρμαρου’, των οφίτασβεστιτών δηλαδή της Τήνου. Έχει παρατηρηθεί ότι οι οφίτασβεστίτες, ως πετρώματα-μέλη της ευρύτερης οικογένειας των σερπεντινιτών, όταν αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί για να επιστρωθούν σε επιφάνειες που εκτίθενται σε διάφορες ισχυρές χημικές προσβολές, παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά που θα είχαν, αν αποσαθρόνωνταν στο ύπαιθρο (Pereira et al., 2007). Αυτό οφείλεται τόσο στο ορυκτολογικό περιεχόμενό τους (π.χ. Fe-πλούσια ορυκτά που μπορεί να οξειδωθούν κλπ.) όσο και στην μειωμένη ανθεκτικότητα που αυτά τα ορυκτά έχουν (χαμηλή σκληρότητα κλπ.). Έτσι, ένα βασικό μειονέκτημα σχετικά με τις εξωτερικές χρήσεις, είναι η διόγκωση που μπορεί να υποστεί το υλικό, με την πάροδο του χρόνου, ιδίως αν είναι πλούσιο σε τάλη. Η αύξηση του όγκου μαιραία οδηγεί σε δημιουργία ή επανενεργοποίηση επιφανειών αδυναμίας και τέλος στην αποφλοίωση του λίθου κατά μήκος αυτών των επιφανειών, προϊόντος του χρόνου.



Τελευταία, δοκιμαστικές εφαρμογές ενισχυτικών πολυμερών και ρητινών, έδωσαν θαυμάσια αποτελέσματα, προσφέροντας λύση σε ένα πρόβλημα που εμπόδιζε πολύ την χρήση του ‘πράσινου μάρμαρου’ σε εξωτερικές εφαρμογές. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι με την μακροχρόνια έκθεση του υλικού, κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και των ατμοσφαιρικών ρύπων, οι λευκές περιοχές του κιτρινίζουν προοδευτικά, υποβαθμίζοντας σημαντικά το αισθητικό αποτέλεσμα επιφανειών που έχουν επενδυθεί με το ‘πράσινο μάρμαρο’.

Σχετικά με την χρήση του σε εσωτερικούς χώρους, ένα μειονέκτημα που εμφανίζει το υπό μελέτη υλικό, είναι η αντίδρασή του (και κυρίως της ανθρακικής φάσης) με τα ισχυρά χημικά καθαριστικά που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η αντίδραση αυτή, μπορεί να επιφέρει χρωματική αλλοίωση στο υλικό, με αποτέλεσμα την απώλεια της πολυτελούς του αίσθησης και την αισθητική του υποβάθμιση. Για το λόγο αυτό, συνιστάται ο προσεκτικός καθαρισμός επιφανειών που έχουν επιστρωθεί με τον οφίτασβεστίτη, πάντα με την χρήση καθαριστικών χωρίς ισχυρά δραστικά μέσα (όπως οξέα, με πιο συχνή την χλωρίνη.)

Χαρακτηριστικά	Δηλωμένες Τιμές	Μέθοδος Δοκιμής
Αντίδραση στην φωτιά	Κατηγορία A1	χωρίς δοκιμή (απόφαση 96/603/EC)
Αντοχή σε κάμψη υπό συγκεκριμένο φορτίο	min προσδοκώμενη τιμή 6,65 MPa μέση τιμή 7,45 MPa Τυπική απόκλιση 0,35 Mpa	EN 12372
Αντοχή σε θλίψη	min προσδοκώμενη τιμή 63,3 MPa μέση τιμή 101,6 MPa Τυπική απόκλιση 19,1 Mpa	EN 1926
Αντοχή της στερέωσης (φορτίο θραύσης στην οπή αγκύρωσης)	min προσδοκώμενη τιμή 1016 N μέση τιμή 1162,9 N Τυπική απόκλιση 107,5 N	EN 13364
Υδαταπορρόφηση σε Patm	2,1% κ.β.	EN 13755
Υδαταπορρόφηση από τριχοειδή	1,6 g/(m ² x sec ^{0,5})	EN 1925
Φαινόμενη πυκνότητα	2769 kg/m ³	EN 1936
Ανοικτό πορώδες	2,5 % κ.ο.	EN 1936
Αντίσταση στην ολισθηρότητα (γυαλισμένο)	Δείκτης SRV _{ΞΗΡΗ} : 51,3 Δείκτης SRV _{ΥΓΡΗ} : 27,6	EN 14231
Αντίσταση σε τριβή	19857 mm ³ (απώλεια όγκου)	EN 14157 (b method)
Αντίσταση στην γήρανση με θερμικό αιφνιδιασμό (μετά από 20 κύκλους)	μέση μεταβολή μάζας: -0,2% μέση μεταβολή δυναμικού μέτρου ελαστικότητας: -0,5%	EN 14066

Πίνακας 15. Χαρακτηριστικά για την απόδοση σήμανσης CE στο πράσινο μάρμαρο τήνου, σύμφωνα με τα πρότυπα EN1469/2004, EN12057/2004 και EN12058/2004 όπως υποβλήθηκαν από την DionyssoMarbles S.A. (έτος 2009).

10. Περιβαλλοντικά προβλήματα από την εξόρυξη και την χρήση των οφίτασβεστιτών της Τήνου

Είναι γνωστό ότι οι λατομικές δραστηριότητες, στο χώρο που αναπτύσσονται, προκαλούν μία γενικότερη αλλοίωση του περιβάλλοντος. Παλαιότερα, δεν είχαν θεσπιστεί κανόνες προστασίας του περιβάλλοντος για την λειτουργία των λατομείων και δεν ήταν απαραίτητη κάποια ειδική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για να αδειοδοτηθούν. Σήμερα όμως, τα πράγματα είναι πολύ διαφορετικά. Έχουν θεσμοθετηθεί αυστηρές προδιαγραφές για να αδειοδοτηθεί μία λατομική ή μεταλλευτική επιχείρηση. Οι προδιαγραφές αυτές, αποσκοπούν στην προστασία του φυσικού αλλά και του δομημένου περιβάλλοντος στον ευρύτερο χώρο που πρόκειται να εγκατασταθεί η επιχείρηση. Οι παραπάνω προδιαγραφές περιγράφονται αναλυτικά στον νέο Κανονισμό Μεταλλευτικών και Λατομικών Εργασιών (ΚΜΛΕ), έτσι όπως δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ 1227Β/2011. Στόχος του νέου κώδικα, είναι η εξασφάλιση της προστασίας του περιβάλλοντος πριν, κατά και μετά την φάση της εκμετάλλευσης.

Ο κώδικας προβλέπει σαφώς την υποχρέωση των ιδιοκτητών των λατομικών και μεταλλευτικών επιχειρήσεων, να εκπονήσουν και να υλοποιήσουν την λεγόμενη ‘Μελέτη Περιβαλλοντικής Αποκατάστασης’, με γενικό στόχο την κατά το μέγιστο δυνατό βαθμό αποκατάσταση των αλλοιώσεων που προήλθαν από την λατομική ή την μεταλλευτική δραστηριότητα στον χώρο της εκμετάλλευσης. Με τον όρο αποκατάσταση ανενεργών λατομικών χώρων εννοείται είτε η πρόσδοση στο χώρο των βασικών χαρακτηριστικών της πριν την εκμετάλλευση μορφής του (restoration) είτε η κατάλληλη διαμόρφωση του χώρου για την υποδοχή μιας νέας χρήσης (rehabilitation). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαμόρφωσης, της βλαστητικής αποκατάστασης και της οικολογικής ανασυγκρότησης του χώρου λειτουργίας του λατομείου αλλά και των λοιπών εγκαταστάσεων που συνδέονται με την εξορυκτική δραστηριότητα.

Συνήθως, τα σημαντικότερα προβλήματα που εντοπίζονται στους λατομικούς χώρους και που πρέπει να αντιμετωπιστούν είναι:

- Η οπτική όχληση και η αισθητική υποβάθμιση.
- Η σκόνη και ο θόρυβος εξαιτίας των εξορυκτικών δραστηριοτήτων και της κίνησης των φορτηγών αυτοκινήτων που είναι απαραίτητα.
- Η καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας, καθώς και η υποβάθμιση της ποιότητας του υπόγειου και επιφανειακού νερού.

- Οι μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων λατόμευσης.
- Οι δονήσεις που προκαλούνται από τις εκρήξεις, στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται εκρηκτικά, οι οποίες επηρεάζουν κατοικημένες περιοχές και μνημεία που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις από το χώρο εκμετάλλευσης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών ή και σοβαρότερων ζημιών.

Όμως, δεν είναι όλα τα παλαιά και ανενεργά λατομεία κατάλληλα για αποκατάσταση. Η επιλογή της αποκατάστασης ή όχι, ενός τέτοιου χώρου μπορεί να επιβάλλεται από μία πληθώρα αιτιών. Τα σπουδαιότερα κριτήρια που πρέπει να εξετάζονται προκειμένου να αποφασιστεί η καταλληλότητα ενός λατομείου για ανάπλαση είναι τα εξής:

- Ρύπανση (υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, επιφανειακών υδάτων)
- Υγειονομικοί κίνδυνοι (ανεξέλεγκτη απόθεση απορριμμάτων)
- Κίνδυνοι για την ασφάλεια (υψηλά πρηνή, αστοχίες)
- Οπτική ρύπανση (ορατό από οικισμούς, από οδικό δίκτυο, από αρχαιολογικούς ή τουριστικούς χώρους)
- Προσβολή φυσικού περιβάλλοντος (χλωρίδα, πανίδα)
- Έκταση
- Μορφολογία (κλίσεις φυσικού ανάγλυφου, πρηνών)
- Γεωλογία
- Υδρογεωλογία
- Απόσταση από αστικά κέντρα ή οικισμούς
- Απόσταση από βασικά δίκτυα υποδομής (οδικό, ύδρευσης, ηλεκτρικού ρεύματος)
- Προσβασιμότητα
- Δυνατότητα αξιοποίησης αποθεμάτων υλικού, προϊόντων και παραπροϊόντων
- από τη φάση της λειτουργίας του λατομείου
- Χρήσεις γης στον περιβάλλοντα του λατομείου χώρο (οικιστική ζώνη, καλλιεργήσιμη γη, δασική έκταση, προστατευόμενη ζώνη)
- Αναπτυξιακό σχέδιο περιοχής (βελτίωση περιβάλλοντος, σταθερότητα συνθηκών, επιβάρυνση).

Στην περίπτωση των λατομείων της Τήνου, η εκμετάλλευση πράσινου (αλλά και λευκού μαρμάρου) έχει ξεκινήσει από την αρχαιότητα και συνεχίζεται με ελάχιστες διακοπές έως και σήμερα. Όπως είναι κατανοητό, τα λατομεία δημιουργήθηκαν χωρίς

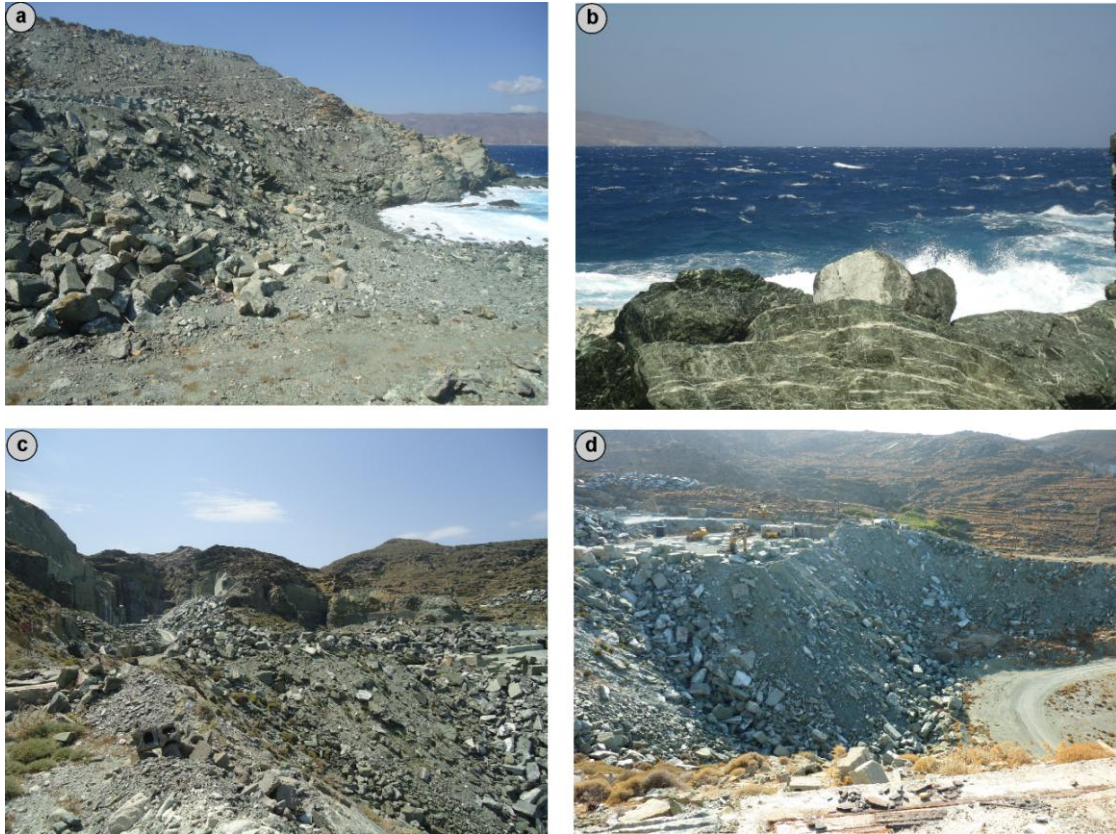
συγκεκριμένες προδιαγραφές. Παρά το γεγονός αυτό, τα λατομεία των οφίτασβεστιτών βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές στο ΒΔ άκρο του νησιού, σε μεγαλύτερη απόσταση ασφαλείας από την προβλεπόμενη από τον νόμο, από κάθε οικισμό, μνημείο, σημείο ιδιαίτερου φυσικού κάλλους/ενδιαφέροντος ή οδικό άξονα. Επομένως, δεν τίθεται ουσιαστικό θέμα οπτικής όχλησης από τις εκσκαφές, αφού δεν είναι ορατές παρά μόνο από θαλάσσης. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η μέθοδος εκμετάλλευσης που εφαρμόζεται είναι η βαθμιδωτή με χρήση συρματοκοπής, ως εκ τούτου δεν γίνεται χρήση εκρηκτικών και δεν παράγεται θόρυβος ή δονήσεις.

Στην περιοχή το υδρογραφικό δίκτυο είναι από ελάχιστα έως καθόλου ανεπτυγμένο και η μικρή περατότητα των πετρωμάτων δεν αφήνει πολλά περιθώρια για υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Φυσικά κάτι τέτοιο προκύπτει κυρίως από τις δραστηριότητες των λατομείων, που αφορούν μόνο στην κοπή, διαμόρφωση και μεταφορά όγκων πράσινου μαρμάρου, διαδικασίες που δεν παράγουν κανένα ρύπο που θα μπορούσε να θέσει σε κίνδυνο το υδατικό σύστημα της περιοχής.

Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα, εστιάζεται στην παραγόμενη σκόνη από την κοπή όγκων οφίτασβεστίτη. Η ορυκτολογική του σύσταση, που είναι πολύ πλούσια σε ορυκτά του σερπεντίνης (αντιγορίτης, σπάνια χρυσοτίλλης) αλλά και σε ακτινόλιθο και τρεμολίτη, καθιστούν την σκόνη που παράγεται από την συρματοκοπή επικίνδυνη. Η έκθεση των εργαζομένων στην σκόνη αυτή δυνητικά θα μπορούσε να προκαλέσει βλάβες στο αναπνευστικό τους σύστημα και σε ακραίες περιπτώσεις να συντείνει στην ανάπτυξη διαφόρων σοβαρών ασθενειών των πνευμόνων όπως πνευμονοκονίαση, μεσοθηλίωμα ή ακόμα σε ακραίες περιπτώσεις (και σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες) καρκίνο. Για τον λόγο αυτό, εφαρμόζεται αυστηρά ο κανονισμός λειτουργίας και των δύο εταιρειών, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία, που προβλέπει υποχρεωτικά την χρήση ειδικής μάσκας και στολής εργασίας καθ' όλη την διάρκεια της παραμονής των εργαζομένων στον χώρο του λατομείου. Να σημειωθεί εδώ ότι ο χρυσοτίλλης (σερπεντινικός αμιάντος), ο τρεμολίτης και ο ακτινόλιθος (αμφιβολικός αμιάντος) είναι επουσιώδη ορυκτά, επομένως, δεν μπορούν να κατηγορηθούν για την δημιουργία προβλημάτων υγείας σε μεγάλη κλίμακα.

Επίσης, ένα ακόμη πρόβλημα που πρέπει αν επισημανθεί αφού προκύπτει από την λειτουργία των λατομείων, είναι η συσσώρευση τεράστιων ποσοτήτων υλικών, που προέρχονται από την εκσκαφή (αποκάλυψη του κοιτάσματος και απομάκρυνση των στείρων) και την λατόμευση (κοπή και διαμόρφωση εμπορεύσιμων όγκων). Τα υλικά αυτά μπορεί να προέρχονται από τα στείρα (πρασινοσχιστόλιθοι) ή συνηθέστερα να

προέρχονται από όγκους οφίτασβεστίτη που έσπασαν ή είναι για διάφορους λόγους ακατάλληλοι για κατεργασία και εμπορία. Η συσσώρευση των λατομικών υπολειμμάτων γίνεται εντελώς άναρχα, σε σημείο που η οπτική όχληση που προκαλείται σε όποιον αντικρίζει την περιοχή, να είναι σημαντική (Εικ. 37).



Εικόνα 37: Συσσωρεύσεις υπολειμμάτων λατόμευσης από διάφορες θέσεις εκμετάλλευσης οφίτασβεστιτών, στην ευρύτερη περιοχή του Μαρλά, ΒΔ τήνος.

Επομένως, το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί στην περίπτωση των λατομείων οφίτασβεστίτη της Τήνου, είναι η παραγόμενη σκόνη από τις εργασίες αποκοπής όγκων πετρώματος και η συσσώρευση των υπολειμμάτων της λατόμευσης. Σχετικά με το πρώτο πρόβλημα, οι εταιρείες μπορούν να προμηθευτούν σύγχρονα μηχανήματα κοπής και μορφοποίησης των εξορυσσόμενων όγκων με κονιοσυλλέκτες, ώστε κατά τις αντίστοιχες διαδικασίες (κοπής και διαμόρφωσης του υλικού) να μην εκλύεται ελεύθερα η σκόνη στον περιβάλλοντα χώρο. Επίσης, κρίνεται απαραίτητο να γίνει επίστρωση των οδών προσπέλασης από και προς τα μέτωπα κοπής με σκυρόδεμα, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ρύπανση από την σκόνη λόγω της κίνησης στους χωμάτινους δρόμους των φορτηγών που μεταφέρουν το εξορυχθέν υλικό και των λοιπών μηχανημάτων. Η λύση αυτή προτιμάται από την

συνεχή διαβροχή των δρόμων με υδατοφόρο όχημα, λόγω της ορυκτολογικής σύστασης του υλικού, η οποία το καθιστά επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Με την εφαρμογή του συνόλου των παραπάνω λύσεων, η εκπεμπόμενη σκόνη θα είναι εντός των ορίων που έχουν θεσπιστεί από τον ΚΜΛΕ και που αντιστοιχούν σε μέγιστη αναλογία 5mg σκόνης ανά κυβικό μέτρο αέρα (Π.Δ. 307/1986, 77/1993 & 90/1999).

Σχετικά με τα υπολείμματα της λατόμευσης, αυτά θα μπορούσαν να ενταφιαστούν στον χώρο ενός αργούντος λατομείου, σύμφωνα πάντα με κάποιο ολοκληρωμένη μελέτη διαχείρισης του ευρύτερου χώρου.

Δεδομένης της κατάστασης που επικρατεί, θα μπορούσαν να προταθούν τρεις βασικές λύσεις απέναντι στο πρόβλημα της αποκατάστασης των λατομείων.

Η πρώτη λύση είναι η λεγόμενη 'μηδενική λύση'. Η μηδενική λύση προτείνει την μη αποκατάσταση των λατομείων και την παραμονή τους ως έχουν. Η λύση όμως αυτή, δεν μπορεί να ακολουθηθεί, καθώς το εξορυσσόμενο πέτρωμα μπορεί όταν εκτίθεται στις επιφανειακές συνθήκες και διαβρώνεται, να προκαλέσει απελευθέρωση ινωδών ορυκτών, τα οποία μπορούν υπό προϋποθέσεις (διάρκεια και ένταση της έκθεσης, μέγεθος των σωματιδίων που εισπνέονται κλπ.) να είναι επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία.

Η δεύτερη λύση αφορά στην καθολική αποκατάσταση των λατομείων εξόρυξης οφίτασβεστιτών, στις περιπτώσεις που το κοίτασμα έχει εξαντληθεί ή εξόρυξή τους δεν είναι επικερδής με τις παρούσες οικονομικοτεχνικές συνθήκες, αποτελεί ένα μεγάλο θέμα προς συζήτηση. Φυσικά, κάποια από τα υφιστάμενα αργούντα λατομεία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως χώροι ταφής των υπολειμμάτων λατόμευσης από όσα λατομεία είναι σε λειτουργία. Αυτό κρίνεται απαραίτητο, διότι το πέτρωμα παρουσιάζει αυξημένη ευαισθησία στο ηλιακό φως, με αποτέλεσμα την ταχύτατη διάσπασή των εκτεθειμένων όγκων κατά μήκος επιφανειών ασυνεχειών. Το τελευταίο οδηγεί στην διάλυση περιοχών πλούσιων σε ορυκτά του σερπεντίνη, τα οποία είναι ουσιαστικά τα ορυκτά με την λιγότερη αντοχή στην διάβρωση. Οι μικροσκοπικοί ινώδεις κρύσταλλοι στην συνέχεια παρασύρονται από τον άνεμο και μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν παράγοντα επιβάρυνσης της ανθρώπινης υγείας. Μετά την ταφή των υπολειμμάτων, οι χώροι αυτοί θα μπορούσαν να αποκατασταθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα και μικρό σχετικά κόστος. Δεδομένου του ότι δεν απαιτούνται ιδιαίτερες επεμβάσεις μεγάλης κλίμακας (ίσως χρειαστούν διαμορφώσεις κάποιων επισφαλών πρανών - ξεσκάρωμα), οι αποκαταστάσεις θα μπορούσαν να

είναι απολύτως επιτυχείς. Τα βασικότερα στοιχεία είναι η τελική διαμόρφωση της επιφάνειας του προς αποκατάσταση χώρου, μετά την ταφή των υπολειμμάτων, η αποκατάσταση του εδαφικού καλύμματος και η φύτευση του χώρου με είδη της υφιστάμενης χλωρίδας. Οι παραπάνω εργασίες θα μπορούσαν να περιγραφούν υπό την μορφή διαγράμματος ροής:

- Επιλογή και διαμόρφωση των χώρων που θα δεχτούν τα υπολείμματα της λατόμευσης.
- Προετοιμασία των ελεύθερων επιφανειών που θα προκύψουν από το προηγούμενο βήμα. Διαμόρφωση των βαθμίδων εκμετάλλευσης όπου κρίνεται απαραίτητο.
- Στερέωση έναντι ολισθήσεων, όπου κρίνεται απαραίτητη.
- Προσθήκη εδαφικού υλικού, με σύσταση παρόμοια με αυτή που απαντάται στην περιοχή.
- Φύτευση. Θα πρέπει να προτιμηθεί η φύτευση με φυτάρια, που προέρχονται από σπόρους, βωλόφυτα, ή γυμνόριζα με ή χωρίς περικάλυμμα.
- Συντήρηση των φυτών για τα πρώτα 1-2 χρόνια, μέχρι να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα της φύτευσης, αποκατάσταση αστοχιών (αντικατάσταση φυτών που ξεράθηκαν κλπ.).

Η ανάπτυξη της λατομικής εκμετάλλευσης προκάλεσε ασφαλώς την απομάκρυνση του εδαφικού ορίζοντα, ο οποίος είχε ούτως ή άλλως, πολύ μικρό πάχος (λόγω κλιματολογικών και λιθολογικών παραγόντων), αλλά ήταν απαραίτητος για την ανάπτυξη της χλωρίδας της περιοχής. Με τις εργασίες αποκατάστασης, δεν επέρχεται καμία νέα καταστροφή του εδαφικού καλύμματος, αλλά αντιθέτως το εδαφικό υλικό που θα τοποθετηθεί θα αντικαταστήσει πλήρως τον προϋπάρχοντα εδαφικό ορίζοντα και θα αποτελέσει το υπόβαθρο για την βλαστητική αποκατάσταση των ελεύθερων επιφανειών. Η προτεινόμενη φύτευση πρέπει να γίνει με ξηροθερμόφιλα φυτά, επιλεγμένα από την υπάρχουσα θαμνώδη χλωρίδα της Τήνου, ώστε να μην εισαχθούν ανταγωνιστικά είδη και αλλοιωθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των αυτόχθονων ειδών.

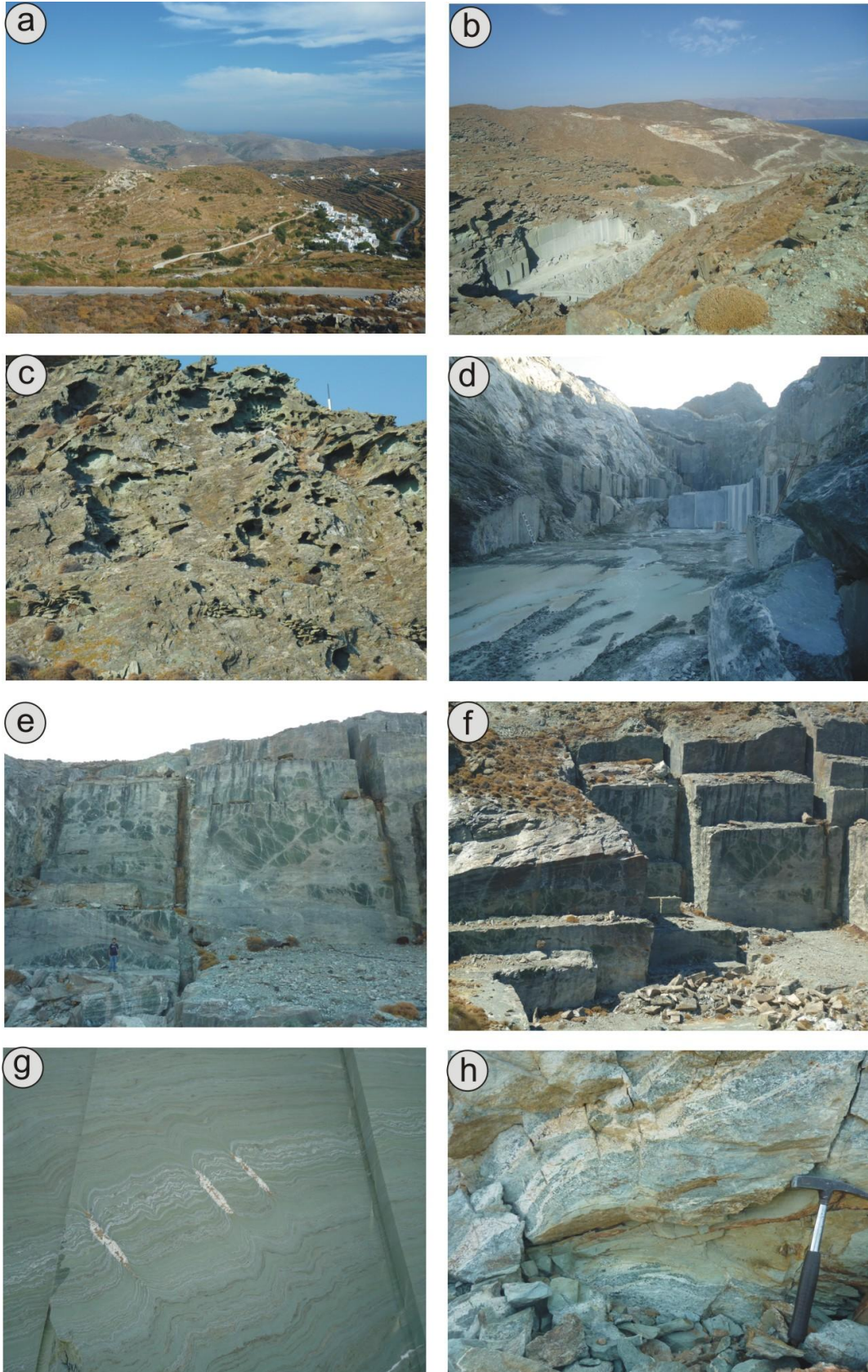
Η τρίτη και τελευταία λύση, η οποία αποτελεί και την πρόταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι ο συνδυασμός των παραπάνω λύσεων.

Πιο αναλυτικά, ένα μέρος των λατομείων θα μπορούσε να διατηρηθεί ως έχει και το υπόλοιπο θα μπορούσε να αποκατασταθεί όπως ακριβώς προτάθηκε στην δεύτερη

λύση. Η διατήρηση κάποιου ή κάποιων από τα λατομεία, κρίνεται σημαντική για πολλούς λόγους. Αρχικά, σε ορισμένες θέσεις, θα μπορούσαν να ανιχνευτούν απομεινάρια αρχαίων εκμεταλλεύσεων. Αυτόματα οι θέσεις αυτές παρουσιάζουν αρχαιολογικό ενδιαφέρον, οπότε η διατήρηση και μη καταστροφή τους είναι απαραίτητη. Επίσης, η πολυπλοκότητα των οφίτασβεστιτών, ως γεωλογικοί σχηματισμοί, καθώς και οι επί μέρους παραμορφωτικές φάσεις που τους επηρέασαν και οι αντίστοιχες δομές που δημιουργήθηκαν, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στον ερευνητικό και εκπαιδευτικό τομέα. Επειδή η εκμετάλλευση έχει αφήσει καθαρές επιφάνειες (από την κοπή) από το εσωτερικό του σχηματισμού, η παρατήρηση και μελέτη των σχηματισμών καθίσταται εξαιρετικά ελκυστική και ενδιαφέρουσα.

Η σχετική σπανιότητα τους, είναι ένα επιπλέον στοιχείο, ενισχυτικό προς την κατεύθυνση διατήρησης κάποιων θέσεων. Αν μάλιστα συνυπολογίσει κανείς την ιστορική παράδοση των Τηνίων καλλιτεχνών στην μαρμαροτεχνία, φαντάζει ιδανική η δημιουργία ενός δικτύου περιπατητικών διαδρομών στο πλαίσιο ενός γεωπάρκου, οι οποίες θα μπορούσαν να ταξιδέψουν τον επισκέπτη τόσο στην γεωλογία, όσο και στην παράδοση του νησιού.

Η διατήρηση ορισμένων θέσεων από τα λατομεία των οφίτασβεστιτών, θα μπορούσε να ενταχθεί σε ένα ευρύτερο πλαίσιο που θα μπορούσε να αποτελέσει μοχλό για την ανάπτυξη του γεωτουρισμού στην Τήνο. Η δημιουργία ενός δικτύου περιπατητικών διαδρομών, οι οποίες θα εστιάζουν στο φυσικό, γεωλογικό και πολιτιστικό πλούτο της περιοχής, είναι μία ευκαιρία για ανάδειξη μιας άλλης πλευράς του τουριστικού δυναμικού της Τήνου, που μέχρι σήμερα είναι κυρίως θρησκευτικού χαρακτήρα. Σε αυτό το δίκτυο, ο επισκέπτης θα μπορούσε να παρακολουθήσει την γεωλογική εξέλιξη του νησιού και να θαυμάσει πετρώματα τα οποία δημιουργήθηκαν πολλές χιλιάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, πριν από δεκάδες εκατομμύρια χρόνια και που σήμερα θεωρούνται ότι σηματοδοτούν υπολείμματα ενός αρχαίου εξαφανισμένου ωκεανού (Εικ. 38). Θα μπορούσε να επισκεφθεί θέσεις λατόμευσης λευκών μαρμάρων και οφίτασβεστιτών, οι οποίες φημίζονταν από την αρχαιότητα για την υψηλή ποιότητα των εξορυσσόμενων υλικών, τα οποία κόσμησαν εκατοντάδες μνημεία σε όλο τον κόσμο.



Εικόνα 38: (a),(b) Πανοραμικές απόψεις της περιοχής Μαρλά, ΒΔ Τήνος; (c) Σχηματισμοί tafoni σε πρασινοσχιστόλιθους, κοντά στα λατομεία πράσινου μάρμαρου; (d),(e),(f) Επιφάνειες εκμετάλλευσης στα λατομεία οφίτασβεστιτών, που προσφέρουν πολύ καλές δυνατότητες παρατήρησης για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς; (h) Σπάνιες τεκτονικές δομές σε πρασινοσχιστόλιθους; (g) μεταγáββροι, πετρώματα που σχηματίστηκαν σε ωκεάνιο περιβάλλον.

Επίσης, θα μπορούσε να δει από κοντά την δύναμη της διάβρωσης και να θαυμάσει τις μορφές tafoni, που ο αέρας και η βροχή σμίλεψαν στους πρασινοσχιστόλιθους κοντά στην περοχή των λατομείων οφίταςβεστίτη. Το ενδιαφέρον των επισκεπτών θα μπορούσε να εστιαστεί και στο φυσικό περιβάλλον της περιοχής, που χαρακτηρίζεται από μία σπάνια ομορφιά, που συνδυάζει την αγριότητα του Κυκλαδίτικου τοπίου με την μοναδικότητα της νησιωτικής πανίδας και χλωρίδας. Και φυσικά, η φυσική κατάληξη ενός τέτοιου δικτύου περιπατητικών διαδρομών, θα μπορούσε να είναι το ιστορικό χωριό του Πύργου, ένα από τα πιο σημαντικά κέντρα μαρμαροτεχνίας της Ελλάδας. Με το ήδη υπάρχον μουσείο μαρμαροτεχνίας, που στεγάζεται στο σπίτι του διάσημου Τήνιου γλύπτη Δημήτρη Φιλιππότη, αλλά και τον περίτεχνο μαρμάρينو διάκοσμο που κυριαρχεί σε κάθε γωνιά του κτισμάτων του χωριού, ο Πύργος θα μπορούσε να αποτελέσει ένα κέντρο ενημέρωσης των επισκεπτών για τον γεωλογικό, φυσικό και πολιτιστικό πλούτο της περιοχής.

11. Συζήτηση

11.1 Πιθανό μοντέλο γένεσης

Από την σύνθεση των δεδομένων που προέκυψαν από την παρούσα εργασία, προέκυψε ότι ο μελετούμενος σχηματισμός περιλαμβάνει 4 κύριους λιθότυπους: το έντονα τεκτονικό-κατακλαστικό σερπεντινιτικό λατυποπαγές με πυκνότατο δίκτυο ασβεστιτικών φλεβών (λιθότυπος-i), τον σχετικά συμπαγή σερπεντινίτη (λιθότυπος ii), το σερπεντινιτικό λατυποπαγές με αραιό δίκτυο ασβεστιτικών φλεβών (λιθότυπος iii) και το πλούσιο σε κύρια μάζα λατυποπαγές (matrix supported breccia, λιθότυπος iv). Η συνολική στρωματογραφική στήλη του σχηματισμού, από το κατώτερο στο ανώτερο τμήμα αποτελείται από την εξής σειρά λιθότυπων: $i \rightarrow ii \rightarrow iii \rightarrow iv$. Πρέπει να σημειωθεί εδώ, πως καθώς ο ένας λιθότυπος διαδέχεται τον άλλο, παρατηρούνται διαφορές στην ορυκτολογία, τις ιστολογικές σχέσεις και την ένταση της τεκτονικής παραμόρφωσης του πετρώματος. Πιο συγκεκριμένα, στην λιθότυπο i, κυριαρχεί η κατάκλαση του σερπεντινίτη και η συγκόλληση των θραυσμάτων από ασβεστίτη με πυκνό κρυσταλλοβλαστικό ιστό. Αξίζει να σημειωθεί πως μέσα στην λιθοφάση αυτή, διακρίνονται ζώνες στις οποίες η κατάκλαση είναι τόσο έντονη, ώστε να χαρακτηρίζονται ως μυλονιτικές. Δείγματα από τέτοιες ζώνες έδειξαν και παρουσία δολομίτη ενώ άλλα ορυκτά όπως τάλκης και χλωρίτης εμφανίζονται σπάνια. Ο λιθότυπος αυτός διαχωρίζεται από την επόμενη (ii) μέσω μίας ζώνης διάτμησης που είναι ορατή σε μία μόνο θέση στο ύπαιθρο. Ο υπερκείμενος λιθότυπος ii περιλαμβάνει συμπαγή σερπεντινίτη με βασίτες. Εδώ ο ασβεστίτης σπανίζει, εμφανίζεται μόνο σε μικρά σπασίματα του σερπεντινίτη και είναι χαρακτηριστική η απουσία άλλων ορυκτών. Η επαφή αυτής του λιθότυπου αυτού με τον υπερκείμενό του (iii) αντιπροσωπεύεται και αυτή από ζώνη διάτμησης, που εμφανίζεται ως μία γεωμετρική ζώνη μικρού πάχους με απότομα όρια. Ο λιθότυπος iii, περιλαμβάνει ένα τεκτονικό λατυποπαγές, όπου οι διαστάσεις των λατυπών είναι μεγάλες (>10cm έως και >1m). Στον ενδιάμεσο χώρο κυριαρχεί ο ασβεστίτης, ενώ τάλκης και χλωρίτης αναπτύσσονται κατά θέσεις μέσα στον ασβεστίτη. Ο μαγνητίτης είναι άφθονος, ενώ σε λίγες περιπτώσεις παρατηρήθηκε και επίδοτο. Ακολουθεί η επαφή με τον υπερκείμενο λιθότυπο iv, η οποία έχει διαβρωσιγενείς χαρακτήρες. Πάνω από αυτήν την επαφή, η εικόνα του σχηματισμού αλλάζει εντελώς. Κυριαρχεί μικριτική έως μικροσπαριτική ασβεστιτική κύρια μάζα, με πολύ τάλκη, χλωρίτη, επίδοτο, μαγνητίτη

και αιματίτη, ενώ οι σερπεντινιτικοί κλάστες είναι λίγοι, αποστρωγγλωμένοι και σε μεγέθη μεταξύ 1-20cm.

Από τα παραπάνω, είναι φανερό πως τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του μελετούμενου σχηματισμού είναι ασβεστίτης και σερπεντίνης (αντιγορίτης), ενώ σαν δευτερεύονται συστατικά απαντούν μαγνητίτης, σπινέλιος, τάλκης, χλωρίτης, επίδοτο, αιματίτης, σερίκίτης και αμφίβολοι (ακτινόλιθος και τρεμολίτης). Αναλύσεις ολικού πετρώματος, που έγιναν με την μέθοδο ICP-MS, έδωσαν για τους σερπεντινίτες του οφιτασβεστιτικού συμπλέγματος, συστάσεις τυπικές για σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες (χαμηλό Al_2O_3 και TiO_2).

Σχετικά με τα μεταβασικά πετρώματα που εντοπίστηκαν κοντά σε θέσεις εμφάνισης οφιτασβεστιτών, ορυκτολογικές αλλά και χημικές αναλύσεις έδειξαν ότι πρόκειται για μεταγάββρους και μεταπυροξενίτες. Ο αρχικός πυριγενής ιστός τους έχει εν μέρει διατηρηθεί, αλλά λόγω της μεταμόρφωσης οι μαγματικοί πυρόξενοι (κυρίως αυγίτες και διοψίδιοι) έχουν αντικατασταθεί από αμφιβόλους, κυρίως κεροστίλβη (αρχικά) και ακτινόλιθο (κατά την μεταμόρφωση) που εμφανίζονται σαν προφυροκρύσταλλοι μέσα σε γρανοβλαστική κύρια μάζα από μικροκρυσταλλικό αλβίτη.

Οι πρασινοσχιστόλιθοι στους οποίους βρίσκονται εγκλεισμένα τα ελλειψοειδή δώματα των οφιτασβεστιτών, δίνουν μία κλασσική για μεταβασικό πρωτόλιθο, ορυκτολογική παραγένεση: αλβίτης, χλωρίτης, επίδοτο, ακτινόλιθος, μοσχοβίτης είναι τα βασικά ορυκτά, που παρουσιάζονται όλα με ισοδιαμετρικούς κρυστάλλους.

Έχοντας προσδιορίζει την ορυκτολογία των οφιτασβεστιτών, αλλά και των υπολοίπων λιθολογιών που σχετίζονται με αυτούς, μπορεί να γίνει μία εκτίμηση με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία από την παρούσα εργασία και την βιβλιογραφία, για το πιθανό περιβάλλον γένεσής τους.

Το περιβάλλον στο οποίο δημιουργήθηκε ένας τέτοιος πολύπλοκος σχηματισμός, όπως οι οφιτασβεστίτες της Τήνου, είναι ένα θέμα το οποίο απαιτεί πολύ συζήτηση. Για να μπορέσει κανείς να κατανοήσει το πώς, που και πότε σχηματίστηκαν οι οφιτασβεστίτες, είναι βασικό να απαντήσει τα αντίστοιχα ερωτήματα για το οφιολιθικό σύμπλεγμα στο οποίο ανήκουν αυτοί οι ιδιόρρυθμοι τεκτονοϊζηματογενείς σχηματισμοί.

Δεδομένα από προηγούμενους μελετητές (π.χ. Katzir et al., 1996), που ασχολήθηκαν εκτενώς με την μελέτη όλων των λιθολογιών της ανώτερης ενότητας της Τήνου, δείχνουν ότι πρόκειται για ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα, μεταμορφωμένο

και διαμελισμένο. Υποστηρίζεται επίσης, ότι τα γεωχημικά χαρακτηριστικά, τα οποία προέκυψαν από χημικές αναλύσεις πρασινοςχιστόλιθων (που θεωρούνται μεταμορφωμένα ισοδύναμα των βασικών λαβών ή/και πυροκλαστικών του συμπλέγματος), συνηγορούν για ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα που σχετίζεται με μία ζώνη υπερ-υποβύθισης (SSZ). Κάτι τέτοιο είναι σύνηθες στα οφιολιθικά συμπλέγματα της ανατολικής Μεσογείου (Pearce, Lippard & Roberts, 1984; Robertson et al., 1991).

Η παρουσία χρωμιτικών σωμάτων στους σερπεντινίτες, τα οποία προϋπήρχαν του σχηματισμού των οφίτασβεστιτών (καθώς έχουν και αυτά επηρεαστεί από την κατάκλαση και καθίζηση ανθρακικού υλικού), ενισχύει την άποψη ότι οι τελευταίοι προήλθαν από ένα περιβάλλον ζώνης υπερ-υποβύθισης (SSZ) (Pearce et al., 1984). Βέβαια, χρωμίτες συναντώνται κατά περιπτώσεις και σε οφιολιθικά συμπλέγματα τύπου MORB, είναι όμως αναμφισβήτητο ότι οι μεγαλύτερες χρωμιτικές συγκεντρώσεις εντοπίζονται σε οφιολιθικά συμπλέγματα τύπου SSZ. Ο λόγος για τον οποίο τα ασκοειδή κοιτάσματα χρωμιτών έχουν στενή σχέση με οφιολίθους τύπου SSZ δεν έχει πλήρως κατανοηθεί. Έχει όμως προταθεί ότι η παρουσία νερού (που προέρχεται από την υποβυθιζόμενη πλάκα) στο τήγμα, αυξάνει τον όγκο των φάσεων του ολιβίνη και του σπινέλιου, με αποτέλεσμα την εκτεταμένη κρυστάλλωση ολιβίνη και χρωμίτη, που οδηγεί με αυτόν τον τρόπο στον σχηματισμό των χρωμιτικών κοιτασμάτων (Pearce et al., 1984), που συνήθως συνοδεύονται από δουνίτες. Κατ' αναλογία με την παραπάνω διαπίστωση, η παρουσία χρωμιτικών σωμάτων μέσα στους οφίτασβεστίτες της Τήνου, δείχνει ότι το οφιολιθικό σύμπλεγμα από το οποίο προήλθαν οι σερπεντινίτες με τους χρωμιτίτες μπορεί να προέρχεται από μία ζώνη διάνοιξης πάνω από υποβυθιζόμενη πλάκα (SSZ). Μία τέτοια προέλευση υποστηρίζεται και από τα γεωχημικά δεδομένα από αναλύσεις σερπεντινιτών που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (βλέπε κεφ. 5.2). Οι σερπεντινίτες έχουν πολύ χαμηλό TiO_2 και οι σπινέλιοι που φιλοξενούν έχουν $\text{Cr} > 0.60$, δεδομένα που συμφωνούν με αντίστοιχες παρατηρήσεις από την περιοχή της Νέας Γης στον Καναδά (Müntener & Manatschal, 2006), περιβάλλον το οποίο θα μπορούσε να θεωρηθεί σημερινό ανάλογο με το παλαιοπεριβάλλον σχηματισμού των οφίτασβεστιτών της Τήνου.

Επομένως, το οφιολιθικό σύμπλεγμα από το οποίο προήλθαν οι οφίτασβεστίτες της ΒΔ Τήνου, έχει γεωχημικούς χαρακτήρες ζώνης διάνοιξης πάνω από υποβυθιζόμενη πλάκα.

Η ακριβής ηλικία σχηματισμού των οφίτασβεστιτών είναι κάτι το οποίο ξεπερνά τα όρια αυτής της εργασίας και αποτελεί αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Όμως, γενικά ο σχηματισμός τους μπορεί να τοποθετηθεί σε κάποιο κοντινό χρονολογικό πλαίσιο. Το πλαίσιο αυτό αφορά στις ραδιοχρονολογήσεις που δίνουν μία ανωκρητιδική ηλικία στο οφιολιθικό σύμπλεγμα (Bröcker & Frantz., 1998), στο οποίο ανήκουν οι σεπρεντινίτες των οφίτασβεστιτών. Επομένως, οι οφίτασβεστίτες δημιουργήθηκαν σίγουρα την περίοδο σχηματισμού του οφιολιθικού συμπλέγματος, δηλαδή κατά το ανώτερο Κρητιδικό ή λίγο μετά, κατά τα πρώιμα στάδια της ορογένεσης, κάτι που φαίνεται μάλλον το πιθανότερο σενάριο.

Βασική προϋπόθεση για τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών, είναι η έκθεση στον θαλάσσιο πυθμένα, τμημάτων του ωκεάνιου φλοιού (και μάλιστα των υπερβασικών πετρωμάτων). Στην περίπτωση των οφίτασβεστιτών της Τήνου, αυτό προϋποθέτει έναν ωκεανό σε λειτουργία κατά την περίοδο του ανώτερου Κρητιδικού, περίοδος στην οποία έχει αποδοθεί ο σχηματισμός του οφιολιθικού συμπλέγματος. Και οι δύο ωκεάνιες περιοχές [Πίνδος (π.χ. Papanikolaou, 2009 και αναφορές εκεί) και Αξίος (π.χ. Sharp & Robertson, 2006 και αναφορές εκεί)] στις οποίες οι ερευνητές εντάσσουν κατά περίπτωση το οφιολιθικό σύμπλεγμα της Τήνου, αν και βρίσκονταν σε γενικότερη φάση συμπίεσης και υποβύθισης, εντούτοις, είχαν τμήματα στα οποία γίνονταν διάνοιξη ακόμα και στο ανώτερο Κρητιδικό. Επομένως, είναι εμφανές ότι την περίοδο του ανώτερου Κρητιδικού, υπήρχαν ακόμη ενεργά ωκεάνια τμήματα, γεγονός που ταιριάζει απόλυτα με τον μηχανισμό σχηματισμού των οφίτασβεστιτών.

Ο ωκεάνιος μανδύας, πρέπει να εκτέθηκε κάποια στιγμή στον πυθμένα της θάλασσας, γεγονός που οδήγησε στην ενυδάτωση των υπερβασικών και τον σχηματισμό των σεπρεντινιτών. Δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί με τους οποίους μπορεί να συνέβη αυτό. Ο πρώτος αφορά σε φαινόμενα διαπειρισμού (diapirs) κατά την έκχυση υλικού κατά μήκος κυρίως μεσοωκεάνιων ράχων και ο δεύτερος αφορά στην δράση ενδοωκεάνιων κανονικών ρηγμάτων μικρής κλίσης (intraoceanic detachment faults) (Lemoine et al, 1987; Florineth and Froitzheim, 1994; Manatschal & Bernoulli, 1999). Ο πρώτος μηχανισμός, αποτελεί ένα συνδυασμό πλαστικής και εύθραυστης παραμόρφωσης, που συναντάται κυρίως σε περιβάλλοντα μεσοωκεάνιων ράχων, όπως δείχνουν μελέτες από το ακτουαλιστικό παράδειγμα της Μεσατλαντικής ράχης (MAR), (Péron-Pinvidic et al., 2007). Ο δεύτερος μηχανισμός (καθαρή θραυσιγενής παραμόρφωση) των κανονικών ρηγμάτων μικρής κλίσης, έχει μία δράση ανάλογη με αυτή στα σύγχρονα μεταμορφικά συμπλέγματα των αλπικών

ορεογενετικών αλυσίδων, όπου μέσω της ενεργοποίησης τέτοιων ρηγμάτων, εμφανίζονται στην επιφάνεια, πετρώματα βάθους. Τέτοιες περιπτώσεις έχουν περιγραφεί και από άλλους ερευνητές για οφίτασβεστίτες των Άλπεων (Manatschal et al., 2006; Robertson et al., 2007a) αλλά και από σύγχρονα ανάλογα περιβάλλοντα τόσο κατά μήκος μεσοωκεάνιων ράχων, όσο και κατά μήκος ενδοωκεάνιων ρηξιγενών ζωνών-intraoceanic fracture/detachment zones, (π.χ. Escartin et al., 2003; Paulick et al., 2004). Πιθανόν, μέσω της δράσης κάποιων τέτοιων ρηγμάτων, να έφτασαν στον πυθμένα του ωκεανού και τα υπερβασικά πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος της Τήνου και υπέστησαν την σερπεντινίωση και την υδροθερμική επίδραση. Το σενάριο του ρηξιγενούς τεκτονισμού σε περιβάλλον ενδοωκεάνιου ρήγματος αποκόλλησης (detachment) υποστηρίζεται στην περίπτωση της Τήνου και από την έντονη παρουσία οριζόντων τάλκη (+αμφίβολων+χλωρίτη), γύρω από τα σώματα των οφίτασβεστιτών, καθώς πετρώματα πλούσια σε τάλκη έχουν θεωρηθεί ως τα κυριότερα fault-rock σε ενδοωκεάνια ρήγματα (Boschi et al., 2006). Πρέπει να σημειωθεί εδώ, ότι ο τάλκης με την πολύ μικρή αντοχή που επιδεικνύει κατά την παραμόρφωση, μπορεί να έχει παίξει τον ρόλο του λιπαντικού μέσου, με αποτέλεσμα την δημιουργία ασθενών ζωνών και τέλος την αποκοπή τεκτονικών ενοτήτων (Boschi et al., 2006), φαινόμενο που παρατηρείται έντονα στην περίπτωση της Τήνου, με αποτέλεσμα να μην παρατηρείται καμία ολόκληρη στρωματογραφικά ακολουθία των οφίτασβεστιτών.

Οι σερπεντινίτες επηρεάστηκαν έντονα από τον ρηξιγενή τεκτονισμό, με αποτέλεσμα την κατάκλασή τους και την δημιουργία εκτεταμένου δικτύου ρωγμών και διακλάσεων, οι οποίες σε μεταγενέστερο στάδιο πληρώθηκαν από την δράση πλούσιων σε Ca υδροθερμικών ρευστών, με τελικό αποτέλεσμα τον σχηματισμό των οφίτασβεστιτών. Κατά θέσεις, και όπου η μορφολογία που διαμόρφωσε ο ρηξιγενής τεκτονικός ιστός το επέτρεπε, δημιουργήθηκαν ημιτάφροι ή βαθύτερες περιοχές με μικρές γενικά κλίσεις, στις οποίες παρασύρθηκε υπό μορφή υδαρών ροών κορημάτων ή ροών βαρύτητας (debris flows), υλικό από τους κατακλασμένους σερπεντινίτες. Φαίνεται ότι στις θέσεις αυτές σχηματίστηκαν οι πλούσιοι σε κύρια μάζα οφίτασβεστίτες (matrix supported ophicalcites). Το σενάριο αυτό, υποστηρίζεται και από το αποστρογγυλωμένο σχήμα πολλών σερπεντινιτικών κλαστών στην ανώτερη λιθοφασική ενότητα και υποδηλώνει ότι οι κλάστες αυτοί υπέστησαν (έστω και μικρής κλίμακας) μεταφορά. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σχετικά αυξημένες θερμοκρασίες που επικρατούσαν καθώς το μαγματικό υπερβασικό σώμα δεν είχε

ψυχθεί ολοκληρωτικά, μπορεί να επέτρεψαν κατά θέσεις και την δημιουργία ζωνών πλαστικής παραμόρφωσης (ductile shear zones). Η υπόθεση αυτή, σύμφωνα με το μοντέλο εξέλιξης μίας shear zone των Tucholke et al. (1998, 2001), περιλαμβάνει την έντονη κατάκλαση (brittle deformation) στα ανώτερα επίπεδα με την εκδήλωση ρηξιγενούς τεκτονισμού και την μετάβαση σε πλαστικοθραυσιγενείς και τέλος πλαστικές συνθήκες παραμόρφωσης σε βαθιά επίπεδα με την εκδήλωση ζωνών διάτμησης και την δημιουργία μυλονιτών. Τέτοιες ‘απολιθωμένες ζώνες διάτμησης’ συναντούμε σήμερα στους οφίτασβεστίτες της Τήνου, οι οποίες πιθανόν να επαναδραστηριοποιήθηκαν σε μικρή κλίμακα, κατά την μεταμόρφωση και τον τεκτονισμό που υπέστη αργότερα ολόκληρο το οφιολιθικό σύμπλεγμα (αλπική φάση μεταμόρφωσης). Ο διαχωρισμός όμως και η περιγραφή φάσεων τεκτονικής παραμόρφωσης που σχετίζονται με το στάδιο της δημιουργίας των οφίτασβεστιτών, είναι σήμερα πολύ δύσκολος και ξεφεύγει από το πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Αυτό συμβαίνει διότι ο σχηματισμός μεταμορφώθηκε και παραμορφώθηκε κατά το ανώτερο Ολιγόκαινο-κατώτερο Μειόκαινο (Bröcker and Franz, 2005 και αναφορές εκεί) και είναι σχεδόν βέβαιο ότι όλες οι προϋπάρχουσες ασυνέχειες και επιφάνειες αδυναμίας (παλιές ρηξιγενείς ζώνες και ζώνες διάτμησης) επαναδραστηριοποιήθηκαν και μάλιστα αναδιευθετήθηκαν προς την γενική διεύθυνση παραμόρφωσης του αλπικού επεισοδίου. Το γεγονός αυτό μας αποκλείει από οποιαδήποτε ουσιαστική πληροφορία για την αρχική ενδοωκεάνια παραμορφωτική φάση, πέραν της έντονης κατάκλασης που με βεβαιότητα προέρχεται από τότε.

Το φαινόμενο της έκθεσης σερπεντινιτών στον θαλάσσιο πυθμένα και του σχηματισμού οφίτασβεστιτών, ήταν μία διαδικασία συνεχής και όχι ένα μεμονωμένο συμβάν μέσα στην πορεία του ωκεάνιου φλοιού προς υποβύθιση. Αυτό εξηγεί τις αλληπάλλληλες γενεές κατάκλασης των σερπεντινιτών, με ποικίλη ένταση αλλά και τις πολλές γενεές ασβεστιτικών φλεβών, που με τον ισχυρό κρυσταλλοπλαστικό ιστό τους επούλωσαν τις ρωγμές, συνεκτικοποίησαν τους κατακλασμένους σερπεντινίτες και δημιούργησαν έτσι τους οφίτασβεστίτες.

Πρέπει όμως να τονιστεί, ότι το σερπεντινιτικό λατυποπαγές της Τήνου, αν και αποκαλείται οφίτασβεστίτης, δεν έχει σημαντικές ομοιότητες με τους κλασσικούς οφίτασβεστίτες των Άλπεων, όπως ορίστηκαν από τους Bernoulli and Jenkyns, 2009. Και τούτο διότι οι κλασσικοί οφίτασβεστίτες, σχηματίζονται σε περιβάλλοντα μεσοωκεάνιων ράχων και προέρχονται από σερπεντινίωση λερζολίθων και όχι χαρτσβουργιτών, που είναι συνήθως ο βασικός πρωτόλιθος για τους σερπεντινίτες της

Ανατολικής Μεσογείου. Φαίνεται λοιπόν, ότι οι οφίτασβεστίτες των Άλπεων δημιουργήθηκαν σε ένα περιβάλλον καθαρά εφελκυστικό (διάνοιξη ωκεανού) και όχι σε συνδιασμό εφελκυστικού – συμπίεστικού (διάνοιξη πάνω από υποβύθιση) όπως συνέβη με την περίπτωση της Τήνου, όπου παρά την τοπική έκταση και παραγωγή νέου ωκεάνιου φλοιού, εντούτοις ή όλη παλαιογεωγραφία περιλάμβανε έναν (ή δύο) ωκεανούς σε φάση υποβύθισης. Επιπλέον, δεν συμμετέχουν στον σχηματισμό της Τήνου βασικές ιζηματογενείς διεργασίες, παρά σε ελάχιστο βαθμό, αφού η δημιουργία του οφείλεται κυρίως σε τεκτονικά αίτια, σε αντίθεση με τους οφίτασβεστίτες των Άλπεων, οι οποίοι είναι τεκτονοϊζηματογενείς σχηματισμοί. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι ιζηματογενείς δομές που παρατηρούνται στους οφίτασβεστίτες δείχνουν ότι έλαβε χώρα εκτεταμένη επανεπεξεργασία του υλικού από ροές κορημάτων κατά μήκος τοπογραφικών επιφανειών χαμηλών κλισεων (debris flows, talus). Επομένως στις περιπτώσεις αυτές είχαμε επαναπόθεση με ιζηματογενείς χαρακτήρες (Bermoulli & Weisset, 1985; Lemoine et al., 1987; Früh-Green et al., 1990; Bernoulli et al., 2003; Manatschal et al., 2003; Manatschal & Müntener 2008), πράγμα που δεν συνέβη παρά μόνο σε πολύ μικρή κλίμακα στον σχηματισμό της Τήνου.

Περιπτώσεις που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά με τους οφίτασβεστίτες της Τήνου είναι οι οφίτασβεστίτες του οφιολιθικού καλύματος Totalp και οι οφίτασβεστίτες των εσωτερικών Λιγουριδών, οι οποίοι είναι περισσότερο τεκτονικά λατυπαπαγή, προερχόμενα από όμως σερπεντινωμένους λερζόλιθους, παρά τεκτονοϊζηματογενείς αποθέσεις, όπως οι τυπικοί οφίτασβεστίτες των Άλπεων (Davos κλπ.).

11.2 Καταγραφή περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Μετά από τις παραπάνω διαπιστώσεις, που αφορούν στην μελέτη των οφίτασβεστιτών, ο δεύτερος στόχος αυτής της εργασίας είναι να καταγραφούν και να αξιολογηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί η εκμετάλλευσή τους από τον άνθρωπο. Συγκεντρώνοντας τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με τους οφίτασβεστίτες της Τήνου, αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: προβλήματα που σχετίζονται με την εξόρυξη και προβλήματα που σχετίζονται με την χρήση των οφίτασβεστιτών.

Όπως αναπτύχθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας (κεφ. 9), παρά το ότι τα λατομεία λειτουργούν από αρχαιοτάτων χρόνων και άρα δεν υπήρξε

κανέναν περιορισμό ως προς το που έχουν χωροθετηθεί, εντούτοις, η θέση τους είναι τέτοια ώστε να πληρούν σήμερα όλες τις οδηγίες του Κ.Μ.Λ.Ε.. Επομένως, δεν προκύπτουν προβλήματα για τον κοντινότερο οικισμό του Μαρλά, που βρίσκεται σε απόσταση ασφαλείας από τα λατομεία. Προβλήματα επίσης δεν προκαλούνται στο - ούτως ή άλλως- πτωχότερο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία μεγάλης έκτασης επέμβαση που να αφορά στο οικοσύστημα της περιοχής. Τα μόνα προβλήματα που εντοπίστηκαν είναι δύο και αφορούν (1) στην συμμετοχή ινωδών ορυκτών της ομάδας του αμιάντου (τόσο αμιφολικού όσο και σερπεντινιτικού) στο υλικό και (2) στην οπτική όχληση από την συσσώρευση μάζων και υπολειμμάτων λατόμησης σε διάφορες θέσεις, που διασπούν την οπτική συνέχεια του τοπίου.

Σχετικά με την ύπαρξη του αντιγορίτη, ο οποίος είναι το πιο βασικό ορυκτολογικό συστατικό των σερπεντινιτών του οφίτασβεστιτικού συμπλέγματος που εξορύσσεται, μπορεί να ειπωθεί ότι η χρήση του υλικού είναι τέτοια, που το καθιστά ακίνδυνο για την δημόσια υγεία. Αυτό ενισχύεται και από την ίδια την φύση του ορυκτού, το οποίο είναι περισσότερο ανθεκτικό στην διάβρωση από άλλες μορφές ινωδών ορυκτών (χρυσοτιλλικού ή αμιφολικού 'αμιάντου') και επομένως λιγότερο επικίνδυνο. Επίσης ο ισχυρός κρυσταλλοβλαστικός ιστός των σερπεντινιτών δεν επιτρέπει την αποδέσμευση τυχόν ινών αμιάντου από διαστασιολογημένα πλακίδια πετρώματος. Επιπλέον, οι ρητίνες που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του λίθου για ενίσχυση της αντοχής του απέναντι στην φθορά, δημιουργούν μία λεπτή επίστρωση, που και αυτή καθιστά σχεδόν αδύνατη την αποδέσμευση τυχόν επικίνδυνων ινών από τεμάχια οφίτασβεστιτών που προορίζονται για δομικοί ή διακοσμητικοί λίθοι.

Προβλήματα όμως, εντοπίζονται στον χώρο των λατομείων, όπου η κοπή των όγκων του 'πράσινου μάρμαρου', παράγει μεγάλες ποσότητες σκόνης, οι οποίες αποτελούνται κυρίως από αντιγορίτη και ασβεστίτη, αλλά και τρεμολίτη, ακτινόλιθο και χρυσοτίλλη. Το μέγεθος των σωματιδίων της σκόνης αυτής είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκο και μάλιστα μικρό μέρος του οπωσδήποτε είναι εισπνεύσιμο (εισπνεύσιμα είναι τα σωματίδια με μέγεθος μικρότερο από 3μm), καθιστώντας το εν δυνάμει επικίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων. Οι εταιρείες όμως που δραστηριοποιούνται στην περιοχή φαίνεται να εφαρμόζουν τα αυστηρά μέτρα που έχουν θεσπιστεί από τον νομοθέτη για την προστασία των εργαζομένων. Το Π.Δ. 175/1997 (Φ.Ε.Κ. 150/Α/15.7.1995), καθορίζει στο «Άρθρο 12» τις ακόλουθες Μέγιστες Οριακές Τιμές έκθεσης για τους επαγγελματίες εκτιθέμενους:

1. Η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή συγκέντρωσης ινών χρυσोटίλη στον αέρα του χώρου εργασίας στην οποία εκτίθενται οι εργαζόμενοι κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε 8ωρης ημερήσιας εργασίας μιας 40ωρης εβδομαδιαίας εργασίας, δεν πρέπει να ξεπερνά τις **0,60 ίνες/cm³ αέρα.**
2. Για όλους τους υπόλοιπους τύπους αμιάντου, είτε μεμονωμένους είτε σε μίγματα, συμπεριλαμβανομένων και των μιγμάτων που περιέχουν χρυσोटίλη, η χρονικά σταθμισμένη μέση τιμή συγκέντρωσης ινών στον αέρα του χώρου εργασίας στην οποία εκτίθενται οι εργαζόμενοι κατά τη διάρκεια οποιασδήποτε 8ωρης ημερήσιας εργασίας μιας 40ωρης εβδομαδιαίας εργασίας, δεν πρέπει να ξεπερνά τις **0,30 ίνες/cm³ αέρα.**
3. Η Μέγιστη Οριακή Τιμή Έκθεσης για τους μη επαγγελματικά εκτιθέμενους είναι **0 ίνες/ cm³.**

Είναι σαφές, πως η εργασία στα λατομεία οφίτασβεστιτών της Τήνου συνεπάγεται μακροχρόνια έκθεση των εργαζομένων σε αμιαντοφόρο υλικό. Επομένως είναι απαραίτητο για την προστασία της υγείας τους, να εφαρμόζονται αυστηρά τα προβλεπόμενα από τον νομοθέτη μέτρα προστασίας (μάσκα και ειδική στολή εργασίας).

Προτείνεται όμως, πέρα από αυτό, να ληφθούν πρόσθετα μέτρα, όπως η επίστρωση των οδών προσπέλασης του λατομείου με σκυρόδεμα ή άσφαλτο, ώστε να μειωθεί η διασπορά σκόνης από την διέλευση των βαρέων οχημάτων από και προς τα λατομεία, που προκαλείται όταν αυτά κινούνται σε χωμάτινους δρόμους. Αξίζει να τονισθεί εδώ πως, παρά το γεγονός ότι οι επικρατούντες άνεμοι στην περιοχή είναι βόρειας διεύθυνσης (οι Β και ΒΔ άνεμοι ξεπερνούν το 70% των ετησίων ανέμων που πνέουν στις Κυκλάδες) και θα μπορούσε κανείς να πει ότι ευνοούν την μεταφορά σκόνης προς την ενδοχώρα και τους οικισμούς του νησιού, η μορφολογία είναι τέτοια, που αποκλείει ένα τέτοιο ενδεχόμενο.

Αναφορικά με τα υπολείμματα λατόμησης και τα μπάζα που είναι συσσωρευμένα σε διάφορες θέσεις πλησίον των λατομείων, προτάθηκε στο πλαίσιο μίας συνολικής μελέτης για την περιοχή (βλέπε κεφ. 9) η ταφή τους σε ανενεργά ή εξοφλημένα λατομεία και η επαναδιευθέτηση του χώρου που κάλυπταν, ώστε ο χώρος να αποκτήσει την αρχική του μορφή.

Η δεύτερη κατηγορία προβλημάτων που σχετίζονται με τους οφίτασβεστίτες, αφορά στην χρήση τους ως δομικό ή και διακοσμητικό υλικό. Αναφέρθηκε λεπτομερώς στο προηγούμενο κεφάλαιο η ευαισθησία που τους χαρακτηρίζει τόσο σε

ατμοσφαιρική ρύπανση και έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία (εξωτερικές χρήσεις), όσο και στην αντίδρασή τους με καθαριστικά και η ευκολία καταστροφής τους από την επαφή με άλλα αντικείμενα (εσωτερικές χρήσεις). Όμως τα προβλήματα αυτά είναι αντιμετώπιση, καθώς σήμερα ειδικές ρητίνες εφαρμόζονται επί των φυσικών λίθων πριν ή μετά την διαστασιολόγηση και κοπή τους σε πλακίδια, με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της αντοχής τους. Κρίνεται όμως απαραίτητη (στο πλαίσιο σύγκρισης με μεγάλες λατομικές μονάδες των Η.Π.Α κυρίως), η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων για το εξορυσσόμενο υλικό, από τις εταιρείες που το εμπορεύονται, στην οποία θα περιλαμβάνεται αναλυτικά η ορυκτολογική του σύσταση, τα γεωχημικά χαρακτηριστικά του και οι μηχανικές αντοχές του.

12. Συμπεράσματα

Ο μελετούμενος σχηματισμός των οφίτασβεστιτών της Τήνου εντοπίζεται με την μορφή ελλειψοειδών έως ακανόνιστων σωμάτων, που εγκλείονται μέσα στους πρασινοσχιστόλιθους της ανώτερης τεκτονικής ενότητας.

Στην ευρύτερη περιοχή εμφάνισης των οφίτασβεστιτών, συναντώνται και μεταμορφωμένοι γάββροι και πυροξενίτες. Από ορυκτολογική μελέτη αντίστοιχων δειγμάτων, προέκυψε ότι αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από αμφιβόλους και αλβίτη. Οι αμφίβολοι έχουν αντικαταστήσει τους μαγματικούς πυρόξενους που διατηρούνται κατά θέσεις σε υπολείμματα. Τιτανίτης, επίδοτο, ρουτίλιο και πουμεπελυίτης συναντώνται σαν επουσιώδη ορυκτά.

Οι σερπεντινίτες της ανώτερης ενότητας που εντοπίζονται εκτός του συμπλέγματος των οφίτασβεστιτών, αποτελούνται σχεδόν ολοκληρωτικά από αντιγορίτη. Εμφανίζουν συνήθως κυψελωτό ιστό. Σε κάποιες περιπτώσεις διατηρούνται βασίτες, οι οποίοι αποτελούνται από λίζαρδίτη, ο οποίος περιφερειακά αντικαθίσταται από αντιγορίτη.

Οι οφίτασβεστίτες είναι ουσιαστικά μονόμεικτα σερπεντινιτικά λατυποπαγή, με ασβεστίτη ως συγκολλητικό υλικό. Ορυκτολογικά, οι σερπεντινιτικοί κλάστες αποτελούνται από αντιγορίτη. Εκτός από τον ασβεστίτη, σε μικρές ποσότητες συμμετέχουν αμφίβολοι (τρεμολίτης και ακτινόλιθος), επίδοτο, χλωρίτης, μαγνητίτης, τάλκης, δολομίτης, σπινέλιοι και θεούχα ορυκτά βασικών μετάλλων.

Η χημικές ανάλυσεις σερπεντινιτών από τους οφίτασβεστίτες, έδωσαν πολύ χαμηλό TiO_2 , ενώ αντίθετα, παρατηρείται εμπλουτισμός σε Ni, Co και Cr. Από την προβολή των αναλύσεων σε διαγράμματα προσδιορισμού γεωτεκτονικού περιβάλλοντος, προκύπτει ότι οι σερπεντινίτες σχετίζονται με περιβάλλον SSZ (Supra-Subduction-Zone).

Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν από την ορυκτοχημεία των σπινελίων από τους σερπεντινίτες, καθώς ο στοιχειακός αριθμός Cr [$\#Cr = Cr / (Cr + Al)$]. Σύμφωνα με τους Dick & Bullen (1984), οι σπινέλιοι με $\#Cr > 0.60$, φαίνεται ότι σχηματίζονται σε υπερβασικά πετρώματα τα οποία σχετίζονται με περιβάλλοντα νησιωτικού τόξου (island arc-related). Οι σπινέλιοι από τους σερπεντινίτες της Τήνου, έχουν $\#Cr$ που

κυμαίνεται από 0.648-0.723 και με βάση αυτόν τον διαχωρισμό, φαίνεται να έχουν σχηματιστεί σε αρχικούς υπερβασικούς πρωτόλιθους, που προήλθαν από υπόλοιπο μερικής τήξης, σε περιβάλλον νησιωτικού τόξου, υπεράνω μίας ζώνης υποβύθισης.

Επομένως, με βάση τα παραπάνω στοιχεία, οι σερπεντινίτες των οφίτασβεστιτών της Τήνου, φαίνεται να έχουν σχηματιστεί σε ένα ωκεάνιο περιβάλλον το οποίο βρισκόταν σε γενικότερο καθεστώς υποβύθισης (SSZ).

Η έντονη κατάκλαση των σερπεντινιτών φαίνεται να προήλθε από την ανώθησή τους στον θαλάσσιο πυθμένα, μέσω της δραστηριοποίησης ενδο-ωκεάνιων ρηγμάτων. Το σενάριο αυτό ενισχύεται από την έντονη παρουσία τάλκη, ο οποίος θεωρείται ότι είναι το κατεξοχήν τεκτονικό πέτρωμα (fault rock) σε ενδοωκεάνιες ρηξιγενείς ζώνες, που πάντα περιβάλλει τα σώματα των οφίτασβεστιτών της Τήνου.

Η απόθεση του ασβεστίτη, οφείλεται σε ανερχόμενα υδροθερμικά ρευστά αλλά και στην αντίδραση του υπερβασικού σώματος με το θαλασσινό νερό (σερπεντινίωση).

Ο σχηματισμός μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα τεκτονικό και λιγότερο ιζηματογενές λατυποπαγές, καθώς μόνο στα ανώτερα μέλη του, η παρουσία αποστρογγυλεμένων κλαστών συνηγορεί για μεταφορά τους και η πολυορυκτολογική σύσταση της άφθονης κύριας μάζας υποδηλώνει μηχανισμούς επανεπεξεργασίας του υλικού και επαναπόθεσης.

Πρέπει να σημειωθεί, ότι η δημιουργία των οφίτασβεστιτών, ήταν μία διαχρονική διαδικασία, με αλεπάλληλες φάσεις κατάκλασης και συγκόλλησης με ασβεστίτη, όπως αποδुकνείται από τις αλληλοτενόμενες ασβεστιτικές φλέβες που ανήκουν σε διαφορετικές γενεές.

Τα παραπάνω στοιχεία, διαφοροποιούν σημαντικά τον σχηματισμό αυτό της Τήνου, σε σχέση με τους κλασσικούς οφίτασβεστίτες των Άλπεων, όπου τεκτονοϊζηματογενείς μηχανισμοί προκάλεσαν την δημιουργία τους, από λερζολιτικό

πρωτόλιθο, προερχόμενο από ζώνες ωκεάνιας διάνοιξης (γεωχημικοί χαρακτήρες MORB).

Αναφορικά με τα περιβαλλοντικά προβλήματα, η παρουσία αμιάντου και με τις δύο του μορφές (αμφιβολικού → ακτινόλιθος, τρεμολίτης και σερπεντινικού → χρυσοτίλλης), φαίνεται να μην αποτελεί πρόβλημα στην χρήση των οφίτασβεστιτών ως δομικά και διακοσμητικά υλικά. Αντιθέτως, αυξημένη προσοχή χρειάζεται στους χώρους εξόρυξης, όπου η σκόνη από την συρματοκοπή θα μπορούσε εν δυνάμει να απειλήσει την υγεία των εργαζομένων, μετά από μακροχρόνια έκθεση.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, διαπιστώνεται ότι η χρήση των οφίτασβεστιτών της Τήνου δεν εγγυμονεί κινδύνους για την δημόσια υγεία. Όμως, κρίνεται απαραίτητο η χωροταξική και οικολογική ανασυγκρότηση των εγκαταλελειμμένων λατομείων ‘πράσινου μαρμάρου’. Επίσης, προτείνεται δέσμη μέτρων για την προστασία των εργαζομένων στα ενεργά λατομεία, σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία περί αμιάντου.

Τέλος, φαντάζει ιδεατή, η δημιουργία ενός δικτύου περιπατητικών διαδρομών, καθώς η λιθολογική ποικιλία, η φυσική ομορφιά και ο πολιτιστικός πλούτος της υπό μελέτη περιοχής, θα μπορούσαν να αποτελέσουν μοχλούς για μία υγιή και περιβαλλοντικά φιλική τουριστική ανάπτυξη.

II. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Altherr R., Kreuzer H., Wendt I., Lenz, H., Wagner G.A., Keller J., Harre, W., and Hohndorf A., (1982): A late Oligocene / early Miocene high temperature belt in the Attic-Cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). *Geol. Jb.* E23, p. 97-164.
- [2] Alther, R., Schliestedt M, Okrusch M., (1979): Geochronology of high pressure rocks on Sifnos (Cyclades, Greece). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 70, 245-255.
- [3] Andriessen P.A.M., Boelrijk N.A.I.M., Hebeda E.H., Priem H.N.A, Verdurmen, E.A.Th. and Verschure R.H., (1979): Dating the events of metamorphism and granitic magmatism in the Alpine orogen of Naxos (Naxos, Greece). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69, 215-225.
- [4] Anonymous, (1972): Penrose field Conference on ophiolites. *Geotimes*, 17, 24-25.
- [5] Avigad D., Garfunkel Z., Jolivet L. And Azañon, J.M., (1997): Back arc extension and denudation of Mediterranean eclogites. *Tectonics*, 16, 924-941.
- [6] Avigad, D. Matthews, A. Evans B.W. and Garfunkel, Z. (1992): Cooling durin the exhumation of a blueschist terrane:Sifnos (Cyclades, Greece). *European Journal of Mineralogy*, 4, 619-634.
- [7] Avigad, D. and Garfunkel Z. (1989): Low angle faults underneath and above a blueschist belt-Tinos Island, Cyclades, Greece, *Terra Nova*, 1, 182–187, 1989.
- [8] Βακόνδιος, Ι. (1997): Μελέτη της μεταλλοφορίας χρωμίτη της συνδεδεμένης με οφιολίθους τύπου Ανατολικής και Δυτικής Μεσογείου. Οι χρωμίτες της Τήνου και των Γερανίων. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 150 σελ.
- [9] Baltatzis E.G. (1984): A new occurrence of ophticalcite from Paros island. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 150, 325-329.
- [10] Bailey E. B. and McAllien W.J. (1960): Some aspects of the Steinmann trinity, mainly chemical. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, v. 116, p.365-395.
- [11] Beccaluva L., Di Girolamo P., Macciota, G. and Morra V., (1983): Magma affinities and fractionation trends in ophiolites. *Ophioliti*, 8, 307-324.
- [12] Bernoulli D. and Weissert H. (1985): Sedimentary fabrics in alpine ophticalcites, South Penine Arosa zone. *Geology*, v.13, p. 755-758.
- [13] Bernoulli D., Manatschal G., Desmurs L., and Müntener O., (2003): where did Gustav Steinmann see the Trinity? Back to the roots of an alpine ophiolite. In: Dilek E., and Newcomb S., (eds.): *Ophiolite concept and the evolution of*

geological thought. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, v. 373, p. 93-110.

- [14] Bernoulli D. and Jenkyns H.C., (2009): Ophiolites in ocean-continent transitions: From Steinmann trinity to sea-floor spreading. *Comptes Rendus Geoscience*, 341, 363-381.
- [15] Blake M.C., Bonneau M., Gayssant J., Kienast J.R., Lepvrier C., Maluski H. And Papanikolaou D., (1981): A geologic reconnaissance of the Cycladic blueschist belt, Greece. *Geol. Soc. of America Bulletin*, 192, 547-254.
- [16] Bonati E., Lawrence J.R., Hamlyn P.R. and Breger D., (1980): Aragonite from deep sea ultramafic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1207-1214.
- [17] Bonneau M. and Kienast J.R., (1982): Subduction, collision et schistes bleus. L' example de l' Egée (Grèce). *Bull. Geol. Soc. France*, 7, 785-792.
- [18] Bridges J.C, Richards H.M and Meireles C.A., (1995): Podiform chromitite-bearing ultrabasic rocks from the Bragança Massif, northern Portugal: fragments of island arc-mantle? *Geological Magazine*, 132, 39-49.
- [19] Boschi C., Früh-Green G.L., and Escartin J., (2006): Occurrence and significance of serpentinite-hosted, talc- and amphibole-rich fault rocks in modern oceanic settings and ophiolite complexes: An overview. *Ophioliti*, 31, 129-140.
- [20] Bröcker M. and Enders M., (1999): U-Pb zircon geochronology of unusual eclogite-facies rocks from Syros and Tinos (Cyclades, Greece). *Geological Magazine*, 136, 111-118.
- [21] Bröcker M. and Enders M., (2001): Unusual bulk-rock compositions in eclogite facies rocks from Syros and Tinos (Cyclades, Greece): implications for U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 175, 581-603.
- [22] Bröcker M., Kreuzer A., Matthews A. And Okrusch M., (1993): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and oxygen isotope studies of polymetamorphism from Tinos island, Cycladic blueschist belt, Greece. *Jour. Metamorphic Geology*, 11, 223-240.
- [23] Bröcker M. and Franz L., (1998): Rb-Sr isotope studies on Tinos island (Cyclades, Greece): Additional time constraints for metamorphism, extent of infiltration-controlled overprinting and deformational activity. *Geol. Magazine*, v. 135, p. 369-382.
- [24] Bröcker M., Franz L. (2005): P-T conditions and timing of metamorphism at the base of the Cycladic blueschist Unit, Greece: the Panormos window on Tinos revisited. *Neues Jahrbuch für Mineralogie*, 181/1, 91-93.
- [25] Bowen N. L., (1927): The origin of ultra-basic and related rocks.: *Amer. J. of Geosciences*, 5th ser., v.14, p.89-108.

- [26] Bowen N. L., (1928): The evolution of igneous rocks: Princeton, Princeton University Press, p. 332.
- [27] Cornelius H.P. (1932): Geologische Karte der Err-Julier-Gruppe. Geologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Spezialkarte No 115.
- [28] Cortesogno L., Galbiati B. and Principi G., (1987): Note ala “Carta geologica delle ofioliti del Bracco” e ricostruzione della paleogeografia Giurassico-cretacica. *Ofioliti*, 3, 99-160.
- [29] Dick H.J.B. (1977a): Partial melting in the Josephine peridotite I, the effect on mineral composition and its consequence for geothermometry and geobarometry. *American Journal of Geosciences*, 277, 801-832.
- [30] Dick H.J.B. and Bullen T. (1994): Chromian spinel as a petrographic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Miner. AND Petrology*, 86, 54-73.
- [31] Dickey J.S., Jr. (1975). A hypothesis of origin for podiform chromite deposits. *Geochimica e Cosmochimica Acta*, 39, 1061-1074.
- [32] Dixon J.E. and Ridley J. (1987): Syros. In: Helgeson, H.C. (ed): Chemical transport in Metasomatic Processes. NATO ASI Series, 489-501.
- [33] Escartin J., Mevel C., MacLeod C.J. and McCaig A.M., (2003): Constraints on deformation conditions and the origin of oceanic detachments: the Mid-Atlantic ridge core complex at 1545’N. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 4. doi:10.1029/2002GC000472.
- [34] Evans B.W., (1977): Metamorphism of Alpine peridotite and serpentinite. *Ann. Rev. in Earth and Planetary science*, 5, 397-447.
- [35] Faure M., Bonneau M., and Pons J., (1991): Ductile deformation and syntectonic granite emplacement during the late Miocene extension of the Aegean (Greece). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, v. 162, p. 3-11.
- [36] Festa A., Dilek Y., Pini G.A, Codegone G. and Ogata, K., (2012): Mechanisms and processes of stratal disruption and mixing in the development of mélanges and broken formations: Redefining and classifying mélanges. *Tectonophysics*, 568-569, 7-24.
- [37] Fiedler K. G., (1840/41): Reise durch alle Teile des Königreiches Griechenland (1834-1837). Leipzig.
- [38] Fisk M.R. and Bence A.E., (1980): Experimental crystallization of chrome spinel in FAMOUS basalt 527-1-1. *Earth and Planetary Sci. Letters*, 48, 111-123.
- [39] Folk R..L., and McBride E.F. (1976): Possible pedogenic origin of Ligurian ophicalcite: A Mesozoic calichified serpentinite. *Geology*, v. 4, p. 327-332.

- [40] Fruh-Green G.L., Weissert H., and Bernoulli D. (1990): A multiple fluid history recorded in Alpine ophiolites. *Journal of the Geological Society of London*, v. 4, p. 959-970.
- [41] Gautier P. and Brunn J.-P., (1994): Crustal-scale geometry and kinematics of late-orogenic extension in the central Aegean (Cyclades and Evvia Island). *Tectonophysics*, 391, 11-34
- [42] Grimm H. (1861): Über die von Herrn Prof. Siegel in Griechenland aufgefundenen Marmorbrüche des Rosso Antico und Verde Antico. *Zschr. Allg. Erdk.*, II, 131-134.
- [42] Harris, D C; Nickel, E. H. (1972). Pentlandite compositions and associations in some mineral deposits. *The Canadian Mineralogist* 11, 861–878.
- [43] Jacobshagen F. (1986): *Geologie von Griechenland*, 176–77, Borntraeger, Berlin.
- [44] Jolivet L and Patriat M., (1999): Ductile extension and the formation of the Aegean Sea. In: Durand B., Jolivet L., Horvath F. and Serrane M. (eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*. *Geol. Society, London, Spec. publ.*, 156, 427-456.
- [45] Kati M., Magganas A., Melfos V. and Panagiotis V., (2009): Sedimentology of the Larissa ophiolite breccias: Mass flow deposits in a Tethyan Ocean-Continent Transition zone. *Geophysica Research Abstracts*, EGU General Assembly, 11:11002-1.
- [46] Katzir Y., Matthews A., Garfunkel Z. and M. Schliestedt (1996): The tectono-metamorphic evolution of a dismembered ophiolite (Tinos, Cyclades, Greece), *Geol. Mag.*, 133, 237 – 254.
- [47] Katzir, Y. Garfunkel Z., Avigad D. And Matthews, A., (2007): The geodynamic evolution of the Alpine orogen in the Cyclades (Aegean Sea, Greece): insights from diverse origins and models of emplacement of ultramafic rocks. In: Taymaz T., Yilmaz Y. and Dilek Y., (2007): *The geodynamics of the Aegean and Anatolia*. *Geolog. Soc., London, Spec. Publ.*, 291, 17-40.
- [48] Keay S., (1998): The geological evolution of the Cyclades, Greece: Constraints from SHRIMP U-Pb geochronology. *Ph.D. thesis*, 341pp., Aust. Natl. Univ. Canberra.
- [49] Kelley D.S., Karson J.A. and Früh-Green G.L. (2005): A serpentinite-hosted ecosystem: The Lost City hydrothermal field. *Science*, 307 (5714), 1428-1434.
- [50] Kelley D.S., Früh-Green G.L., Karson J.A. and Ludwig K.A. (2007): The Lost City hydrothermal field revisited. *Oceanography*, 20, 90-99.

- [51] Λασκαρίδης Κ. (2002): Αξιολόγηση των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων και κριτήρια επιλογής τους από τον κατασκευαστικό κλάδο με βάση τα φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά τους.
- [52] Λασκαρίδης Κ. και Πατρώνης Μ., (2005): Οι φυσικομηχανικές ιδιότητες των φυσικών διακοσμητικών πετρωμάτων και η χρήση τους κατά την απόδοση σήμανσης CE. Πρακτικά 2^{ου} συνεδρίου ΕΓΕ - Επιτρ. Οικον. Γεωλογίας, Ορυκτολογίας και Γεωχημείας. 179-187.
- [53] Lee J., and Lister G.S., (1992): Late Miocen ductile extension and detachment faulting, Mykonos, Greece. *Geology*, v. 20, p. 121-124.
- [54] Lemoine M., Tricart P., and Boillot G. (1987): Ultramafic and gabbroic ocean floor of the Ligurian Tethys (Alps, Corcica, Apenines): in search of a genetic model. *Geology*, v.15, p. 622-625.
- [55] Lister G.S., Banga G. And Feenstra A., (1984): Metamorphic core complexes of Cordilleran type in the Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Geology*, 12, 221-225.
- [56] Ludwig K.A., Kelley D.S, Butterfield D.A. Nelson B.K. and Fröh-Green G., (2006): Formation and evolution of carbonate chimneys at the Lost City Hydrothermal Field. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 3625-3645.
- [57] Maluski, H., Vergely, P., Bavay, D., Bavay, P. and Katsikatsos, G., (1981): ³⁹Ar/⁴⁰Ar dating of glaucophanes and phengites in Southern Euboea (Greece), geodynamic implications. *Bull. Soc. Geol. France*, 7, 469-476.
- [58] Maluski H., Bonneau M., and Kienast J.R. (1987): Dating the metamorphic events in the Cycladic area: ³⁹Ar/⁴⁰Ar data from the metamorphic rocks of the island of Syros (Greece). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, v. 5, p. 833-842.
- [59] Mathews A., and Schliestedt M., (1984): Evolution of the blueschist and greenschist facies rocks of Sifnos, Cyclades, Greece: A stable isotope study of subduction-related metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, v. 88, p. 150-163.
- [60] Μελιδώνης Ν., (1980): Γεωλογική δομή και κοιτασματολογία της Νήσου Τήνου (Κυκλάδες). Πρόδρομη μελέτη. Ειδικά μελέται της γεωλογίας της Ελλάδος, No 13, Ι.Γ.Μ.Ε.
- [61] Melfos V., Magganis A., Voudouris P. and Kati M., (2009): The Mesozoic Larissa Ophicalcite-Serpentine Association in Eastern Thessaly, Greece: Mineralogical, Geochemical and Isotopic constraints for rocks formed in an ocean-continent transition setting. *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-10797-2.
- [62] Milliken K. L., Lynch F. L. and Seifert K.E., (1996): Marine weathering of serpentinites and serpentinite breccias, Sites 897 and 899, Iberia Abyssal Plain: in Whitmarsh R. B., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results*, v. 149, Ocean Drilling Program, College Station, Tex., 529-540.

- [63] Müntener O. and Manatschal O., (2006): High degrees of melt extraction recorded by spinel hartzburgite of the Newfoundland margin: the role of inheritance and consequences for the evolution of the Southern North Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, 252, 437-452.
- [64] Okrusch M. and Bröcker M., (1990): Eclogites associated with high-grade blueschists in the Cyclades Archipelago, Greece: a review. *European Journal of Mineralogy*, 2, 451-478.
- [65] Παπαγεωργάκης Ι., (1966): Τα εις την μαρμαρικήν τέχνην χρήσιμα πετρώματα της Ελλάδος. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 18, 193-270.
- [66] Papanikolaou D., (1993): Geotectonic evolution of the Aegean. 6th Congress of the Geological Society of Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece*, v. 28/1, p. 33-48.
- [67] Papanikolaou D., (1997): The tectonostratigraphic terranes of the Hellenides. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 37, 495-514.
- [68] Papanikolaou D., Bargathi H., Dabovski C., Dimitriou R., El-Hawat A., Ioanne D., Krannis H., Obeidi, A. Oaie, G., Seghedi A., and Zagorchev I. (2004): Transect VII: East European Craton-Scythian Platform-Dobrodgea-Balkanides-Rhodope Massif-Hellenides-East Mediterranean-Cyrenaica. In: *The TransMed Atlas: The Mediterranean region from crust to mantle: Geological and Geophysical framework of the Mediterranean and the surrounding areas*. 32nd International Geological Congress, Florence. Berlin, Springer, CD-ROM.
- [69] Papanikolaou D. J. (2009): Timing of tectonic emplacement of the ophiolites and terrane paleogeography in the Hellenides. *Lithos*, 108, 262-280.
- [70] Παρασκευόπουλος Γ. και Κανάκη Φ., (1972): Η γέννεσις των Ελληνικών οφίτασβεστιτών. *Δελτία της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 9, 413-451.
- [71] Parra T., Vidal O, and Jolivet L., (2002): Relation between deformation and retrogression in blueschist metapelites of Tinos island (Greece) evidenced by chlorite-mica equilibria. *Lithos*, v. 63, p. 41-66.
- [72] Patzak M., Okrusch M., and Kreuzer H., (1994): The Akrotiri unit on the island of Tinos, Cuclades, Greece: witness to a lost terrane of Late Cretaceous age. *Neues Jahrb. Geol. Paleontol. Abh.*, v. 194, p. 211-252.
- [73] Paulick H., Bach W., Godard M., De Hoog J.C.M., Suhr G. and Harvey J., (2006): Geochemistry of abyssal peridotites (Mid-Atlantic Ridge, 15°20'N, ODP Leg 209): Implications for fluid/rock interaction in slow spreading environments. *Chemical Geology*, 234: 179-210.
- [74] Pearce J.A., Lippard S.J. and Roberts S., (1984): Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. In: *Marginal Basin Geology* (eds: Kokelaar B.P. and Howells M.F.), 77-94. Geological Society of London Special Publication no. 16.

- [75] Pereira D., Yenes M., Blanco A. and Peinado M., (2007): Characterization of serpentinites to define their appropriate use as dimension stone. In: Building Stone Decay: From diagnosis to conversation. Geological Society of London Special Publications, 271, 55-62.
- [76] Péron-Pinvidic G., Manatschal G., Minshull T. and Sawyer D., (2007): The tectonosedimentary and morpho-tectonic evolution recorded in the deep Iberia-Newfoundland margins: evidence for a complex break-up history. *Tectonics*, doi: 10.1029/2006TC001970.
- [77] Putlitz B., Katzir Y., Matthews A. and Valley W.J., (2001): Oceanic and orogenic fluid-rock interaction in 18O/16O-enriched metagabbros of an ophiolite (Tinos, Cyclades), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 93, 99–113.
- [78] Putlitz B., Cosca M.A. and Schumacher J.C., (2005): Prograde mica ³⁹Ar/⁴⁰Ar growth ages recorded in high pressure rocks (Syros, Cyclades, Greece). *Chemical Geology*, 214, 79-98.
- [79] Ring U., Will. T., Glodny J., and Thomson S.N., (2007): An Oligocene extrusion wedge of blueschist-facies nappes on Evia island, Aegean Sea, Greece: Implications of the early exhumation high pressure rocks. *J. Geol. Soc. London*, v. 164, p. 245-252.
- [80] Ring U., and Lister P.W., (2003): High-pressure metamorphism in the Aegean, eastern Mediterranean: Underplating and exhumation from the Late Cretaceous until the Miocene to Recent above the retreating Hellenic subduction zone. *Tectonics*, 22(3), 1022.
- [81] Ring U., Laws S., and Bernet M., (1999): Structural analysis of a complex nappe sequence and late-orogenic basins from the Aegean island of Samos, Greece. *J. Struc. Geol.*, v. 21, p. 1575-1601.
- [82] Robertson, A.H.F., Clift, P.D., Degnan, P.J. and Jones, G., (1991): Palaeogeographic and palaeotectonic evolution of Eastern Mediterranean Neotethys. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, v. 87, 289-343.
- [83] Schliestedt M., Altherr R. and Matthews A., (1987): Evolution of the Cycladic crystalline complex: petrology, isotope geochemistry and geochronology. In: Helgeson, H.C. (ed): *Chemical transport in Metasomatic Processes*. NATO ASI Series, 389-428.
- [84] Shaked Y., Avigad D., and Garfunkel Z., (2000): Alpine high-pressure metamorphism at the Almyropotamos window (southern Evia, Greece). *Geol. Mag.*, v. 137, p. 367-380.
- [85] Sharp I. R. and Robertson A. H. F., (2006): Tectonic-sedimentary evolution of the western margin of the Mesozoic Vardar Ocean: evidence from the Pelagonian and Almopias zones, northern Greece. In: Robertson A. H. F. and Mountrakis D., (eds). *Tectonic development of the Eastern Mediterranean Region*. Geological Society of London Special Publications, 260, 373-412.

- [86] Spooner E.T.C. and Fyfe W.S, (1973): Sub-sea-floor metamorphism, heat and mass transfer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 42, 287-304.
- [87] Steinmann G. (1905): Geologische Beobachtungen in den Alpen II. Die Schardtsche Überfaltungstheorie und die geologische Bedeutung den Tiefseeabsätze und der ophiolitischen Massengesteine. *Berichte den Naturforschenden Gesellschaft zum Freiburg im Breisgau*. V. 16, p. 168-61.
- [88] Steinmann G., (1913): Uner Tiefenabsätze des Oberjura im Apenin. *Geologische Rundschau*, v. 4, p. 572-575.
- [89] Stevens, R. E. (1944) Composition of some chromites of the Western hemisphere *Am. Mineral.*, 29, 1-34.
- [90] Stolz J., Engi M., and Rickli M., (1997): Tectonometamorphic evolution of SE Tinos, Cyclades, Greece. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, v. 77, p. 209-231.
- [91] Tomaschek F., Kennedy A., Villa I., Lagos M. and Ballhaus C., (2003): Zircons from Syros, Cyclades, Greece-recrystallization and mobilization of zircon during high pressure metamorphism. *Journal of Petrology*, 44, 1977-2002.
- [92] Tombros, S. (2001): The Au-Ag-Te polymetallic mineralization of Tinos Island, Cyclades, Aegean. Unpubl. PhD Thesis, Univer. of Patras, Hellas, 450p.
- [93] Tombros St., Seymour K. St., William-Jones A.E. and Spry P.G., (2007): The Genesis of Epithermal Au-Ag-Te Mineralization, Panormos Bay, Tinos Island, Cyclades, Greece. *Economic Geology*, v. 105, p. 1097-1011.
- [94] Trommsdorf V., Evans B. and Pfeifer H.R., (1980): Ophicarbonat rocks: Metamorphic reactions and possible origin. *Archives des Sciences Genève*, 33, 631-364.
- [95] Trotet F., Jolivet L. and Vidal O., (2001a): Tectonometamorphic evolution of Syros and Sifnos islands, (Cyclades, Greece). *Tectonophysics*, 338, 179-206.
- [96] Tucholke B.E., Fujioka K., Ishihara T., Hirth G. and Kinoshita M., (2001): Submersible study of an oceanic megamullion in the central North Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, 106: 16145-16161.
- [97] Tucholke B.E., Lin J. and Kleinrock M.C., 1998. Megamullions and mullion structure defining oceanic metamorphic core complexes on the Mid-Atlantic Ridge. *Journal of Geophysical Research*, 103: 9857- 9866.
- [98] Wijbrans J. R. and McDougall I., (1988): Metamorphic evolution of the Attic Cycladic metamorphic belt on Naxos (Cyclades, Greece) utilizing age $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ spectrum measurements. *Jour. Metamorphic Geology*, 6, 571-594.

III. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.**ΠΙΝΑΚΑΣ Ι: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ**

Δείγμα	Ορυκτολογικό περιεχόμενο	Λιθολογικός τύπος	Θέση
TIM1	cal + atg + tlc	ασβεστιτική φλέβα	II
TIM2	cal + atg + act + tlc	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	II
TIM3	cal + atg + tlc + chl + spl + mt	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	II
TIM4	cal + dol + atg + chl + tlc + tr + spl + mt	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	II
TIM5	atg + mt + spl	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	II
TIM6	cal + spl + mt + chl	χρωμιτίτης	II
TIM7	atg	κρύσταλλοι αντιγορίτη	II
TIM8	atg + spl + mt + slf	σερπεντινίτης	III
TIM9	cal + atg + chl + tlc	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	III
TIM10	atg + tr + chl + spl + mt + slf	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	III
TIM11	cal + atg	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	III
TIM12	atg	κρύσταλλοι αντιγορίτη	III
TIM13	ep + act + tr + ms + chl + ab	πρασινοςχιστόλιθος	III
TIM14	cal+ hem	διάκλαση σε πρασινοςχιστόλιθο	III
TIM15	cal + atg + tlc	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	III
TIM16	cal	ασβεστιτική φλέβα	III
TIM17	ep + act + tr + ms + chl + ab	πρασινοςχιστόλιθος	I
TIM18	cal + atg	ασβεστιτική φλέβα	I
TIM19	spl + mt + chl + cal	χρωμιτίτης	I
TIM20	cal + atg + spl + mt	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	I
TIM22	ab + chl + ab + act	μεταπυροξενίτης	ΛΔ
TIM23	ep + qz + tr + act + hbl chl + tit	μεταγάββρος	ΛΔ
TIM24	ep + qz + tr + act + hbl chl + tit	μεταγάββρος	ΛΔ
TIM25	atg + spl + mt	σερπεντινίτης	I
TIM26	ab + chl + tr + ep + act	πρασινοςχιστόλιθος	ΛΘ
TIM27	chl + ep + ab + act	πρασινοςχιστόλιθος	ΛΘ
TIM28	cal + atg + spl + mt + slf	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	V
TIM29	cal + atg	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	V
TIM30	cal + dol + atg + spl + mt	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	V
TIM31	cal + atg + spl + mt	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση iii)	V
TIM32	hbl + atg + ep + act + ab	μεταγάββρος	V
TIM33	tlc + chl + tr + ab + act + ep	ταλκικός σχιστόλιθος	ΛΔ
TIM34	ep + qz + tr + act + hbl chl + tit	μεταγάββρος	ΛΔ
TIM35	tlc + chl + tr + ab + act + ep	ταλκικός σχιστόλιθος	ΛΔ
TIM36	ep + act + hbl + ab + pmp	μεταγάββρος	ΛΔ
TIM37	ep + tit + ab + rt + act + pmp + cpx	μεταγάββρος	ΛΔ
TIM38	atg + act + mt	σερπεντινίτης	ΛΔ
TIM39	tr + act + atg	ταλκικός σχιστόλιθος	AΞ
TIM40	atg + spl + mt	σερπεντινίτης	AΞ
TIM41	tlc + chl + tr + ab + act + ep	ταλκικός σχιστόλιθος	AΞ
TIM42	ep + tit + ab + rt + act + pmp + cpx	μεταγάββρος	
TIM43	atg + cal	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση ii)	II
TIM44	atg + cal	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση ii)	II
TIM45	atg + cal	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση ii)	II
TIM46	atg + cal + mt	οφίτασβεστίτης (λιθοφάση i)	II
TIM47	cal	Ασβεστιτική φλέβα	
TIM48	cal	ασβεστίτης από "dyke"	III

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

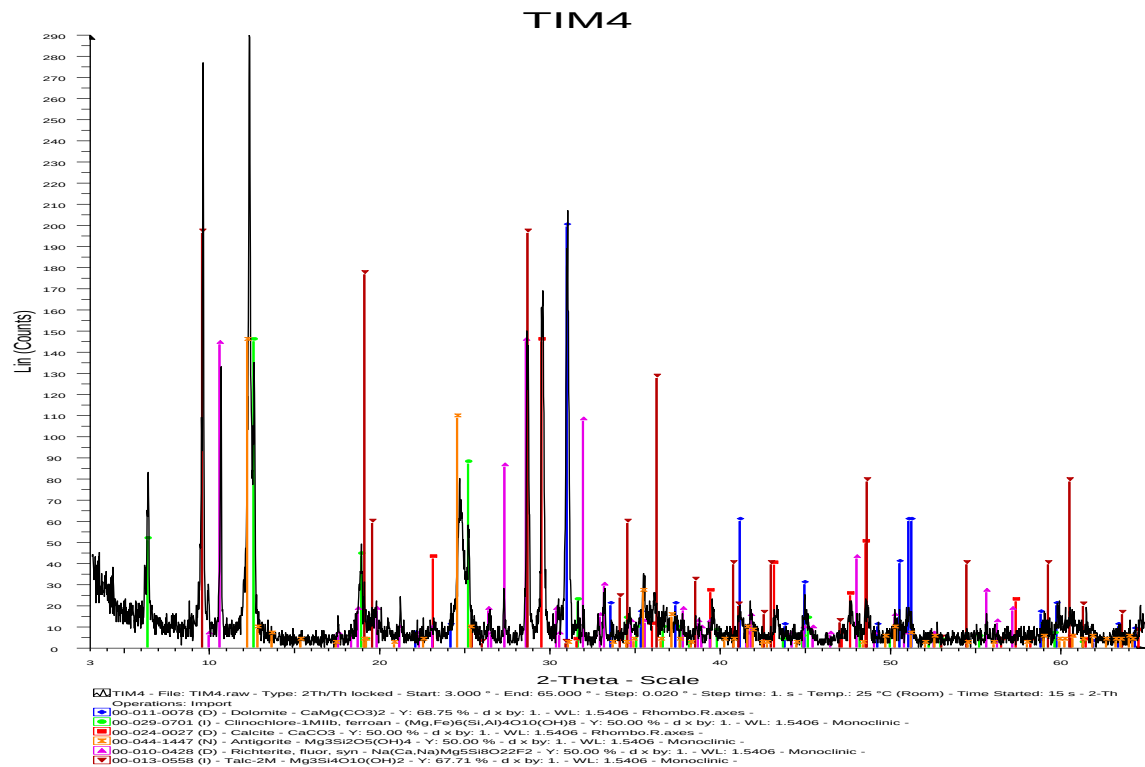
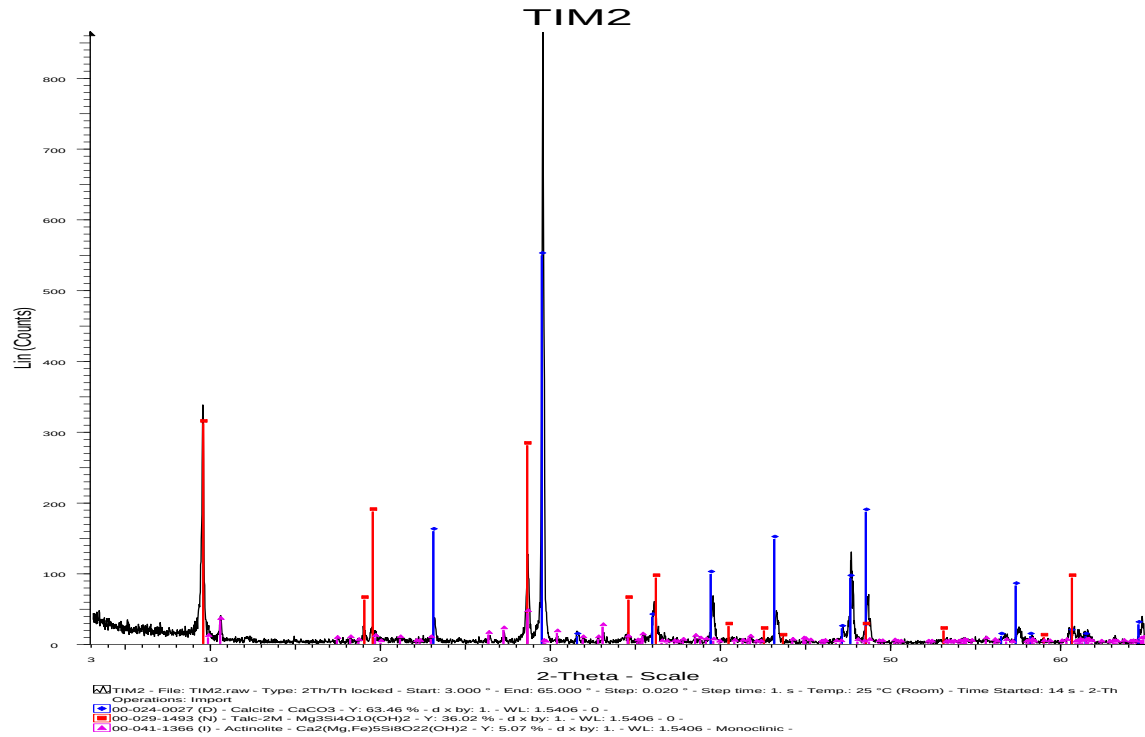
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

TIM49	atg + cal + mt	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση ii)	III
TIM50	atg + cal + mt	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση ii)	III
TIM51	tlc + act	τάλκης	I
TIM52	cal + atg	ασβεστιτική φλέβα	III
TIM53	ep + act + tr + ms + chl + ab	πρασινοςχιστόλιθος	III
TIM54	cal + atg + ep + chl + tlc	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση iv)	III
TIM55	cal + atg + ep + chl + tlc	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση iv)	III
TIM56	atg + mt + spl	σερπεντινίτης	I
TIM57	chl + ab + qz + py	μαφικός φυλλίτης	I
TIM58	chl + ab + qz + py	μαφικός φυλλίτης	I
TIM59	cal + atg + ep + mt	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση iv)	V
TIM60	chl + tlc + cal + atg	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση iv)	V
TIM61	chl + tlc + cal + atg + ep	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση iv)	V
TIM62	cal + hem	οφίταςβεστίτης (λιθοφάση iv)	V
TIM63	chl + ep + ab + act	σχιστόλιθος	V

Επεξηγήσεις συντομογραφιών			
ab	αλβίτης	hem	αιματίτης
act	ακτινόλιθος	ms	μοσχοβίτης
atg	αντιγορίτης	mt	μαγνητίτης
cal	ασβεστίτης	rpm	πουμεπελυίτης
chl	χλωρίτης	qz	χαλαζίας
crx	κλινοπυρόξενος	rt	ρουτίλιο
dol	δολομίτης	spl	σπινέλιος
ep	επίδοτο	tit	τιτανίτης
hbl	κεροσίλβη	tlc	τάλκης
tr	τρεμολίτης	slf	Fe-Ni-Cu-Co θειούχα
ΛΘ	Πλησίον Λ. Θεοτικού	ΛΔ	Πλησίον Λ. Διονύσου
ΑΞ Αγία Ξένη			

ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

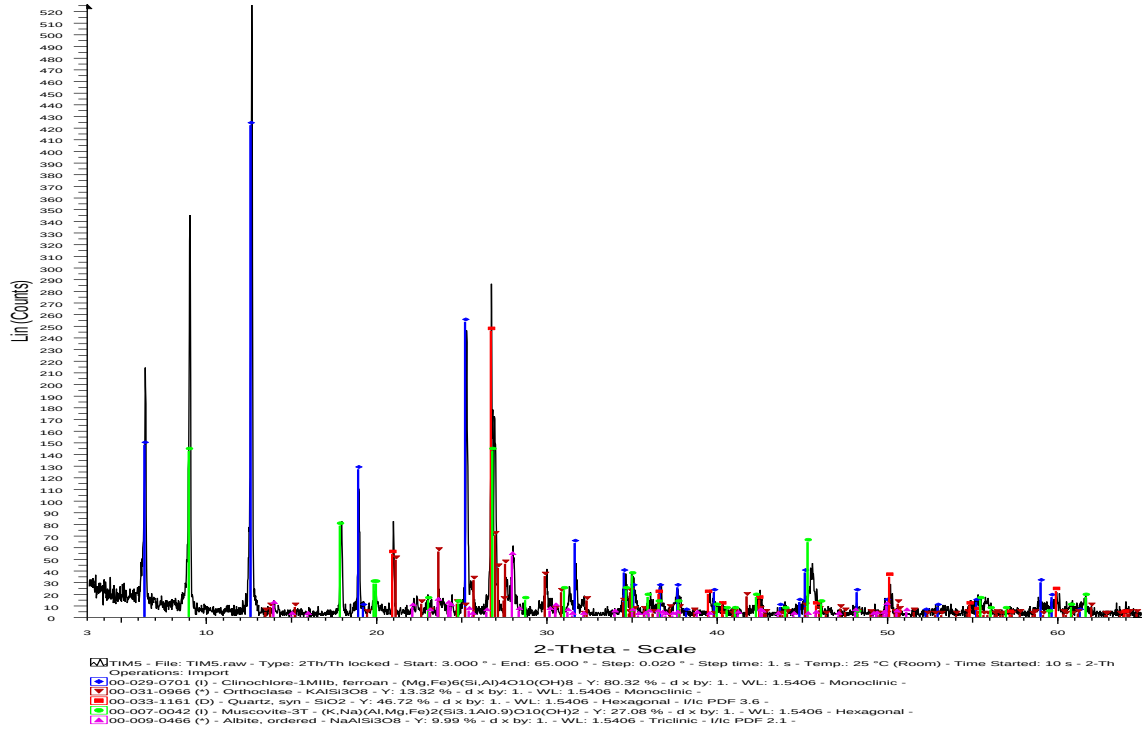
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.



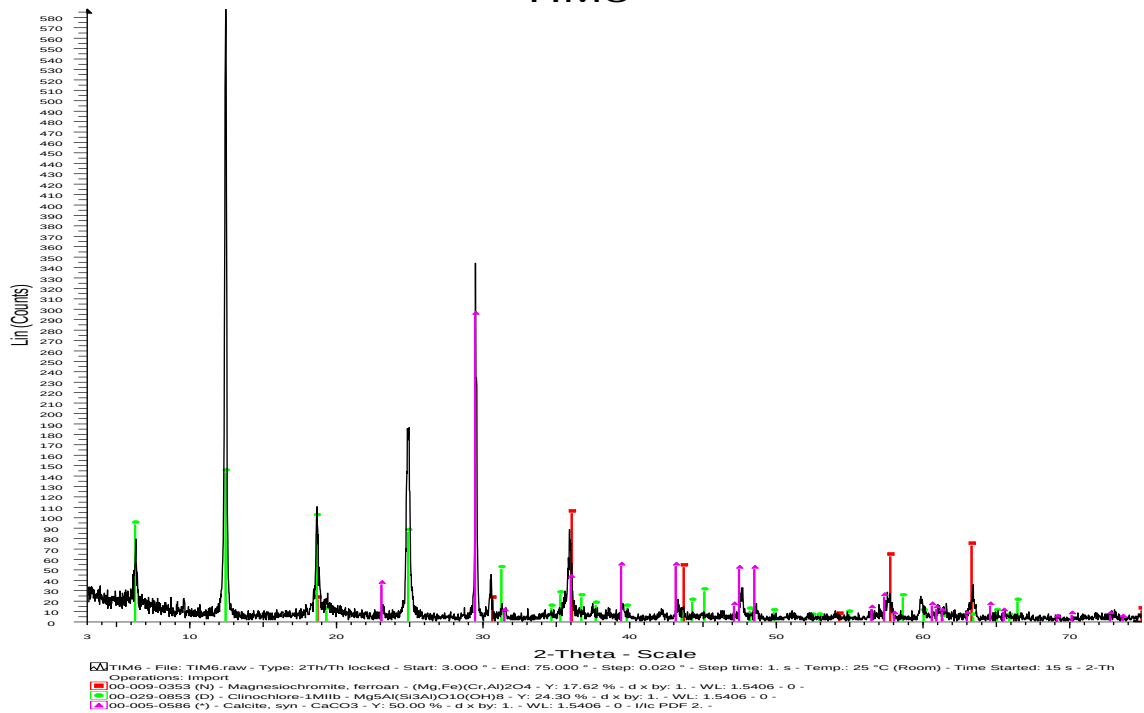
ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

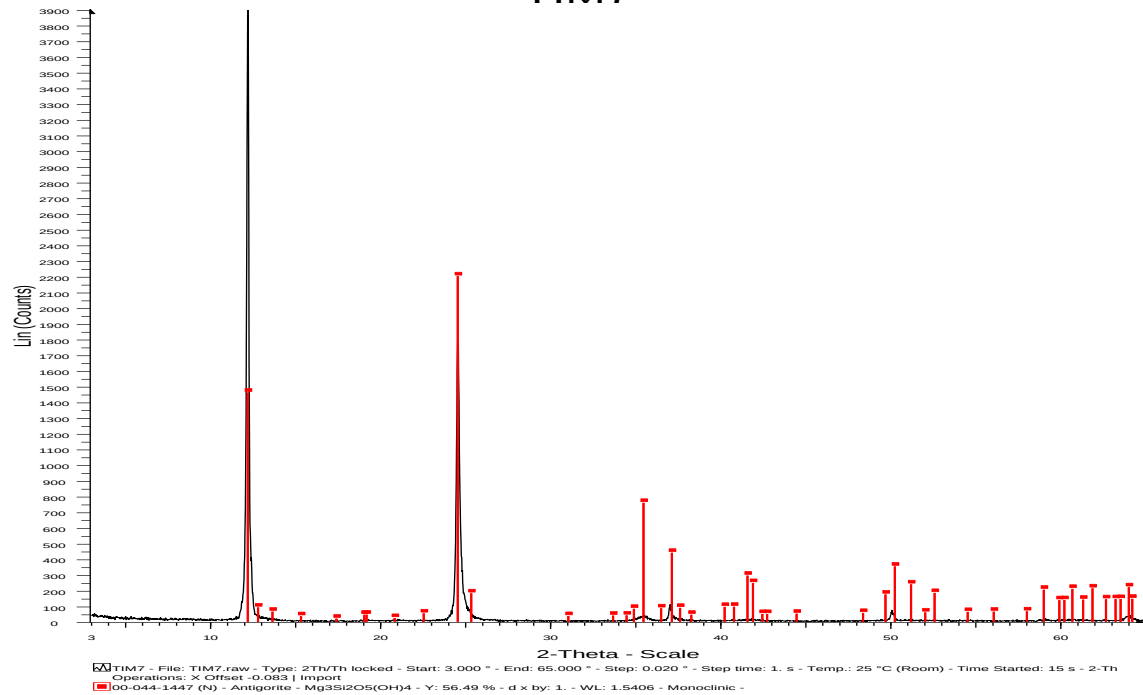
TIM5



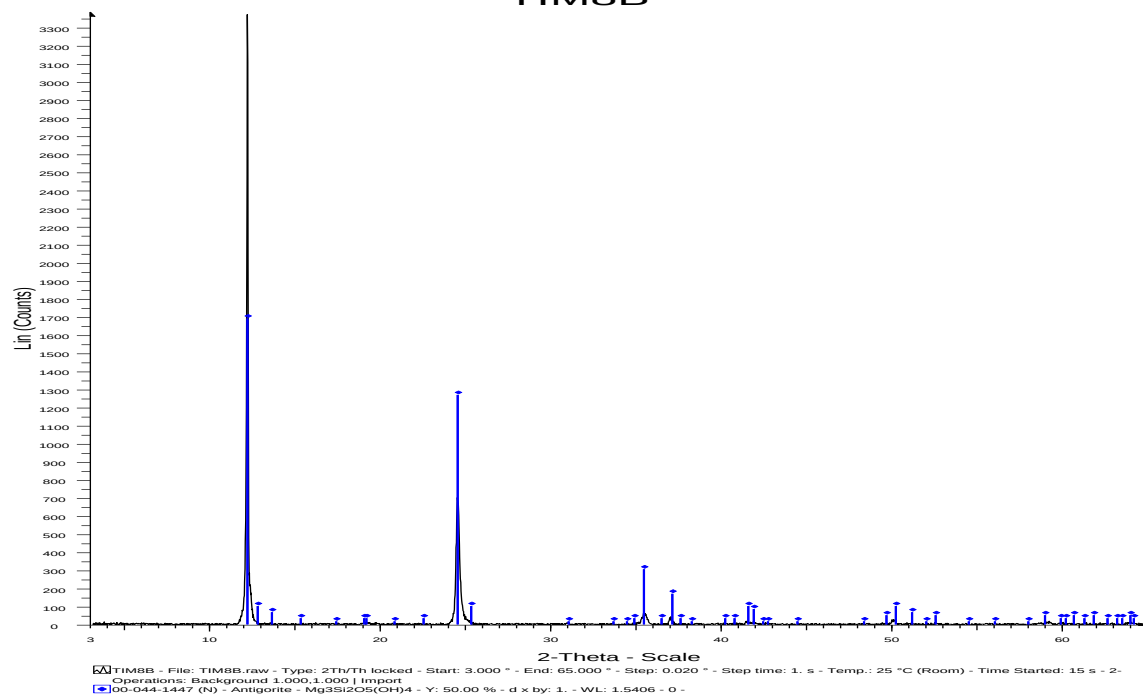
TIM6



TIM7

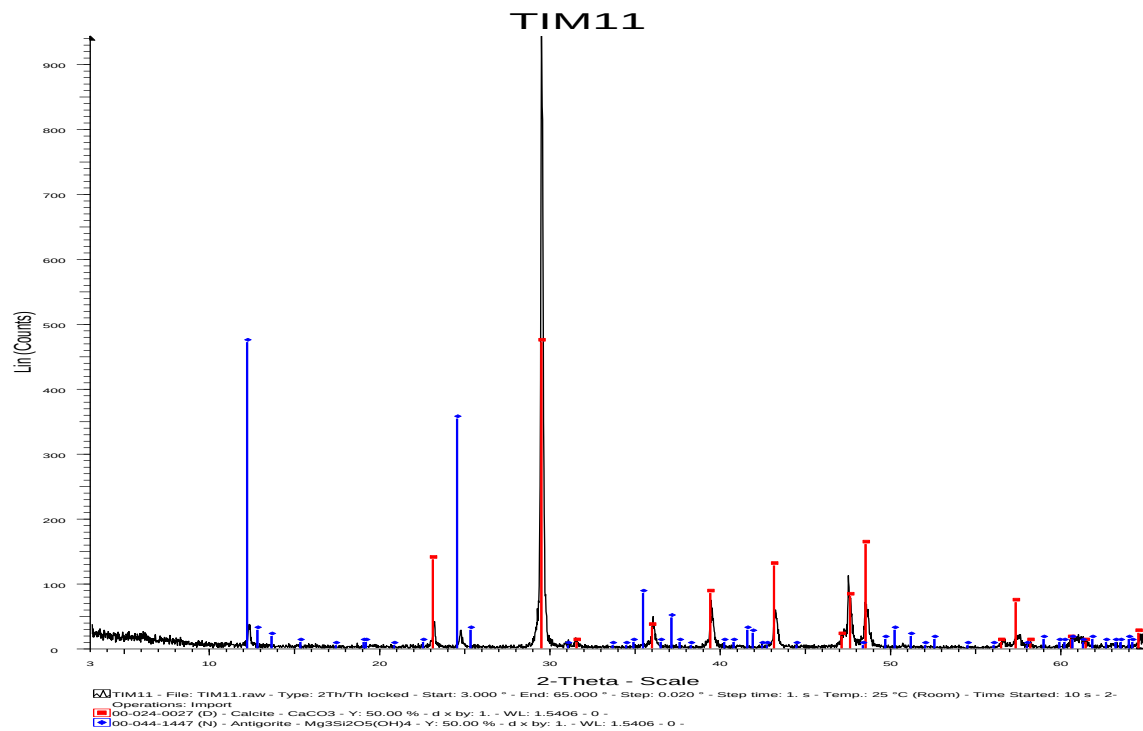
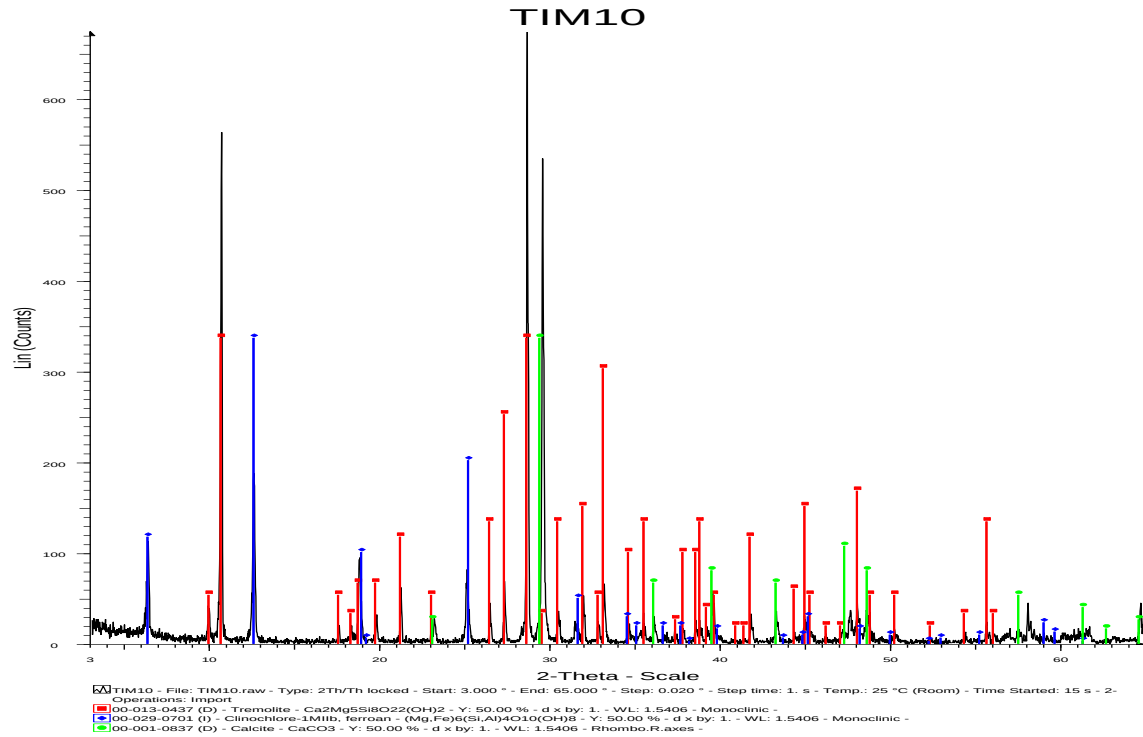


TIM8B



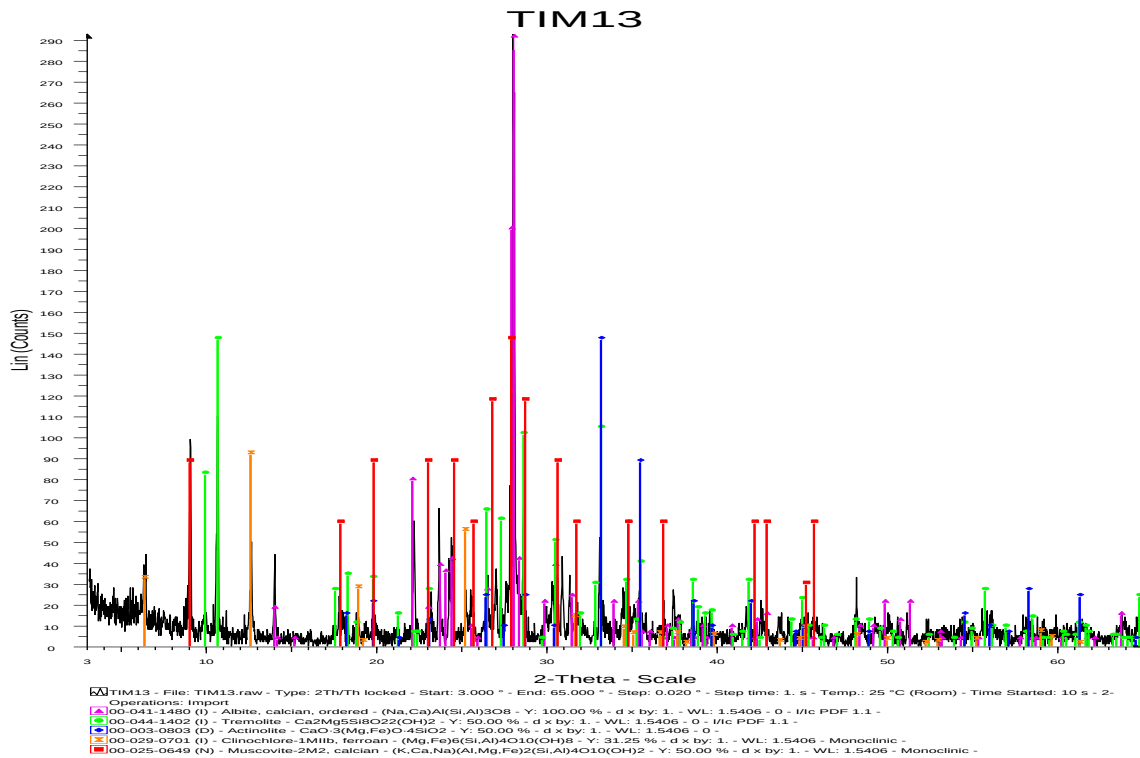
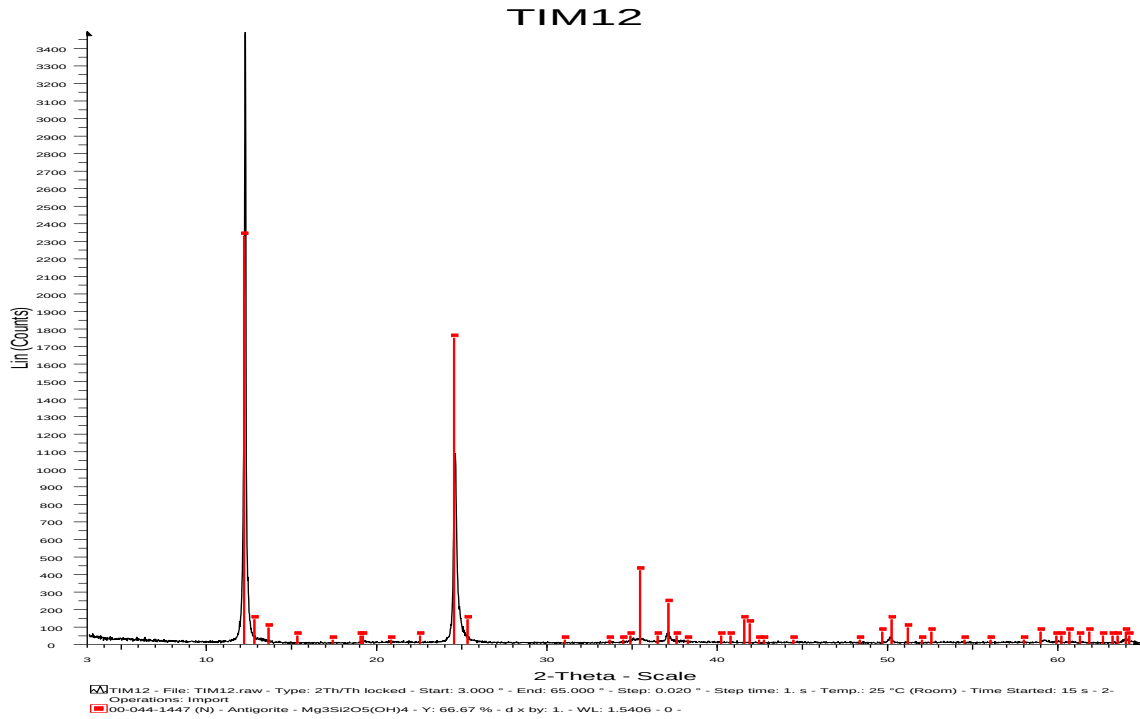
ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

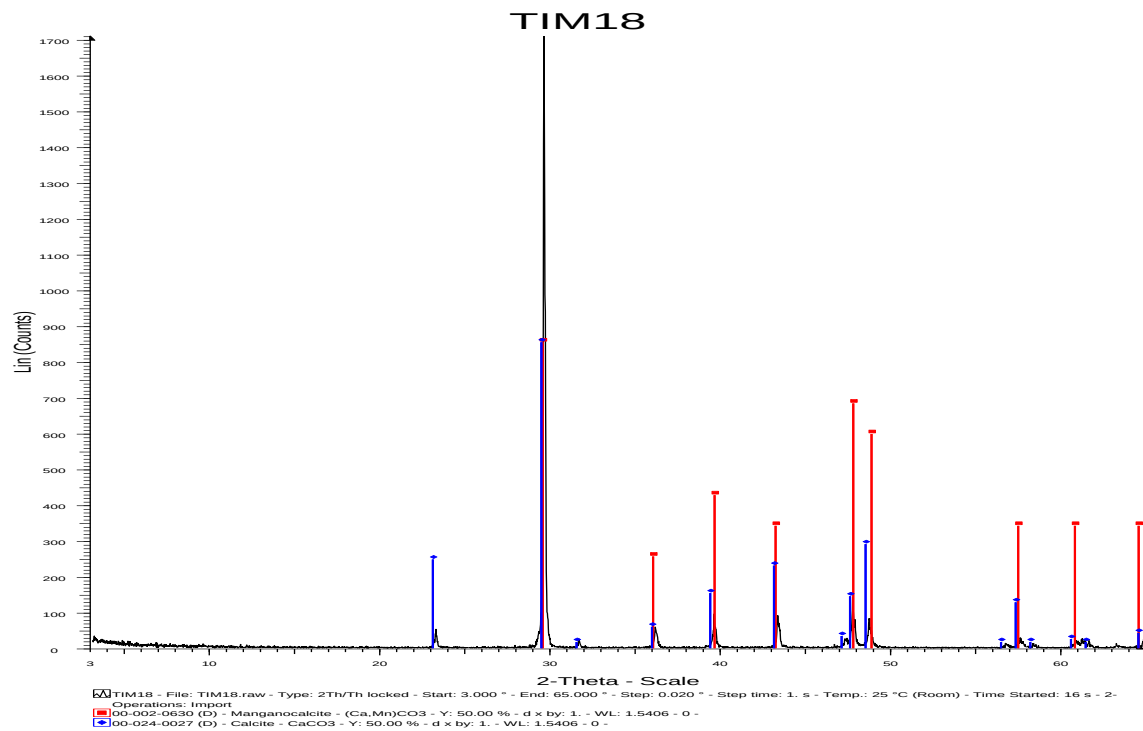
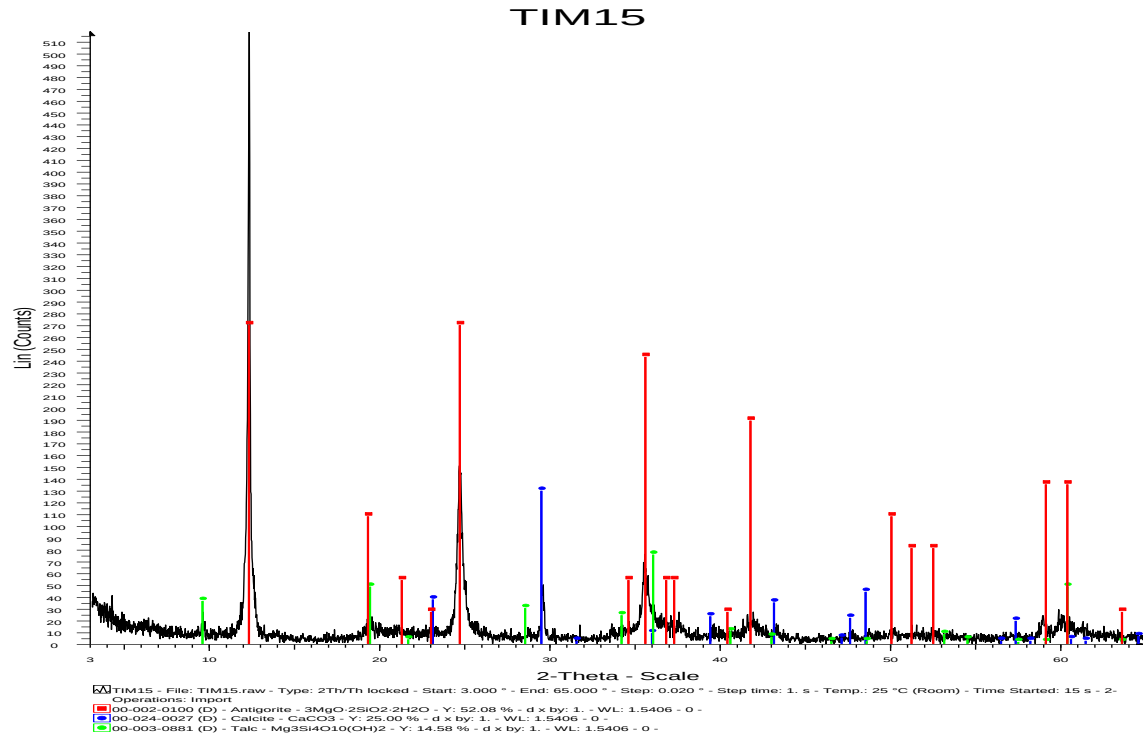
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.



ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

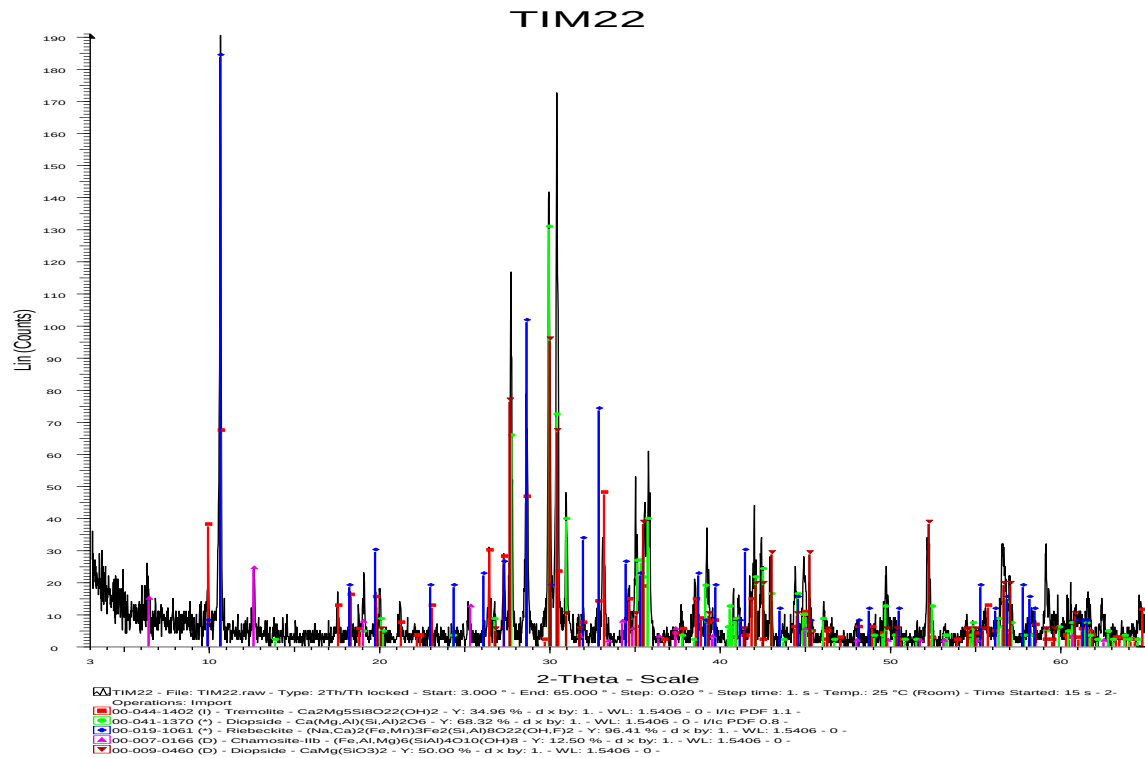
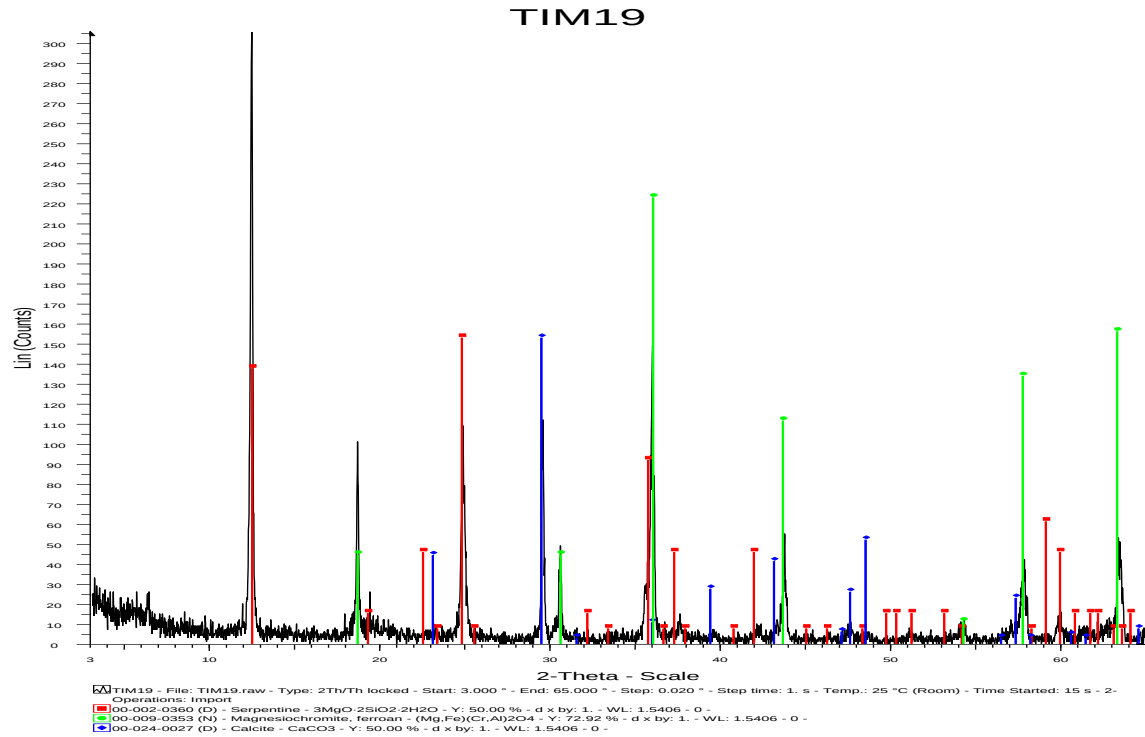
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.





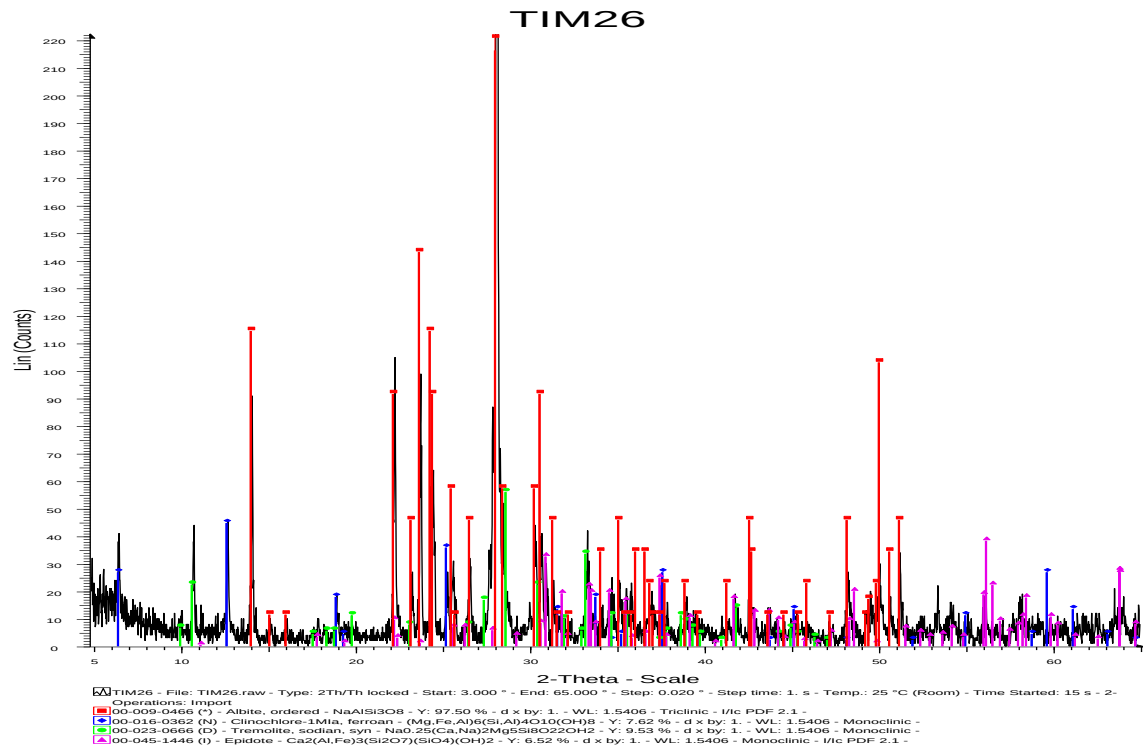
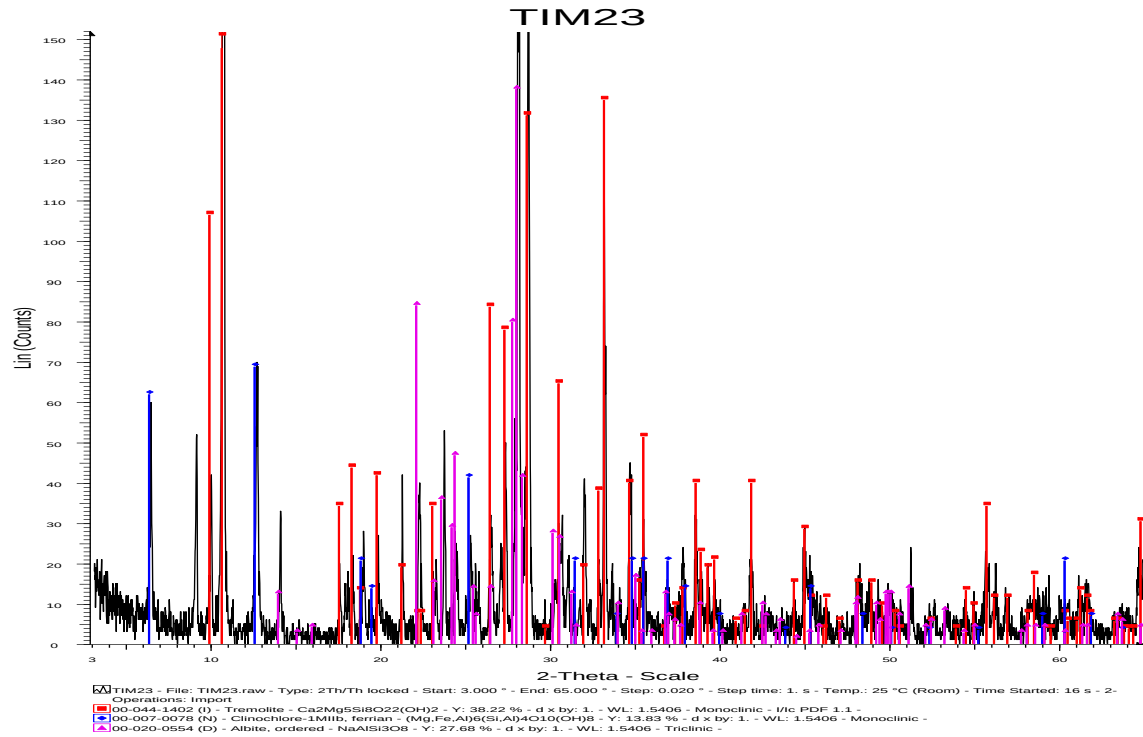
ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.



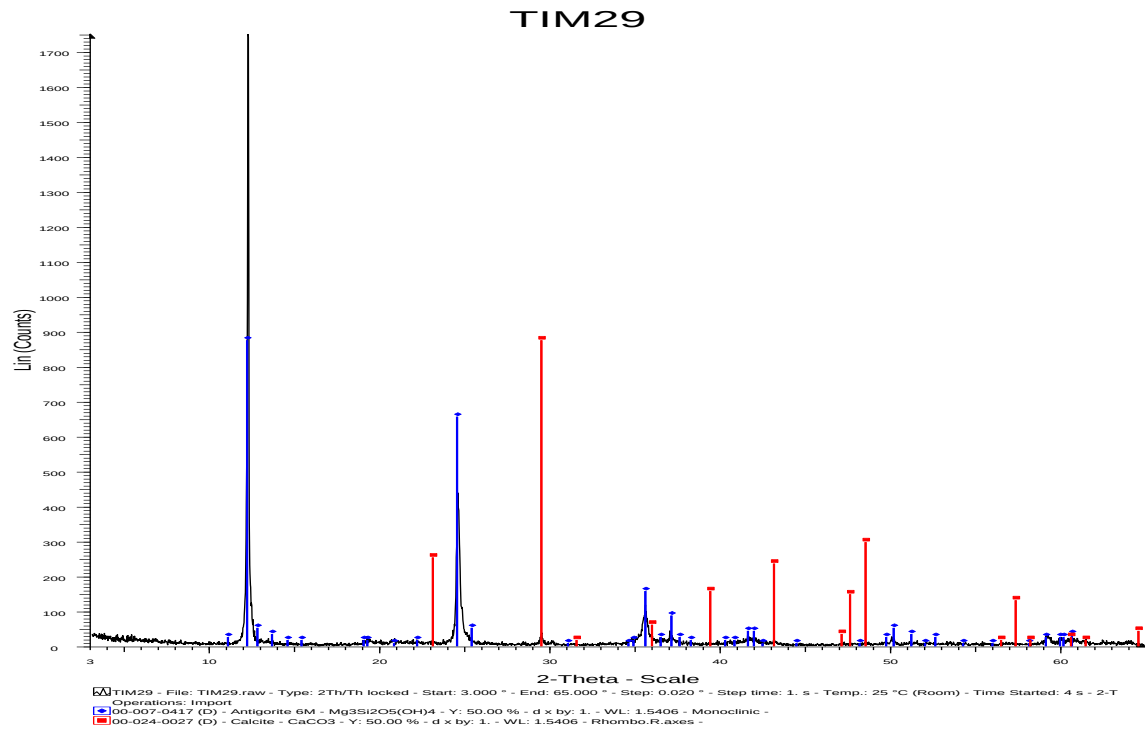
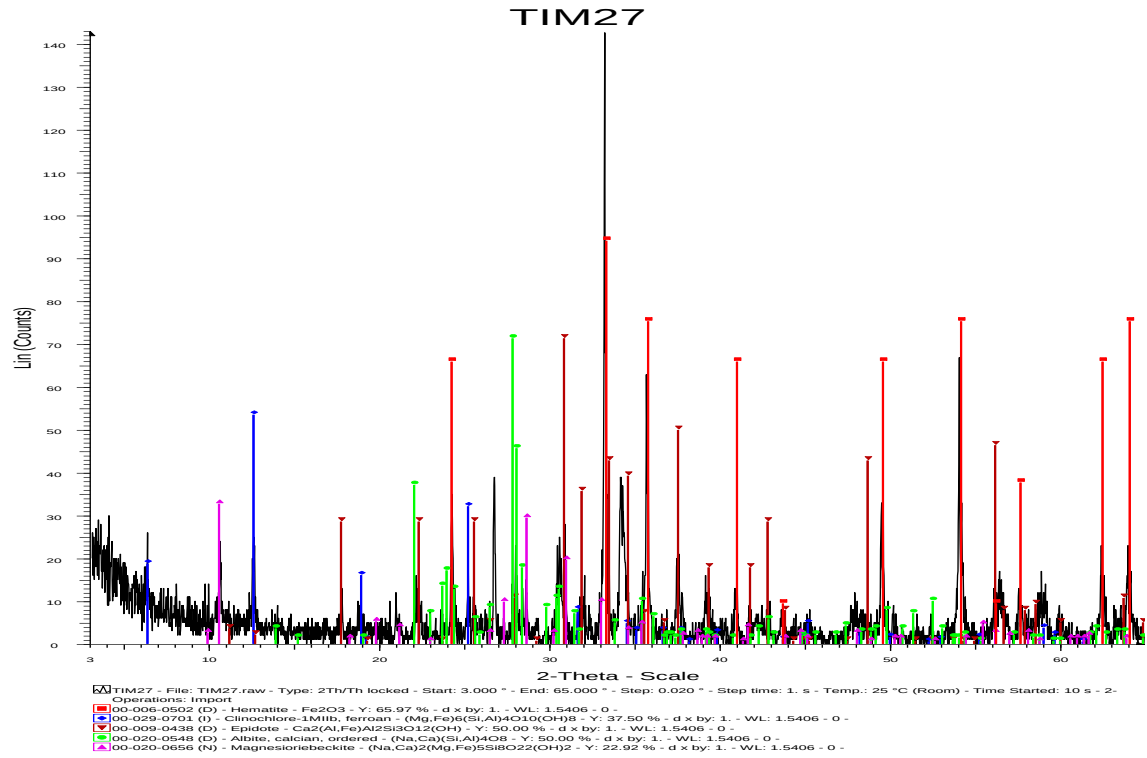
ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

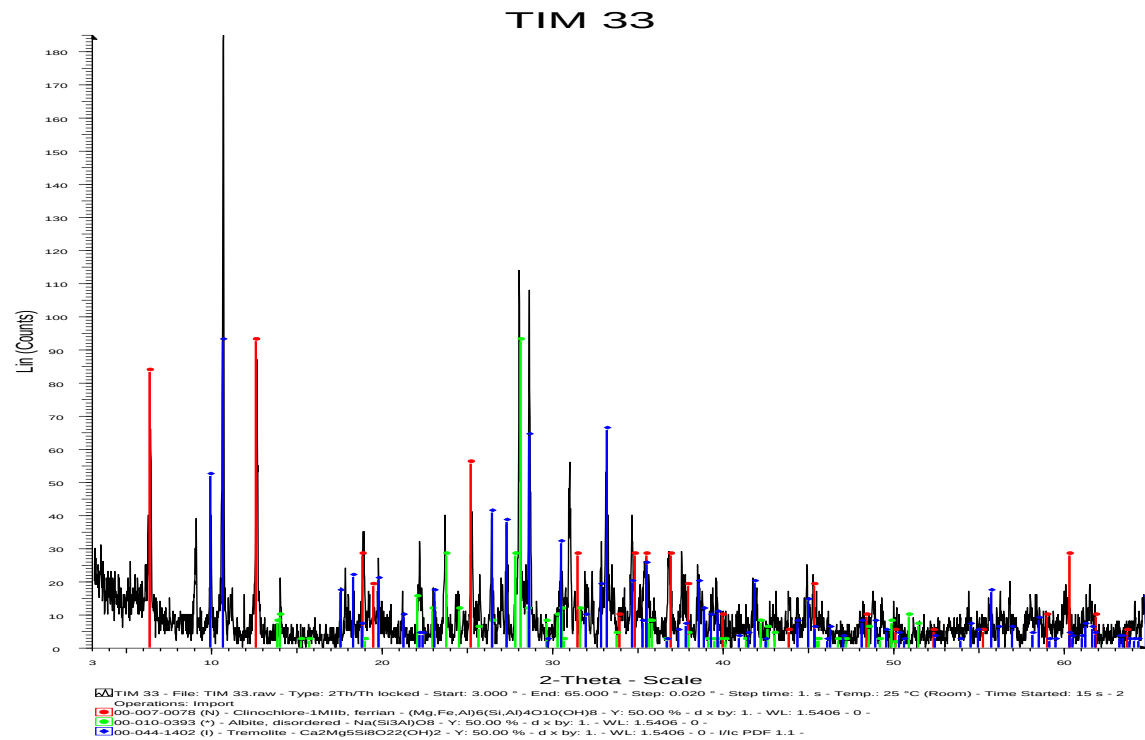
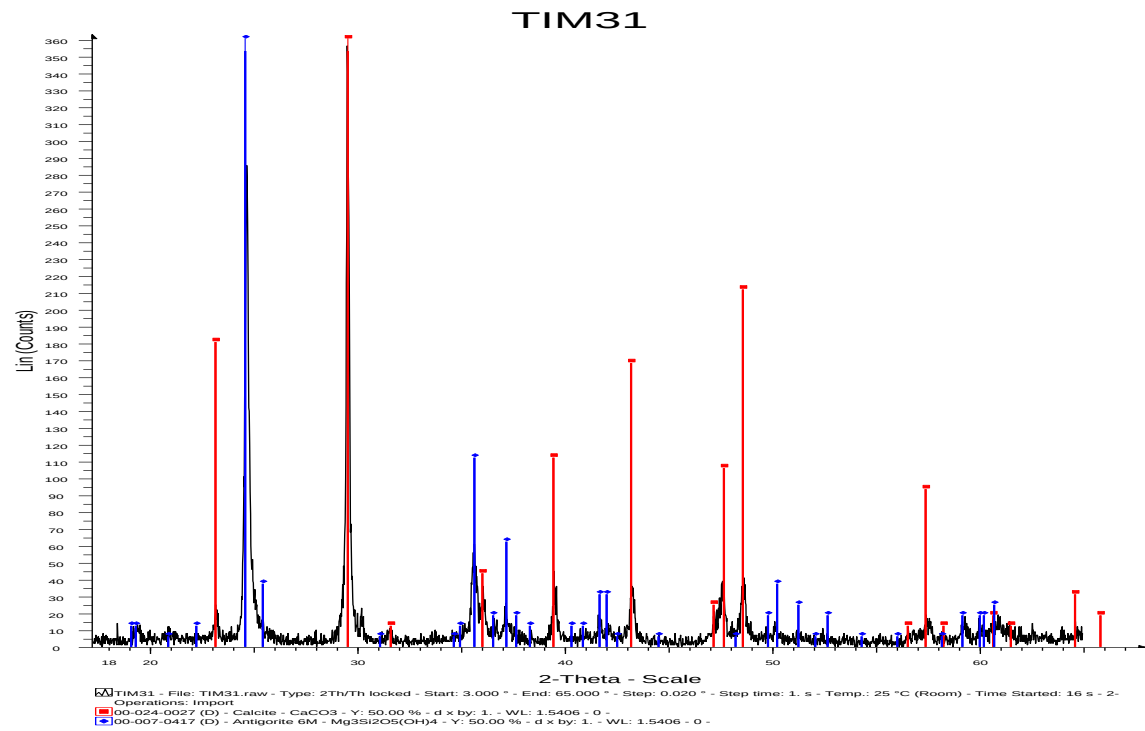
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.



ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

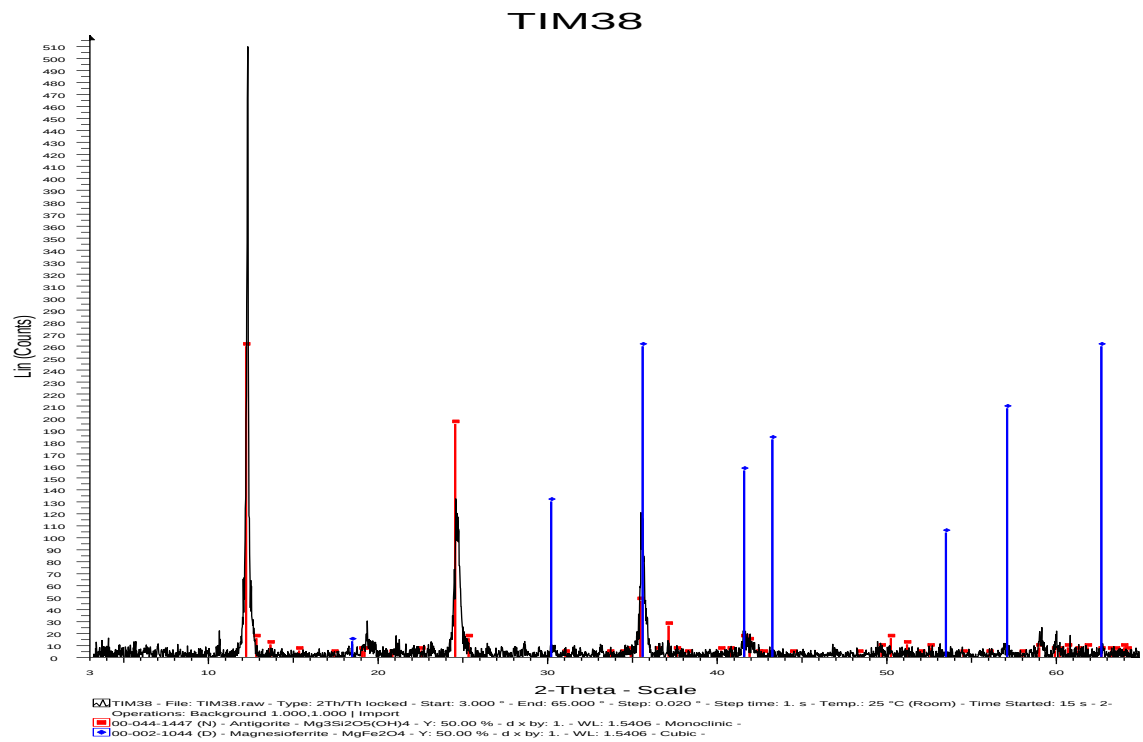
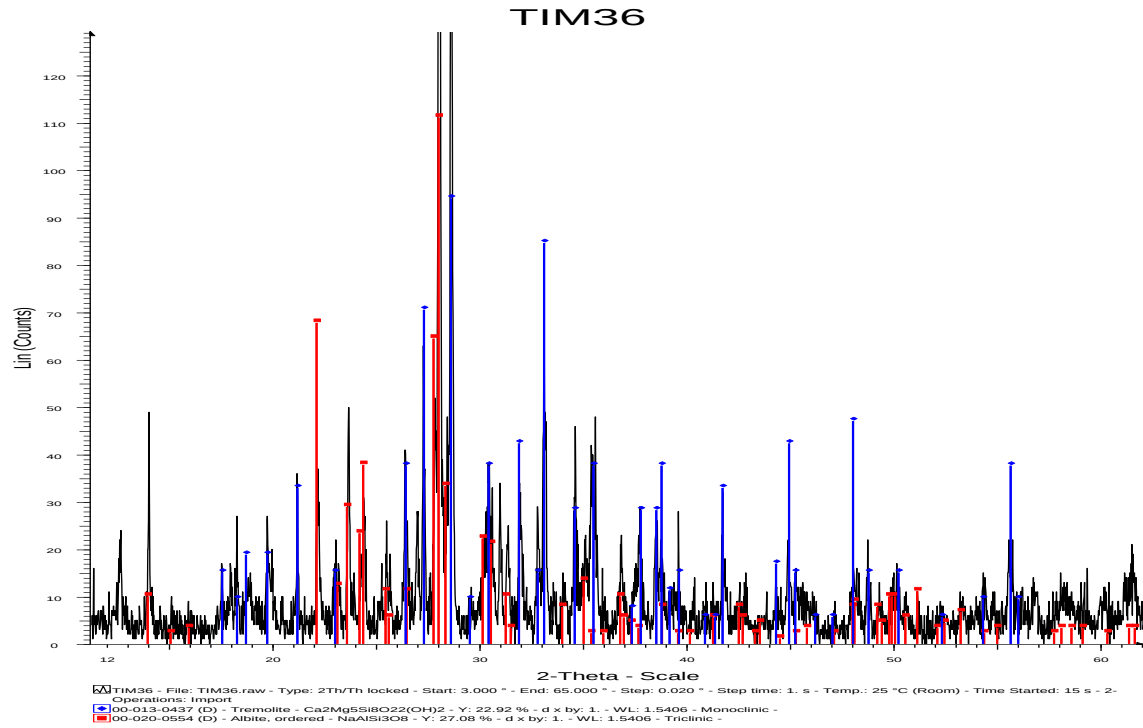
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.



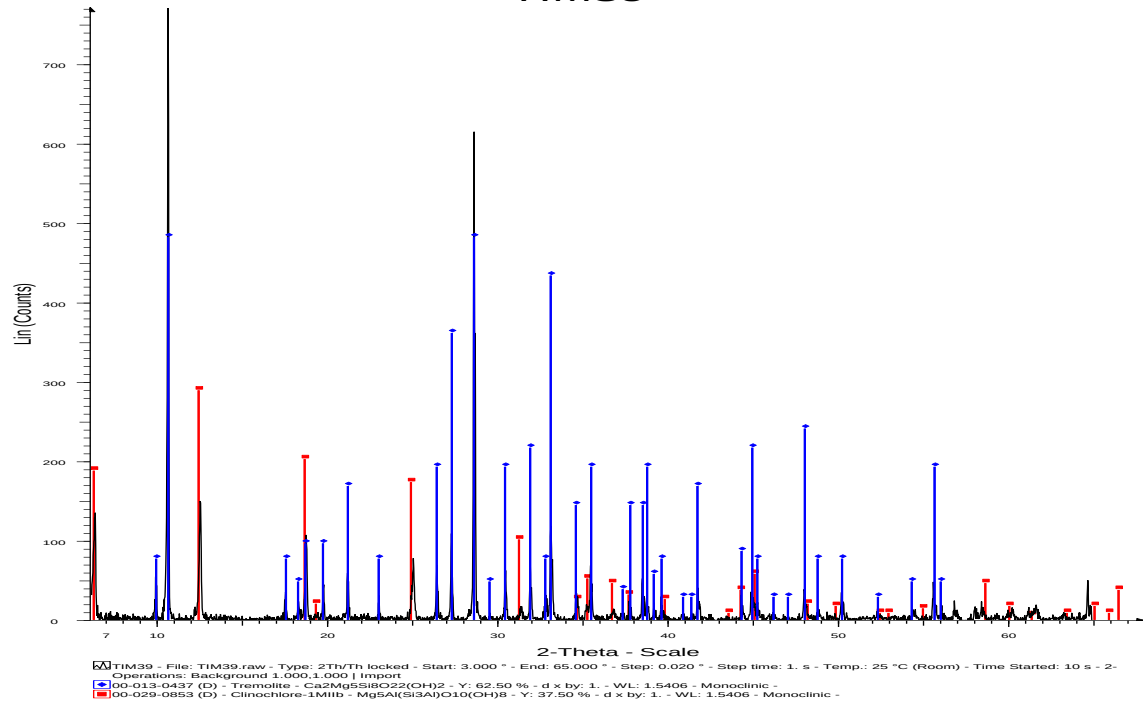


ΟΙ ΟΦΙΤΑΣΒΕΣΤΙΤΕΣ ΤΗΣ ΒΔ ΤΗΝΟΥ.

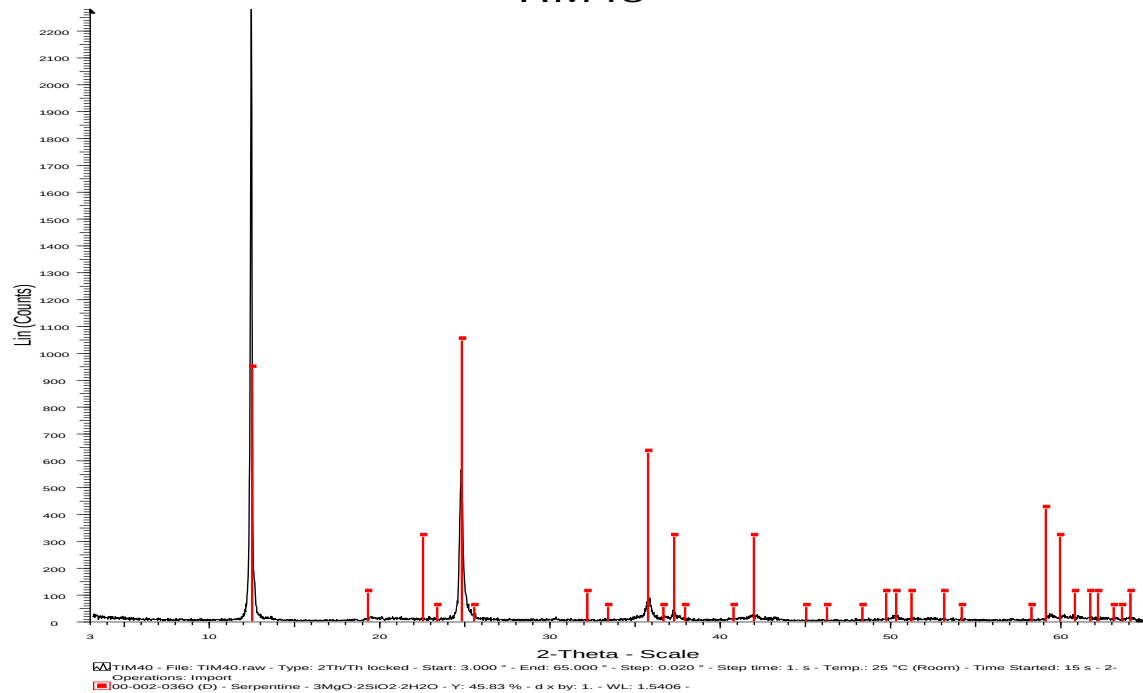
Ορυκτολογία, πετρογραφία, συνθήκες γένεσης και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση και την εξόρυξή τους.

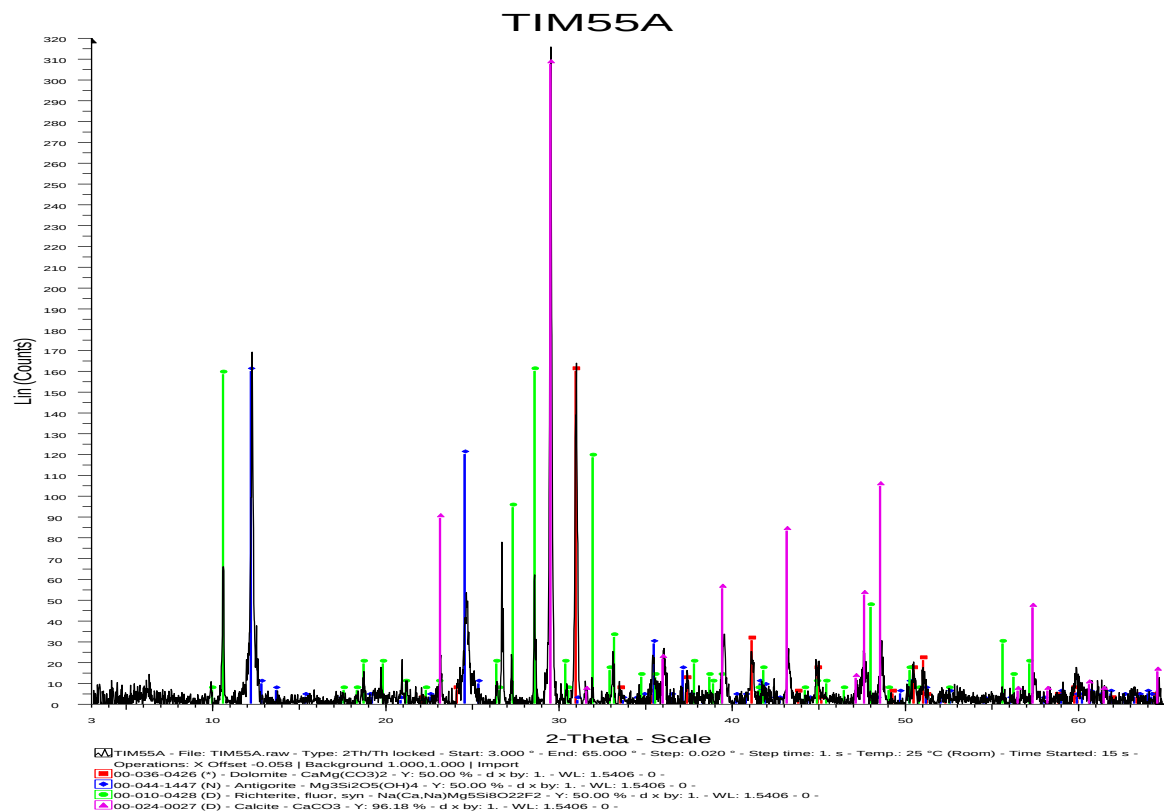
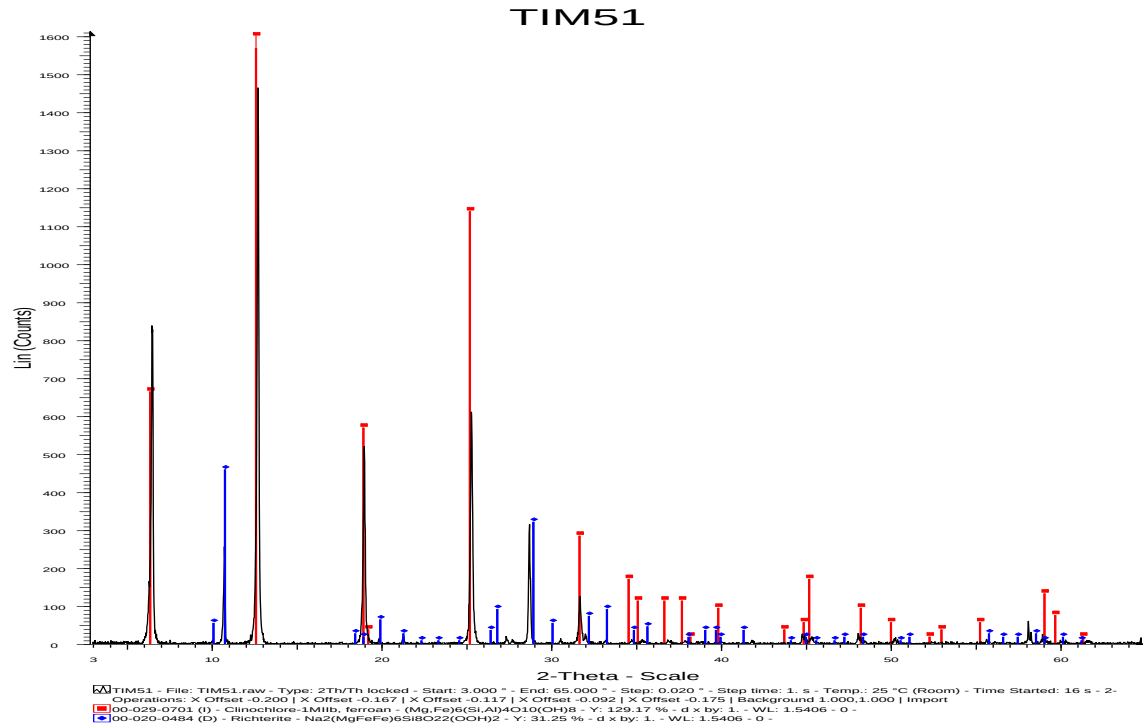


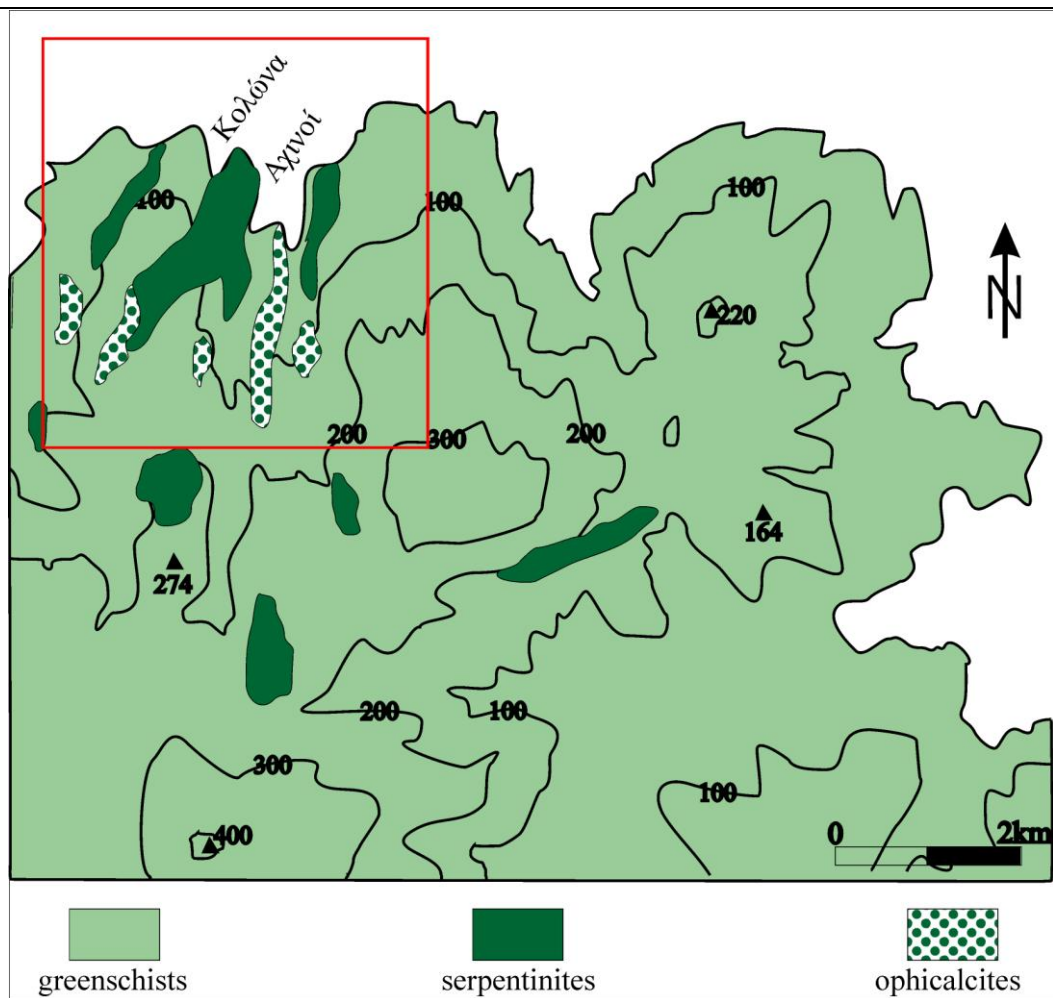
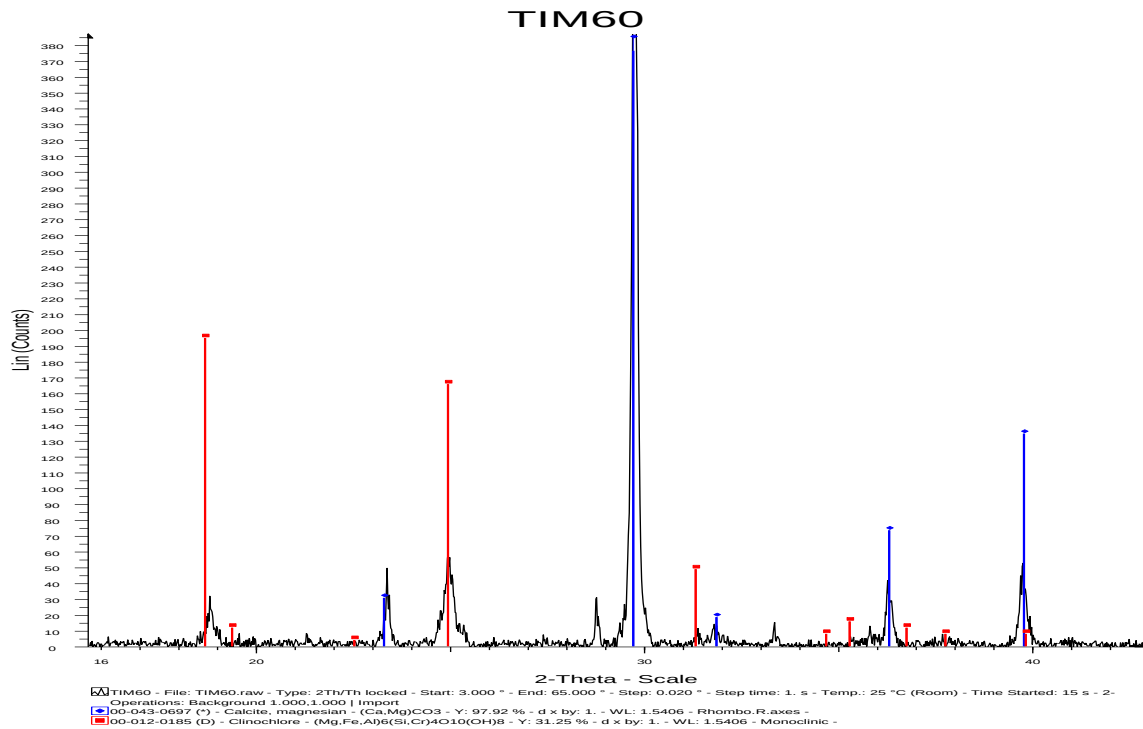
TIM39



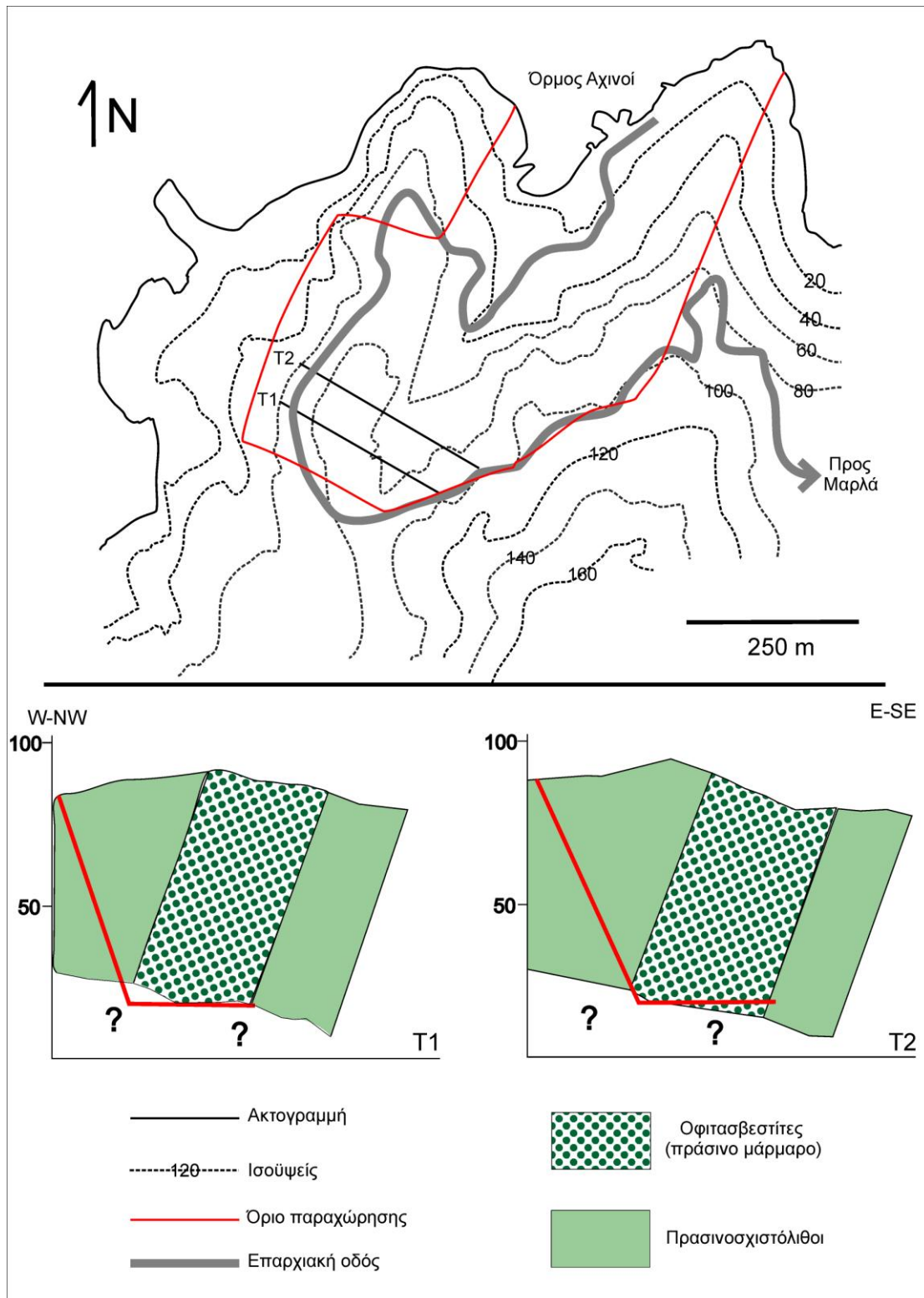
TIM40







Εικόνα I: Γεωλογικό σκαρίφημα της ΒΔ Τήνου. Με κόκκινο τετράγωνο επισημαίνεται η περιοχή μελέτης (από Παρασκευόπουλος και Κανάκη, 1972, τροποποιημένο).



Εικόνα II: Τοπογραφικό σκαρίφημα και γεωλογικές τομές από τις θέσεις I και II. Από DionyssoMarbles SA, τροποποιημένο.