

## **ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΦΛΕΒΙΚΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ ΣΤΟ Δ.Μ. ΒΑΒΔΟΥ Ν. ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΣΙΤΗ**

Νταμπίτζιας Σ.

*ΙΓΜΕ, Φράγκων 1& Μοσκόφ 10, 546 26 Θεσσαλονίκη, sdabiz@thes.igme.gr*

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

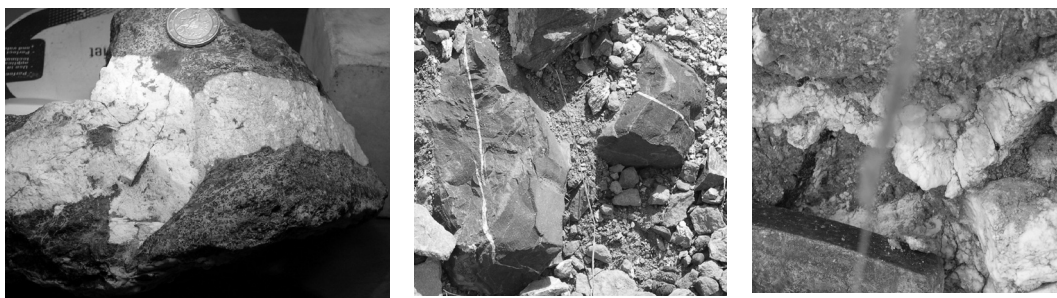
Διάφορες απόψεις έχουν δημοσιευθεί για την γένεση των κοιτασμάτων κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη σε υπερβασικά πετρώματα αλλά σε μερικές μόνον από τις μελέτες αυτές γίνεται αναφορά στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φλεβών του μαγνησίτη ή γενικότερα στα γεωλογικά χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων με αποτέλεσμα να εκφράζονται απόψεις ακόμη και «περί μετασωματικής προέλευσης των φλεβών». Απότομες επαφές μεταξύ των φλεβών του μαγνησίτη και των ξενιστών τους, ευδιάκριτη σειρά απόθεσης μαγνησίτη και δολομίτη στα κοιτάσματα, έλλειψη κόκκων χρωμίτη από τις φλέβες, ταίριασμα των τοιχωμάτων (matching walls), φλέβες μαγνησίτη σε πυροξενίτη, χρωμίτη και boudinaged φλέβες όξινης έως και βασικής σύστασης μαγματιτών είναι μερικά από τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων που συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι ο μαγνησίτης αποτέθηκε σε ανοιχτές ρωγμές. Γωνιώδη τεμάχια του ξενιστή στις φλέβες, λατυποπαγούς υφής μαγνησίτη και ινώδους/πινολιτικής/κονδυλοειδούς μορφής μαγνησίτη υποδηλώνουν ένα όχι και τόσο ήρεμο περιβάλλον απόθεσης κάτι που με την σειρά του είναι κατά της άποψης περί συντεκτονικής απόθεσης του μαγνησίτη.

### **1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Από τα τεράστια σε όγκο οφιολιθικά συμπλέγματα της Αλπικής ορογένεσης ένα πολύ μικρό μέρος τους φιλοξενεί φλεβικού τύπου κοιτάσματα κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη. Στην Αυστρία για παράδειγμα, απαντούν στις ανατολικές Άλπεις (περιοχή Kraubath), στην πρώην Γιουγκοσλαβία στις εσωτερικές Δυναρίδες, στην Ελλάδα στην Χαλκιδική, την Εύβοια και την Λήμνο, στην Τουρκία κυρίως στην περιοχή του Eskisehir-Kutahya (Harben & Bates 1984), ενώ υπάρχουν ασαφείς βιβλιογραφικές αναφορές για παρόμοια κοιτάσματα και ανατολικότερα (στο Πακιστάν και την Ινδία). Αντίθετα, στα τεράστια σε όγκο οφιολιθικά συμπλέγματα των εξωτερικών Δυναρίδων, της Πίνδου, του Βούρινου, της Όθρυος, του Ομάν κ.λ.π. δεν παρατηρείται ούτε ίχνος μεταλλοφορίας μαγνησίτη.

Πολλές απόψεις έχουν διατυπωθεί για την γένεση αυτών των κοιτασμάτων αλλά σε μερικές μόνον εργασίες γίνεται αναφορά και χρήση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φλεβών του μαγνησίτη ή γενικότερα των γεωλογικών χαρακτηριστικών των κοιτασμάτων για την εξαγωγή των συμπερασμάτων/απόψεων αυτών. Στις υπόλοιπες εργασίες η εξαγωγή των συμπερασμάτων που αφορούν στην γένεση φαίνεται ότι είναι αποκλειστικά και μόνον αποτέλεσμα εργαστηριακών αναλύσεων και εργασίας γραφείου. Γιατί, πώς αλλιώς θα μπορούσε να δικαιολογηθεί το συμπέρασμα/άποψη μερικών ότι οι φλέβες μαγνησίτη είναι προϊόν μετασώματωσης του ξενιστή της μεταλλοφορίας όταν η επαφή των φλεβών με τον ξενιστή είναι απότομη, όταν φλέβες μαγνησίτη κόβουν χρωμίτη (Φωτ.1), χαλαζιακό διορίτη (Φωτ.2), πλαγιογρανίτη ή και πυροξενίτη (Φωτ.3), όταν οροφή και πάτωμα των φλεβών ταιριάζουν (matching walls) κ.λ.π.

Παρακάτω γίνεται μια σύντομη αναφορά στα γεωλογικά, κυρίως τα μακροσκοπικά, χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων του Βάβδου Ν. Χαλκιδικής, ακολουθεί συζήτηση για τις διάφορες δημοσιευμένες απόψεις για την γένεση των κοιτασμάτων αυτών και τέλος προτείνεται μηχανισμός απόθεσης του μαγνησίτη βασιζόμενος, κυρίως, στο μοντέλο των Bodenlos (1950) και Dabitzius (1977,1980, 1983).



Φωτ.1 (αριστερά), 2 και 3 (δεξιά): Φλέβες μαγνησίτη σε χρωμιτίτη (1), λεπτόκοκκο χαλαζιακό διορίτη (2) και σε πυροξενίτη (3).

## 2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

**Μορφολογία.** Φλέβες μαγνησίτη στα κατώτερα τμήματα του κοιτάσματος (Φωτ.4) που βαθμιαία (ενδιάμεσο τμήμα - Φωτ.5) μεταβαίνουν σε stockwork τύπου (Φωτ.6) μεταλλοφορία είναι μια ιδεατή εικόνα των κοιτασμάτων. Σε πολλές θέσεις η stockwork τύπου μεταλλοφορία καλύπτεται από ένα έντονα πυριτωμένο(χαλκηδόνιος, χαλαζίας), δολομιτωμένο πέτρωμα με υπολείμματα σερπεντίνη και μικροφλεβίδια δολομίτη και μαγνησίτη ενώ σε άλλες θέσεις παρατηρείται μόνο το φλεβικό τμήμα της μεταλλοφορίας. Στα διάφορα μέτωπα εξόρυξης στο κοιτάσμα του Βάβδου η εκμετάλλευση προχώρησε σε βάθος 70-80 μέτρα η οποία όμως, όπως έδειξαν ερευνητικές γεωτρήσεις για ολιβινίτη που έγιναν από το ΙΓΜΕ( Νταμπίτζιας κ.α 2000), συνεχίζεται για τουλάχιστον 70 ακόμη μέτρα. Στον Βάβδο, στο καθαρά φλεβικό τμήμα του κοιτάσματος το ποσοστό της μεταλλοφορίας δεν υπερβαίνει το 6% και το πάχος των φλεβών σπάνια είναι μεγαλύτερο του ενός μέτρου. Στην ενδιάμεση ζώνη, που είναι το κύριο τμήμα εκμετάλλευσης, υπάρχουν φλέβες μαγνησίτη με πάχος έως και 2 μέτρα ενώ το ποσοστό της μεταλλοφορίας αυξάνεται σημαντικά και σε μερικά μέτωπα εξόρυξης υπερβαίνει το 15%. Στην stockwork μεταλλοφορία το πάχος των φλεβών είναι συνήθως μικρότερο των 15 εκατοστών του μέτρου και το ποσοστό της μεταλλοφορίας κυμαίνεται μεταξύ 25 και 40%. Στην βιβλιογραφία (Griffis 1972, Petrascheck 1972, Vacanjac et al. 1984 – όπως αναφέρεται στους Zachmann and Johannes 1989) αναφέρονται φλέβες μήκους μεγαλύτερου του ενός χιλιόμετρου, πάχους 20 μέτρων και βάθος μεταλλοφορίας 350 μέτρα.



Φωτ. 4 (αριστερά),5 και 6 (δεξιά): Φλέβες μαγνησίτη σε δουνίτη/χαρζουργίτη (4) και σε ελαφρά εξαλλοιωμένο δουνίτη/χαρζβουργίτη (5). Stockwork μεταλλοφορία (6).

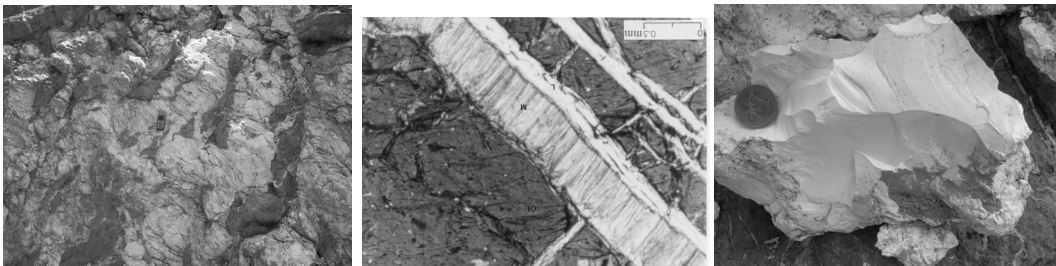
**Ξενιστές της μεταλλοφορίας.** Υγιείς (0% σερπεντίνης) έως έντονα εξαλλοιωμένοι(50-60% σερπεντίνης) δουνίτες/χαρζβουργίτες είναι οι ξενιστές της μεταλλοφορίας. Φλεβίδια μαγνησίτη απαντούν επίσης σε boudinaged, μέσα σε δουνίτες, φλέβες πλαγιογρανίτη και διορίτη ενώ stockwork τύπου φλέβες μαγνησίτη παρατηρήθηκαν σε χρωμιτίτες καθώς και σε πυροξενίτες στην επαφή με δουνίτες/χαρζβουργίτες (βλ. Φωτ. 1,2 και 3).

**Ορυκτολογία/ορυκτοχημεία του μαγνησίτη.** Στο κατώτερο, το φλεβικό, τμήμα των κοιτασμάτων στις φλέβες αποτέθηκε σχεδόν αποκλειστικά μαγνησίτης. Στο ενδιάμεσο τμήμα και στην stockwork μεταλλοφορία το ποσοστό του δολομίτη μπορεί να φθάσει το 2-3 και 6% αντίστοιχα. Πολύ σπάνια εμφανίζονται και φλεβίδια ασβεστίτη. Γωνιώδη τεμάχια του ξενιστή στις φλέβες του μαγνησίτη δεν είναι σπάνιο φαινόμενο (Φωτ.7- βλ. επίσης Φωτ.1) και σε αυτά οφείλεται η παρουσία FeO

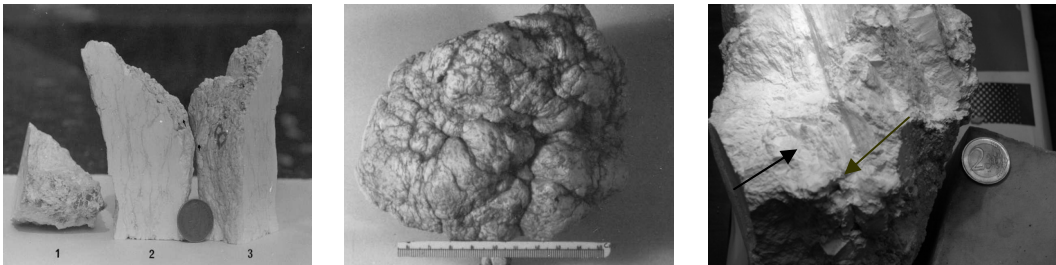
και μέρους του  $\text{SiO}_2$  στις χημικές αναλύσεις του εξορυσσόμενου μαγνησίτη. Το υπόλοιπο  $\text{SiO}_2$  οφείλεται σε πληρώσεις ή επιφλοιώσεις μικρών διαστάσεων και διαφόρων σχημάτων κοιλοτήτων στις φλέβες από οπάλιο ή και χαλκηδόνιο.

Από την μελέτη ενός μεγάλου αριθμού μικροαναλύσεων στον κρυπτοκρυσταλλικό μαγνησίτη (Dabitzias 1977,1983) προκύπτει ότι ο μαγνησίτης δεν φιλοξενεί στο πλέγμα του Ca, Fe, Mn κλπ. Οι μικρές έως μηδενικές τιμές  $\text{SiO}_2$ , CaO, FeO και MnO στις μικροαναλύσεις αυτές οφείλονται στην παρουσία δολομίτη και άμορφων, πιθανόν ένυδρων, πυριτικών φάσεων.

**Ιστός/υφές της μεταλλοφορίας.** Ο μαγνησίτης έχει λευκό χρώμα (για τον λόγο αυτό επεκράτησε στα ελληνικά το όνομα λευκόλιθος), είναι κρυπτοκρυσταλλικός (με εξαίρεση πολύ λεπτά φλεβίδια στα κατώτερα τμήματα των κοιτασμάτων όπου είναι συνήθως μικροκοκκώδης ή και ινόμορφος- Φωτ. 8) και έχει κογχώδη θραυσμό (Φωτ. 9). Οι φλέβες είναι γεμισμένες με συμπαγή μαγνησίτη ενώ κατά θέσεις παρατηρείται και κονδυλοειδής (πινολιτική) ανάπτυξη του μαγνησίτη με τους κονδύλους κάθετους προς τα τοιχώματα των φλεβών (Φωτ.10). Σε αρκετές έως πολλές φλέβες παρατηρείται επίσης μαγνησίτης με κουνοπιδοειδές σχήμα(Φωτ.11). Γραμμωμένες(slickenslided) κυρτές επιφάνειες στο υλικό πλήρωσης των φλεβών (Φωτ.12) καθώς και γωνιώδη τεμάχια μαγνησίτη συγκολλημένα με μεταγενέστερο μαγνησίτη (β. Φωτ.12) δεν είναι σπάνια φαινόμενα στο κοίτασμα.



Φωτ. 7 (αριστερά),8 και 9 (δεξιά): Φλέβα μαγνησίτη πάχους  $>1\mu$ . με γωνιώδη εγκλείσματα του ξενιστή (7). Μικροφωτογραφία φλεβιδίου πληρωμένου με ινώδη μαγνησίτη (8). Λευκόλιθος με κογχώδη θραυσμό (9).



Φωτ. 10 (αριστερά), 11 και 12 (δεξιά): Κονδυλοειδής/πινολιτική ανάπτυξη μαγνησίτη (10). Κουνοπιδοειδής μαγνησίτης (11). Μαγνησίτης με γραμμώσεις και γωνιώδη τεμάχια μαγνησίτη(βλέπε βέλη) συγκολλημένα με νεώτερης γενιάς μαγνησίτη(12).

**Εξαλλοιώσεις του ξενιστή της μεταλλοφορίας.** Διάφορα ένυδρα πυριτικά ορυκτά του Mg όπως τάλκη, χλωρίτης, τρεμολίτης, σερπεντίνη και σεπιόλιθος απαντούν στα τοιχώματα των φλεβών του μαγνησίτη στο κατώτερο και το κύριο τμήμα της μεταλλοφορίας. Με εξαίρεση τον σεπιόλιθο, φλεβίδια σερπεντίνη –χλωρίτη, τακκη-χλωρίτη-τρεμολίτη/ακτινόλιθο και τάλκη –χλωρίτη, αφθονούν στους ξενιστές της μεταλλοφορίας άσχετα με το εάν φιλοξενούν ή όχι μεταλλοφορία. Σε τεράστιους όγκους(ζώνες) χαρζβουργίτη στο Δ.Μ Βάβδου το σύνολο σχεδόν του ενσταντίτη έχει εξαλλοιωθεί σε τάλκη+ τρεμολίτη/ακτινόλιθο. Το πιθανότερο είναι ότι τα ορυκτά αυτά δεν έχουν καμία σχέση με την απόθεση του μαγνησίτη. Το πάχος της εξαλλοίωσης αυτής είναι μηδαμινό σε σχέση με το πάχος των φλεβών μαγνησίτη στις οποίες απαντούν και σε καμία περίπτωση δεν αρκεί για να προσφέρει το απαιτούμενο Mg για τον σχηματισμό της φλέβας του μαγνησίτη. Για παράδειγμα σε μια φλέβα πάχους ενός(1) μέτρου το πάχος της εξαλλοίωσης είναι της τάξης των μερικών mm έως 1-2 cm.

Στο ανώτερο τμήμα του κοιτάσματος, την stockwork μεταλλοφορία, λείπει από τα τοιχώματα των φλεβών η προαναφερθείσα εξαλλοίωση. Στο σύνολό της όμως η ορυκτολογική σύσταση του ξενιστή, με εξαίρεση τον χρωμίτη και μεγάλο μέρος του σερπεντίνη, έχουν εξαλλοιωθεί σε δολομίτη+ χαλαζία+ ιδιογκσίτη και πιθανόν και άλλες πυριτικές φάσεις. Συχνά οι εξαλλοιώσεις αυτές σχηματίζουν ψευδόμορφους κατά ολιβίνη. Χημικές αναλύσεις σε απορρίμματα stockwork τύπου μεταλλοφορίας (Νταμπίτζιας κ.α 2003) έδωσαν τιμές MgO =30-40%, SiO<sub>2</sub> =30-35%, FeO= 8-12%, CaO=3-10%, υπόλοιπα=1-3% και L.O.I.=5-20%. Αν δε σε αυτή την τιμή του MgO προστεθεί και το MgO των φλεβών μαγνησίτη που ανακτήθηκε κατά την εκμετάλλευση, τότε το συνολικό MgO στην stockwork μεταλλοφορία δεν φαίνεται να υπολείπεται της μέσης τιμής του MgO στους ξενιστές της μεταλλοφορίας που είναι 44% περίπου. Αντίθετα στο τμήμα αυτό της μεταλλοφορίας φαίνεται ότι προστέθηκαν μεγάλες ποσότητες CaO καθόσον στους δουνίτες η τιμή του CaO είναι μηδενική και στους χαρζβουργίτες σπάνια υπερβαίνει το 1%.

**Ηλικία των κοιτασμάτων.** Όπως προαναφέρθηκε, στην βιβλιογραφία αναφέρονται φλέβες μαγνησίτη μήκους ενός(1) χιλιομέτρου και βάθους 350 μέτρων την στιγμή που όλο το οφιολιθικό σύμπλεγμα είναι έντονα τεκτονικά καταπονημένο. Σε όλες τις εμφανίσεις stockwork μεταλλοφορίας τα φλεβίδια μαγνησίτη έχουν πάντα οριζόντια ανάπτυξη (βλ.Φωτ.6). Κλασικά τεμάχια μαγνησίτη αφθονούν (σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα σχηματίζουν εκμεταλλεύσιμες συγκεντρώσεις άριστου, ποιοτικά, μαγνησίτη) στα ανώτερα στρώματα Νεογενών ιζημάτων που συνορεύουν με τα κοιτάσματα. Σαν συμπέρασμα προκύπτει ότι ο μαγνησίτης αποτέθηκε μετά την τοποθέτηση των οφιολίθων στην παρούσα τους θέση και πολύ πιθανόν στο τέλος του Νεογενούς.

### 3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΑΠΟΨΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΝΕΣΗ ΤΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Ανερχόμενα διαλύματα, κατερχόμενα διαλύματα, ανερχόμενα και κατερχόμενα (που αναμιγνύονται στην θέση απόθεσης του μαγνησίτη) διαλύματα, κατερχόμενα και στην συνέχεια ανερχόμενα(ανακυκλούμενα) διαλύματα, θερμά(300-400 °C), ψυχρά(επιφανειακά) ή χαμηλής θερμοκρασίας (<100 °C) διαλύματα, Mg που ξέπλυναν τα διαλύματα από τα υπερβασικά σε μεγάλο βάθος και το απέθεσαν κοντά στην επιφάνεια ή το πήραν από την επιφάνεια και το απέθεσαν σε βαθύτερους οριζόντες ή ακόμη το πήραν από τα πετρώματα σε επαφή με τις φλέβες, μαγματικό CO<sub>2</sub>, οργανικής προέλευσης CO<sub>2</sub>, θερμικής διάσπασης ανθρακικών CO<sub>2</sub>, ανάμικτης προέλευσης CO<sub>2</sub> (τελευταίες μοντέρνες!!! απόψεις) , απόθεση του μαγνησίτη σε ανοιχτές ρωγμές ή ρωγμές που ανοίγουν ταυτόχρονα με την απόθεση ή ακόμη σχηματισμός των φλεβών από μετασμάτωση των πετρωμάτων που τις φιλοξενούν και κάθε δυνατός συνδυασμός των ανωτέρω είναι οι διάφορες απόψεις που έχουν διατυπωθεί για την γένεση των κοιτασμάτων κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη από τις αρχές του 20ου αιώνα (Holland 1900) μέχρι και πρόσφατα (Γκάρτζος 2004).

Το κύριο πρόβλημα όμως, όπως θα δούμε παρακάτω, δεν είναι τόσο οι πολλές και διαφορετικές απόψεις όσο η διατύπωση τους χωρίς να λάβουν καθόλου υπόψη τους ούτε βασικά μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων. Από τους βασικούς κανόνες στην γεωλογία είναι ότι στην μετασμάτωση υπάρχει πάντα μια βαθμιαία ζώνη μετάβασης από το υλικό που μετασματώνεται προς το καινούργιο υλικό που σχηματίζεται, ότι γωνιώδη μετασματούμενα υλικά στρογγυλοποιούνται, ότι το ταίριασμα οροφής και πατώματος σε μετασωματική φλέβα είναι απαγορευτικό φαινόμενο, ότι η μετασμάτωση διαφορετικών πετρωμάτων από ένα συγκεκριμένο διάλυμα θα δώσει διαφορετικά προϊόντα, ότι ο χρωμίτης δεν είναι ευκολοδιάλυτο ορυκτό κ.λ.π.

Ένα όμως από τα πιο χαρακτηριστικά γνωρίσματα των φλεβών του μαγνησίτη σε όλα τα κοιτάσματα, που φαίνεται μάλιστα και από πολύ μακριά, είναι η απότομή τους επαφή με τον ξενιστή τους. Από λίγο πιο κοντά βλέπουμε την παρουσία γωνιωδών τεμαχίων του ξενιστή μέσα στις φλέβες και το ταίριασμα οροφής και πατώματος φλεβιδίων. Η απουσία κόκκων χρωμίτη ή προϊόντων εξαλλοίωσης του από τις φλέβες(ας σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν δουνίτες και χαρζβουργίτες στον Βάβδο χωρίς τουλάχιστον 0,5-1% κόκκους διάσπαρτου χρωμίτη) και η παρουσία φλεβών μαγνησίτη σε πυροξενίτη, σε χρωμιτίτες και σε πλαγιογρανίτες και βασικής σύστασης φλεβικά πετρώματα (μέσα σε δουνίτες) είναι επίσης δύο από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα αυτού του τύπου των κοιτασμάτων (βλ.Φωτ.1,2,3,7). Παρόλα αυτά δεν είναι λίγοι αυτοί που διατύπωσαν απόψεις/προτάσεις « περί μετασωματικών φλεβών κρυπτοκρυσταλλικού μαγνησίτη σε περιδοτίτες».

Μια δεύτερη ομάδα υποστηρίζει ότι οι φλέβες μαγνησίτη είναι προϊόν πλήρωσης ρωγμών με υλικό (Mg) που προήλθε από τον ξενιστή στην άμεση γειτονία με τις φλέβες. Το να βρούμε ένα φλε-

βίδιο μαγνησίτη με τον ξενιστή του να έχει απώλεια σε Mg όσο το περιεχόμενο του φλεβιδίου και να προτείνουμε γενετικό μοντέλο παραβλέποντας όλο το υπόλοιπο κοίτασμα (π.χ βλ. Φωτ.1,2,3,4) είναι κάτι που δεν επιδέχεται, πιστεύω, σχολιασμό. Εδώ θα πρέπει να προστεθεί ότι ένα πυκνό σύστημα διακλάσεων διατρέχει τους ξενιστές της μεταλλοφορίας και ως εκ τούτου ακόμη και τα βαθύτερα τμήματα του κοιτάσματος είναι προσβάσιμα από μετεωρικό νερό.

Πλήρωση ρωγμών με μαγνησίτη από κατερχόμενα ή από ανερχόμενα διαλύματα είναι οι δύο απόψεις με τους περισσότερους υποστηρικτές. Στην πρώτη περίπτωση μετεωρικό νερό με ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> αντέδρασε με τα πλούσια σε Mg υπερβασικά πετρώματα και απέθεσε μαγνησίτη (MgCO<sub>3</sub>) σε ανοιχτές ρωγμές σε βαθύτερους ορίζοντες. Στην δεύτερη περίπτωση πλούσια σε CO<sub>2</sub> διαλύματα αντέδρασαν με τα υπερβασικά στο βάθος και ανερχόμενα απέθεσαν κοντά στην επιφάνεια μαγνησίτη σε ανοιχτές ρωγμές ή ρωγμές που άνοιγαν ταυτόχρονα με την απόθεση λόγω απώλειας CO<sub>2</sub> από το σύστημα.

Το σχετικά μικρό βάθος των κοιτασμάτων, η καθαρότητα των φλεβών μαγνησίτη, το κουνουπιδοειδές σχήμα του μαγνησίτη σε μερικές φλέβες και η παρουσία πανομοιότυπων κοιτασμάτων σε γεωγραφικά απομακρυσμένες περιοχές (Αυστρία, πρώην Γιουγκοσλαβία, Ελλάδα, Τουρκία, κ.λ.π) είναι, σύμφωνα με τους εκφραστές αυτής της άποψης, ισχυρά αποδεικτικά στοιχεία για τον σχηματισμό των κοιτασμάτων από επιφανειακά διαλύματα. Όσον αφορά στα πρώτα τρία αποδεικτικά στοιχεία, τα ίδια χαρακτηριστικά θα περίμενε κανείς και από ανερχόμενα διαλύματα τα οποία αποθέτουν μαγνησίτη, λόγω απότομης απώλειας CO<sub>2</sub> από το σύστημα, κοντά στην επιφάνεια. Αν δε λάβουμε υπόψη ότι το CO<sub>2</sub>, ακόμη και σε σχετικά μικρές ποσότητες, δεν επιτρέπει την παρουσία SiO<sub>2</sub> σε διαλύματα, τότε είναι πολύ πιο εύκολο να φανταστούμε τον σχηματισμό μονόρυκτων φλεβών ανθρακικών από ανερχόμενα διαλύματα (πλούσια σε CO<sub>2</sub>) από ότι από κατερχόμενο (φτωχό σε CO<sub>2</sub>) μετεωρικό νερό. Πιο λογικό επίσης φαίνεται να έχουμε κουνουπιδοειδείς σχηματισμούς μαγνησίτη λόγω απότομου υπερκορεσμού των ανερχόμενων διαλυμάτων από ότι από την αργή διαδικασία απόθεσής του από κατερχόμενο μετεωρικό νερό. Όσον δε αφορά στο τέταρτο αποδεικτικό στοιχείο, την παρουσία δηλαδή πανομοιότυπων κοιτασμάτων, λόγω ειδικών κλιματικών συνθηκών (Lesko 1972), σε Αυστρία - πρώην Γιουγκοσλαβία - Ελλάδα - Τουρκία - Πακιστάν - Ινδία, το ερώτημα που αμέσως τίθεται είναι γιατί κοιτάσματα μαγνησίτη στην Εύβοια και όχι στα υπερβασικά της Όθρυος μερικά χιλιόμετρα δυτικότερα ή ακόμη καλύτερα γιατί στο ίδιο κοίτασμα π.χ. στον Βάβδο ένα μεγάλο μέρος των δουνιτών/χαρζβουργιτών δεν έχουν ούτε ίχνος μαγνησίτη; Δεν είναι πιο λογικό να προσπαθήσουμε να συσχετίσουμε την ύπαρξη αυτών των κοιτασμάτων σε μια τεράστια σε μήκος αλλά πολύ μικρή σε πλάτος οφιολιθική ζώνη με γεγονότα που σχετίζονται είτε με την τοποθέτηση των οφιολίθων στην παρούσα τους θέση (συγκεκριμένο γεωτεκτονικό περιβάλλον) ή μετέπειτα συμπιεστικές/εφελκυστικές τάσεις στην συγκεκριμένη ζώνη;

Λαμβάνοντας επίσης υπόψη την σχεδόν μηδενική παρουσία Ca στους ξενιστές της μεταλλοφορίας, η ύπαρξη πολύ μεγάλων ποσοτήτων δολομίτη στα ανώτερα τμήματα του κοιτάσματος είναι αδύνατο να ερμηνευτεί με την προαναφερθείσα άποψη. Η περίπτωση να ήρθε από αλλού, κάτι που αναφέρεται από πολλούς υποστηρικτές αυτής της άποψης, απαιτεί τουλάχιστον την συνεχή παρουσία της ίδιας πηγής (προφανώς ασβεστόλιθοι) κατά μήκος όλης της μεταλλοφόρας ζώνης (Αυστρία έως Ινδία). Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα με αυτή την θεωρία φαίνεται να είναι η δημιουργία του χώρου τον οποίο καταλαμβάνουν οι φλέβες του μαγνησίτη. Οι Burgath et al. (1980) θεωρούν ότι η δύναμη κρυστάλλωσης (force of crystallization) είναι η αιτία δημιουργίας του χώρου, κάτι που είναι πολύ δύσκολο να γίνει αποδεκτό καθόσον θα περίμενε κανείς να εκτονωθεί η δύναμη αυτή προς την «ευκολότερη» διεύθυνση δηλ. παράλληλα προς το επίπεδο της ρωγμής/φλέβας και όχι κάθετα προς αυτό απομακρύνοντας έτσι τα τοιχώματα. Συνεχώς, έντονη σεισμική δραστηριότητα στην συγκεκριμένη ζώνη αναφέρθηκε πρόσφατα (Gartzos 2004) σαν μια πιθανή αιτία δημιουργίας του απαιτούμενου για την δημιουργία των φλεβών χώρου. Και τέλος η αφυδάτωση κάθε ένυδρου ορυκτού του ανθρακικού μαγνησίτη (υδρομαγνησίτης, νεσκουενίτης, λανσφορδίτης, αρτινίτης) που αποτέθηκε, σύμφωνα με τους υποστηρικτές αυτής της άποψης, αρχικά στις ρωγμές θα είχε σαν συνέπεια την δραστική μείωση του όγκου (από 35 έως και >70%) του αρχικού υλικού πλήρωσης. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν αντανάκλαται στα κοιτάσματα. Το σύνολο των ανοιχτών χώρων στις φλέβες (πορώδες του μαγνησίτη + ακανόνιστου σχήματος χώροι πληρωμένοι με χαλκήδονιο, χαλαζία, σεπιόλιθο) σε κανένα σημείο του κοιτάσματος δεν υπερβαίνουν το 3-5%.

Η προέλευση των μεταλλοφόρων διαλυμάτων και κυρίως του CO<sub>2</sub> ήταν, και συνεχίζει να είναι, το μεγάλο ερώτημα όσον αφορά στην γένεση αυτών των κοιτασμάτων. Μαγματικής προέλευσης

CO<sub>2</sub> ή γενικότερα ότι τα μεταλλοφόρα διαλύματα προήλθαν από νεώτερα όξινα μαγματικά πετρώματα φαίνεται ότι ήταν η επικρατούσα άποψη της ομάδας των υποστηρικτών της υπόγειας προέλευσης μέχρι το τέλος τις δεκαετίας του 50. Η άποψη αυτή, που επαναδιατυπώθηκε ελάχιστες φορές μετά την δεκαετία του 50 (Ilich 1968), έτυχε ισχυρής κριτικής αφενός μεν λόγω της απουσίας μαγματικών διεισδύσεων από μεγάλα κοιτάσματα (π.χ. Βάβδος, Εύβοια) και αφετέρου λόγω των τεραστίων ποσοτήτων CO<sub>2</sub> που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχηματισμό αυτών των κοιτασμάτων. Εξ άλλου, όπως θα δούμε παρακάτω, δεν είναι απαραίτητη η παρουσία των σαν μηχανισμού «πυροδότησης» των όποιων διαδικασιών έναρξης σχηματισμού των κοιτασμάτων.

Στην δεκαετία του 80 άρχισαν μετρήσεις ισοτόπων C και O σε μαγνησίτη στόχος των οποίων βέβαια ήταν η προέλευση του CO<sub>2</sub>. Από ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων σε δείγματα από διάφορα κοιτάσματα της πρώην Γιουγκοσλαβίας, της Ελλάδας, της Τουρκίας, κ.α. (Zachmann and Johannes 1989, Vacanjac et al. 1984, - βλ. Kralik et al. 1989) προέκυψε ότι ο μαγνησίτης σε όλα τα κοιτάσματα χαρακτηρίζεται από ελαφρύ άνθρακα ( $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  από -6‰ έως -18‰) και βαρύ οξυγόνο ( $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$  από +22‰ έως +29‰). Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα αυτά οι Kralik et al. (1989) συμπέραναν ότι τα κοιτάσματα αυτά σχηματίστηκαν σε επιφανειακή (ή κοντά στην επιφάνεια) θερμοκρασία και ότι το CO<sub>2</sub> προήλθε από την οξειδωση οργανικού άνθρακα με κάποια συνεισφορά εδαφικού (ανθρακικά) και ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>. Αργότερα οι Fallick et al. (1991) και Zedef et al. (2000) βρήκαν παρόμοιες τιμές σε δείγματα από την πρώην Γιουγκοσλαβία και την Τουρκία αντίστοιχα και συμπέραναν ότι το CO<sub>2</sub> προήλθε από την οξειδωση πλούσιων σε οργανική ύλη, υποκείμενων των κοιτασμάτων, ιζημάτων. Βρήκαν όμως και δείγματα με πολύ υψηλό  $\delta^{13}\text{C}_{(\text{PDB})}$  ( από 0 έως +1,5‰ περίπου) για τα οποία συμπέραναν ότι το CO<sub>2</sub> προήλθε από την διάσπαση ανθρακικών με μια μικρή συνεισφορά από μαγματικό CO<sub>2</sub>. Τα συμπεράσματα των Fallick et al. (1991) και Zedef et al. (2000) βασίζονται σε δύο προϋποθέσεις: α) η παραγωγή CO<sub>2</sub> από τα πλούσια σε οργανική ύλη ιζήματα αρχίζει σε θερμοκρασία 70-75 °C και β) τα μεταλλοφόρα διαλύματα προήλθαν, σε γενικές γραμμές, από μετεωρικό νερό με  $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$  ίσο με -5‰ περίπου. Τέλος ο Gartzos (2004) από τα σχεδόν πανομοιότυπα, με τα προαναφερθέντα, αποτελέσματα ισοτόπων C και O από την Χαλκιδική, την Εύβοια και την Λέσβο συμπεραίνει ότι τα μεταλλοφόρα διαλύματα ήταν κρύο μετεωρικό νερό με μια μικρή συνεισφορά από πλούσια σε CO<sub>2</sub> ανερχόμενα διαλύματα.

#### 4 ΠΡΟΤΑΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΓΕΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Απόθεση του μαγνησίτη σε ανοιχτές ρωγμές (ή /και ρωγμές που άνοιγαν ταυτόχρονα με την απόθεση) από ανερχόμενα διαλύματα πλούσια σε CO<sub>2</sub> τα οποία αντέδρασαν με τα υπερβασικά σε βάθος και εμπλουτίστηκαν σε Mg είναι σε γενικές γραμμές η πρόταση για την δημιουργία των κοιτασμάτων του μαγνησίτη. Βασιζόμενος στο ότι ο μαγνησίτης και ο δολομίτης αποτέθηκαν με διαφορετική σειρά, πρώτα (στα κατώτερα τμήματα) ο μαγνησίτης και μετά ο δολομίτης και στο ότι οι επαφές μαγνησίτη με τον ξενιστή είναι πάντα απότομες ο Bodenlos (1950) έγραψε: Υπόγεια νερά εμπλουτισμένα σε CO<sub>2</sub> από κάποια πηγή στο βάθος αντιδρούν με σερπεντίνη λαμβάνοντας μαγνήσιο και πυρίτιο το οποίο μεταφέρουν προς τα επάνω σε μια ζώνη (πιθανόν σε μικρό βάθος) όπου λόγω ελάττωσης της επιμέρους πίεσης του CO<sub>2</sub> υπερκορέγγονται και αποθέτουν πρώτα μαγνησίτη και μετά οπάλιο, χαλκηδόνιο και ένυδρα πυριτικά του μαγνησίου. Τα παρακάτω αναφερόμενα βασίζονται κυρίως στον Dabitzius (1977, 1983).

**Δημιουργία των μεταλλοφόρων διαλυμάτων.** Με την τοποθέτηση του οφιολιθικού τεμάχου της Δ. Χαλκιδικής στα ιζήματα του ηπειρωτικού περιθωρίου (σχηματισμός Σβούλας) το απελευθερούμενο νερό των ιζημάτων (connate, interstitial water) ή και νερό από οποιαδήποτε άλλη πηγή εμπλουτίζεται σε CO<sub>2</sub> πιθανόν λόγω οξειδωσης της οργανικής ύλης των ιζημάτων ή/και των τεραστίων σε μέγεθος συγκεντρώσεων κρυσταλλικών υδρογονανθράκων (methane, ethane, propane etc hydrates-clathrates) που αφθονούν στα ηπειρωτικά περιθώρια. Ένα τέτοιο περιβάλλον ίσως είναι η απάντηση στο ερώτημα γιατί τέτοια κοιτάσματα δεν σχηματίστηκαν και στα άλλα οφιολιθικά συμπλέγματα της Αλπικής ορογένεσης.

Ανεξάρτητα με το αν η βάση του οφιολιθικού αυτού τεμάχου ήταν ακόμη ζεστή ή όχι η αντίδραση του CO<sub>2</sub> με ολιβίνη ή σερπεντίνη είναι έντονα εξώθερμη (π.χ ολιβίνης + CO<sub>2</sub> = μαγνησίτης + SiO<sub>2</sub> + 64 kJ/mole) και ως εκ τούτου κάθε μια από τις δυνατές ορυκτολογικές συγκεντρώσεις (μαγνησίτης + χαλαζίας, μαγνησίτης + τάλκης, μαγνησίτης + τάλκης + χαλαζίας – Johannes 1969) μπορεί να σχηματισθεί. Η παρουσία και άλλων στοιχείων στο σύστημα (Al, Fe, S, ...) θα έχει, προφα-

νώς, σαν αποτέλεσμα ένα μεγάλο φάσμα ορυκτολογικών συγκεντρώσεων. Ανεξάρτητα όμως με το ποια ορυκτολογική παραγένεση(εις) ήταν το αποτέλεσμα, η περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε Mg και Si εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε CO<sub>2</sub>. Σε γενικές γραμμές όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε CO<sub>2</sub> τόσο μεγαλώνει και η συγκέντρωση του μαγνησίου στο διάλυμα ενώ αντίθετα μειώνεται δραστικά αυτή του πυριτίου. Η θερμοκρασία έχει ακριβώς την αντίθετη επίδραση από αυτήν του CO<sub>2</sub> ενώ η συνολική πίεση αυξάνει τις συγκεντρώσεις και των δύο.

Με βάση τα παραπάνω θα πρέπει στην βάση του οφιολιθικού συμπλέγματος να υπάρχουν συγκεντρώσεις / κοιτάσματα μαγνησίτη με χαλαζία ή και τάλκη. Τέτοια κοιτάσματα πράγματι αναφέρονται στην βιβλιογραφία σε σερπεντινίτες ή σερπεντινιομένους περιδοτίτες κρατονικών ασπίδων (π.χ στο Thetford Mines στο Quebec του Καναδά η παραγένεση είναι 60% μπρουνερίτης+ 30% χαλαζίας ή 60% τάλκης+ 40% μπρουνερίτης– Hebert & Pare 1990).

**Έναρξη κυκλοφορίας των διαλυμάτων.** Λαμβάνοντας υπόψη ότι ακόμη και οι μεγαλύτερες φλέβες μαγνησίτη μήκους εκατοντάδων έως χιλιάδων μέτρων δεν παρουσιάζουν μετατόπιση και ότι τα φλεβίδια μαγνησίτη στα μέτρωτα της stockwork μεταλλοφορίας έχουν πάντα σταθερή-σχεδόν οριζόντια, διεύθυνση, θα πρέπει να δεχτούμε ότι από την τοποθέτηση του οφιολιθικού τεμάχου πάνω στα ιζήματα του ηπειρωτικού περιθωρίου μέχρι τουλάχιστον την τοποθέτησή στην παρούσα του θέση τα μεταλλοφόρα διαλύματα παρέμεναν παγιδευμένα στην ή κοντά στην επαφή οφιολιθιοιζήματα. Για πιο λόγο έμειναν παγιδευμένα για ένα τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ από το Παλαιόκαινο έως το Μειόκαινο) είναι μια ερώτηση που επιδέχεται πλήθος απαντήσεων. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να οφείλεται σε πλαστική συμπεριφορά της σόλας του οφιολιθικού τεμάχου ή ακόμη στην απουσία πολύ βαθέων ρηγμάτων που να διασχίζουν όλο το οφιολιθικό τεμάχος; Και αν είναι έτσι ποια είναι η αιτία δημιουργίας των αρχικών ρωγμών που πυροδότησαν την ανοδική πορεία των διαλυμάτων αυτών ή ακόμη επέτρεψαν την συμμετοχή διαλυμάτων και από άλλες πηγές; Είναι η αλλαγή συμπεριφοράς της σόλας σε παραμόρφωση λόγω ψύξης της σε κάποιο στάδιο της τεκτονικής της τοποθέτησης στην παρούσα της θέση, είναι η έντονη συμπίεστική τεκτονική καταπόνηση όλων των σχηματισμών στο τελικό κλείσιμο του ωκεανού (continent-continent collision) ή είναι η εφελκυστική τεκτονική (extensional orogen collapse) που ακολούθησε;

Με την δημιουργία των πρώτων διόδων τα διαλύματα άρχισαν να κινούνται ανοδικά χωρίς να υφίστανται σημαντικές αλλαγές στα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά προφανώς λόγω ισορροπίας του συστήματος. Οι όποιες σημαντικές αλλαγές επήλθαν με την μεταβολή της συγκέντρωσης ενός εκ των συστατικών του και στην προκειμένη περίπτωση την διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων CO<sub>2</sub>.

**Διεύρυνση των φλεβών.** Οι απότομες επαφές των φλεβών με τον ξενιστή τους, η απουσία κόκκων χρωμίτη από τις φλέβες καθώς και άλλα μακροσκοπικά και μικροσκοπικά χαρακτηριστικά των φλεβών (π.χ βλ. Φωτ. 1,3,7,10,12) μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο μαγνησίτης αποτέθηκε σε ανοιχτές ρωγμές ή/και ρωγμές που άνοιξαν ταυτόχρονα με την απόθεσή του.

Η πίεση των ατμών και κυρίως η επιμέρους πίεση του CO<sub>2</sub> ενός πλούσιου σε CO<sub>2</sub> διαλύματος είναι τεράστια και προτάθηκε πολλές φορές σαν ο υπεύθυνος μηχανισμός διεύρυνσης ρωγμών σε άλλους τύπους κοιτασμάτων. Στην προκειμένη περίπτωση προτείνεται ότι όταν τα μεταλλοφόρα διαλύματα έφθασαν σε ένα τέτοιο επίπεδο από την επιφάνεια όπου η πίεση των ατμών έγινε μεγαλύτερη από το άθροισμα της λιθοστατικής πίεσης και της αντοχής του ξενιστή σε εφελκυσμό (tensile strength) άρχισαν να δημιουργούνται χώροι στους οποίους αποτέθηκε ο μαγνησίτης. Η παρουσία γωνιωδών τεμαχίων του ξενιστή στις φλέβες καθώς και γωνιωδών τεμαχίων μαγνησίτη συγκολλημένων με νεότερο μαγνησίτη σε συνδυασμό με τις κάθε δυνατές μορφής δομές πλαστικής παραμόρφωσης του υλικού των φλεβών συνηγορούν υπέρ της προαναφερθείσας πρότασης ότι δηλαδή ο μαγνησίτης δεν αποτέθηκε σε «ήρεμο» περιβάλλον

Αν και δεν μπορεί να αποκλεισθεί, η πιθανότητα απόθεσης του μαγνησίτη σε χώρους που δημιουργήθηκαν εξ αιτίας της τεκτονικής τοποθέτησης των οφιολίθων είναι μικρή. Η εικόνα των κοιτασμάτων είναι τέτοια που δεν δικαιολογεί έναν τέτοιο μηχανισμό διεύρυνσης των φλεβών. Οι φλέβες του μαγνησίτη για παράδειγμα δεν έχουν καμιά γεωμετρία εκατέρωθεν κύριων τεκτονικών ασυνέχειών δεν βλέπουμε δηλαδή feather joint ή open gashes δομές πληρωμένες με μαγνησίτη εκατέρωθεν μεγάλων φλεβών. Συντεκτονική απόθεση είναι επίσης μια πολύ αργή διαδικασία πράγμα που έρχεται σε αντίθεση με τους γρήγορους ρυθμούς σχηματισμού των φλεβών του μαγνησίτη.

**Απόθεση του μαγνησίτη.** Από ανερχόμενα, πλούσια σε CO<sub>2</sub> διαλύματα, η απότομη απόθεση ανθρακικών είναι δυνατή **μόνον** όταν CO<sub>2</sub> φεύγει από το σύστημα. Ανάμειξη τέτοιων διαλυμάτων με άλλα χαμηλότερης θερμοκρασίας ή/και φτωχότερα σε CO<sub>2</sub> δεν είναι δυνατό να προκαλέσει απόθεση και πολύ πιθανόν θα έχει αντίθετο αποτέλεσμα. Από την άλλη πλευρά ένα τέτοιο διάλυμα δεν είναι δυνατό να περιέχει αξιόλογες ποσότητες πυριτίου γιατί το CO<sub>2</sub> δρα σαν «δηλητήριο» στην διαλυτότητα του SiO<sub>2</sub>.

Τα σε χημική ισορροπία με μαγνησίτη + χαλαζία ή μαγνησίτη + τάλκη ή μαγνησίτη + χαλαζία + τάλκη διαλύματα στην πηγή τους δεν υφίστανται σχεδόν καμία μεταβολή κατά την ανοδική τους πορεία μέσα στα υπερβασικά επειδή το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία. Η όποια ελάττωση της θερμοκρασίας κατά την ανοδική τους πορεία δεν αναμένεται να επιφέρει σημαντικές αλλαγές (μαγνησίτης + χαλαζίας είναι η σταθερή φάση στο σύστημα ακόμη και σε θερμοκρασίες μικρότερες των 100°C).

Η υδραυλικής φύσης διεύρυνση των ρωγμών από τα ίδια τα διαλύματα θα έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική πτώση της συνολικής πίεσης του συστήματος με συνέπεια τον βρασμό των διαλυμάτων και άρα την διαφυγή σημαντικών ποσοτήτων CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O. Η συμπύκνωση του διαλυμάτων λόγω απώλειας H<sub>2</sub>O αλλά κυρίως η ελάττωση της περιεκτικότητας των σε CO<sub>2</sub> θα έχει σαν αποτέλεσμα τον υπερκορεσμό των διαλυμάτων σε μαγνησίτη και τον ταυτόχρονο υποκορεσμό τους σε SiO<sub>2</sub>. Η σημαντική, πιθανόν, πτώση της θερμοκρασίας των διαλυμάτων λόγω βρασμού δεν μπορεί να αντισταθμίσει το αντίθετο αποτέλεσμα που έχει η σημαντική ελάττωση του CO<sub>2</sub> (η διαλυτότητα των ανθρακικών αυξάνεται ελαττούμενης της θερμοκρασίας). Το αποτέλεσμα θα είναι η απότομη απόθεση **μόνον** κρυσταλλικού μαγνησίτη.

Στην πηγή τους, τα μεταλλοφόρα διαλύματα αναμένεται να περιείχαν και σημαντικές ποσότητες Ca είτε από τα ιζήματα στα οποία ήταν εγκλωβισμένα είτε από την μετέπειτα αντίδρασή τους με πυροξενίτες. Σύμφωνα με τους Rosenberg et al. (1967) ο λόγος Ca/Mg καθορίζει το είδος του ανθρακικού που θα αποτεθεί από τα διαλύματα. Ακόμη και σε υψηλές τιμές αυτού του λόγου δηλ ακόμη και αν η συμμετοχή του Mg είναι πολύ μικρότερη του Ca θα αποτεθεί μαγνησίτης κάτι που αντανακλάται πολύ καλά στα κοιτάσματα. Στο φλεβικό τμήμα της μεταλλοφορίας αποτέθηκε σχεδόν αποκλειστικά μαγνησίτης ενώ σημαντικές ποσότητες δολομίτη αποτέθηκαν στο stockwork τμήμα και πυριτιομένο / δολομιτιομένο κάλυμμα της μεταλλοφορίας.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Νταμπιτζίας Σ., Βεράνης Ν., Χιώτης Ε., Πεφάνη Β., Αγάλος Δ., Κακλαμάνης Ν., Μαυρογιάννης Ι. & Μήσιου Κ. 2000. Μελέτη βιωσιμότητας Δ.Μ. Βάβδου. Δημοσίευση έκθεση ΙΓΜΕ, 200σ.
- Νταμπιτζίας Σ., Μαλιζάρης Φ., Κακλαμάνης Ν. & Ηλιάδης Α. 2003. Έργο ΕΠΙΑΝ 7.3.1.III: Καινοτόμες Τεχνολογίες- Τεχνικές Καταγραφής και Αξιοποίησης Απορριμμάτων Μεταλλευτικής και Μεταλλουργικής Βιομηχανίας και Εγκαταλεημένων Δημοσίων Μεταλλείων. Πιλοτικές Εφαρμογές(Απογραφική Φάση). Λευκόλιθος: Μεταλλευτικό Κέντρο Δ. Χαλκιδικής. Δημοσίευση Έθεση του ΙΓΜΕ.
- Bodenlos A. 1950. Geology of the Red Mountain magnesite district, Santa Clara and Stanislauscounties, California. Cal. Jour. Min. and Geol., v.46, p. 223-278.
- Burgath K., Grisseman Ch., Herr W., Johannes W., Jung D., Knolke H., Kockel F., Makris J., Mohr M., Mussalam K. & Raschka H. 1980. On the genesis of magnesite deposits in northern Greece.Proc. Int. Symp. On the metallogeny of mafic and ultramafic complexes: Athens, October 9-11.
- Dabitzias S. 1977. Petrology and genetic model of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits, Chalkidiki peninsula, northern Greece. M.Sc. thesis, Queens University, Kingston, Ontario, Canada.
- Dabitzias S. 1980. Petrology and genesis of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits. Chalkidiki peninsula, northern Greece. Econ. Geology, v.75, p.1138-1151.
- Dabitzias S. 1983. Geology and environment of ore deposition in the Vavdos and Troupi magnesite districts, Greece. Ph.D. thesis. Leicester University, Leicester, U.K.
- Fallick A., Ilich M. & Russel M. 1991. A stable isotope study of the magnesite deposits associated with the Alpine-type ultramafic rocks of Yugoslavia. Econ. Geol., v. 86, p.847-861.
- Griffis R. 1972. Genesis of a magnesite deposit, Deloro Twp., Ontario. Econ. Geol., v. 67, p.63-71.
- Gartzos E. 2004. Comparative stable isotopes study of the magnesite deposits of Greece. 10<sup>th</sup> G.S.G. Congress. 15-17 April, Thessaloniki, Greece. Abstracts p.400.
- Harben P. & Bates R. 1984. Geology of the nonmetals. Metal Bulletin Inc. U.K. 392p.
- Hebert y. & Pare C. 1990. Les ressources en minerais de magnesium et leur utilisation au Quebec. Ministere de l Energie et des ressources du Quebec. M.B 90-31, 66p.



- Holland H., 1900. Geology in the neighbourhood of Salem, Madras Pres., India Geol. Survey Mem., v.30, p.103-169.
- Ilich M. 1968. Problems on the genetic classification of magnesite deposits. Geologicky Zbornik-Geologica Carpathica XIX, Bratislava, v.1 p.149-160.
- Johannes W. 1969. An experimental investigation of the system  $MgO - SiO_2 - H_2O - CO_2$ . Am. J. Sci., v.267, p.1083-1104.
- Kralik M., Aharon E., Schroll E. & Zachmann D. 1989. Carbon and oxygen isotope systematics of magnesianites: a review. *in* Monograph Series on Mineral Deposits. Gebräuder Borntraeger, Berlin- Stuttgart. p. 197-223.
- Lesko I. 1972. Über die bildung von magnesitlagerstätten. Min. Deposita, v.7, p.61-72.
- Petrasccheck E. 1972. Beziehungen zwischen kryptokrystallinem und spatigem magnesit. Radex-Rdsch., Berlin. v.5, 339-350
- Rosenberg E., Burt M. & Holland D. 1967. Calcite-Dolomite-Magnesite stability relations in solution: the effect of ionic strength. Geochem. and Cosmochem. Acta, v.31, p.391-396.
- Vacanjac B., Petrovic B., Tomanec R. & Starostin V. 1984. The hydrothermal – metamorphic formation of vein magnesite deposits associated with ultramafic complexes. Proc. Quadrenn.6<sup>th</sup> IAGOD symp., Schweizerbart. P.225-230.
- Zachmann D. & Johannes W. 1989. CryprocrySTALLINE magnesite. *in* Monograph Series on Mineral Deposits. Gebräuder Borntraeger, Berlin- Stuttgart. p. 15-28.
- Zedef V., Russel M. & Fallick A. 2000. Genesis of vein stockwork and sedimentary magnesite and hydromagnesite deposits in the ultramafic terranes of southwestern Turkey: A stable isotope study. Econ. Geol., v.95, p.429-446.

## ABSTRACT

### **STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE VAVDOS VEIN MAGNESITE DEPOSITS. MAGNESITE DEPOSITION MECHANISM**

Dabitziias S.

*I.G.M.E., Frangon 1 & Moskof 10 str. 546 26 Thessaloniki, Greece, sdabiz@thes.igme.gr*

Even though many opinions have been cited on the origin of the cryptocrystalline magnesite deposits in ultramafics, only in a few of them reference is made to the morphological characteristics of the veins or in general to the geological characteristics of the deposits resulting thus to propositions like "the metasomatic origin of the veins". Vein-host rock sharp contacts, distinct sequence of magnesite and dolomite deposition, absence of chromite grains in the veins, matching walls, magnesite veins in chromitites, pyroxenites and in boudinaged acid to basic vein-type intrusives are some of the macroscopic characteristics of the deposits which are in favor of deposition of magnesite in open fractures. Angular host-rock fragments within the veins, brecciated magnesite and fibrous to pinolitic magnesite textures suggest a "not so calm" environment of magnesite deposition something that is against a syntectonic environment of deposition.