

<i>Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας</i>	<i>Τόμ.</i>	<i>σελ.</i>	<i>Αθήνα</i>
<i>Bulletin of the Geological Society of Greece</i>	<i>XXVII</i>	<i>105-120</i>	<i>1991</i>
	<i>Vol.</i>	<i>pag.</i>	<i>Athens</i>

ΔΟΛΟΜΙΤΕΣ ΚΑΙ ΜΑΡΜΑΡΑ ΣΕ ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΑ ΠΕΔΙΑ*

Ηλ. Γερολυμάτος & Ιωάν. Κοϊνάκης

ABSTRACT

The presence of Mg in non-metamorphic carbonate rocks is attributed mainly to diagenetic processes. In this case, the dolomites have a precise stratigraphic position and reflect a particular paleogeographic environment. In the opposite, analogous rock types in metamorphic environments, are both spatially and genetically related to phenomena indicative of the last stages of a tectonometamorphic cycle (HP/LT-, Barrow-, retrograde- and thermal-type of metamorphism). These phenomena, which have been studied thoroughly in metamorphic terrains of the alpine orogene, have contributed to the formation of the most important deposits of calcitic and dolomitic marbles, as well as of marble breccia. They are related to metasomatic differentiation processes, associated with high mobilisation of hydrothermal solutions during extensional tectonism.

The results of the present study can be used as a tool in exploration and localisation of both Mg-rich dolomites, as well as of high quality and high potential marbles.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρουσία του Mg στα μη μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα, οφείλεται κατά κύριο λόγο σε διαγενετικές διαδικασίες. Στην περίπτωση αυτή οι δολομίτες κατέχουν ορισμένη στρωματογραφική θέση και αντικατοπτρίζουν ιδιαίτερο παλαιογεωγραφικό περιβάλλον.

Αντίθετα οι εμφανίσεις ανάλογων πετρωμάτων στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς συνδέονται, εκτός των άλλων, χωρικά και γενετικά με φαινόμενα που αντιπροσωπεύουν το τέλος ενός (τεκτονο)μεταμορφικού κύκλου (HP/LT-, barrow-, ανάδρομη- και θερμική μεταμόρφωση).

Τα φαινόμενα αυτά, τα οποία έχουν ερευνηθεί σε αρκετά υψηλό επίπεδο σε μεταμορφικά πεδία αλπικής ορογένεσης, έχουν οδηγήσει επιπρόσθετα στη δημιουργία των κυριωτέρων κοιτασμάτων ασβεστιτικών, δολομιτικών και λατυποπαγών μαρμάρων.

Οι διαδικασίες αυτές είναι μετασωματικές διαφοροποιήσεις και έχουν σαν αίτιο την έντονη κινητοποίηση υδροθερμικών διαλυμάτων σε συνδυασμό με τεκτονικές διεργασίες εφελκυστικού χαρακτήρα.

Τα στοιχεία της έρευνας αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν κανόνας για την αναζήτηση και εντοπισμό τόσο δολομιτών με υψηλή περιεκτικότητα σε Mg, όσο και μαρμάρων υψηλής ποιότητας και μεγάλου δυναμικού.

* Gerolymatos, Il. & Koinakis, I. - Dolomites and marbles in metamorphic belts
Institute of Geology and Mineral Exploration, 70 Messoghion str., 115 27, Athens, Greece.
Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα.
Ανακοινώθηκε κατά την επιστημονική συνεδρία της Ξάνθης, την 9/5/1991.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η από κοινού μελέτη του μαρμάρου σαν δομικό διακοσμητικό υλικό και του δολομίτη σαν βιομηχανικό ορυκτό είναι αναγκαία λόγω των κοινών χημικών και γενετικών χαρακτήρων που έχουν σε μεταμορφικά πεδία.

Οι δολομίτες και ιδιαίτερα τα μάρμαρα είναι πρωτογενή προϊόντα με συνεχώς αυξανόμενη προστιθέμενη αξία. Η σημασία των υλικών αυτών για την εθνική οικονομία είναι τεραστίων διαστάσεων, διότι η δυναμικότητα του ελληνικού χώρου, σε συνδυασμό με την ποικιλία και ποιότητα αυτών είναι πολύ μεγάλη. Οι λόγοι αυτοί είναι αρκετά σοβαροί για τον προσανατολισμό ερευνητικών προγραμμάτων, τόσο σε καθολική όσο και σε λεπτομερή κλίμακα.

Τα δολομιτικά και ασβεστιτικά μάρμαρα, όπως και ορισμένοι λατυποπαγείς σχηματισμοί, που συνδέονται με μαρμαροφόρες επαρχίες (παραμορφωμένα λατυποπαγή Σκύρου και Απουάνων Άλπεων), θεωρούνται σαν απλώς ανακρυσταλλωμένοι σχηματισμοί, λόγω μεταμόρφωσης των οποίων η ορυκτολογική σύσταση και κατ' επέκταση η χρωματική διαφοροποίηση είναι στοιχεία που αποδίδονται στους αρχικούς ιζηματογενείς χαρακτήρες των πετρωμάτων αυτών. Η δυνατότητα όμως μεταβολής της χημικής σύστασης πετρωμάτων κατά τη διάρκεια μεταμορφικών διαδικασιών είναι μεγάλη. Εξαρτάται δε από το είδος του πετρώματος τις φυσικοχημικές μεταβολές σε συνδυασμό με τις ταυτόχρονα εξελισσόμενες τεκτονικές διεργασίες και τη χωρική σχέση αυτών με τους διαφορετικούς λιθοτύπους.

Η αναγκαία ως ένα βαθμό λεπτομερής εισαγωγή σε θερμοδυναμικά μοντέλα απόθεσης ανθρακικών ορυκτών από ένα διάλυμα, θα οδηγούσε τη μελέτη αυτή έξω από το σκοπό της. Θα πρέπει όμως να δοθούν έστω περιληπτικά οι αρχές που διέπουν τον τρόπο δημιουργίας τέτοιων ορυκτολογικών συγκεντρώσεων και κατ' επέκταση τέτοιων πετρολογικών τύπων.

Εκ των πραγμάτων είναι αναγκαία και η έστω περιληπτική εισαγωγή στους χαρακτήρες των τεκτονομεταμορφικών διαδικασιών, που είναι κοινές για όλα τα μεταμορφικά πεδία, ώστε να μπορέσει να γίνει κατανοητός ο συνδυασμός φυσικοχημικών πεδίων και αντίστοιχων τεκτονικών διεργασιών, κατάλληλων για την κοιτασματογένεση μαρμάρων και δολομιτών.

Η σύνθεση τεκτονικών, πετρογραφικών και φυσικοχημικών στοιχείων θα οδηγήσει στη μοντελοποίηση της δημιουργίας και του τρόπου εμφάνισης τέτοιων πετρολογικών τύπων.

ΤΕΚΤΟΝΟΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η αλληλουχία των τεκτονομεταμορφικών διαδικασιών, που λαμβάνουν χώρα σε ένα μεταμορφικό πεδίο με χαρακτήρες HP/LT-μεταμόρφωσης, ξεκινώντας από το peak της κύριας μεταμόρφωσης (HP/LT), μπορεί να αποδοθεί συνοπτικά ως εξής:

- i. Μέγιστο βάθος καταβύθισης: Στατική παραμόρφωση με λιθοστατική πίεση ίδια για όλες τις διευθύνσεις και ορυκτά υψηλών πιέσεων/χαμηλών θερμοκρασιών.
- ii. Άνοδος της καταβυθισμένης πλάκας: Συμπιεστική τεκτονική με καλυμματικές διεργασίες και ισοκλινείς πτυχές που εντοπίζονται στους χώρους αποκόλλησης. Περισσότερο καταβυθισμένα τμήματα αναστρέφονται και επωθούνται πάνω σε μη ανεστραμμένους, λιγότερο μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Πολλές φορές όμως τα πλέον μεταμορφωμένα τμήματα καταλαμβάνουν κατώτερες θέσεις χωρίς να εμφανίζονται φαινόμενα αναστροφής (SPEAR *et al.*, 1984).
- iii. (Μετα)ορογενετικές κινήσεις: Η τεκτονική αυτή έχει εφελκυστικό χαρακτήρα με μικρής και

μεγάλης γωνίας κανονικά ρήγματα και σύγχρονη κινητοποίηση υδροθερμικών διαλυμάτων κατά μήκος των ασυνεχειών αυτών. Τα διαλύματα προέρχονται κατά κύριο λόγο από την αφυδάτωση κατωτέρων τεκτονικών χώρων λόγω της απότομης πτώσης της πίεσης κατά τη διάρκεια τεκτονικής αποφόρτισης. Η τεκτονική αυτή συνοδεύεται από ορυκτά χαμηλών ως πολύ χαμηλών θερμοκρασιών και πολύ χαμηλών πιέσεων (KERRICH 1988; ΜΗΤΣΑΚΗ & ΓΕΡΟΛΥΜΑΤΟΣ αδημ. στοιχεία).

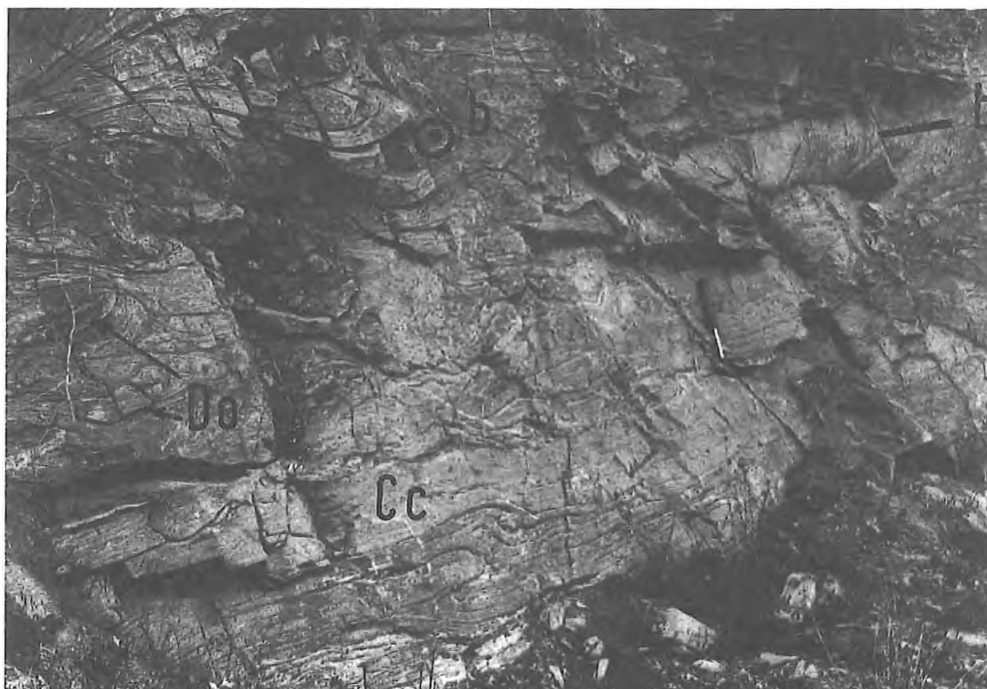
Κατά τη διάρκεια της τελευταίας φάσεως γίνεται επαναδραστηριοποίηση των μεγάλων τεκτονικών ασυνεχειών της καλυμματικής τεκτονικής έτσι, ώστε να εμφανίζονται στον ίδιο χώρο πλήθος τεκτονικών στοιχείων, τα οποία μπορούν να καταταγούν στη μια φάση ή στην άλλη με βάση των γεωμετρικότητα, τα συγκινηματικά ορυκτά και τη σχετική τους ηλικία (Εικ. 1 & 2).

Ανάλογη εξέλιξη ενός μεταμορφικού πεδίου δέχονται οι PLATT (1986) και GARMIGNANI & KLIGFIELD (1990).

Λεπτομερής πετρογραφική ανάλυση των σχηματισμών ενός μεταμορφικού πεδίου έχει δείξει, ότι υπάρχει αναλογία των συνθηκών μεταμόρφωσης μεταξύ των τεκτονικών ενοτήτων σε όλα τα στάδια της μεταμόρφωσης (HEINRICH, 1982; GEROLYMATOS, 1989).

Τα στοιχεία αυτά έρχονται σε απόλυτη συμφωνία με τους θερμοδυναμικούς υπολογισμούς και τη μοντελοποίηση αυτών από τους THOMPSON & ENGLAND (1984); ENGLAND & THOMPSON (1984).

Η σύνθεση πολλαπλών γεωλογικών και πετρογραφικών στοιχείων οδηγεί σε ανάλογα διαγράμματα της τεκτονομεταμορφικής εξέλιξης της ζώνης Ροδόπης (Εικ. 3) καθώς και των



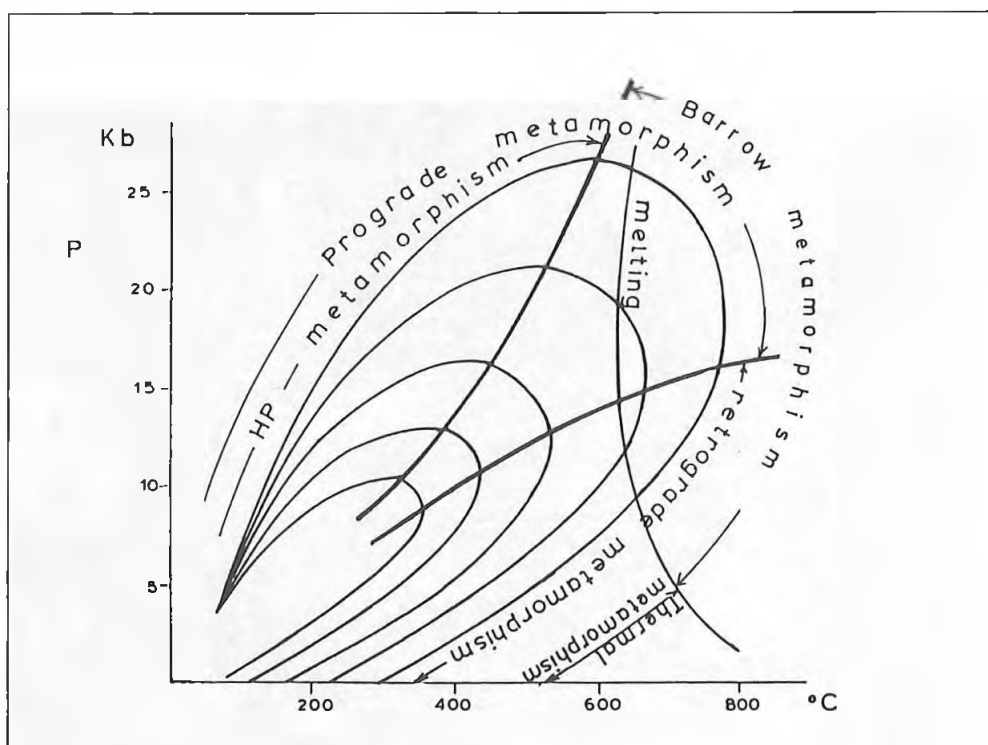
Εικ. 1: Ισοκλινείς πτυχές (b) με διαφορετικό προσανατολισμό αξόνων, σύγχρονες της μεταμόρφωσης τύπου barrow της ζώνης Ροδόπης. Τα πετρώματα είναι έντονα παραμορφωμένοι ανθρακικοί σχηματισμοί λόγω της διατμητικής ζώνης με παράταξη 120° N. Κοιτασματογενετικό πεδίο Mn-ούχων μεταλλευμάτων στην περιοχή Συκιδίων του ποταμού Νέστου, βόρεια της Δράμας (b=άξονας πτυχής, Cc=ασβεσπιτικός ορίζοντας, Do=δολομιτικοί φακοί).

Fig. 1: Isoclinal folds (b) with varying axis orientation, contemporaneous with barrow-type metamorphism, in carbonate rocks of the Rhodope zone. Intense deformation of these rocks is due to a nearby shear zone with a 120°N strike. Mineralising field of Mn ores in the area of Sykidia Nestos river, north of Drama (b=fold axis, Cc=calcitic horizon, Do=dolomitic lenses).



Εικ. 2: Ρήγμα αποκόλλησης συνδεδεμένο χωρικά με ισοκλινείς πυχές σύγχρονες της μεταμόρφωσης τύπου barrow, σε ιουρασικούς σχηματισμούς της σειράς Plattenkalk, στη μαρμαροφόρο περιοχή Δοξαρού των Ταλέων ορέων Κρήτης.

Fig. 2: Detachment fault spatially related to isoclinal folds contemporaneous with Barrow-type metamorphism of the Jurassic rock formations of the Plattenkalk series, in the marble-bearing area of Doxaro, Talea Mt, Crete.



Εικ. 3: Σχηματικό P-T διάγραμμα το οποίο δείχνει τη μεταμορφική και τεκτονική εξέλιξη της ζώνης Ροδόπης.

Fig. 3: Schematic P-T diagram showing the metamorphic and tectonic evolution of the Rhodope zone.

άλλων μεταμορφικών πεδίων, τόσο του ελληνικού, όσο και του διεθνή χώρου.

Η πλέον σημαντική φάση της τεκτονομεταμορφικής εξέλιξης ενός μεταμορφικού πεδίου, από πλευράς μαζικής κινητοποίησης υδροθερμικών διαλυμάτων και ιδιαίτερα κοιτασματογενετικών φαινομένων είναι η τρίτη.

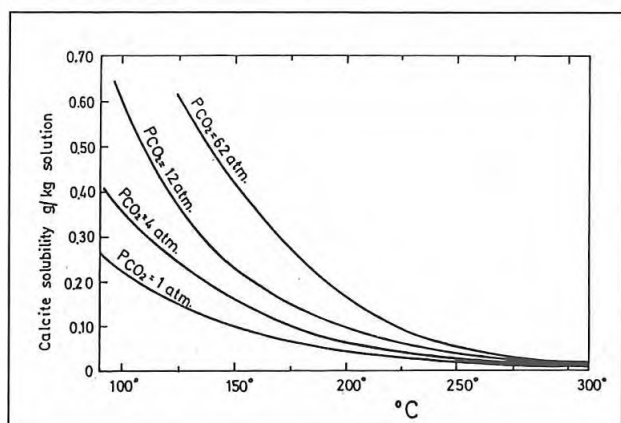
Στον ελληνικό χώρο απαντούν τρία μεταμορφικά πεδία αλπικής ηλικίας με συγκεντρική διευθέτηση (ΠΑΡΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1984). Το ενδιαφέρον της μελέτης αυτής περιορίζεται κυρίως στους μεταμορφωμένους ανθρακικούς σχηματισμούς των μεταμορφικών πεδίων του ελληνικού χώρου με μικρές αναφορές στους υπερκείμενους μη μεταμορφωμένους.

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ουσιαστικές αναφορές, όσον αφορά στη διαλυτότητα ανθρακικών ορυκτών, κυρίως του Ca και Mg σε διαφορετικά φυσικοχημικά περιβάλλοντα έχουν γίνει στις εργασίες των JOHANNES (1970), HOLLAND & MALLININ (1979), DABITZIAS (1980, 1985).

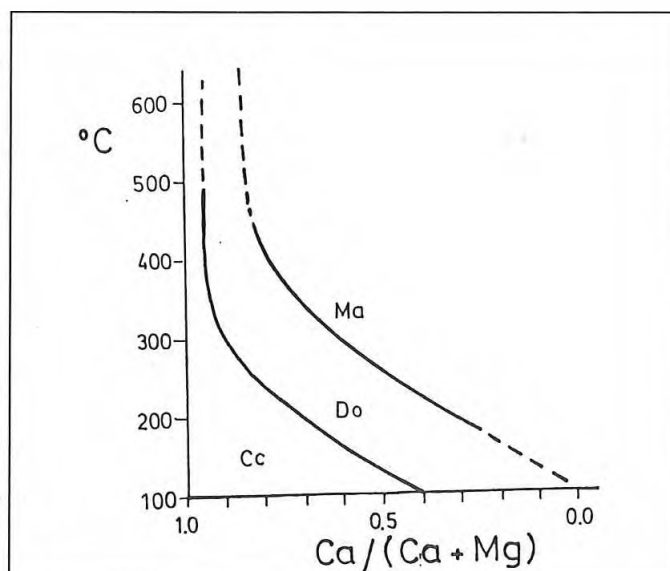
Η διαλυτότητα του ασβεστίτη ελατώνεται δραστικά με την αύξηση της θερμοκρασίας και ελαχιστοποιείται πάνω από τους 350° C (Εικ. 4). Αντίθετα η διαλυτότητά του αυξάνεται με την αύξηση της αλατότητας και της συγκέντρωσης σε CO₂ του διαλύματος (MALININ & ΚΑΝΟΥΚΟΝ 1971, DABITZIAS 1985). Πολύ περισσότερο ελατώνεται η διαλυτότητα του δολομίτη με την αύξηση της θερμοκρασίας. Είναι όμως αδύνατος ο σχηματισμός του δολομίτη, όπως και του ασβεστίτη με απλή ψύξη του διαλύματος. Αποφασιστικό ρόλο στη διαδικασία αυτή παίζει η δράση του CO₂, της αλατότητας και του Si στο διάλυμα. Ουσιαστικής σημασίας για τη δημιουργία ενός ανθρακικού ορυκτού από διάλυμα είναι το διάγραμμα της Εικ. 5, όπου εμφανίζονται τα πεδία σταθερότητας του ασβεστίτη, δολομίτη και μαγνησίτη. Στο διάγραμμα αυτό είναι προφανές, ότι διαλύματα με υψηλή συγκέντρωση Mg, δεν απαιτούν μεγάλες θερμοκρασίες για τη δημιουργία δολομίτη ή ακόμα και μαγνησίτη.

Η γνώση της σύνθεσης ρευστών εγκλεισμάτων σε διαφανή ορυκτά, ιδιαίτερα χαλαζία, από διατμητικές ζώνες των core complex systems (LISTER & DAVIS 1989) καθώς και η εξέλιξη της ρευστής φάσεως, δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των φυσικοχημικών φαινομένων που εξελίσσονται μέσα σ' ένα τέτοιο εφελκυστικού χαρακτήρα, έχουν γίνει από πολλούς ερευνητές



Εικ. 4: Διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η διαλυτότητα του ασβεστίτη στο νερό, μέχρι τους 300° C σε διαφορετικές τιμές της μερικής πίεσης του CO₂ (από HOLLAND & MALININ 1979).

Fig. 4: Diagram showing the solubility of calcite in water up to 300° at various partial pressures of CO₂ (from HOLLAND & MALININ 1979).



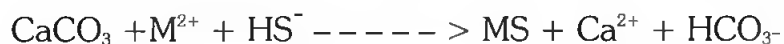
Εικ. 5: T-X διάγραμμα στο οποίο φαίνονται τα πεδία σταθερότητας του ασβεστίτη (Cc), δολομίτη (Do) και μαγνησίτη (Ma) σε διαφορετικές αναλογίες Ca/(Ca+Mg) της ρευστής φάσης (από JOHANNES 1979).

Fig. 5: T-X diagram showing the stability fields of calcite (Cc), dolomite (Do) and magnesite (Ma) at different Ca/(Ca+Mg) ratios in the fluid phase (after JOHANNES 1979).

τα τελευταία χρόνια, ιδιαίτερα δε από τον KERRICH (1988).

Οι θερμοκρασίες ομογενοποίησης ρευστών εγκλεισμάτων σε ζώνες αποκόλλησης που συνδέονται με κοιτασματογένεση είναι συνήθως 200-325°C (WILKINS et al. 1986; SCHENK et al. 1990). Ανάλογες συνθήκες δίνουν οι μελέτες των ισοτόπων οξυγόνου και υδρογόνου (KERRICH 1988; KERRICH & REHRIG 1987). Η θερμοκρασία όμως μολυνιτίωσης σε βαθύτερα τμήματα μιας διατμητικής ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερη, οι δε μυλονίτες δημιουργούνται στο χώρο αυτό κάτω από πολύ χαμηλή σχέση ύδατος/πετρώματος (KERRICH 1988). Κατά τη διάρκεια όμως της τεκτονικής αποφόρτισης των κατωτέρων τεκτονικών χώρων, κινητοποιούνται μεγάλες μάζες υδροθερμικών διαλυμάτων, τα οποία προέρχονται από την αφυδάτωση των σχηματισμών του χώρου αυτού λόγω απότομης πτώσης της πίεσης. Οι υδροθερμικές αυτές μεταβολές έχουν σαν αποτέλεσμα τη μαζική προσφορά Fe, Mn και Mg, με σύγχρονη αφαίρεση K και Na, η οποία εμφανίζεται με την υδρόλυση των ασφρίων (KERRICH 1988) και την αντικατάστασή τους από χλωρίτη. Στην περίπτωση εκείνη, που υποκείμενοι μιας διατμητικής ζώνης σχηματισμοί είναι ανθρακικά πετρώματα, γίνεται απόπλυση των στοιχείων Fe, Mn και Mg, με σύγχρονο εμπλουτισμό σε CaCO₃. Η διαδικασία αυτή υποβοηθείται από την παρουσία του CO₂ στο διάλυμα. Η παρουσία ενώσεων άνθρακα, ιδιαίτερα δε CO₂, με φθίνουσα συγκέντρωση κατά τη διάρκεια εξέλιξης της ρευστής φάσεως (KERRICH 1988; SCHENK et al. 1990) είναι καθοριστικός παράγοντας της διαλυτότητας ή μη των ανθρακικών ενώσεων των Ca και Mg. Ελατούμενη εμφανίζεται και η αλατότητα των διαλυμάτων στις μικρότερες θερμοκρασίες (BEHR 1978). Έτσι λοιπόν τα εμπλουτισμένα σε Mg υδροθερμικά διαλύματα, εισερχόμενα σε χώρο ανθρακικών πετρωμάτων, δημιουργούν τέτοια σχέση Ca/Mg, ώστε να εμφανίζονται στο πεδίο σταθερότητας του μαγνησίτη ή του δολομίτη, ανάλογα με τη θερμοκρασία τους (Εικ. 3). Από το διάγραμμα της Εικ. 5 μπορεί να συμπεράνει κανείς, ότι δεν απαιτούνται υψηλές περιεκτικότητες Mg στο διάλυμα για τη δημιουργία δολομίτη και μαγνησίτη σε θερμοκρασίες πάνω από 250° C. Αντίστροφα η μεγάλη συγκέντρωση του Mg στο διάλυμα επιτρέπει τη δημιουργία Mg-ούχων ανθρακικών ενώσεων και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η διαδικασία αυτή υποβοηθείται με την ελάττωση της συγκέντρωσης του CO₂ και της αλατότητας του διαλύματος. Η εκτεταμένη δολομιτίωση ανθρακικών πετρωμάτων στο χώρο που εμφανίζονται υδροθερμικής γένεσης μεταλλεύματα επιβεβαιώνει τη σχέση αυτή.

Σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αυτή παίζει η παρουσία ιόντων των μετάλλων Zn, Pb, Cu, Fe, Mn και HS⁻ στο διάλυμα, με την οποία γίνεται δυνατή η αντικατάσταση του CaCO₃ από σουλφίδια:



Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διαλυτοποίηση και ελευθέρωση του CaCO₃ σε αναγωγικές συνθήκες, το οποίο επανεμφανίζεται σε ανώτερους τεκτονικούς χώρους μαζί με οξειδία, κυρίως Fe και Mn (Εικ. 6).

Η αρνητική σχέση του CO₂ και της διαλυτότητας Mg-ούχων ανθρακικών ενώσεων αντικατοπτρίζεται σε ανώτερους τεκτονικούς χώρους με την παρουσία Mg-ούχων ενώσεων και σουλφιδίων, όπου η θερμοκρασία έχει υποχωρήσει και το CO₂ έχει εκφύγει. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να οδηγήσει σε υποκορεσμό του διαλύματος σε Si και ίσως Mg-ούχων πυριτικών ορυκτών (βλ. επίσ. DABITZAS, 1980). Η πυριτίωση είναι φαινόμενο που συνδέεται χωρικά με τις εμφανίσεις δολομιτών, που υπέρκεινται τεκτονικών ασυνεχειών εφελκυστικού χαρακτήρα. Επιπρόσθετα η παρουσία μεγάλων συγκεντρώσεων SiO₂, δολομίτη και Fe⁻, Mg-ούχων χλωριτών, συνδέεται άμεσα με διατμητικές ζώνες εφελκυστικού χαρακτήρα, θραυσιγενή παραμόρφωση και μεταλλικές συγκεντρώσεις υδροθερμικής προέλευσης.

Παρατηρήσεις, τόσο στα τρία μεταμορφικά πεδία του ελληνικού χώρου, όσο και από βιβλιογραφικές αναφορές από το διεθνή χώρο, ισχυροποιούν τη σκέψη τής από κοινού γένεσης κοιπασμάτων μαρμάρου και δολομιτών, μέσω μεταμορφικών υδροθερμικών διαλυμάτων και εξηγούν τη χωρική σχέση αυτών με μεταλλοφορίες υδροθερμικού τύπου.

Οι κυριότερες έρευνες στην εφελκυστική τεκτονική των μεταμορφικών πεδίων του ελληνικού χώρου αναφέρονται στο ενδιάμεσο πεδίο (LE PICHON & ANGELIER, 1981; LISTER *et al.*, 1984; AVIGAD & GARFUNKEL, 1989; BUICK, 1991; FAURE *et al.*, 1991).

Στο εσωτερικό μεταμορφικό πεδίο (ζώνη Ροδόπης) παρατηρείται πολυπλοκότητα στην αλληλουχία των φαινομένων που διαδραματίζονται στο τελευταίο τεκτονομεταμορφικό στάδιο, λόγω της μεγαλύτερης ηλικίας του (GEROLYMATOS, 1989). Η συνεχιζόμενη ως σήμερα εφελκυστική τεκτονική, συνδυαζόμενη με οριζόντιες μεταπρωτικές κινήσεις, δημιουργεί φαινόμενα επαναδραστηριοποίησης και ως εκ τούτου επικάλυψης παλαιότερων στοιχείων, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται ο προσδιορισμός της χρονικής και γενετικής διαδικασίας αυτών.

Στο νεώτερο μεταμορφικό πεδίο που αντιστοιχεί στο «ελληνικό τόξο», τα πράγματα απλουστεύονται λόγω της πολύ μικρής ηλικίας του τελευταίου τεκτονομεταμορφικού σταδίου. Η γεωλογική δομή των σχηματισμών του χώρου της κεντρικής Κρήτης (Τάλεα όρη και όρος Ίδη) αντιστοιχεί σε μία εμβρυακή κατάσταση ενός εξελισσόμενου πεδίου μυλονιτικών αποκολλήσεων (core complex system) (Εικ. 7). Στο χώρο των Ταλέων ορέων εμφανίζονται σε ρήγματα αποκόλλησης, με διεύθυνση 100° N, συμπαγείς μεταλλοφορίες σιδηροπυρίτη σε οξειδωμένη μορφή (Εικ. 8). Συνοδά φαινόμενα είναι η λατυποποίηση και έντονη δολομιτίωση των ανθρακικών πετρωμάτων, ο εμπλουτισμός του χώρου σε C (Εικ. 9), η άμεση χωρική σχέση κοιπασμάτων μαρμάρου αρίστης ποιότητας σαν υποκείμενος σχηματισμός της ασυνέχειας στο χώρο της μεταλλοφορίας και η εμφάνιση πυριτιωμένων δολομιτών σαν υπερκείμενος σχηματισμός της τεκτονικής ασυνέχειας στον ίδιο χώρο. Η εμφάνιση των στοιχείων αυτών δεν συνδέεται με κάποιο συγκεκριμένο στρωματογραφικό ορίζοντα, και επαναλαμβάνεται τουλάχιστον τρεις φορές (Εικ. 7).

Στην Πελοπόννησο, και συγκεκριμένα στην οροσειρά του Πάρνωνα, εξωρρύσσονται λατυποπαγή μάρμαρα, των οποίων το συνδετικό υλικό είναι καθαρός δολομίτης με C (Εικ. 10). Οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται σε διατμητική ζώνη, εφελκυστικού χαρακτήρα, ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης, με στοιχεία τόσο πλαστικής, όσο και θραυσιγενούς παραμόρφωσης (Εικ. 10, 11). Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται και στους ανθρακικούς σχηματισμούς της σειράς Plattenkalk στο χώρο του Ταυγέτου.

Στο ενδιάμεσο μεταμορφικό πεδίο τα παραδείγματα είναι πάρα πολλά. Ενδεικτικό στοιχείο της σχέσης ασβεσιπτικού και δολομιτικού μαρμάρου αποτελεί η εικόνα 2, της εργασίας του ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1978) από την Ικαρία, όπου το δολομιτικό μάρμαρο υπέρκειται μέσω τεκτονικής ασυνέχειας του ασβεσιπτικού.

Οι κύριες δολομιτικές εμφανίσεις της νήσου Νάξου βρίσκονται στο ανατολικό μέρος, όπου τα μεταμορφικά διαλύματα είχαν μικρότερη θερμοκρασία, σε αντίθεση με την κεντρική και δυτική περιοχή, όπου εμφανίζεται ο μιγματιπικός δόμος (JANSEN & SCHULING, 1976). Ο χώρος του αρχαίου λατομείου της Πάρου («πάριος λίθος» ή «λιχνίτης») είναι από τα σπουδαιότερα στοιχεία για την απόδειξη άμεσης χωρικής σχέσης της διατμητικής ζώνης εφελκυστικού χαρακτήρα και της παρουσίας εξαιρετικής ποιότητας μαρμάρου (Εικ. 12, 13). Φαινόμενα δολομιτίωσης και παρουσίας διάσπαρτης θειούχου μεταλλοφορίας εμφανίζονται στους



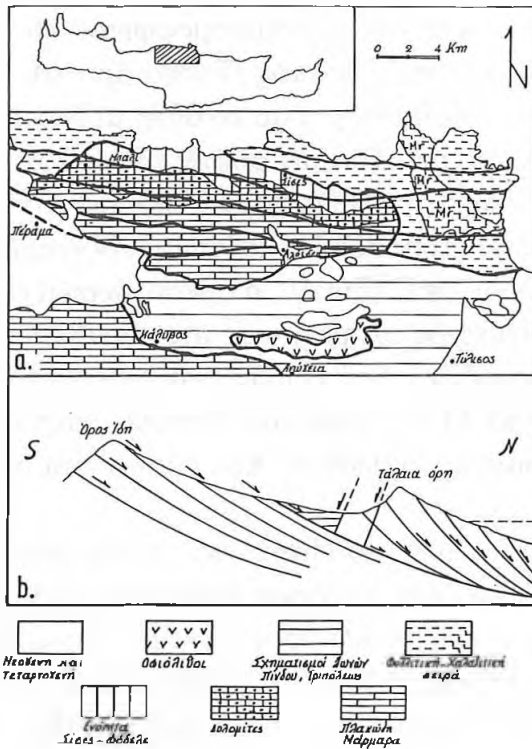
Εικ. 6: Διατμητική ζώνη με ελαφρά περιστραμμένες R ολισθητικές διαρρήξεις σε ασβεστίτικα μάρμαρα της περιοχής Γραμμένης /Δράμα (Φρέατιο μεταλλείου μαγγανομεταλλεύματος).

Fig. 6: Shear zone with slightly rotated R shear fractures in calcitic marbles of Grammeni area/Drama (open pit mine of manganese ore).



Εικ. 8: Δολομιτικό λατυποπαγές σε άνω τριαδικά ανθρακικά πετρώματα της σειράς Plattenkalk (περιοχή Σίδερο των δυτικών Ταλέων ορέων της κεντρικής Κρήτης). Η δημιουργία του συνδέεται γενετικά και χωρικά με οξειδωμένη συμπαγή μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη σε διατμηματική ζώνη (100°N).

Fig. 8: Dolomitic breccia in upper Triassic carbonate rocks of the Plattenkalk series (Sidero area, western Talea mountain, central Crete). Its formation is both genetically and spatially related to the oxidised massive pyrite mineralisation in a shear zone (100°N).

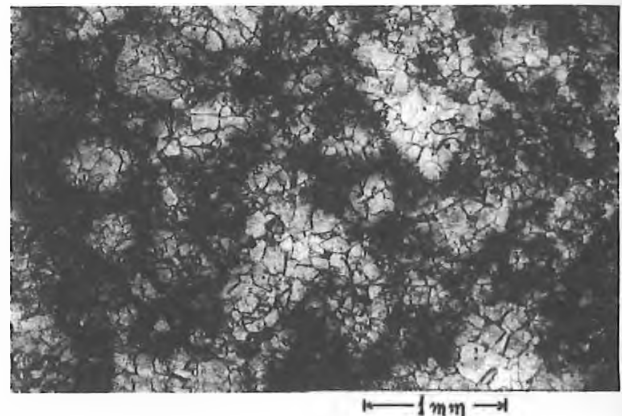


Εικ. 7α: Γεωλογικό σκαρίφημα της περιοχής των Ταλέων ορέων και του βορείου τμήματος του όρους Ίδη στη βορειοκεντρική Κρήτη.

Fig. 7a: Geological sketch-map of the areas of the Talea Mt and the northern part of Idi Mt, Northern-central Crete.

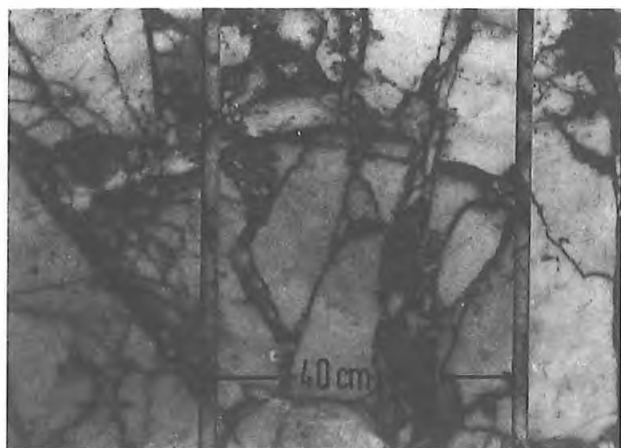
Εικ. 7β: Σχηματική τεκτονική τομή διερχόμενη από το όρος Ίδη και Τάλεια όρη, στην οποία δείχνονται η δομή ενός εμβρυακού πεδίου μυλονιτικών αποκολλήσεων (core complex system) και η αρχική φάση μιας δομής ημιάφρου (half graben).

Fig. 7b: Schematic tectonic profile crosscutting Idi Mt and Talea Mt. The Structure of an embryonic core complex system as well as the initial stage of a half graben formation are demonstrated.



Εικ. 9: Μικροφωτογραφία σε τεκτονικό λατυποπαγές της διατμητικής ζώνης (100°N), που διέρχεται 1 km περίπου βόρεια της περιοχής Αλίδες των Ταλέων ορέων Κρήτης. Δευτερογενώς δολομιτωμένο πέτρωμα, στο οποίο έχει διεισδύσει λεπτόκοκκος άνθρακας. Ο άνθρακας καταλαμβάνει διάχυτα μαζί με μικροσπαριτικό δολομίτη τον ενδιάμεσο χώρο των λατυπών (+nicols).

Fig. 9: Microphotograph of a tectonic breccia from the shear zone (100°N), approximately 1 km north of the Aloides area, Talea Mt. Crete. Secondarily dolomitised rock where fine-grained carbon has been introduced. Carbon together with microsparitic dolomite constitutes the matrix of breccia (+ nicols).



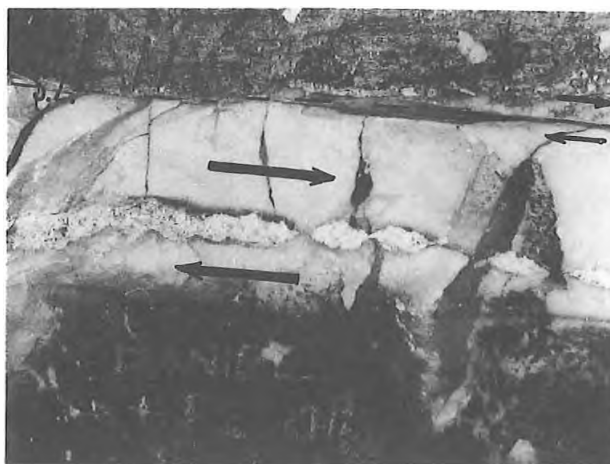
Εικ. 10: Λατυποπαγές μάρμαρο της σειράς Plattenkalk από τη μαρμαροφόρο περιοχή Αγίου Πέτρου της οροσειράς Πάρνονα/Πελοπόννησος. Οι λατύπες αποτελούνται από ασβεσίτη, το δε συνδετικό υλικό από δολομίτη, χαλαζία και άνθρακα λεπτομερώς κατανεμημένο, στον οποίο οφείλεται το μαύρο χρώμα.

Fig. 10: Marble breccia in the Plattenkalk series, from the marble-bearing area of Agios Petros of Parnon Mt/Peloponese. The breccia consist of calcite while the matrix is composed of dolomite, quartz and very fine-grained diffused carbon, that is responsible for the black colour.



Εικ. 11: (Ημι)Πλαστική παραμόρφωση ανθρακικών πετρωμάτων της σειράς Plattenkalk από τη μαρμαροφόρο περιοχή Καστάνιτσας της οροσειράς του Πάρνονα/Πελοπόννησος. Θραυσμένα και περιστραμμένα τμήματα δολομιτικών οριζόντων έχουν αποχωριστεί και περιστραφεί αντίθετα προς την έννοια της κυρίας ολίσθησης του πετρώματος μέσα από μια πλαστικά παραμορφωμένη ασβεσιτική θεμελιώδη μάζα.

Fig. 11: (Semi)Plastic deformation of carbonate rocks of the Plattenkalk series from the marble-bearing area of Kastanitsa of Parnon Mt/Peloponese. Fragmented and rotated parts of the dolomitic horizons have been separated and rotated in a sense opposite to the main shearing, within a plastically deformed calcitic matrix.



Εικ. 12: Σύνθετα boudinage (pull-apart δομές) σε δολομιτικό ορίζοντα κοντά στην οροφή του περιήρημου «Πάριου λίθου» («Λιχνίτης»), στο αρχαίο υπόγειο λατομείο μαρμάρου («Σπήλαιο Νυμφών») της νήσου Πάρου/Κυκλάδες. Τα boudins έχουν περιστραφεί δεξιόστροφα, κατά μήκος της διατμητικής ζώνης (S.Z.) που βρίσκεται στην οροφή του λευκού μαρμάρου.

Fig. 12: Pull-apart structures in a dolomite horizon near the roof of the famous «Parian rock» («Lichnitis»), from the underground marble quarry (Nymph Cave) in Paros Island/Cyclades. The boudins show a dextral rotation along the shear zone (S.Z.) which is located at the roof of the white marble.



Εικ. 13: Οροφή του κοπάσματος μαρμάρου «Λιχνίτης» αντιστοιχεί σε κατοπτρική επιφάνεια κανονικού ρήγματος μικρής κλίσεως, στην οποία φαίνονται οι γραμμές προστριβής και η σχετική κίνηση. Αρχαίο υπόγειο λατομείο («Σπήλαιο Νυμφών») στη νήσο Πάρο/Κυκλάδες.

Fig. 13: Roof of the marble deposit «Lichnitis» represented by the fault surface of a gently dipping normal fault, where the slickensides as well as the relative movement are visible. Ancient underground quarry («Nymph Cave») in Paros Island/Cyclades.

υπερκείμενους της ασυνέχειας σχηματισμούς.

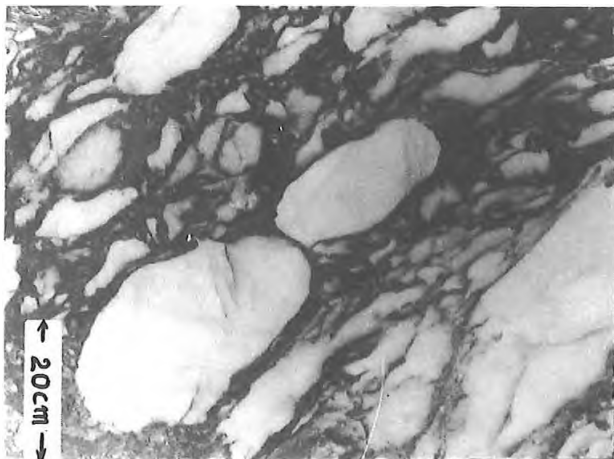
Τα πολύχρωμα παραμορφωμένα λατυποπαγή της Σκύρου (Εικ. 14) συνδέονται γενετικά με φαινόμενα ολίσθησης και έχουν άμεση χωρική σχέση με εμφανίσεις ασβεσιπικών και δολομιτικών μαρμάρων. Ανθρακικοί σχηματισμοί του ενδιάμεσου μεταμορφικού πεδίου με ανάλογα τεκτονικά και πετρογραφικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται και στην ηπειρωτική Ελλάδα (Αττική, Θεσσαλία και δυτική Μακεδονία).

Στο χώρο του εσωτερικού μεταμορφικού πεδίου παρατηρείται έντονη εξορυκτική δραστηριότητα μαρμάρου σε περιοχές του Ν. Σερρών, Ν. Δράμας, Ν. Καβάλας συμπεριλαμβανομένης και της νήσου Θάσου, όπου εμφανίζονται οι μεγάλοι ανθρακικοί όγκοι της ζώνης Ροδόπης. Οι πλέον εντυπωσιακές εμφανίσεις, από την πλευρά της χωρικής και γενετικής σχέσης δολομιτικών και ασβεσιπικών πετρωμάτων, βρίσκονται στη νήσο Θάσο και σε περιοχές του Νομού Δράμας. Οι δολομιτικοί σχηματισμοί των περιοχών Πηγών Αγγίτη, Βώλακα, Γρανίτη και Νικήσιανης Θάσου αντιπροσωπεύουν διατμητικές ζώνες εφελκυστικού χαρακτήρα, με έντονη πλαστική παραμόρφωση (παραμορφωμένα δολομιτικά λατυποπαγή). Νεώτερα όμως τεκτονικά φαινόμενα επαναδραστηριοποιούν ορισμένες από τις ασυνέχειες αυτές, έτσι ώστε στον ίδιο χώρο να εμφανίζεται μαζί με την πλαστική και η θραυσιγενής παραμόρφωση. Η διαδικασία αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τον υποβιβασμό της ποιότητας και τη μειωμένη αποληψιμότητα των μαρμάρων αυτών. Οι ενδιάμεσοι χώροι των διατμητικών ζωνών αντιστοιχούν με ασβεσιπικά μάρμαρα των περιοχών ταξιαρχών, Βαθύλακου Μοναστηρακίου και Λιβαδερού.

Θα ήταν μεγάλη παράληψη να μη γίνει αναφορά στα περίφημα μάρμαρα της βορειοδυτικής Ιταλίας, στο χώρο των Απουάνων Άλπεων (μάρμαρα της Karara). Η παρουσία οριζόντων με έντονα παραμορφωμένα λατυποπαγή (Calcare Carnoso) σε διατμητικές ζώνες, η ανώτερη τεκτονική θέση δολομιτικών μαρμάρων (Grezzoni) σε σχέση με τα ασβεσιπικά και ο τεκτονικός έλεγχος των μεταλλοφοριών του χώρου δικαιολογούν τον παραλληλισμό των στοιχείων αυτών με αυτά του ελληνικού χώρου και έναν μηχανισμό αρχικού ηπειρωτικού εφελκυσμού, που οδηγεί στη δημιουργία ενός πεδίου μυλονιτικών αποκολλήσεων στο μέσο Μειόκαινο (CARMIGNANI & KLIGFIELD, 1990).

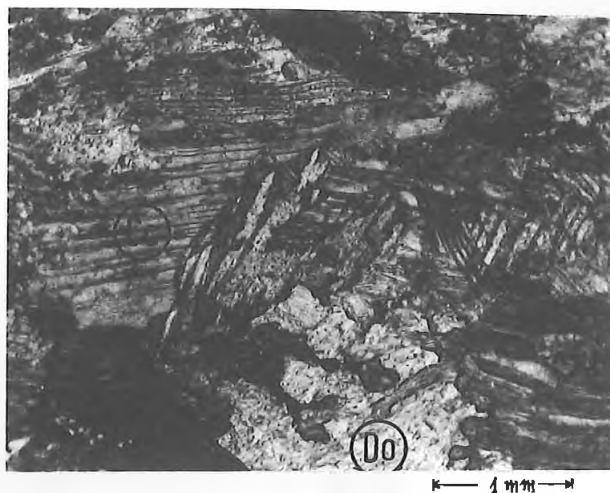
Εντυπωσιακό παράδειγμα κατακόρυφης διαφοροποίησης ανθρακικών σχηματισμών, με μετασωματικές διαδικασίες μέσω υδροθερμικών διαλυμάτων, αντιπροσωπεύει η Northern Graywacke zone στο χώρο των Ανατολικών Άλπεων (KIESL *et al.*, 1990). Οι MORTEANI & NEUGBAUER (1990), για να δικαιολογήσουν την παρουσία των Mg-ούχων ανθρακικών πετρωμάτων στους ανώτερους τεκτονικούς ορίζοντες, δέχονται μια ανάστροφη διευθέτηση των ισοθέρμων, που την αποδίδουν στη μεγάλη ταχύτητα των καλυμμάτων. Με το μοντέλο αυτό δικαιολογούνται τα πεδία σταθερότητας των ασβεσίτη, δολομίτη και μαγνησίτη στο διάγραμμα της Εικ. 5, δεν λαμβάνεται όμως υπ' όψιν η παρουσία ή μη πολλών ιόντων στα κυκλοφορούντα θερμικά διαλύματα, τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαλυτότητα των ανθρακικών ορυκτών του Ca και Mg. Η παρατηρούμενη στα μεταμορφικά πεδία θερμική αναστροφή οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στην τοποθέτηση τεκτονικών ενοτήτων πάνω σε ενότητες με χαμηλότερη μεταμόρφωση κατά τη διάρκεια του δεύτερου τεκτονομεταμορφικού σταδίου. Οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί του Νομού Δράμας αποτελούν ένα από τα πλέον σημαντικά παραδείγματα. Οι βορειότεροι σχηματισμοί επικάθονται στους λιγότερο μεταμορφωμένους σχηματισμούς που βρίσκονται νοτιότερα (ZACHOS & DEMADES, 1982).

Σαν μια ιδιαίτερη περίπτωση εμφάνισης δολομιτών με αρκετά καλές προδιαγραφές εξόρυξης θα πρέπει να αναφερθούν οι αμεταμόρφωτοι ανθρακικοί σχηματισμοί, οι οποίοι βρίσκονται



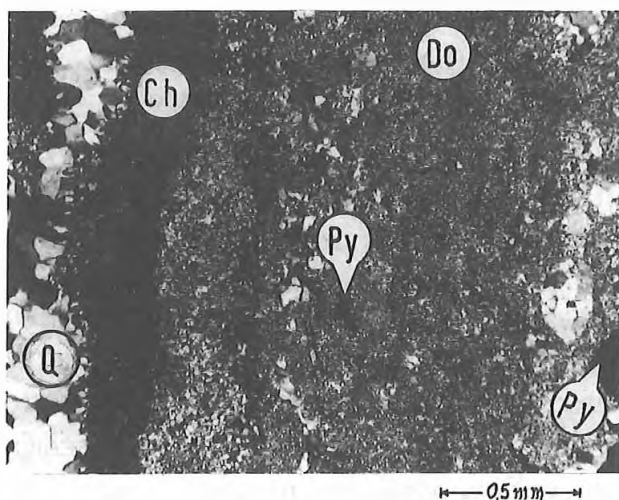
Εικ. 14: Πλαστικά παραμορφωμένο λατυποπαγές μάρμαρο της νήσου Σκύρου/Σποράδες.

Fig. 14: Marble breccia from Skyros island/Sporades, showing plastic deformation.



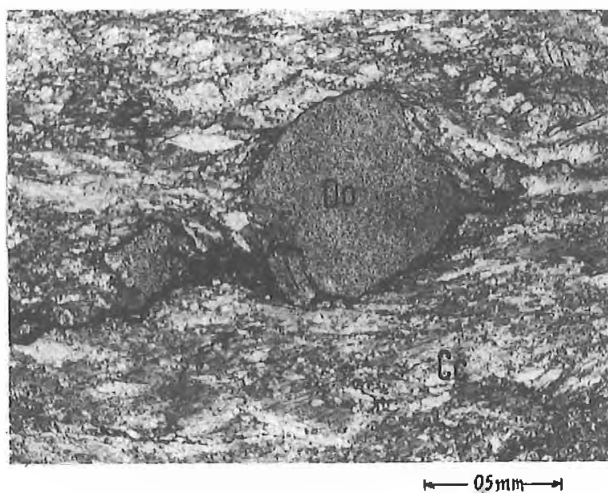
Εικ. 16: Μικροφωτογραφία έντονα ανακρυσταλλωμένου και πλαστικά παραμορφωμένου (κάμψη επιπέδων διδυμίας ασβεσίτη) αποδολομιτωμένου (Do) ασβεστολίθου με Megalodon της ζώνης «Τριπόλεως». Ο ασβεστόλιθος αυτός υπόκειται των πετρωμάτων Φωτ. 15. (Cc=ασβεσίτης, Do=υπολειμματικός δολομίτης) (+nicols).

Fig. 16: Microphotograph of an intensely recrystallized and plastically deformed (bending of twinning lamellae in calcite) dedolomitised (Do) limestone with Megalodon from «Tripolitza» zone. These limestone underlies the rocks of Fig. 15. (Cc=calcite, Do=residual dolomite crystal). (+nicols).



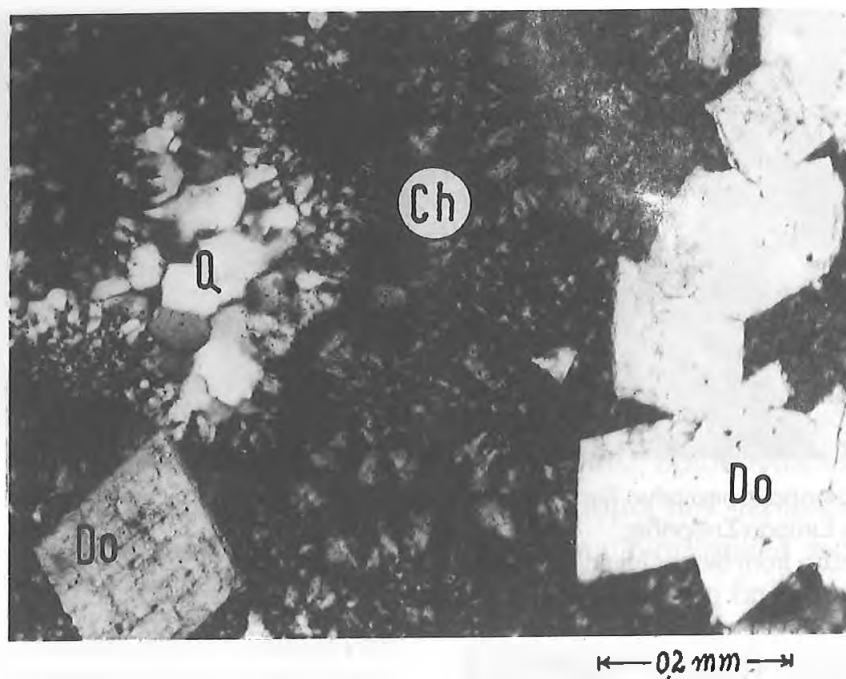
Εικ. 15: Μικροφωτογραφία σε έντονα πυριτωμένους και δολομιτωμένους στρωματολιθικούς ορίζοντες της ζώνης «Τριπόλεως» (κατώτερος στρωματολιθικός ορίζοντας), νότια της περιοχής του Αγίου Νικολάου Βοιών Λακωνίας/Πελοπόννησος. Οι σχηματισμοί αυτοί υπέρκεινται υποοριζόντιας τεκτονικής ασυνέχειας εφελκυστικού χαρακτήρα, τόσο πλαστικής (σ- και δ- δομές σε πορφυροκλάστες δολομίτη), όσο και θραυσιγενούς (ραουβάκες, τεκτονικά λατυποπαγή) παραμόρφωσης. (Q=χαλαζίας, Ch=χαλκηδόνιος, Py=σιδηροπυρίτης, Do=δολομίτης) (+nicols).

Fig. 15: Microphotograph of intensely silicified and dolomitised stromatolitic horizon in the «Tripolitza» zone (lower stromatolitic horizon) south of the Aghios Nikolaos Vion area, Lakonia/Peloponnes. These formations overlies a subhorizontal tectonic discontinuity of extensional character, with plastic (σ - and δ - structures in dolomite porphyroclast) and brittle (rauhwacke, tectonic breccia) deformation. (Q=quartz, Ch=chalcedone, Py=pyrite, D=dolomite) (+nicols).



Εικ. 17: Αποχωρισμένα κρυσταλλικά συσσωματώματα δολομίτη περιβάλλονται από μια πλαστικά παραμορφωμένη και δυναμικά ανακρυσταλλωμένη θεμελειώδη ασβεσπιτική μάζα. Μάρμαρο της περιοχής Ζάστενης, κεντρική Ελλάδα (+nicols).

Fig. 17: Separated crystalline aggregates of dolomite surrounded by a ductile deformed and dynamically recrystallized calcitic matrix. Marble from Zasteni area, central Greece. (+nicols).



Εικ. 18: Μικροφωτογραφία σε υλικό πλήρωσης ρήγματος αποκόλλησης σε μολασσικούς σχηματισμούς της νήσου Λέρου, Δωδεκάνησος (Q=χαλαζίας, Ch=χαλκηδόνιος, Do=δολομίτης). (+ nicols).

Fig. 18: Microphotograph of a detachment fault-filling material in molassic formation of Leros island, Dodecanese, (Q=quartz, Ch=chalcedone, Do=dolomite). (+ nicols)

σε άμεση χωρική σχέση με μεταμορφωμένους σχηματισμούς, κατά τη διάρκεια της εφελκυστικής τεκτονικής και των θερμικών φαινομένων που τη συνοδεύουν. Σαν ένα παράδειγμα θα μπορούσαν να αναφερθούν σχηματισμοί της ζώνης Τριπόλεως, οι οποίοι επικάθονται της Φυλλιπικής-Χαλαζιτικής σειράς ή ακόμη και της σειράς Plattenkalk, την περίοδο της εξέλιξης του τελευταίου τεκτονικού σταδίου των ενοτήτων αυτών. Στην ανατολική περιοχή της κεντρικής και νότιας Πελοποννήσου εμφανίζονται με μεγάλη συχνότητα δολομιτικοί σχηματισμοί, που συνδέονται χωρικά με οξειδία και θειούχες ενώσεις Fe, Pb και Zn, με πυριτώση, λατυποποίηση και με τεκτονικές ασυνέχειες μικρής και μεγάλης γωνίας (ΒΒΔ-διεύθυνσης, εφελκυστικού χαρακτήρα). Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρούνται ασυνέχειες μικρής γωνίας με έντονη ημιπλαστική παραμόρφωση, με δ- και σ- δομές (PASSHIER & SIMPSON, 1986), των οποίων οι πορφυροκλάστες αντιστοιχούν σε δολομιτικό υλικό. Στην περιοχή νότια του Αγίου Νικολάου Βοιών της ΝΑ-Λακωνίας εμφανίζονται, κάτω από μια τέτοια τεκτονική ασυνέχεια, ασβεσιτικοί ανθρακικοί σχηματισμοί με Megalodon και πάνω από αυτήν, πυριτωμένοι δολομιτικοί σχηματισμοί με μικρές εμφανίσεις σιδηροπυρίτη (Εικ. 15, 16). Φαινόμενα, όπως αποδολομίτιση και δυναμική ανακρυστάλλωση του ασβεστίτη (Εικ. 16), δίνουν στους υποκείμενους της ασυνέχειας σχηματισμούς, χαρακτήρες όμοιους με εκείνους των ασβεσιτικών μαρμάρων των μεταμορφωμένων ενοτήτων (Εικ. 17). Στην περίπτωση αυτή οι ανθρακικοί σχηματισμοί της ζώνης Τριπόλεως αντιπροσωπεύουν τους σχηματισμούς μιας ανώτερης «πλάκας» (upper plate) σε ένα έστω εμβρυακό πεδίο μυλονιτικών αποκολλήσεων.

Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται στην περιοχή Μούντρου του Νομού Ρεθύμνης Κρήτης, όπου η διατμητική ζώνη διέρχεται από άνω κρητιδικούς σχηματισμούς της ζώνης Τριπόλεως. Στο χώρο αυτό λαμβάνει έντονη εξορυκτική δραστηριότητα διακοσμητικών πετρωμάτων, με καλές προδιαγραφές, τόσο των άνω της ασυνέχειας δολομιτικών, όσο και των κάτω αυτής ασβεσιτικών σχηματισμών.

Η παρουσία υποοριζοντίων και μεγάλης κλίσεως τεκτονικών ασυνεχειών στους μολασσικούς σχηματισμούς των μεταμορφικών πεδίων με συνοδά φυσικοχημικά φαινόμενα ανάλογα με αυτά που περιγράφονται στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς, αποτελούν σημαντικά στοιχεία για τη μεγαλύτερη προσέγγιση της εφελκυστικής παραμόρφωσης, όσο και της διαδικασίας δημιουργίας κοιτασμάτων μαρμάρου και δολομιτών σε ένα μεταμορφικό πεδίο. Ενδιαφέροντα παραδείγματα προσφέρουν οι μολασσικοί σχηματισμοί των νήσων Πάρου, Νάξου και Λέρου (Εικ. 18) του ενδιάμεσου ελληνικού μεταμορφικού πεδίου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι όροι «δολομίτης» και «μάρμαρο» χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή κυρίως με την κοιτασματολογική τους έννοια. Οι πετρολογικοί αυτοί τύποι, που απαντούν στα μεταμορφικά πεδία, συνδέονται μεταξύ τους γενετικά και χωρικά. Η γένεσή τους κατέχει μια ορισμένη θέση σε ένα μεταμορφικό κύκλο, η οποία συμπίπτει χρονικά με το τελευταίο στάδιό του. Το στάδιο αυτό χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή ως μηδενική πίεση, για το λόγο αυτό ονομάζεται θερμική μεταμόρφωση. Οι συνθήκες που χαρακτηρίζουν το τελευταίο μεταμορφικό στάδιο είναι ανάλογες της έντασης της κύριας μεταμόρφωσης σε ένα μεταμορφικό πεδίο.

Τα φυσικοχημικά φαινόμενα που εκτυλίσσονται κατά το στάδιο αυτό χαρακτηρίζονται από μια πολυπλοκότητα, η οποία οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Οι πλέον κύριοι από αυτούς είναι η ηλικία και η ένταση της κύριας μεταμόρφωσης καθώς δε το πλήθος των πετρολογικών τύπων σε ένα μεταμορφικό πεδίο.

Το σπουδαιότερο φαινόμενο που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της θερμικής μεταμόρφωσης, είναι η κινητοποίηση μεγάλων μαζών υδροθερμικών διαλυμάτων λόγω της τεκτονικής αποφόρτισης βαθυτέρων τεκτονικών χώρων. Η κινητοποίηση αυτή δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τον σε ορισμένους χώρους εμπλουτισμό σε χημικές ενώσεις οικονομικής σημασίας.

Η σύνθεση και το εύρος της διακύμανσης της θερμοκρασίας των διαλυμάτων αυτών είναι οι πλέον κατάλληλες προϋποθέσεις για τη δημιουργία κοιτασμάτων μαρμάρου και δολομίτη, όταν αυτά διέρχονται από ανθρακικά πετρώματα.

Οι διαδικασίες της κοιτασματογένεσης υποβοηθούνται από σύγχρονα τεκτονικά φαινόμενα με έναν μηχανισμό αρχικού ηπειρωτικού εφελκυσμού, που οδηγεί στη δημιουργία ενός πεδίου μυλονιτικών αποκολλήσεων. Η τεκτονική εκφράζεται με μικρής και μεγάλης γωνίας ρήγματα αποκόλλησης, πλαστικής, θραυσιγενούς ή και ενδιάμεσης παραμόρφωσης.

Τα φαινόμενα της κοιτασματογένεσης μαρμάρων και δολομιτών παρατηρούνται τόσο στα τρία μεταμορφικά πεδία των Ελληνίδων, όσο και σε άλλα του ευρύτερου αλπικού χώρου. Σημαντικό παράδειγμα προσφέρει η μαρμαροφόρος επαρχία της Carara των Απουάνων Άλπεων.

Κοιτασματογένεση «μαρμάρου» και επιγενετικού δολομίτη παρατηρείται πολλές φορές σε μη μεταμορφωμένα ανθρακικά πετρώματα, όταν βρίσκονται σε άμεση χωρική σχέση με σχηματισμούς μεταμορφωμένων ενοτήτων κατά τη διάρκεια του σταδίου της εφελκυστικής τεκτονικής και των θερμικών φαινομένων που τη συνοδεύουν. Στην περίπτωση αυτή τα μη μεταμορφωμένα πετρώματα αντιπροσωπεύουν τους σχηματισμούς μιας ανώτερης «πλάκας» (upper plate) σε ένα πεδίο μυλονιτικών αποκολλήσεων (core complex system).



BIBLIOGRAPHY

- AVIGAD, D. & GARFUNKEL, Z., 1989. Low-angle faults above and below a blueschist belt - Tinos Island, Cyclades, Greece. *Terra Nova*, 1, 182-187.
- BEHR, H., 1978. Subfluenz-Prozesse im Grundgebirgs-Stockwerk Mitteleuropas. *Z. dt. geol. Ges.* 129, 283-318.
- BUICK, I.S., 1991. The late Alpine evolution of an extensional shear zone, Naxos, Greece. *Journ. Geol. Soc. London*, 148, 93-103.
- CARMIGNANI, L. & KLIGFIELD, R., 1990. Crustal extension in Northern Apennines: The transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex. *Tectonics*, 9/6, 1275-1303.
- DABITZIAS, S.G., 1980. Petrology and genesis of the Vavdos cryptocrystalline magnesite deposits, Chalkidiki Peninsula, northern Greece. *Econ. Geol.*, 75, 1138-1151.
- DABITZIAS, S.G., 1985/86. Reaction of forsterite with H₂O-CO₂-0.5 M NaCl mixtures and the composition of the fluid phase at 250° and 310° C and 1 kb pressure. Implications for the origin of greek magnesite deposits. *Ann. geol. Pays Hellèn.*, 33/1, 199-219.
- ENGLAND, P.C. & THOMPSON, A.B., 1984. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism I. Heat Transfer during the Evolution of Regions of Thickened Continental Crust. *Journ. Petrol.*, 25/4, 894-928.
- FAURE, M., BONNEAU, M. & PONS, J., 1991. Ductile deformation and syntectonic granite emplacement during the late Miocene extension of the Aegea (Greece). *Bull. Soc. géol. France*. 162/1, 3-11.
- GEROLYMATOS, I., 1989. Geodynamic evolution of the Rhodope zone in Drama area, Greece. Progress report for the IGME-EEC Project, MAIM-0049-GR.
- HEINRICH, C.A., 1982. Kyanite-eclogite to amphibolite facies evolution of hydrous mafic and pelitic rocks, Adula Nappe, Central Alps. *Contrib. Miner. Petr.*, 81, 30-38.
- HOLLAND, H.D. & MALININ, S.D., 1979. The solubility and Occurrence of Non-Ore Mineral. In H.L. Barnes (ed.): *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. John Wiley and Sons, New York, 461-508.
- JANSEN, J.B.H. & SCHUILING, R.D., 1976. Metamorphism on Naxos: Petrology and geothermal gradients. *Amer. J. Sci.* 267, 1225-1253.
- JOHANNES, W., 1970. Zur Entstehung von Magnesit-Vorkommen. *N. Jb. Min. Abh.* 113/3, 274-325.
- KERRICH, R., 1988. Detachment zones of Cordilleran metamorphic core complexes: thermal, fluid and metasomatic regimes. *Geol. Rdsch.*, 77/1, 157-182.
- KERRICH, R. & REHRIG, 1987. Fluid motion associated with Tertiary mylonitization and detachment faulting: 180/160 evidence from the Picacho metamorphic core complex, Arizona. *Geology*, 15, 58-62.
- KIESL, W., KOEBERL, C. & KÖRNER, W., 1990. Geochemistry of magnesites and dolomites at the Oberdorf/Laming (Austria) deposit and implications for their origin. *Geol. Rdsch.* 79/2, 327-335.
- LE PICHON, X. & ANGELIER, I., 1981. The Aegean Sea. *Phil. Trans. R. Soc. London Sr. (A)* 300, 357-382.
- LISTER, G.S., BANGA, G. & FEENSTRA, A., 1984. Metamorphic core complexes of Cordilleran type in the Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Geology*, 12, 221-225.
- LISTER, G.S. & DAVIS, G.A., 1989. The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. *Journ. Struct. Geol.*, 11, 65-94.
- MORTEANI, G. & NEUGEBAUER, H., 1990. Chemical and tectonic controls on the formation of sparry magnesite deposits - the deposits of the northern Greywacke Zone (Austria). *Geol. Rdsch.*, 79/2, 337-344.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ι.Δ., 1978. Συμβολή εις την γεωλογία της νήσου Ικαρίας (Αιγαίον πέλαγος). *Ann. géol. Pays Hellèn.*, 29 (1977), 1-28.
- PAPANIKOLAOU, D.I., 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a cinematic interpretation. In J.E. Dixon & A.H.F. Robertson (eds.): *Geological evolution of the eastern Mediterranean*, Geol. Soc. London Spec. Publ. 17. 551-561.
- PASSHIER, C.W. & SIMPSON, C., 1986. Porphyroclast systems as kinematic indicators. *Journ. Struct. Geol.*, 8/2, 831-843.

- PLATT, J., 1986. Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 97, 1037-1053.
- SCHENK, P., HÖLL, R., IVANOVA, G.F., NAUMOV, V.B. & KOPNEVA, L.A., 1990. Fluid inclusion Studies of the Felbertal scheelite deposit. *Geol. Rdsch.*, 79/2, 451-466.
- SPEAR, F.S., SELVERSTONE, J., HICKMOTT, D., CROWLEY, P. & HODGES, K.V., 1984. P-T paths from garnet zoning: A new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terranes. *Geology*, 12, 87-90.
- THOMPSON, A.B. & ENGLAND, P.C., 1984. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism. II. Their Inference and Interpretation using Mineral Assemblages in Metamorphic Rocks. *Journ. Petrol.*, 25/4, 929-955.
- WILKINS, J.J., BEANE, R.E. & HEIDRICK, T.L., 1986. Mineralization related to detachment faults: A model. In B. Beatty & P.A.K. Wilkinson (eds): *Frontiers in geology and ore deposits of Arizona and the Southwest*, Arizona Geological Society Digest 16, 108-117.
- ZACHOS, S. & DEMADES, E., 1983. The geotectonic position of the Skaloti-Echinos granite and its relationship to the metamorphic formation of Greek Western and Central Rhodope. *Geol. Balcanica*. 13, 17-24.

