

## ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΒΑΡΝΑΒΑ-ΡΑΜΝΟΥΝΤΑΣ, ΒΑ. ΑΤΤΙΚΗ

Σ. Γ. Λόζιος\*

ΣΥΝΟΨΗ

Η μελέτη των μεσοσκοπικής και μικροσκοπικής κλίμακας δομών στα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής Βαρνάβα-Ραμνούντας Αττικής, απέδειξε ότι ο συνολικός τεκτονικός ιστός διαμορφώνεται κάτω από την επίδραση τριών κύριων παραμορφωτικών φάσεων. Η πρώτη από αυτές συνοδεύεται από ένα αντίστοιχο μεταμορφικό γεγονός, αντιπροσωπευτικό του βαθμού μεταμόρφωσης της πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Οι αποκλειστικά διαμπερείς δομές που δημιουργούνται στη φάση αυτή είναι αντιπροσωπευτικές του κατώτερου τεκτονικού ορόφου. Αντίθετα η δεύτερη παραμορφωτική φάση έδωσε δομές που χαρακτηρίζουν τον ενδιάμεσο τεκτονικό όροφο. Η τρίτη φάση έλαβε χώρα σε συνθήκες ανώτερου τεκτονικού ορόφου και αφορά τα ρήγματα και τις διακλάσεις. Από κινηματική άποψη, οι δομές της πρώτης φάσης είναι δυνατό να ερμηνευθούν σαν α-δομές και της δεύτερης σαν β-δομές.

### ABSTRACT

The structural analysis of the metamorphic rocks of the Varnavas-Ramnounda area (NE Attica), showed that the fabric is the result of three deformation phases. The first is accompanied by a metamorphic event of green schist facies. Intense penetrative structures have been created during this phase, characterizing the lower tectonic level. The second and the third deformation phases comprise structures corresponding to the intermediate and upper tectonic level respectively. From the kinematic view point, the structures of the first phase may be interpreted as a-structures and those of the second phase as b-structures.

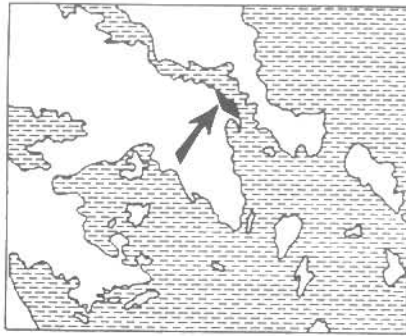
### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής ανήκει στην ενδιάμεση τεκτονομεταμορφική ζώνη των Ελληνίδων (PAPANIKOLAOU 1986a, 1985) και αποτελεί ένα μικρό τμήμα της παλαιότερα ονομαζόμενης "Αττικοκυκλαδικής μάζας" για την οποία σήμερα έχει αποδειχθεί ότι δεν αποτελεί μία ενιαία ενότητα, αλλά αποτελείται από ένα σύνολο επί μέρους ενότητων κυρίως αλπικής ηλικίας (MARINOS and PETRASCHECK 1956, PAPANIKOLAOU 1976, 1978, 1979, 1985, 1986, KATSIKATSOS 1977, 1986, CLEMENT 1983, κ.α.)

Η πολυπλοκότητα της δομής που παρουσιάζει η Αττική έγινε ήδη αντιληπτή από τον LEPSIUS (1983), που στην ουσία είναι ο πρώτος ερευνητής που ασχολήθηκε συστηματικά με την γεωλογία της περιοχής αυτής. Από τότε μέχρι σήμερα ένα πλήθος ερευνητών έχει μελετήσει την γεωλογική δομή της Αττικής διατυπώνοντας διάφορες απόψεις, καμία όμως από αυτές δεν αποτελεί μέχρι σήμερα πειστική και αποδεκτή πρόταση για το πρόβλημα αυτό. Εται ερωτήματα όπως το "από πόσες και ποιές γεωτεκτονικές ενότητες αποτελείται η Αττική;", "ποιά η σχέση μεταξύ τους;", "ποιά η θέση τους στην παλαιογεωγραφική οργάνωση της Τηθύος;", και "ποιός ο ρόλος τους στην εξέλιξη των Ελληνίδων;", παραμένουν ακόμη αναπάντητα.

### S.G. LOZIOS - Observations on the minor structures of the metamorphic rocks of Varnavas-Ramnounda area (NE Attica)

\*Γεωλογικό τμήμα Παιδείας, Φιλοσοφική Σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος", Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου, 157 84, Αθήνα.



Εικ. 1. Γεωγραφική θέση της περιοχής  
Fig. 1. The study area.

(PARADEAS 1969, 1973, 1986), μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για σχηματισμούς αλπικής ηλικίας.

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να δοθεί μία πρώτη περιγραφή των διαδοχικών γεγονότων της συνεχούς παραμόρφωσης, αυτών δηλαδή που σχετίζονται με τις πτυχογόνες παραμορφωτικές φάσεις και την δημιουργία διαμπερών δομών, κάτω από το πρίσμα των πιο πρόσφατων μεθόδων τεκτονικής ανάλυσης.

Σ' αυτή τη φάση της μελέτης, αφ' ενός μεν οι δομές που αναλύθηκαν ανήκουν στην μεσοσκοπική και μικροσκοπική κλίμακα παρατήρησης, αφ' ετέρου δε ο προσανατολισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των πτυχογόνων παραμορφωτικών φάσεων παρουσιάζεται ομοιογενής στα στενά όρια της περιοχής που μελετήθηκε. Η σχέση των μικροδομών αυτών με τις δομές μεγάλης κλίμακας, τόσο στη στενή όσο και στην ευρύτερη περιοχή, και οι ανομοιογένειες και δυσαρμονίες που παρατηρούνται στην περιοχή της ΒΑ αλλά και της ευρύτερης Αττικής, αποτελούν αντικείμενα έρευνας που βρίσκεται σε εξέλιξη.

## ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Η πρώτη συστηματική μελέτη για την γεωλογία της ευρύτερης περιοχής είναι αυτή του LEPSIUS (1893), που καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Αττικής με όριο προς βορρά την περιοχή Διονύσου-Νέας Μάκρης στην βόρεια απόληξη του όρους της Πεντέλης. Η στρωματογραφική διάρθρωση που έδωσε για την Αττική είναι λίγο-πολύ γνωστή και ακόμη και σήμερα είναι εν μέρει αποδεκτή από πολλούς ερευνητές. Σχετικά με την τεκτονική, ο Lepsius διακρίνει τρεις διευθύνσεις αξόνων πτυχών για την περιοχή του Πεντελικού, που από τις παλαιότερες προς τις νεώτερες είναι NE-SW, NW-SE και NNE-SSW.

Ο KOBER (1929), ανασκευάζει και συμπληρώνει εν μέρει το σχήμα του Lepsius, ενώ ο TRIKKALINOS (1940, 1950, 1955, 1958), επισημαίνει για πρώτη φορά ότι η στρωματογραφική διάρθρωση που έδωσαν οι προηγούμενοι ερευνητές δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, δεδομένου ότι παρατηρείται μία πολλαπλή εναλλαγή μαρμάρων και σχιστολίθων, που σχηματίζουν άλλοτε εκτεταμένα στρώματα και άλλοτε φακούς ποικίλου πάχους.

Ο SINDWOSKI (1948), διακρίνει δύο συστήματα αξόνων πτυχών για την περιοχή, ένα αρχαιότερο με διεύθυνση NE-SW και ένα νεώτερο με διεύθυνση NNE-SSW.

Οι MARINOS και PETRASCHECK (1956), διαχωρίζουν δύο ενότητες για την πε-

ριοχή που μελετήθηκε (Εικ. 1), καλύπτει το βόρειο-βορειοανατολικό τμήμα της Αττικής όπου εμφανίζονται τόσο η αλλόχθονη ενότητα του Αλμυροπόταμου όσο και η σχετικά αυτόχθονη ενότητα της Αττικής (KATSIKATSOS 1976).

Αποτελείται κυρίως από σχιστολίθους, γνεύσιους, γνευσιοσχιστολίθους, σιπολινομάρμαρα και μάρμαρα. Σε ελάχιστες θέσεις (πχ Βαρνάβας, Τεροκορυφή) εμφανίζονται και σερπεντινίτες, με την μορφή τεκτονικών σφηνών μέσα στα πετρώματα της περιοχής, παραμορφωμένοι μαζί με αυτά. Η παρουσία απολιθωμάτων (Κωνόδοντα, *Nerinea*, (χνη Ρουδιστών) στο νότιο άκρο της περιοχής που μελετήθηκε αλλά και στην ευρύτερη περιοχή

ριοχή της νότιας Αττικής, μία αυτόχθονη και μία αλλόχθονη, αλπικές και οι δύο σύμφωνα με απολιθώματα που βρήκαν τόσο οι ίδιοι όσο και άλλοι ερευνητές.

Ο PARASKEVOPOULOS (1956, 1957), μετά από σχετικές πετρολογικές μελέτες αποδεικνύει ότι οι γνεύσιοι του πεντελικού προέρχονται από ιζηματογενή αργιλικά πετρώματα και δεν αντιπροσωπεύουν γρανιτικές διεισδύσεις όπως είχε δεχθεί ο COBER (1929).

Οι MARIOLAKOS (1971, 1972), MARIOLAKOS and PAPANIKOLAOU (1973) και MARIOLAKOS et al (1977), επισημαίνουν την ανάγκη της αναθεώρησης της στρωματογραφικής δομής της Αττικής και εφαρμόζοντας για πρώτη φορά τις πιο πρόσφατες για την εποχή μεθόδους τεκτονικής ανάλυσης για την περιοχή του Πεντελικού αναφέρουν την ύπαρξη τριών διευθύνσεων αξόνων πτυχών. Ο αρχαιότερος έχει διεύθυνση NE-SW συνοδεύεται από σχιστότητα κατ' αξονικό επίπεδο και γράμμωση από διατομή στρώσης/σχιστότητας παράλληλη με τους άξονες των πτυχών. Ο αμέσως νεώτερος άξονας έχει διεύθυνση NW-SE, χαρακτηρίζεται κυρίως παράλληλες ανοικτές πτυχές και συνοδεύεται από γράμμωση. Εμφανίζεται επίσης ένας τρίτος άξονας με διεύθυνση N-S για τον οποίο δεν είναι γνωστή η σχετική του ηλικία με τους υπόλοιπους, καθώς και μία γράμμωση από διατομή ολισθοδιατημητικού σχισμού (strain-slip cleavage) και στρώσης της οποίας η διεύθυνση (ENE-WSW), δεν διαπιστώνεται και σαν άξονας πτυχών, όπως αυτό συμβαίνει στην περιοχή του Υμηττού.

Ο PARADEAS (1969, 1973, 1986, 1987) αναφέρει ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα της βορειοανατολικής Αττικής αποτελούν πλευρική μετάβαση των αμεταμόρφωτων σχηματισμών της Πάρνηθας και μάλιστα παρουσιάζουν κοινή τεκτονική εξέλιξη. Η παλαιότερη ηλικία που αναφέρει για τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς είναι αυτή του Προ-Μέσου Λιθανθρακοφόρου. Οι απόψεις αυτές δεν μπορούν πλέον να είναι παραδεκτές, αφ' ενός μεν γιατί για την περιοχή της Πάρνηθας έχει αποδειχθεί (PAPANIKOLAOU and BAUD 1982, ΣΙΔΕΡΗΣ 1986), ότι υπάρχει ένας Ανω Παλαιοζωϊκός-Κάτω Τριαδικός κλαστικός σχηματισμός που περιέχει ρηξιτεμάχη Περμικών ή παλαιότερων ασβεστολίθων και μεταβαίνει κανονικά στα ανθρακικά ιζήματα του Μέσου Τριαδικού, αφ' ετέρου γιατί μία αμεταμόρφωτη και μία μεταμορφωμένη ενότητα είναι αδύνατον να παρουσιάζουν κοινή παραμόρφωση και τεκτονική εξέλιξη αφού η "πορεία" που ακολουθούν στη διαδικασία της ορογένεσης δεν είναι ίδια. Ο ίδιος ερευνητής, σχετικά με τους άξονες των πτυχών που παρατηρούνται στην περιοχή δέχεται ότι έχουμε κάποιες Βαρίσκιες δομές (πτυχές ΒΑ-ΝΔ και κατακλάσεις ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ), κάποιες αλπικές (πτυχές με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ από τις παλαιότερες προς τις νεώτερες), και τέλος κάποιες Ανω Μειοκαινικές-Κάτω Πλειοκαινικές με πτυχές διεύθυνσης N-S.

Ο ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ (1976, 1977) διαχωρίζει στην βορειοανατολική Αττική δύο ενότητες: i) την αυτόχθονη ενότητα της Αττικής που έχει επηρεασθεί από την παλαιοαλπική ορογένεση και άρα ανήκει στις εσωτερικές Ελληνίδες και ii) την αλλόχθονη ενότητα του Αλμυροπόταμου που αποτελεί συνέχεια του τεκτονικού παράθουρου του Ολύμπου, που είναι αντίστοιχο με την ενότητα της Τρίπολης (FLEURY & GODFRIAUX 1975), και άρα ανήκει στις εξωτερικές Ελληνίδες. Οι ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ et al (1986) ανασκευάζουν εν μέρει την άποψη αυτή δεχόμενοι πλέον ότι παρά τις λιθοστρωματογραφικές διαφορές τους, τόσο η ενότητα Αλμυροπόταμου όσο και της Αττικής είναι ομόλογες ενότητες, ανήκουν στις εξωτερικές Ελληνίδες και αποτελούν την νότια απόληξη των ενοτήτων Ολύμπου-Όσσας και Κρανιάς-Ελασσώνας.

Οι ΔΟΥΝΑΣ et al (1978, 1979, 1980) μετά από γεωτρήσεις που έγιναν με αφορμή κάποια υδρογεωλογική έρευνα στην περιοχή του Καλάμου-Ορωπού, ανασκευάζουν, τουλάχιστον για την περιοχή αυτή, την μέχρι τώρα επικρατούσα αντίληψη ότι, όπως στην περιοχή της κεντρικής Εύβοιας έτσι και στην βορειοανατολική Αττική τα αμεταμόρφωτα πετρώματα της ενότητας Ανατολικής Ελλάδας είναι επωθημένα πάνω στα μεταμορφω-

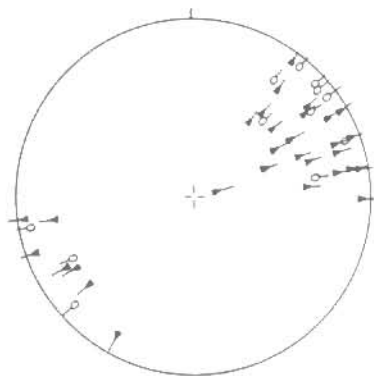
μένα, τα οποία όμως βρήκαν να υπέρκεινται με τεκτονική επαφή των Ιουρασικών ασβεστολίθων της Πάρνηθας.

Ο CLEMENT (1962), διακρίνει στην περιοχή τρεις ενότητες. Την ενότητα Μαραθώνα, με χαρακτήρες αντίστοιχους της Πελαγονικής, και τις ενότητες Εκάλης και Πεντελικού άγνωστης ένταξης. Και οι τρεις ενότητες παρουσιάζουν μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης με ίδιες ή παραπλήσιες παραγενέσεις. Διακρίνονται τρεις παραμορφωτικές φάσεις. Η πρώτη δίνει ισοκλινείς πτυχές με σχιστότητα κατ' αξονικό επίπεδο και είναι σύγχρονη της μεταμόρφωσης. Η διεύθυνση των αξόνων είναι από 105°-130°. Η δεύτερη δίνει κωνικές πτυχές με όχι καλά ανεπτυγμένη σχιστότητα και διεύθυνση 275-290°. Η τρίτη δίνει ρήγματα, διακλάσεις και πολύ ανοικτές πτυχές από 210-220°.

Τέλος για την ευρύτερη περιοχή της Αττικοκυκλαδικής μάζας έχουν γίνει αρκετές λεπτομερείς τεκτονικές αναλύσεις, κυρίως στα νησιά του Αιγαίου όπου διαχωρίζεται ένας διαφορετικός για κάθε περίπτωση αριθμός παραμορφωτικών φάσεων (PAPANIKOLAΟΥ 1976, 1977, 1978a, 1979, 1980a,b, BONNEAU et al 1978, 1980, FYTROLAKIS and PAPANIKOLAΟΥ 1981, BAVAY and ROMAIN-BAVAY 1980, GOURNELLOS 1981, SOWA 1985). Ασχέτα με τον αριθμό των παραμορφωτικών φάσεων και των μεταμορφικών γεγονότων που τις συνοδεύουν και περιγράφονται σε κάθε περιοχή, εμφανίζεται παντού τουλάχιστον μία ή και περισσότερες παραμορφωτικές φάσεις, συμμεταμορφικές με την παλαιότερη (πρώτη) φάση μεταμόρφωσης, με προσανατολισμό δομής από ENE-WSW έως N-S (ανάλογα με την θέση της περιοχής προς το τόξο), και μία τελευταία παραμορφωτική φάση που δεν συνοδεύεται από μεταμόρφωση και έχει γεωμετρία όμοια με αυτή του σύγχρονου Ελληνικού τόξου (PAPANIKOLAΟΥ, 1987). Η παλαιότερη φάση από κινηματική άποψη αντιπροσωπεύει τις α-δομές (εγκάρσιες προς το τόξο), ενώ η νεώτερη τις β- (παράλληλες με αυτό), όπου άσχετα με τους μηχανισμούς που τις δημιουργούν φαίνεται ότι ο συσχετισμός μεταξύ τους οδηγεί στο συμπέρασμα της ταυτόχρονης δημιουργίας α-και β-δομών σε διαφορετικούς τεκτονικούς ορόφους (PAPANIKOLAΟΥ 1981, 1987).

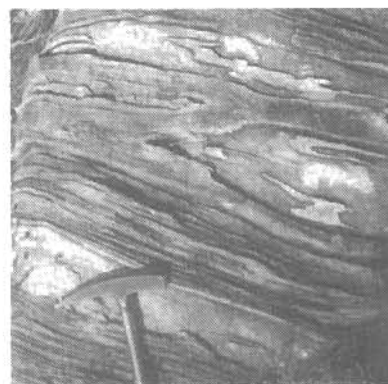
### ΠΡΩΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

Τα στοιχεία-μικροδομές που δημιουργούν τον τεκτονικό ιστό της πρώτης ( $D_1$ ) παραμορφωτικής φάσης, είναι αποκλειστικά διαμπερείς δομές (penetrative structures), μέσα στα πλαίσια της συνεχούς παραμόρφωσης και αφορούν κυρίως άξονες μικροπτυχών,



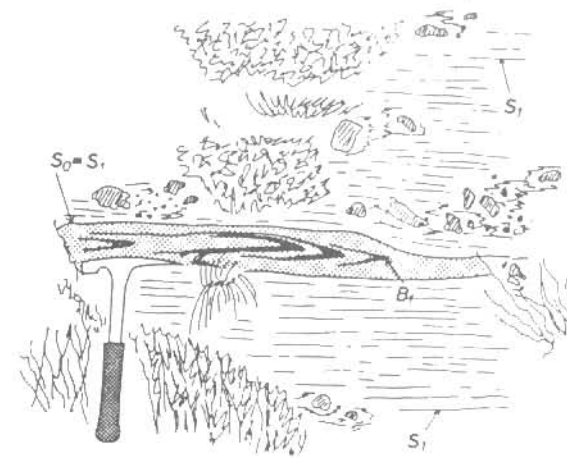
Εικ. 2. Οι άξονες (δ) και οι γραμμώσεις (λ) της πρώτης παραμορφωτικής φάσης.

Fig. 2. The fold axes and the lineation of the first deformation phase



Εικ. 3. Πτυχές της πρώτης φάσης Μάρμαρα με silex

Fig. 3. Folds of the first phase Marbles with intercalations of silex.



Εικ. 4. Μετασχηματισμός της στρώσης  $S_0$  από τη σχιστότητα κατ' αξονικό επίπεδο  $S_1$

Fig. 4. The  $S_0$  planes of the bedding have been transposed by the axial plane schistosity  $S_1$ .

Η σχιστότητα  $S_1$  που συνοδεύει τη φάση αυτή αναπτύσσεται παράλληλα με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών (Εικ. 4,5 και 6) και είναι αποτέλεσμα κυρίως του προσανατολισμού των μαρμαρυγιών αλλά και των άλλων ορυκτών (χλωρίτες, κερροσίλβη... κλπ.).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κύρια επιφάνεια που πτυχώνεται είναι η στρώση  $S_0$ , που αποτελεί μία μετασχηματισμένη δομή (transposed structure), τη θέση της οποίας έχει καταλάβει σήμερα η σχιστότητα  $S_1$  κατ' αξονικό επίπεδο (Εικ. 4). Τα μόνα σημεία που μπορεί να διακρίνει κανείς σήμερα τη στρώση είναι συνήθως τα υπολείμματα των κορυφαίων των πτυχών (Εικ. 5), ή τα σημεία όπου η λιθολογία ευνοεί κάτι τέτοιο (εναλλαγές διαφορετικών λιθολογιών (Εικ. 4, 5 και 6)).

Μερικές φορές όμως παρατηρείται και το φαινόμενο της επαναπύκνωσης της στρώσης, όπου φυσικά μαζί πτυχώνονται και τα αξονικά επίπεδα των πτυχών και φυσικά η σχιστότητα  $S_1$  (Εικ. 6).

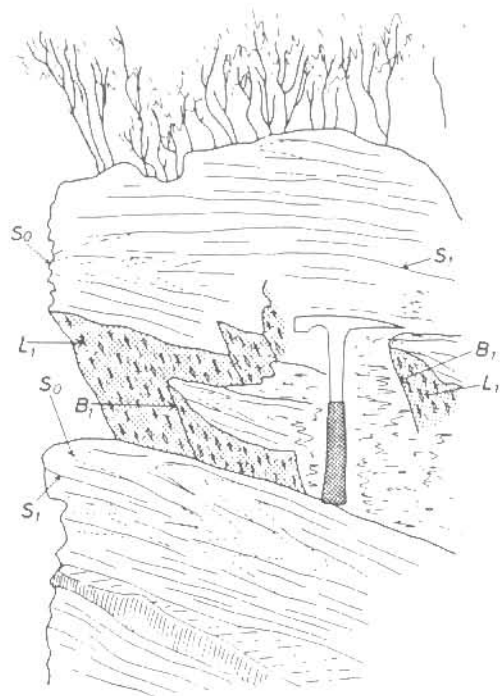
Το φαινόμενο αυτό πρέπει να σχετίζεται και με το γεγονός ότι η πύκνωση  $B_1$  παρατηρείται και στα φλεβίδια του κινητοποιημένου χαλαζία που σύμφωνα με τον VOLL (1969), οι φλέβες αυτές δημιουργούνται πολύ νωρίς κατά την προοδευτική φάση της πρώτης μεταμόρφωσης παράλληλα με την σχιστότητα.

Είναι γεγονός ότι σύμφωνα με τα ανωτέρω θα μπορούσε κανείς να μιλά για μια δεύτερη παραμορφωτική φάση. Επειδή όμως, τόσο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτυχών, όσο και η σχιστότητα αλλά και η γράμμωση παραμένουν σταθερά, είναι φανερό ότι η τεκτονική ροή γίνεται στην ουσία μέσα από τις ίδιες επιφάνειες σχιστότητας

γράφωση και επίπεδα σχιστότητας.

Οι πτυχές έχουν μέση διεύθυνση άξονα  $B_1$ , ΒΑ-ΝΔ (Εικ. 2), και πτυχώνουν κυρίως τις επιφάνειες στρώσης  $S_0$  (Εικ. 3, 4 και 5), ενώ στα τελευταία στάδια της ίδιας φάσης φαίνεται να πτυχώνουν και την σχιστότητα  $S_1$  που δημιουργήθηκε στα πρώτα στάδια υπό την έννοια της προοδευτικής παραμόρφωσης. Είναι κυρίως ισοκλινείς-πολύ κλειστές και σπανιότερα κλειστές, κατακεκλιμένες ή οριζόντιες κεκλιμένες, ομοειδείς πτυχές που η μέση σχέση ύψους/πλάτους (H/W) κυμαίνεται γύρω στο 1.86. Η ασυμμετρία των πτυχών αυτών είναι μικτή και η φορά κατακλίσεως είναι πότε προς ΝW και πότε προς SE.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτυχών αυτών είναι άμεσα συνδεδεμένα τόσο με την λιθολογία όσο και με τα διάφορα στάδια της παραμορφωτικής φάσης. Έτσι, ισοκλινείς πτυχές με μεγάλο λόγο H/W δημιουργούνται κυρίως στα πιο έντονα στάδια και κυρίως στα εύκαμπτα πετρώματα (σχιστόλιθοι, σιπολινομάρμαρα), ενώ αντίθετα στα τελευταία στάδια της παραμορφωτικής φάσης και σε αδροκρυσταλλικά δύσκαμπτα πετρώματα (πχ. γνεύσιοι) δημιουργούνται κλειστές κυρίως πτυχές με μεγαλύτερη γωνία σκελών και μικρότερο λόγο H/W.



Εικ. 5. Αξονες πτυχών και γράμμωση από ορυκτολογικό προσανατολισμό της πρώτης παραμορφωτικής φάσης (γνεύσιοι)  
 Fig. 5. Fold axes and lineation created by the mineral orientation of the first phase (gneisses).

με αποτέλεσμα τα φαινόμενα αυτά να μπορούν να ενταχθούν στα τελευταία στάδια της πρώτης παραμορφωτικής φάσης μέσα στα πλαίσια της προοδευτικής παραμόρφωσης.

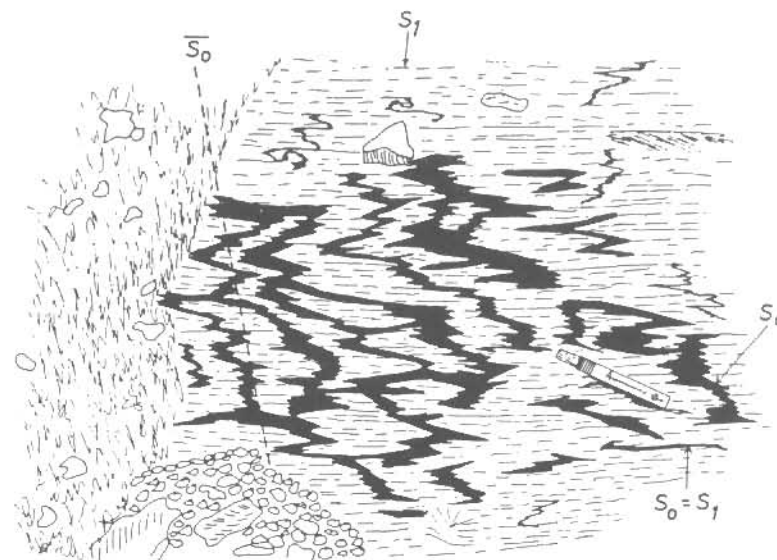
Η γράμμωση  $L_1$  που συνοδεύει την πτύχωση αυτή έχει δεύθυνση παράλληλη με τους άξονες  $B_1$  των πτυχών και είναι αποτέλεσμα διατομής επιπέδων και προσανατολισμού ορυκτών (Εικ. 5). Ετσι στους σχιστόλιθους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται και σαν  $S$ -τεκτονίτες μιας και η δομή που επικρατεί και τους χαρακτηρίζει είναι οι επιφάνειες της σχιστότητας  $S_1$ , η γράμμωση  $L_1$  προκύπτει κυρίως από την διατομή της στρώσης  $S_0$  και της σχιστότητας κατ' αξονικό επίπεδο  $S_1$  και λιγότερο από τον προσανατολισμό των ορυκτών (μαρμαρυγίες, κερροστίλβη... κλπ.). Αντίθετα στους γνεύσιους οι επιφάνειες σχιστότητας δεν είναι καλά εκπεφρασμένες ενώ η γράμμωση  $L_1$  είναι πολύ χαρακτηριστική με έντονο προσανατολισμό των κρυστάλλων των ορυκτών που τους αποτελούν (άστριος και χλωρίτης κυρίως, χαλαζίας, λίγιοι μαρμαρυγίες, κλπ.), χαρακτηρίζοντάς τους σαν τυπικούς  $L$ -τεκτονίτες.

Στο μικροσκόπιο η πρώτη παραμορφωτική φάση χαρακτηρίζεται αποκλειστικά από την σχιστότητα  $S_1$  (Εικ. 7). Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των σχιστολίθων και των γνευσίων είναι άστριοι, χαλαζίας, μοσχοβίτης, βιοτίτης, ασβεστίτης, επίδοτο, κερροστίλβη και χλωρίτης. Οι μαρμαρυγίες, ο χλωρίτης, η κερροστίλβη και το επίδοτο κρυσταλλώνονται παράλληλα προς την  $S_1$ , ενώ μερικές φορές παρατηρούνται και συντεκτονικές περιστροφές κρυστάλλων (κυρίως άστριοι), ανάμεσα στα επίπεδα της σχιστότητας με χαρακτηριστική δημιουργία πιεζοσκίων.

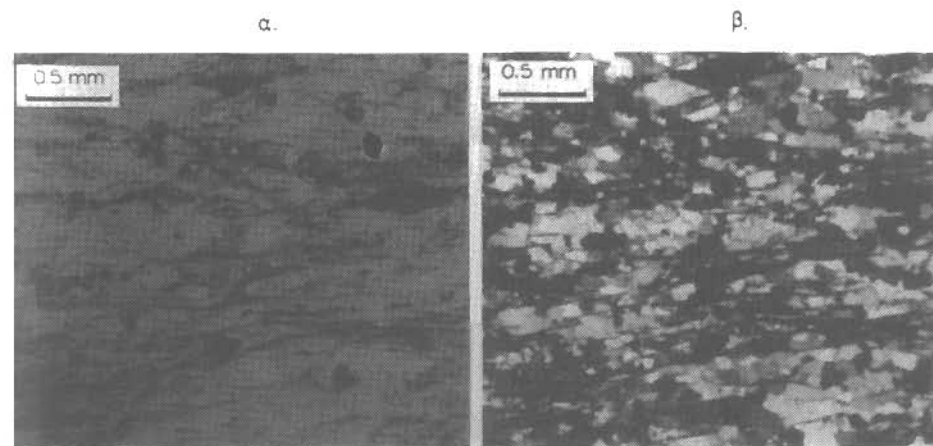
Τα μέχρι σήμερα υπάρχοντα πετρογραφικά δεδομένα, συνηγορούν στο ότι τα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής είναι αντιπροσωπευτικά του βαθμού μεταμόρφωσης της πρασινοσχιστολιθικής φάσης (WINKLER, 1974).

#### ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

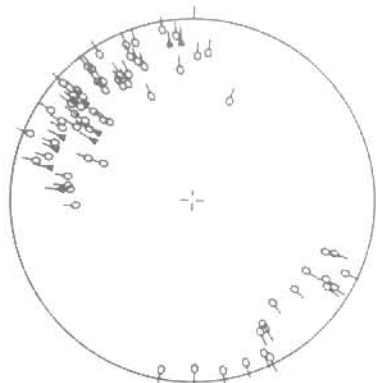
Ο τεκτονικός ιστός της δεύτερης ( $D_2$ ), παραμορφωτικής φάσης χαρακτηρίζεται και αυτός αποκλειστικά από διαμπερείς δομές σαν αποτέλεσμα της συνεχούς παρα-



Εικ. 6. Επαναπτυχωμένες δομές  
 Fig. 6. Refolded structures.



Εικ. 7. Η σχιστότητα  $S_1$  στο μικροσκόπιο. Γνεύσιος. (α) nicols // και (β) nicols +.  
 Fig. 7. The schistosity  $S_1$  in the microscope. Gneiss, (a) nicols // and (b) nicols +.



Εικ. 8. Οι άξονες (δ) και οι γραμμές (λ) της δεύτερης φάσης.

Fig. 8. The fold axes (δ) and the lineation (λ) of the second phase.



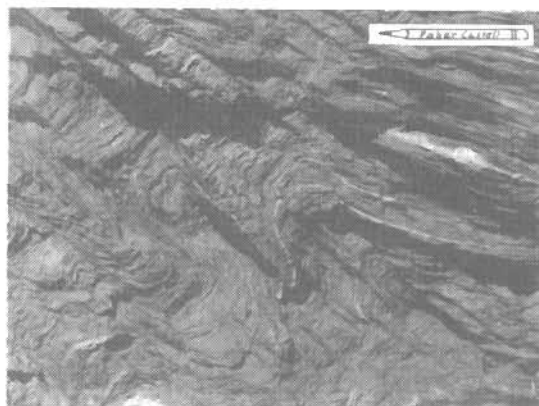
Εικ. 9. Πτυχές της δεύτερης φάσης. Μάρμαρα με σιλέξ.

Fig. 9. The folds of the second phase. Marbles with intercalations of silex.

μόρφωσης, σε μικρότερη όμως κλίμακα από την πρώτη φάση και αυτό γιατί αντιπροσωπευτικές δομές (άξονες πτυχών, σχισμός, γραμμώση) δεν αναπτύσσονται συστηματικά σε όλη την έκταση του τεκτονίτη αλλά σε ορισμένες μόνο περιοχές.

Οι πτυχές έχουν μέση διεύθυνση άξονα B<sub>2</sub>, ΒΔ-ΝΑ (Εικ. 8), αν και σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζουν μεγάλη σχετικά απόκλιση (45°) από το μέσο όρο. Το γεγονός αυτό φαίνεται ότι οφείλεται σε δύο λόγους, i) ορισμένοι από τους άξονες αντιπροσωπεύουν συζυγή συστήματα λοξοζωνικών πτυχών (kink bands) με μία διαφορά της διεύθυνσης των αξόνων γύρω στις 25°-30° και ii) σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται περιστροφή μικρών ρηξιτεμαχίων που οριοθετούνται από μικρά ρήγματα, με αποτέλεσμα την αλλαγή του προσανατολισμού τόσο των αξόνων Β<sub>2</sub> όσο και του σχισμού S<sub>2</sub> που συνοδεύει τις πτυχές.

Οι πτυχές αυτές πτυχώνουν κατά κύριο λόγο τις επιφάνειες της σχιστότητας

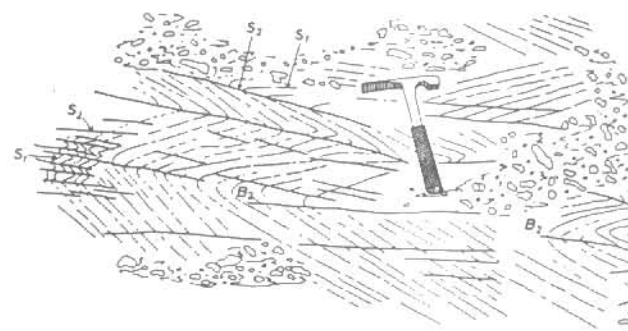


Εικ. 10. Πτυχές και σχισμός κατά αξονικό επίπεδο της δεύτερης φάσης.

Fig. 10. Folds and axial plane cleavage of the second phase.

S<sub>1</sub> αλλά και τη στρώση S<sub>0</sub>. Από άποψη γεωμετρίας χαρακτηρίζονται σαν ανοικτές, πολύ ανοικτές, αλλά και κλειστές, βυθιζόμενες κεκλιμένες ή απλά βυθιζόμενες, παράλληλες και σπανιότερα ομοειδείς πτυχές (Εικ. 9, 10 και 11). Η φορά κατακλίσεως των αξονικών επιπέδων είναι προς SW και NE χαρακτηρίζοντας μία μικτή ασυμμετρία.

Οι πτυχές αυτής της παραμορφωτικής φάσης παρουσιάζουν μία ποικιλία μορφών σαν αποτέλεσμα της προοδευτικής παραμόρφωσης αλλά και της λιθολογίας. Έτσι φαίνεται ότι τα πρώτα στάδια της φάσης αυτής χαρακτηρίζονται από κλειστές πτυχές για να περάσουμε σε ανοικτές πτυχές και να καταλή-



Εικ. 11. Πτυχές και σχισμός κατά αξονικό επίπεδο της δεύτερης φάσης.

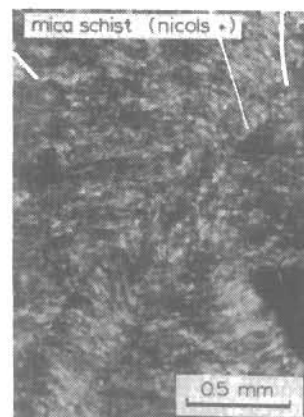
Fig. 11. Folds and axial plane cleavage of the second phase.

κού σχισμού (strain-slip cleavage, με ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας μέσω από διάτμηση), είτε με την μορφή πτυχοσχιμού (crenulation cleavage), όπου τα αξονικά επίπεδα των μικροπτυχών αποτελούν τις επιφάνειες του σχισμού. Στην περίπτωση των λοξοζωνικών πτυχών την θέση του σχισμού κατέχουν τα φανταστικά διατμητικά επίπεδα του συζυγούς συστήματος.

Όπως και προηγούμενα αναφέρθηκε, το φαινόμενο του σχισμού αν και σποραδικά εμφανίζεται παντού εν τούτοις υπάρχουν ορισμένες περιοχές που παρατηρείται συστηματικά με πολύ μεγάλη πυκνότητα. Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρήθηκε οι επιφάνειες σχισμού να σταματάνε σε μικρές ρηξιγενείς ζώνες που χωρίζουν το πέτρωμα σε επιμέρους τεμάχια όπου στο μεν ένα η ανάπτυξη του σχισμού είναι εντυπωσιακή, ενώ στο άλλο ελάχιστη ή και καθόλου. Το φαινόμενο αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γε-

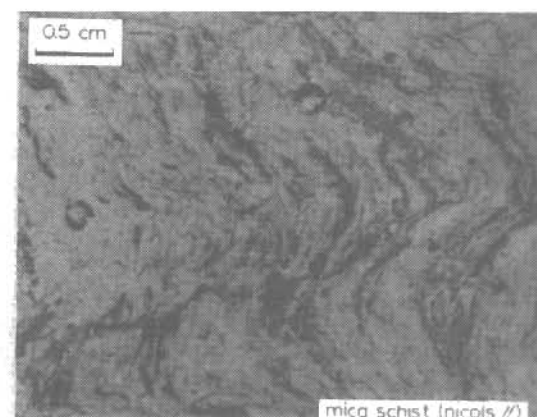
ξουμε σε συζυγή συστήματα λοξοζωνικών πτυχών στα τελευταία στάδια.

Η πτύχωση αυτή συνοδεύεται από την δημιουργία επιφανειών σχισμού S<sub>2</sub> (Εικ. 10), που κατά θέσεις λαμβάνει εντυπωσιακή μορφή επικρατώντας ακόμα και των επιφανειών σχιστότητας. Ο σχισμός αυτός, που είναι παράλληλος με τα αξονικά επίπεδα των πτυχών Β<sub>2</sub> (Εικ. 11), παρουσιάζεται είτε με τη μορφή ρηξισχιμού (fracture cleavage, με διάρρηξη και μετακίνηση εκατέρωθεν της επιφάνειας), ή ολισθοδιατμητικού σχισμού (strain-slip cleavage, με ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας μέσω από διάτμηση), είτε με την μορφή πτυχοσχιμού (crenulation cleavage), όπου τα αξονικά επίπεδα των μικροπτυχών αποτελούν τις επιφάνειες του σχισμού. Στην περίπτωση των λοξοζωνικών πτυχών την θέση του σχισμού κατέχουν τα φανταστικά διατμητικά επίπεδα του συζυγούς συστήματος.



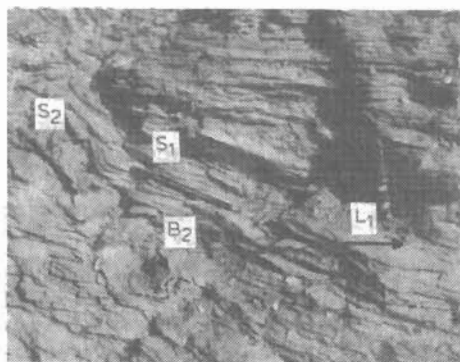
Εικ. 12. Το συζυγές σύστημα λοξοζωνικών πτυχών.

Fig. 12. The conjugate set of knicks.



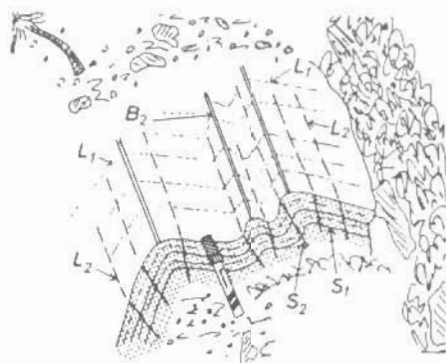
Εικ. 13. Ρηξισχιμός και πτυχοσχιμός της δεύτερης φάσης.

Fig. 13. Fracture and crenulation cleavage of the second phase.



Εικ. 14. Παραμόρφωση των δομών της πρώτης φάσης από τη δεύτερη φάση

Fig. 14. The second phase deforms the structures of the first phase.



Εικ. 15. Διαπερείς δομές της πρώτης και δεύτερης φάσης.

Fig. 15. Penetrative structures of the first and second phase

γονός ότι η τεκτονική ροή μέσα από τις επιφάνειες σχισμού γίνεται σε συγκεκριμένες μορφές τεκτονικών σφηνών-φακών, που στην ουσία αποτελούν μεγάλες ζώνες διάτμησης ανάμεσα σε συγκεκριμένες επιφάνειες ολισθησης που εξελίσσονται αργότερα σε μικρές ρηξιγενείς ζώνες. Το γεγονός μάλιστα ότι σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζεται και μία μικρή πάρελξη των επιφανειών σχιστότητας φανερώνει ότι οι ρηξιγενείς αυτές ζώνες συνέχισαν να λειτουργούν και μετά την δημιουργία του σχισμού.

Η γράμμωση  $L_2$  που συνοδεύει την πτύχωση αυτή έχει διεύθυνση παράλληλη με τους άξονες  $B_2$  των πτυχών και είναι αποτέλεσμα διατομής επιπέδων, της σχιστότητας  $S_1$  και του σχισμού  $S_2$ . Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα παρατηρείται και με την μορφή της γράμμωσης από μικροπτύχωση όπου το γραμμικό στοιχείο αποτελούν τα κορυφαία των μικροπτυχών. Σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις παρατηρείται και μία γράμμωση με διεύθυνση ENE-WSW που φαίνεται ότι οφείλεται στη διατομή της στρώσης  $S_0$ , με τον σχισμό  $S_2$ .

Άλλο ένα χαρακτηριστικό γραμμικό στοιχείο είναι και οι ραβδώσεις  $P_1$  και  $P_2$  με διευθύνσεις NW-SE και NNW-SSE, που είναι το αποτέλεσμα της παραμόρφωσης που προξενεί το συζυγές σύστημα λοξοζωνικών πτυχών στις επιφάνειες σχιστότητας  $S_1$ .

Στο μικροσκόπιο, η δεύτερη παραμορφωτική φάση χαρακτηρίζεται αποκλειστικά από το είδος της παραμόρφωσης που προκαλεί στην σχιστότητα  $S_1$  και τα ορυκτά που την συνοδεύουν. Κυρίως εκφράζεται με πτύχωση της  $S_1$  δημιουργώντας μικροπτυχές όλων των τύπων που αναφέρθηκαν στην μεσοσκοπική κλίμακα παρατήρησης. Ετσι παρατηρούνται τόσο κλειστές όσο και ανοικτές ή πολύ ανοικτές μικροπτυχές ακόμη και microknicks (Εικ. 12). Είναι χαρακτηριστικό ότι το συζυγές σύστημα λοξοζωνικών πτυχών εμφανίζεται ακόμα και σε επίπεδο κρυστάλλων παραμορφώνοντας χαρακτηριστικά τους μοσχοβίτες, τους βιοτίτες, τους χλωρίτες και τα πλαγιόκλαστα. Μάλιστα δε, χαρακτηριστικό αυτής της παραμορφωτικής φάσης είναι και η κυματοειδής κατάσβεση που παρατηρείται σε ορισμένα ορυκτά.

Οι νέες επιφάνειες σχισμού που δημιουργούνται κόβουν και μετακινούν την σχιστότητα  $S_1$  και τα ορυκτά που τη συνοδεύουν (Εικ. 13). Κατά μήκος των επιφανειών αυτών δεν δημιουργούνται νέα ορυκτά γεγονος που φανερώνει ότι το φαινόμενο αυτό καθορίζεται αποκλειστικά από μηχανικές διαδικασίες παραμόρφωσης. **Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.**

Επίσης στην περίπτωση που οι επιφάνειες σχισμού έχουν την μορφή του ολισθοδιατμητικού σχισμού, παρατηρείται μία μετατόπιση και ένας "επαναπροσανατολισμός" των εύκαμπτων ορυκτών της πρώτης φάσης (κυρίως μαρμαρυγίες), λόγω της μετακίνησής τους κατά μήκος των νέων επιφανειών σχισμού, εν είδη μιας πολύ έντονης πάρελξης.

Τέλος, τόσο τα ρήγματα και οι διακλάσεις, δομές που χαρακτηρίζουν την ΤΡΙΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ στην περιοχή, όσο και οι μεταβατικές δομές ανάμεσα στη δεύτερη και την τρίτη φάση (Knicks → πετεροειδείς → διαρρήξεις) και οι μηχανισμοί και οι διαδικασίες που τις διέπουν τόσο στην μικρο όσο και στην μακρο κλίμακα (μεγάλες ζώνες διάτμησης → εφιππεύσεις, κλπ.), δεν σχολιάζονται στην παρούσα ανακοίνωση, αλλά αποτελούν αντικείμενο έρευνας που βρίσκεται σε εξέλιξη.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη μελέτη των μεσοσκοπικής και μικροσκοπικής κλίμακας δομών στα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής Βαρνάβα-Ραμνούνας Αττικής, προκύπτει ότι ο συνολικός τεκτονικός ιστός είναι κοινός για όλη την έκταση της περιοχής (τόσο αυτή που καλύπτεται από την αλλόθρονη ενότητα Αλμυροποτάμου, όσο και αυτή που καλύπτεται από τη σχετικά αυτόθρονη ενότητα της Αττικής - KATSIKATSOS 1976) και διαμορφώνεται κάτω από την επίδραση τριών κύριων παραμορφωτικών φάσεων.

Οι δύο πρώτες από αυτές, μέσα από την διαδικασία της συνεχούς παραμόρφωσης χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από την παρουσία διαπερών δομών (επιφάνειες σχιστότητας, σχισμού και γραμμώσεις), ενώ η τρίτη (αλλά και τα τελευταία στάδια της δεύτερης φάσης) αντιπροσωπεύονται από την ύπαρξη μη διαπερών δομών (ρήγματα, διακλάσεις) σαν αποτέλεσμα της ασυνεχούς παραμόρφωσης.

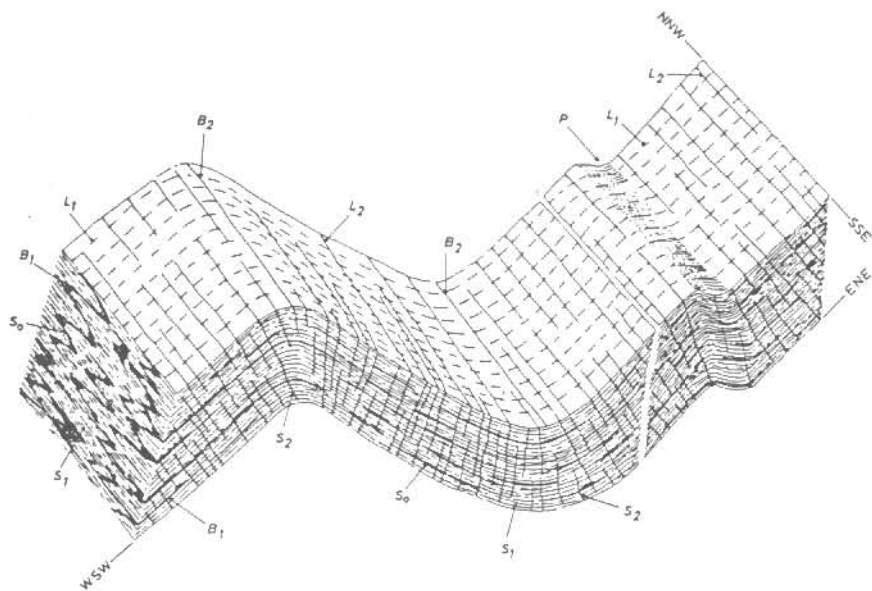
Η πρώτη παραμορφωτική φάση συνοδεύεται από την μία κύρια φάση μεταμόρφωσης που έχει επιδράσει στα πετρώματα της περιοχής, όπου η παραγένεση των ορυκτών είναι αντιπροσωπευτική του βαθμού μεταμόρφωσης της πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ισοκλινών ομοειδών πτυχών με διεύθυνση άξονα NE-SW, με ταυτόχρονη παρουσία σχιστότητας κατά αξονικό επίπεδο και γράμμωσης, παράλληλης με τους άξονες των πτυχών, είτε από διατομή επιπέδων (στρώση/σχιστότητα), είτε από ορυκτολογικό προσανατολισμό (Εικ. 16). Μέσα στα πλαίσια της προδευτικής παραμόρφωσης, φαινόμενα επαναπτύχωσης με σταθερούς άξονες και σχιστότητα φαίνεται ότι συμβαίνουν κατά τα τελευταία στάδια αυτής της φάσης.

Η δεύτερη παραμορφωτική φάση είναι μεταμεταμορφική και χαρακτηρίζεται κυρίως από ανοικτές, παράλληλες πτυχές με διεύθυνση άξονα NW-SE και ταυτόχρονη δημιουργία σχισμού κατ' αξονικό επίπεδο που έχει τη μορφή ρηξισχισμού, ολισθοδιατμητικού σχισμού ή πτυχοσχισμού. Η γράμμωση που προκύπτει από την διατομή σχισμού/σχιστότητας είναι παράλληλη με τους άξονες των πτυχών. Στα τελευταία στάδια της φάσης αυτής δημιουργείται το συζυγές σύστημα λοξοζωνικών πτυχών που είναι υπεύθυνες για τις ραβδώσεις που παρατηρούνται στις επιφάνειες σχιστότητας.

Η τρίτη παραμορφωτική φάση, αφορά τα ρήγματα και τις διακλάσεις και δεν σχολιάζεται στην παρούσα μελέτη.

Τα δεδομένα από την περιοχή που μελετήθηκε φαίνονται άμεσα συγκρίσιμα και συσχετίσιμα με αυτά που οι ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ και ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1973) αναφέρουν για την περιοχή της Πεντέλης όπου και εκεί παρατηρήθηκε μία πρώτη παραμορφωτική φάση με ομοειδείς, ισοκλινείς πτυχές NE-SW με ταυτόχρονη δημιουργία σχιστότητας κατά αξονικό επίπεδο και γράμμωσης παράλληλης με τους άξονες των πτυχών, και μία δεύτερη παραμορφωτική φάση με παράλληλες ανοικτές πτυχές. Ο τρίτος άξονας πτυχών με

διεύθυνση N-S, άγνωστης ηλικίας που αναφέρεται, πιθανώς να αντιστοιχεί σε κάποιους από τους N-S άξονες της D<sub>2</sub> φάσης που παρατηρούνται και στην περιοχή μελέτης και είτε αποτελούν τον ένα άξονα του συζυγούς συστήματος λοξοζωνικών πτυχών, είτε οφείλονται στην αλλαγή του προσανατολισμού της δομής της D<sub>2</sub> φάσης από την διαφορική κίνηση επιμέρους ρηξιτεμαχών.



Εικ. 16. Ο τεκτονικός ιστός σαν αποτέλεσμα της παραμόρφωσης από την πρώτη και δεύτερη παραμορφωτική φάση

Fig. 16. The fabric as a result of the first and second deformation phases.

Από την άποψη των συνθηκών παραμόρφωσης, η τοποθέτηση των ορίων κάθε μιας από τις παραμορφωτικές φάσεις της περιοχής στο κλασικό σχήμα του MATTAUER (1973), για τους τεκτονικούς ορόφους, μας δίνει συνθήκες κατώτερου τεκτονικού ορόφου για την πρώτη φάση, ενδιάμεσου για τη δεύτερη και ανώτερου για την τρίτη.

Σχετικά με τους μηχανισμούς γένεσης και την κινηματική ερμηνεία των δομών των δύο πτυχογόνων παραμορφωτικών φάσεων μέσα στα πλαίσια του γεωτεκτονικού καθεστώτος του ελληνικού τόξου, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Η προσπάθεια της ερμηνείας των δομών των D<sub>1</sub> και D<sub>2</sub> παραμορφωτικών φάσεων από κινηματική άποψη σαν β-δομές (πτυχές δηλαδή που ο άξονάς τους Β είναι κάθετος προς τον κινηματικό άξονα), προϋποθέτει μία μεταβολή του προσανατολισμού της διεύθυνσης της ζώνης διάτμησης από NW-SE κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης σε NE-SW κατά την διάρκεια της δεύτερης, όπως φανερώνει η σταθερή γεωμετρία των δομών και των δύο φάσεων στην περιοχή που μελετήθηκε.

- Λαμβάνοντας υπόψη, αφ' ενός μεν το γεγονός ότι τέτοιας μεγάλης κλίμακας μεταβολές φαίνεται λίγο δύσκολο να συμβαίνουν, αφ' ετέρου δε τα δεδομένα από την μελέτη της ασυμμετρίας και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των μακροδομών (χιλιομετρική κλίμακα πτυχών) της D<sub>1</sub> παραμορφωτικής φάσης από την ευρύτερη περιοχή της Αττικο-Κυκλαδικής που φανερώνουν μία όχι συστηματική μεταβολή του προσανατολισμού της ζώνης διάτμησης στο ορογενετικό τόξο και των τεκτονικών περιφερειών

μέσα σ' αυτή (ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1981, 1987), φαίνεται πολύ πιο πιθανή η κινηματική ερμηνεία των δομών της D<sub>1</sub> παραμορφωτικής φάσης σαν α-δομές (πτυχές δηλαδή που ο άξονάς τους Β είναι παράλληλος με τον κινηματικό άξονα).

- Άλλωστε, άσχετα με τους μηχανισμούς δημιουργίας των α-δομών (ανομοιογενής παραμόρφωση, επαναπροσανατολισμός παλαιών δομών, απ' ευθείας δημιουργία... κ.α.), όπως ο ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1981, 1987) έχει προτείνει για τις δομές της ενδιάμεσης τεκτονομεταμορφικής ζώνης των Ελληνίδων, είναι δυνατή η ταυτόχρονη δημιουργία α- και β-δομών (επιμήκειες και εγκάρσιες ως προς το ορογενετικό τόξο) σε διαφορετικούς ορόφους. Η ερμηνεία αυτή φαίνεται να συμφωνεί και με άλλες παρατηρήσεις από τον ευρύτερο χώρο της Αττικοκυκλαδικής, όπως έχουν διατυπωθεί από τον ΡΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ (1987).

- Έτσι, λοιπόν, φαίνεται πολύ πιο πιθανή η εκδοχή ότι η γεωτεκτονική πόλωση παρέμεινε σταθερή κατά την διάρκεια και των δύο πτυχογόνων παραμορφωτικών φάσεων D<sub>1</sub> και D<sub>2</sub>, με δημιουργία των α-δομών σε έναν κατώτερο τεκτονικό όροφο και αργότερα των β-δομών σε ένα ανώτερο τεκτονικό όροφο.

Τέλος, η παρουσία απολιθωμάτων Άνω Κρητιδικής ηλικίας στα μεταμορφωμένα πετρώματα της περιοχής που μελετήθηκε (ΡΑΠΑΔΕΑΣ, 1969, 1973, 1986) αποδεικνύει την αλπική ηλικία τόσο της μεταμόρφωσης (M<sub>1</sub> μεταμορφικό γεγονός) όσο και της παραμόρφωσης (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> & D<sub>3</sub> παραμορφωτικές φάσεις) των σχηματισμών και οι οποίες, άσχετα με το αν αυτά αντιπροσωπεύουν μία ή περισσότερες ενότητες τύπου εσωτερικών ή εξωτερικών Ελληνίδων, θα έχουν λάβει χώρα κατά την διάρκεια της κύριας Αλπικής ορογενετικής φάσης (Ηώκαινο - Ολιγόκαινο).

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες οφείλω να εκφράσω, στον καθηγητή και δάσκαλό μου κ. Δ. Ι. ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ για τις πολυπληθείς και εποικοδομητικές συζητήσεις που είχα μαζί του σε όλη της διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας, καθώς επίσης και στους συναδέλφους Κ. ΤΡΑΚΗ και Δρ. Δ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ για την βοήθειά τους στην μελέτη των λεπτοτομών.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- ARGYRIADIS, I. (1959): Sur le problème des relations structurales entre formations métamorphiques en Attique et Eubée. *C.R. Ac. Sc. Paris*, 264, 438-441.
- BAVAY, P. and ROMAIN-BAVAY, D. (1980): L' Unité de Styra- Ochi. *Thèse, Univ. Paris-Sud., Orsay*, 358 p.
- BODECHTEL, S., PAPAΔEAS, G. (1968): Tectonic aerial interpretation in the Mediterranean region, exemplified by the metamorphic series of eastern Greece near Marathon; *Photogrammetria*, 23, 1968, p. 201-210.
- BONNEAU, M., GEYSSANT, J., LEPVRIER, C. (1978): Tectonique alpine dans le massif d' Attique-Cyclades. Plis couchés kilométriques dans l'île de Naxos, conséquences. *Rev. Geogr. Phys. Géol. Dyn.*, 20, 1, 109-122.
- BONNEAU, M., BLAKE, M., GEYSSANT, J., KIENAST, J., LEPVRIER, C., MALUSKI, H. and PAPANIKOLAOU, D. (1980): Sur la signification des séries métamorphiques (Schistes bleus) des Cyclades (Hellénides), Grèce. L' exemple de l' île de Syros. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 290, 1463-1466.
- CLEMENT, B. (1983): Evolution Godynamique d' un secteur des Hellenides Internes: L' Attique-Beotie. *Thèse, Univ. de Lille*, p. 512, Lille 1983.
- ΔΗΜΗΤΡΙΑΔΗΣ, Σ. (1985): Εισαγωγή στην πετρολογία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. *Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούζη*, 189 σελ., Θεσσαλονίκη 1985.
- ΔΟΥΝΑ, Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗ, Γ., ΜΟΡΦΗ, Α., ΠΑΓΟΥΝΗ, Μ. (1978): Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης υδροφόρου ορίζοντα ποταμού. *Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Υδρολ. Υδρογ. Έρευν.*, 21, 1978.

- ΔΟΥΝΑ, Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗ, Γ., ΜΟΡΦΗ, Α. (1979): Συμβολή στη γνώση της τεκτονικής σχέσης σχηματισμών της Πάρνηθας και του μεταμορφωμένου συστήματος Γραμματικού. *Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών*, 54, 1979, p. 158-165.
- ΔΟΥΝΑ, Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗ, Γ., ΜΟΡΦΗ, Α., ΠΑΓΟΥΝΗ, Μ. (1980): Υδρογεωλογική έρευνα υφάλμυρων καρστικών πηγών Αγ. Αποστόλων Καλάμου. *Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Υδρολ. Υδρογ. Ερευν.*, 31, 1980.
- FLEURY, J. - GODFRIAUX, S. (1975): Arguments pour l'attribution de la série de la fenêtre de l'Olympe (Grèce) à la Zone de Gavro-Tripolitsa présence des fossiles du Maestrichtien et de l'Eocène inférieur (et moyen?). *Ann. Soc. Géol. Nord*, 94, 149-156.
- FYTROLAKIS, N., PAPANIKOLAOU D, in collabor. with PANAGOPOULOS, A. (1981): Stratigraphy and structure of Amorgos island, Aegean sea. *Ann. Geol. Pays Hellén.*, 30/2, 455-472.
- GOURNELLOS, H. (1981): Nouvelles données sur la géologie de l'île de Siphnos. Son emplacement dans le cadre géologique des Cyclades. *Ann. Geol. Pays Hellén.*, 30/2, 793-804.
- HOBBS, B., MEANS, W., WILLIAMS, P. (1976): An outline of structural Geology. *J. Wiley and Sons, Inc.*, 571 p., New York.
- KATSIKATSOS, G. (1976): La structure tectonique d'Attique et de l'île d'Eubée. *Bull. Soc. Geol. France*, 19, 75-80, Paris 1976.
- KATSIKATSOS, G. (1977): La structure tectonique d'Attique et de l'île d'Eubée. *Proc. VI Coll. on the Geol. of the Aeg. Reg.*, Vol. 1, p. 211-228.
- KATSIKATSOS, G., MIGIROS, G., TRIANTAPHYLLOS, M., METTOS, A. (1986): Geological structure of Internal Hellenides. *IGME Publ., Geol. Geoph. Res. Sp. issue*, 191-212.
- KOBER, L. (1929): Beiträge zur Geologie von Attika. *Sitz. Akad. Wiss. Mat. - Nat. Kl.*, 138, 199-326, 1929.
- LEPSIUS, R. (1893): Geologie von Attika. Berlin 1893.
- MARINOS, Γ. - PETRASCHECK, W. (1956): Λαύριον. *Εκδ. ΙΓΜΕ, Γεωλ. και Γεωφ. Μελ.*, Τομ. VI, No 1.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. (1971): Τεκτονική Ανάλυση των συστημάτων Διακλάσεων του Βορείου Υμηττού (Αττική). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 23, 1971, 323-379.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. (1972): Παρατηρήσεις επί των πτυχών του μεταμορφωμένου συστήματος του Πεντελικού και Υμηττού (Αττικής). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 24, 1972, 276-302.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. - ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1973): Παρατηρήσεις επί της τεκτονικής του Δυτικού Πεντελικού-Αττική *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, X 2, 1975, p. 134-179.
- MATTAUER, M. (1973): Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre. *Herman Collection*, 493 p., Paris 1973.
- PAPADEAS, G. (1973): Zur Geologie Der Kristallinen Gesteine von Marathon. *Bull. Soc. Geol. Grece.*, X: 2, 1973, p. 13-64.
- ΠΑΠΑΔΕΑΣ, Γ. (1986): Η στρωματογραφία και η ηλικία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της ΒΑ Αττικής. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ.*, XVIII, 1986, 59-81.
- ΠΑΠΑΔΕΑΣ, Γ. (1987): Γεωλογική-Τεκτονική Εξέλιξη στην Αττική και η Βαρίσκιος μεταλλοφορία μικτών θειούχων και άλλων ορυκτών στην Ελλάδα. *Πρακτ. Ακαδ. Αθην.*, 62, 1987, 429-466.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1976): Η ηλικία του κρυσταλλοσχιστώδους εις την νήσον Άνδρον. *Πρακτ. Ακαδ. Αθην.*, 51, 212-301, 1976.
- PAPANIKOLAOU, D. (1977): The successive structural features of the last alpine orogeny in Andros, island (Aegean sea). *Vllth Coll. Geol. Aegean Reg.*, Athens, 1977, I, 311-319.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1978a): Γεωλογικά έρευναι εις την νήσον Άνδρον. *Διδακτ. Διατρ.*, 231 σελ., Αθήνα 1978.
- PAPANIKOLAOU, D. (1978b): Contribution to the Geology of Icaria island, Aegean Sea. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 29/1, 1-28.
- PAPANIKOLAOU, D. (1979): Unites tectoniques et phases de deformation dans l'île de Samos, mer Egée, Greece. *Bull. Soc. Geol. Fran*, 75, XXI, N. 6, p. 677-798.
- PAPANIKOLAOU, D. (1980a): Les écaillies de Thymaena; témoins d'un mouvement tectonique Miocène vers l'intérieur de l'arc égéen. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 290, 307-310.
- PAPANIKOLAOU, D. (1980b): Contribution to the Geology of Aegean sea. The island of Paros. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 30/1, 65-96.
- PAPANIKOLAOU, D. (1981): Remarks on the Kinematic Interpretation of folds from some cases of the Western Swiss Alps and of the Hellenides. *Ann. Geol. Pays Hellén.*, 30/2, 741-762.
- PAPANIKOLAOU, D. (1985): The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation. *Repr. from: Dixon J.E. and Robertson A.H.F. (eds.) 1985. The Geol. evol. of the East. Med. Publ. of the Geol. Soc., No 17, Blackwell scientific Publ., Oxford 848 p.*
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1986a): Γεωλογία Ελλάδος, Αθήνα 1986.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1986β): Κεφάλαια Μικροτεκτονικής. Αθήνα 1986.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1986γ): Κεφάλαια Τεκτονικής Ανάλυσης. Αθήνα 1986.
- PAPANIKOLAOU, D. (1987): Tectonic evolution of the Cycladic Blueschist belt (Aegean sea, Greece). *D. Reidel Publ. Co., H.C. Helgeson (ed.), Chem. Trans. in Metas. Procc.*, 429-450.
- PAPANIKOLAOU, D. - BAUD, A. (1982): Complexes à blocks et séries à caractère flysch an passage Permien-Trias en Attique (Grèce orientale). *9e R.A.S.T., Paris 1982*, p. 492.
- ΠΑΡΑΣΚΕΥΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. (1956): Φλεβικά εμφανίσεις εν Πεντελικώ προελθούσαι εκ μεταμορφώσεως. *Πρακτ. Ακαδ. Αθην.*, 31, 291-299, 1956.
- PARASKEVOPOULOS, G. (1957): Die Gesteine des horizons des Kaessariani - Schiefers im Pentell Kongebirge. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 8, 233-245, 1917.
- RAMSAY, J. - HUBER, M. (1983): The techniques of Modern Structural Geology. Volume 1: Strain Analysis. *Academic Press Inc.*, 1-307 p.
- RAMSAY, J. - HUBER, M. (1987): The techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures. *Academic Press Inc.*, 308-700.
- ΣΙΔΕΡΗ, Χ. (1986): Συμβολή στη γνώση της Γεωδυναμικής Εξέλιξης κατά το Περμο-Τριαδικό στον χώρο της Ανατ. Ελλάδας. *Διδακτ. Διατρ., Παν. Αθην.*, 212 σελ., Αθήνα 1986.
- SINDOWSKI, K. (1949): Der geologische Bau von Attika. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 2, 1949, 163-218.
- SOWA, A. (1985): Die Geologie der Insel Folegandros (Kykladen, Griechenland). *Erlan. geol. Abh.*, 112, 85-101.
- SPRY, A. (1969): Metamorphic textures. *Pergamon Press*, 350 p.
- TRIKKALINOS, J. (1940): Über die Attischen und Wallachischen orogen Bewegungen in Attica. *Prakt. Akad. Athen.*, B. d. 15. 5, 437-442, 1940.
- TRIKKALINOS, J. (1950): Beiträge zur Erforschung des tektonischen Baues Griechenlands. Über die Schichtenfolge und den Dec kendant der Gebirgsmassive von Hymettos und Pentellikon. *Prakt. Akad. Athen.*, 25, 218-224, 1950.
- TRIKKALINOS, J. (1955): Beiträge zur Erforschung des tektonischen Baues Griechenlands. Über das Alter der metamorphen. Gesteine Attikas. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 6, 1955, 193-198.
- TRIKKALINOS, J. (1958): Beiträge zur Erforschung des tektonischen Baues Griechenlands. Über den Beitrag der Mikropalaontologie zur Bestimmung des Alters der Kristallinen Gesteine Attikas. *Ann. Geol. Pays. Hell.*, 9, 1958, 276-278.
- VOLL, G. (1969): Klastische Mineralien aus den Sedimentserien der Schottischen Highlands und ihr schicksal bei aufsteigender Regional- und kontakt- metamorphose. *Habilitationsschrift*, 358 p., Berlin.
- WINKLER, H. (1979): Petrogenesis of Metamorphic rocks. *Springer Verlag*, 5th Edition, 348 p.