

Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.	Τόμ.	σελ.	Αθήνα
Bull. Geol. Soc. Greece	XXIX	83 - 91	1993
	Vol.	pag.	Athens

ΓΕΩΘΕΡΜΟΜΕΤΡΙΑ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΒΙΤΡΙΝΙΤΗ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ

Κ. ΚΑΡΥΤΣΑ*, Γ. ΚΑΝΑΒΑΚΗ* και Θ. ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Δείγματα ιζηματογενών πετρωμάτων της λεκάνης του Σπερχειού ποταμού αναλύθηκαν με τη μέθοδο ανάκλασης βιτρινίτη με στόχο τον προσδιορισμό της γεωθερμικής βαθμίδας και την επίδραση των συστημάτων των ρηγμάτων στη θερμική ροή.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι υπάρχει μία συστηματική αύξηση της θερμικής ροής παράλληλα και πλησίον των συστημάτων των μεγάλων ρηγμάτων που ορίζουν την τεταρτογενή αυτή τάφρο, και παρουσιάζουν τιμές ανάκλασης βιτρινίτη που είναι αυξημένες κατά $R_{0av} = 0.2$ έως 0.3% σε σχέση με τη μέση τους τιμή (τιμή βάσης).

Σε δείγματα του βορείου τμήματος της λεκάνης του Σπερχειού μετρήθηκαν τιμές που κυμαίνονται από 0.45 έως 0.98% (R_{0av}) ενώ για το αντίστοιχο νότιο τμήμα τιμές που κυμαίνονται από 0.72 έως και 1.38% (R_{0av}).

Από τις τιμές ανάκλασης του πρωτογενούς βιτρινίτη (κηροζίνη τύπου III) που προσδιορίστηκαν στα δείγματα ιζηματογενών πετρωμάτων της λεκάνης του Σπερχειού, από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την σύγκριση με πρόσφατες μετρήσεις θερμοκρασίας προκύπτει ότι η σημερινή γεωθερμική βαθμίδα ανέρχεται στους $38^\circ\text{C}/\text{km}$ έως $40^\circ\text{C}/\text{km}$.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΚΥΡΙΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο προσδιορισμός των τετραδιάστατων παραμέτρων (χωροχρονικών) των θερμικών ιδιοτήτων ενός γεωθερμικού πεδίου είναι ασφαλώς ένα πάρα πολύ ουσιώδες αντικείμενο διερεύνησης. Παρ' όλο που οι θερμομετρήσεις μέσα στην γεώτρηση γίνονται απ' ευθείας, η εξασφάλιση της όσο το δυνατόν λεπτομερέστερης γνώσης των υπεδαφικών θερμοκρασιακών ενδείξεων κρίνεται απαραίτητη και πολύ χρήσιμη, πριν από το στάδιο των γεωτρήσεων, για να διερευνηθεί εάν ο γεωθερμικός ταμειυτήρας μιας συγκεκριμένης περιοχής ή τμήμα του ευρίσκεται στο στάδιο αναθέρμανσης, ψύξης ή είναι θερμικά σταθερός. Επιπλέον η διάνοιξη γεωτρήσεων και η εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου δημιουργούν αλλοιώσεις στις θερμικές ισορροπίες με αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες μετά το στάδιο διάνοιξης και εκμετάλλευσης να μην είναι πια οι ίδιες με αυτές που επικρατούσαν προηγούμενα.

Σκοπός αυτής της ερευνητικής μελέτης είναι η χρήση μιας μεθόδου γεωθερμομέτρησης για τον όσο το δυνατόν πληρέστερο προσδιορισμό της γεωθερμικής βαθμίδας και της θερμικής κατάστασης στο υπέδαφος, με επιφανειακές κυρίως μετρήσεις.

Για το αρχικό στάδιο της μελέτης αυτής επελέγη η Τεταρτογενής τεκτονική τάφρος του Σπερχειού ποταμού, όπου έχουμε πρόσφατη τεκτονική δράση και σχηματισμό γεωθερμικών ταμειυτήρων.

* Κ.Α.Π.Ε., Τομέας Γεωθερμικής Ενέργειας

** Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων

Ανακοινώθηκε στη συνεδρία των Χανίων στις 4/6/93

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Για την επίτευξη του σκοπού της μελέτης αυτής εφαρμόσθηκε η μέθοδος του προσδιορισμού της ωριμότητας της οργανικής ύλης που εμπεριέχεται στα πετρώματα μέσω της μέτρησης της οπτικής ανακλαστικότητας του βιτρινίτη [κηροζίνη (KEROGEN) τύπου III].

Η οργανική μεταμόρφωση ή ωρίμανση της οργανικής ύλης (ενανθράκωση φυτοκλάστων - Bostick, 1973 και 1974) εντός των ιζηματογενών λεκανών εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία και τον χρόνο. Οι οργανικές ύλες στα ιζηματογενή πετρώματα και μέχρι τα μέσου βαθμού μεταμορφωμένα πετρώματα είναι πολύ πιο ευαίσθητες στις αλλαγές θερμοκρασίας από τα ορυκτά και συνεπώς ο βαθμός οργανικής μεταμόρφωσης θεωρείται πλέον ως ο καλύτερος δείκτης προσδιορισμού του βαθμού διαγένεσης και χαμηλής μεταμόρφωσης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί ότι στην περιοχή θερμοκρασιών από 40 °C έως και 250 °C οι μεταβολές των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του βιτρινίτη [κηροζίνη (KEROGEN) τύπου III] (όπως π.χ. η σύστασή του σε C, H, O, ο δείκτης διάθλασης και άλλες οπτικές του ιδιότητες, η πυκνότητά του κλπ.) είναι ομαλές συναρτήσεις της θερμοκρασίας. Έτσι, η μέτρηση της οπτικής ανακλαστικότητας των οργανικών υλικών, και μάλιστα του βιτρινίτη (κηροζίνη τύπου III) αποτελεί μέθοδο όχι μόνον ποιοτικού αλλά και ποσοτικού προσδιορισμού του βαθμού της οργανικής μεταμόρφωσης, καταλαμβάνοντας μοναδική θέση στο πεδίο των πετρογραφικών και γεωχημικών μεθόδων προσδιορισμού της θερμικής ιστορίας των ιζηματογενών λεκανών και των μεταμορφωμένων πετρωμάτων χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης.

Η ευρεία διάδοση στο εξωτερικό και η εφαρμογή της μεθόδου ανάκλασης βιτρινίτη για τον προσδιορισμό α) του βαθμού ενανθράκωσης, β) της παλαιογεωθερμικής και σύγχρονης γεωθερμικής βαθμίδας, γ) των σύγχρονων γεωθερμικών κέντρων, δ) την αναζήτηση υδρογονανθράκων και ε) την επίλυση μεγάλου αριθμού γεωλογικών προβλημάτων έγκειται στην απλότητα της εφαρμογής, το μειωμένο εργαστηριακό κόστος και στην πιστότητα της μεθόδου.

Από το 1924 πάνω από 400 δημοσιεύσεις έχουν γίνει στο αντικείμενο της οργανικής μεταμόρφωσης. Η πρόταση ότι "η οργανική μεταμόρφωση είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας" έχει γίνει πλέον αξίωμα (Stach *et al.*, 1982).

Ο Barker (1979) μελέτησε το γεωθερμικό πεδίο του Cerro Pietro στην Baja της Καλιφορνίας (Μεξικό) όπου τα σύγχρονα ιζήματα του δέλτα του ποταμού Κολοράντο βρίσκονται αυτή τη στιγμή υπό την επίδραση έντονης οργανικής μεταμόρφωσης. Ο Barker συνέκρινε τις τιμές ανάκλασης βιτρινίτη, των θερμοκρασιακών μετρήσεων και των υδροθερμικών ορυκτολογικών εξαλλοιώσεων και προσδιόρισε την θερμοκρασία εξισορρόπησης του ταμειυτήρα με την ανάκλαση βιτρινίτη και με ακρίβεια της τάξεως του 5% (Βλέπε Πίνακα I).

Πιο βόρεια στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. οι Bostick *et al.* (1979) συνέκριναν τις ανακλάσεις βιτρινίτη, τις θερμοκρασίες των πετρωμάτων και την ιστορία ενταφιασμού (γεωτρήσεις

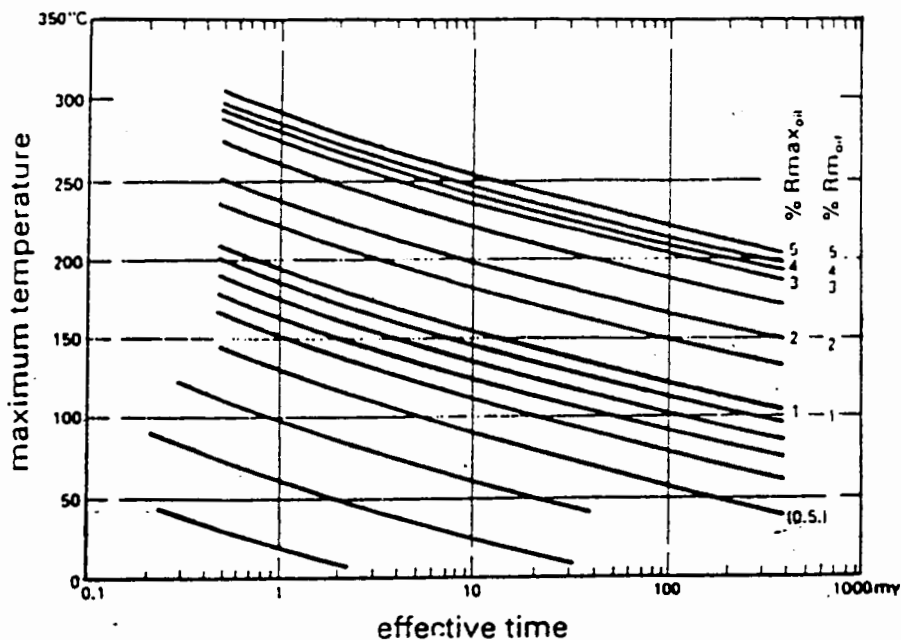
Πίν. I: Αποτελέσματα μελέτης Barker (1979) στο Cerro Pietro του Μεξικού.

Θερμοκρασία °C	Ανακλαστικότητα % Rm Βιτρινίτη
150	1.0
250	1.7
270	2.5
325	3.5

μέχρι 5700 m) σε ιζήματα του Av. Μειοκαίνου μέχρι σήμερα. Προσδιορίστηκαν γεωθερμικές βαθμίδες 2.4 έως 3.5 °C/100 m και βαθμίδες ανάκλασης 0.003-0.009% Roav/100 m. Τα συμπεράσματά τους συμπληρώνουν και ενισχύουν την άμεση σχέση θερμοκρασίας /χρό-

νου και ανάκλασης βιτρινίτη, όπως δίδεται και από τα διαγράμματα και νομογράμματα του Hood και Castano (1974), Hood *et al.* (1975) και του Bostick *et al.* (1979) (Βλέπε Σχήμα 1).

Το 1982 ο Middleton δημιούργησε ένα μαθηματικό μοντέλο που συσχετίζει την ανάκλαση βιτρινίτη, τις θερμοκρασίες και τον χρόνο από νομογράμματα ανάκλασης βιτρινίτη / θερμοκρασίας / χρόνου. Βρέθηκε ότι η συνάρτηση του λογαρίθμου της ανάκλασης του βι-



Σχ. 1: Διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας - θερμικής διάρκειας - ανάκλασης του βιτρινίτη (Bostick *et al.*, 1979)

τρινίτη με το βάθος είναι γραμμική και ότι η κλίση της πολλαπλασιαζόμενη με τον αριθμό 194.8, δίδει την γεωθερμική βαθμίδα. Αυτό το μοντέλο μπορεί να εφαρμοσθεί σε ιζηματογενείς λεκάνες με ελαττούμενη γεωθερμική βαθμίδα.

Ο Karytsas (1983) μελέτησε την επίδραση συστημάτων ρηγμάτων και φλεβικών διεισδύσεων στον βαθμό ενανθράκωσης (δηλ. της οργανικής ωριμότητας) μίας αλληλουχίας ιζηματογενών στρωμάτων που εκτείνονται σε μία υποθαλάσσια περιοχή Β.Α. της πόλης του Newcastle στην Βόρειο Αγγλία.

Από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων ο Karytsas συμπεραίνει ότι υπάρχει μία φανερή επίδραση των φλεβικών διεισδύσεων και των συστημάτων ρηγμάτων στον βαθμό ενανθράκωσης των υποθαλασσιών αυτών στρωμάτων. Παράλληλα προσδιορίζεται μία περιοχή όπου λόγω της παρατηρούμενης αύξησης του βαθμού ενανθράκωσης της οργανικής ύλης πιθανολογείται μία προέκταση των φλεβικών διεισδύσεων, που δεν είχαν προηγουμένως ανιχνευθεί ή πιστοποιηθεί με άλλη γεωλογική ή γεωφυσική μέθοδο.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Η προπαρασκευή των μικροσκοπικών δοκιμίων ακολουθεί μία ειδική διαδικασία που περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

3.1. Θραύση και χημική επεξεργασία των δειγμάτων

Τα συλλεγμένα δείγματα (20 έως 30 g για κάθε δείγμα) θραύονται μηχανικά μέχρι μείωσης του μεγέθους του κάθε κόκκου σε διάμετρο μικρότερη από -20 MESH (μικρότερα από 781 μm).

Η προκύπτουσα σκόνη έρχεται σε άμεση χημική αντίδραση με υδροχλωρικό οξύ (HCl - 20%). Η αντίδραση αυτή γίνεται εν θερμώ (80°C) και για 90 - 120 λεπτά.

Σκοπός της χημικής αυτής αντίδρασης είναι η καταστροφή μεγάλου μέρους (άνω του 75%) των υπαρχόντων στο δείγμα ανθρακικών ορυκτών. Εάν το προκύπτον υπόλειμμα είναι πλούσιο σε πυριτικά ή αργιλλοπυριτικά ορυκτά (άνω του 75% κατ' όγκο) συνιστάται αντίδραση με 48% υδροφθορικό οξύ (HF) εν ψυχρώ και για 60 - 90 λεπτά με συνεχή ανάδευση με ειδικά σκεύη από τεφλόν (TEFLON).

Η οργανική ύλη έχει την ιδιότητα να είναι τελειώς αδρανής στα ισχυρά οξειδωτικά και αναγωγικά μέσα και έτσι παραμένει αναλλοίωτη από τις χημικές αυτές αντιδράσεις.

Μετά από προσεκτική φυγοκεντρική πλύση με νερό και ξήρανση σε θερμοκρασία δωματίου τα υπολείμματα (τεχνητώς εμπλουτισμένα σε οργανικά υλικά) είναι έτοιμα για περαιτέρω επεξεργασία.

3.2. Δημιουργία στιλπνών τομών

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την εμβάπτιση του δείγματος σε εποξική ρητίνη, την φυγοκέντριση του μίγματος για απελευθέρωση τυχόν φυσαλίδων και τέλος τοποθέτηση των μισμάτων σε ειδικά διαμορφωμένα καλούπια. Το μίγμα αφήνεται να στερεοποιηθεί και κατόπιν αφαιρούνται τα καλούπια.

Στη συνέχεια τα δείγματα λειαίνονται με κατάλληλη τεχνική που προβλέπει την χρήση ειδικών φύλλων και σκόνης πυριτικού καρβιδίου έτσι, ώστε στο τέλος να δημιουργούνται στιλπνές τομές κατάλληλες για παρατήρηση στο μεταλλογραφικό μικροσκόπιο.

3.3. Μικροσκοπικές παρατηρήσεις στιλπνών τομών

Οι μετρήσεις διεξήχθησαν με την χρήση ενός πολωτικού μικροσκοπίου προσπίπτοντος φωτός LEITZ ORTHOPLAN με την τεχνική της εμβάπτισης σε λάδι με δείκτη διάθλασης $n_D = 1.518$ στους 23°C και αντικειμενικό φακό ελαιοκατάδυσης x32. Το ποσό του ανακλώμενου φωτός από την επιφάνεια του δείγματος προσδιορίζεται με την συμβολή ενός φωτοπολλαπλασιαστή MPV της LEITZ. Τα αποτελέσματα καταγράφονται σε ένα PC-H/Y χρησιμοποιώντας ειδικευμένο πρόγραμμα του υπολογιστή.

4. ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Από την Τεταρτογενή λεκάνη του Σπερχειού Ποταμού συνελλέγησαν 36 δείγματα από γεωτρήσεις, επιφανειακές εμφανίσεις και φυσικές ή τεχνητές τομές. Τα δείγματα αυτά είναι κυρίως ιλυόλιθοι, πηλίτες, αργιλλικοί σχιστόλιθοι, ψαμμίτες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι.

Ο τρόπος δειγματοληψίας είναι πολύ σημαντικός αφού γνωρίζουμε ότι η οργανική ύλη συγκεντρώνεται με διαφορετικές αναλογίες στα διάφορα πετρώματα. Έτσι, γνωρίζουμε ότι τα πιο πλούσια σε οργανική ύλη ιζηματογενή πετρώματα είναι: α) οι ορυκτοί άνθρακες, β) οι ιλυόλιθοι, γ) οι πηλίτες και δ) οι αργιλλικοί σχιστόλιθοι (τα β), γ) και δ) συχνά περιέχουν πάνω από 15% TOM (Total Organic Matter) κατά βάρος]. πιο φτωχά πετρώματα θεωρούνται οι ασβεστόλιθοι, οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή, που συχνά περιέχουν κάτω από 0.2% TOM κατά βάρος (Βλέπε Πίνακα II).

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο βόρειο περιθώριο της λεκάνης αναλύθηκαν με την μέθοδο της ανάκλασης του βιτρινίτη εικοσιπέντε (25) δείγματα ιζηματογενών πετρωμάτων, όλα αποτελούμενα από τον φύσχη της Ανατολικής Πίνδου [FPC - FP, (IGME - Φύλλο Σπερχειάς, 1970)] ηλικίας Δανίου - Μέσου Ηωκαίνου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές ανάκλασης Roan του προσδιορισθέντος πρωτογενούς βιτρινίτη κυμαίνονται από 0.45 έως 0.98 % (Πίνακας III). Παρατη-

ρούνται δύο σαφώς διαχωρισμένες ομάδες τιμών, η πρώτη με τιμές που κυμαίνονται από 0.45 έως 0.60%, σε δείγματα γεωγραφικά μακρύτερα των συστημάτων των Α-Δ ρηγμάτων, που ορίζουν την Τεταρτογενή Λεκάνη του Σπερχειού, ή περιοχών όπου ρήγματα σχηματίζουν θερμές πηγές (περιοχή πλησίον των δειγμάτων 122Α και 122Β, στο Πλατύστομο) και η δεύτερη με τιμές ανάκλασης βιτρινίτη που κυμαίνονται από 0.62 έως 0.98% σε δείγματα πλη-

Πίν. II: Σύγκριση πετρολογικού τύπου και συνήθους σχετικής περιεκτικότητας σε οργανική ύλη (TOM% κατά βάρος).

Πετρολογικός τύπος	TOM % κατά βάρος
Τύρφη, λιγνίτες, κλπ.	>40
Ιλυόλιθοι	> 2
Αργ. σχιστόλιθοι	1 - 20
Πηλίτες	1 - 15
Μάργες	0 - 12
Μαργ. ασβεστ.	0 - 8
Ασβεστόλιθοι	0 - 5
Ψαμμίτες	<2
Κροκαλοπαγή	<2

σιότερα στα προαναφερθέντα συστήματα ρηγμάτων ή σε θερμές πηγές (βλέπε Χάρτη I).

Στο νότιο περιθώριο της λεκάνης αναλύθηκαν με την μέθοδο της ανάκλασης του βιτρινίτη ένδεκα (11) δείγματα ιζηματογενών πετρωμάτων, προερχόμενα από φλύσχη της Ανατολικής Πίνδου (FPc - FP) ηλικίας (Δανίου - Ηωκαίνου), και από φλύσχη του Οίτης (Παρνασσού) - Γκιώνας (Fg - ΙΓΜΕ Φύλλο Σπερχειάς, 1970). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές ανάκλασης Roan του προσδιορισθέντος πρωτογενούς βιτρινίτη κυμαίνονται από 0.72 έως 1.38%, για τον φλύσχη της Ανατολικής Πίνδου και 0.80 έως 0.84% για τον φλύσχη Οίτης (Παρνασσού)-Γκιώνας. Παρατηρούνται, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση δύο σαφώς διαχωρισμένες ομάδες τιμών, η πρώτη με τιμές που κυμαίνονται από 0.72 έως 0.82% (Ομάδα Α1), σε δείγματα γεωγραφικά μακρύτερα των συστημάτων των ρηγμάτων και η δεύτερη με τιμές ανάκλασης βιτρινίτη που κυμαίνονται από 0.91 έως 1.38% (Ομάδα Β1) σε δείγματα πλησιέστερα στα συστήματα ρηγμάτων (βλέπε Χάρτη II).

Παρατηρούμε ότι τα δείγματα 109Α, 109Β και 124 που ευρίσκονται ακριβώς πάνω ή πολύ κοντά στο νότιο σύστημα ρηγμάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές ανάκλασης. Επίσης βλέπουμε ότι οι απόλυτες τιμές ανάκλασης βιτρινίτη στο νότιο περιθώριο είναι σαφώς μεγαλύτερες από τα δείγματα του βορείου περιθωρίου.

Για τον φλύσχη Οίτης (Παρνασσού) - Γκιώνας (Fg) παρατηρείται μία μόνο ομάδα τιμών Roan μικράς απόκλισης από 0.80 έως 0.84% είτε λόγω του μικρού αριθμού δειγμάτων που ελήφθησαν από την περιοχή [τέσσερα (4) δείγματα] είτε λόγω της ελλείψεως ρηγμάτων σε μικρή απόσταση από τα δείγματα.

Όπως προκύπτει από τους Πίνακες III και IV και τους Χάρτες I και II η σχετική στρωματογραφική θέση, λαμβανομένων υπ' όψη και των φαινομένων λειώσης και πτώχωσης, κάθε δείγματος διαδραματίζει κάποιο σχετικά μικρό ρόλο στην διακύμανση των τιμών του βιτρινίτη που εντοπίζουμε κατά την εξέταση των δειγμάτων. Παρατηρούμε μία συστηματική αύξηση των μέσων τιμών Roan όσο προσεγγίζουμε τα συστήματα των ρηγμάτων ή τις θερμές πηγές (πλησίον των δειγμάτων 122Α και 122Β στο Πλατύστομο), έτσι ώστε να συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μία επικάλυψη της συνορευγενετικής οργανικής μεταμόρφωσης των δειγμάτων (τιμές ομάδων Α, Α1 και Fg) από μία μετορογενετική θερμική /υδροθερμική επίδραση αυξημένης θερμικής ροής νεώτερης ηλικίας πλησίον και παράλληλα στα ρήγματα (τιμές ομάδων Β και Β1).

Από τη σύγκριση των τιμών ανάκλασης από κατακόρυφες αλληλουχίες δειγμάτων συμπεραίνουμε ότι η μέση παλαιογεωθερμική βαθμίδα της περιοχής ήταν 32°C - 34°C/km. Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας αλληλουχίας είναι η σειρά των δειγμάτων 113, 114, 115B και 115A, όπου έχουμε μία συνεχή τομή φλύσχη πραγματικού πάχους περίπου 350m με ανορθωμένα στρώματα όπου μας δίδεται η ευκαιρία (λόγω του στρωματογραφικού ελέγχου στη

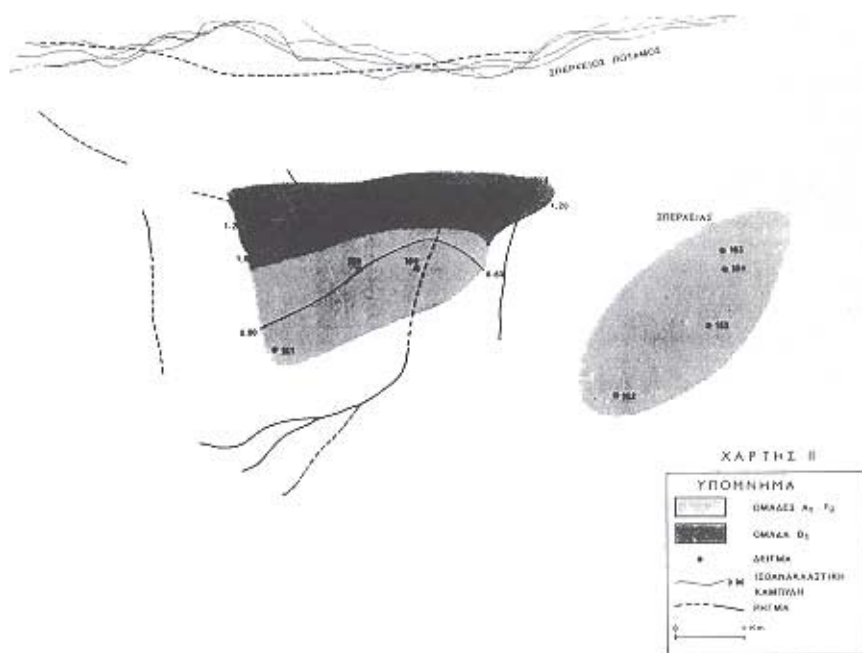
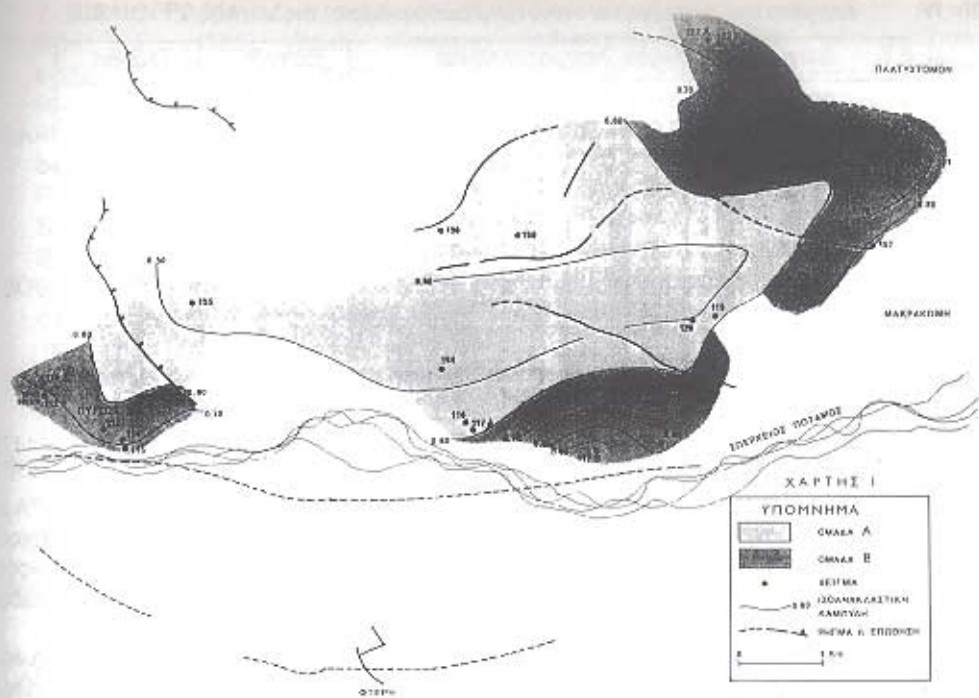
Πίν. III: Δείγματα που συνελλέγησαν στο βόρειο τμήμα (περιθώριο) της λεκάνης.

Δείγμα	Θέση δειγματοληψίας	Roan %	Ομάδα
110	1.2 χλμ. W. Πύργου	0.69	B
111	1.4 χλμ. W. Πύργου	0.71	B
112	0.9 χλμ. W. Πύργου	0.72	B
113	0.1 χλμ. E. Πύργου	0.62	B
114	0.2 χλμ. E. Πύργου	0.64	B
115A	0.7 χλμ. E. Πύργου	0.74	B
115B	0.6 χλμ. E. Πύργου	0.71	B
116	4.5 χλμ. E. Πύργου	0.54	A
117A	4.7 χλμ. E. Πύργου	0.56	A
117B	6.4 χλμ. E. Πύργου	0.98	B
118	7.2 χλμ. E. Πύργου	0.76	B
119	1.5 χλμ. W. Μακρακώμης	0.59	A
120A	2.1 χλμ. W. Μακρακώμης	0.47	A
120Γ	2.2 χλμ. W. Μακρακώμης	0.51	A
120Δ	2.2 χλμ. W. Μακρακώμης	0.45	A
120ΣΤ	2.2 χλμ. W. Μακρακώμης	0.46	A
121	1.6 χλμ. NE. Μακρακώμης	0.70	B
122A	1.8 χλμ. SW. Πλατυστόμου	0.75	B
122B	2.0 χλμ. SW. Πλατυστόμου	0.79	B
123	1.0 χλμ. S. Πλατυστόμου	0.75	B
154	3.2 χλμ. E. Πύργου	0.47	A
155	1.0 χλμ. NNW. Βίτωσης	0.48	A
156	0.3 χλμ. E. Τσούκας	0.57	A
157	0.9 χλμ. N. Μακρακώμης	0.82	B
158	1.5 χλμ. E. Τσούκας	0.52	A

τομή) να προσδιορίσουμε την μέση παλαιογεωθερμική βαθμίδα της λεκάνης στο σημείο αυτό, όπου παρατηρούμε μία αύξηση της Roan από 0.62% (στο 113) στο στρωματογραφικά υψηλότερο στρώμα σε 0.74% (στο 115A) στο στρωματογραφικά χαμηλότερο:

113	0.62	0	m πού αντιστοιχεί στους	92°C
114	0.64	75 m	" "	96°C
115 B	0.71	275 m	" "	102°C
115 A	0.74	300 m	" "	104°C

Η επίδραση της αυξημένης θερμικής ροής παράλληλα προς τα συστήματα των ρηγμάτων μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από την σύγκριση των τιμών ανακλάσεως των δειγμάτων 154 - 0.47%, 116 - 0.54%, 117A - 0.56% και 117B - 0.98% που είναι δείγματα της ίδιας



Πίν. IV: Δείγματα που συνελέγησαν στονοτότιομήμα(περιθώριο) της λεκάνης.

Δείγμα	Θέση δειγματοληψίας	Roan %	Ομάδα
109A	0.6 χλμ. NW. Φτέρης	1.38	B1
109B	0.9 χλμ. NW. Φτέρης	1.18	B1
133	0.8 χλμ. E. Φτέρης	0.91	B1
159	0.4 χλμ. E. Παλαιοβράχας	0.80	A1
160	1.6 χλμ. E. Παλαιοβράχας	0.72	A1
161	0.1 χλμ. N. Av Φτερης	0.78	A1
124	2.2 χλμ. W. Σπερχειάδος	1.25	B1
162	0.4 χλμ. N. A.Καλλιθέας	0.82	Fg
163	0.8 χλμ. SE. Σπερχειάδος	0.84	Fg
164	0.9 χλμ. SE. Σπερχειάδος	0.83	Fg
165	1.5 χλμ. S. Σπερχειάδος	0.80	Fg

ηλικίας αλλά με διαφορετική θέση ως προς τα σημερινά συστήματα ρηγμάτων (το 117B είναι πάρα πολύ κοντά στο σύστημα ρηγμάτων).

Η διαφορά ακριβώς αυτή στις τιμές ανάκλασης μεταξύ των δειγμάτων 154, 116, 117A με το 117B και η οριζόντια κλίση της καμπύλης αύξησης των τιμών ανάκλασης μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η σύγχρονη γεωθερμική βαθμίδα (από τις αρχές του Τεταρτογενούς) είναι μεγαλύτερη της προηγούμενως αναφερθείσης μέσης παλαιογεωθερμικής βαθμίδος και υπολογίζεται ότι είναι 38-40 °C/Km.

Οι τιμές ανάκλασης βάσης για τους φλύσχος της βορεινής πλευράς είναι από 0.45 - 0.60 %, με μία κανονική παλαιογεωθερμική βαθμίδα 32-34 °C/Km και λαμβάνοντας υπόψη την ηλικία των στρωμάτων αυτών (Δάνιο - Ηώκαινο), βάσει του νομογράμματος των Bostick *et al.* (1979) (Σχήμα 1), συνάγουμε ένα βάθος ενταφιασμού του φλύσχη (πάχος) 2000 έως 3000 m.

Για τα δείγματα του νοτίου περιθωρίου (παρεμφερής ηλικία και παρόμοια θερμοτεκτονική ιστορία με αυτά του βορείου) η αυξημένη τιμή βάσης μπορεί να οφείλεται είτε σε μεγαλύτερα βάθη ενταφιασμού του φλύσχη (3000 - 3500 m) είτε σε επιπρόσθετη επίδραση αυξημένης θερμικής ροής που έλαβε χώρα κατά το Τεταρτογενές.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις αυτές συμπεραίνεται ότι υπάρχει μία θετική γεωθερμική ανωμαλία στην λεκάνη αυτή, με αυξημένη γεωθερμική βαθμίδα κατά τα πιο πρόσφατα γεωλογικά χρόνια. Από τα αποτελέσματα προσδιορίζεται μία μέση παλαιογεωθερμική βαθμίδα (από το Ηώκαινο μέχρι το τέλος του Πλειοκαίνου) της τάξης των 32 έως 34 °C/Km και από τις αρχές του Τεταρτογενούς μέχρι σήμερα μία γεωθερμική βαθμίδα της τάξης των 38 έως 40 °C/Km. Παρατηρείται μία αύξηση των τιμών της ανάκλασης βιτρινίτη παράλληλα προς τα κύρια συστήματα των ρηγμάτων που ορίζουν την λεκάνη αυτή, που σημαίνει ότι υπάρχει μία αυξημένη θερμική ροή διαμέσου των συστημάτων αυτών.

Επίσης πολύ σημαντική κρίνεται η παρατηρούμενη αύξηση της ανάκλασης βιτρινίτη (ήτοι του βαθμού ενανθρακώσεως) προς τα ANA της Λεκάνης του Σπερχειού, ήτοι με την προσέγγιση στα ηφαιστειακά κέντρα Ανατολικά της Λεκάνης (Λιχάδων - περιοχή Αιδηψού). Μελλοντική έρευνα, αφού εξετάσει δείγματα από ανατολικότερες της Σπερχειάδος περιοχές, θα δώσει καλύτερη εικόνα για την επίδραση της θερμικής βαθμίδος στην οργανική ύλη της περιοχής και της γενικότερης επίδρασης της ηφαιστειότητας στην ευρύτερη περιοχή.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BARKER, C.E., (1979). Vitrinite reflectance geothermometry in the Cerro Pietro geothermal system, Baja California, Mexico. - Ph.D. Thesis, Dept. of Earth Sciences, Univ. of California, Riverside, Calif. 127pp.
- BARKER, C.E., CRYSDALE, B.L., and PAWLEWICZ, M.J., (1986). Relationship between vitrinite reflectance, metamorphic grade, and temperature in the Cerro Prieto, Salton Sea, and East Mesa geothermal systems, Salton Trough, United States and Mexico. In: Mumpton, F.A., (Ed.): *Studies in Diagenesis*, Geol. Surv. Bull. (Washington) B 1578, p. 83-95.
- BOSTICK, N.H., (1973). Time as a factor in thermal metamorphism of phytoclasts (DOM - coaly particles). - C.r. 7. Congr. Intern. Strat. Geol. Carbonifere 2, p. 183-193, Krefeld 1971.
- BOSTICK, N.H., (1974). Phytoclasts (DOM) as indicators of thermal metamorphism, Franciscan assemblage and Great Valley sequence (Upper Mesozoic), California. - Geol. Soc. Amer., spec. Pap. 153, p. 1-17, Boulder, Colorado.
- BOSTICK, N.H., (1979). Microscopic measurements of the level of catagenesis of solid organic matter in sedimentary rocks to aid exploration for petroleum and to determine former burial temperatures - a review. - SEPM (Soc. Econ. Paleont. Miner.) Spec. Publ. 26, p. 17-43, Tulsa, Okla.
- BOSTICK N.H., et al., (1979). Gradients of vitrinite reflectance and present temperature in the Los Angeles and Ventura Basins, California. - In: Oltz, D.F. (ed.): *Low Temperature Metamorphism of kerogen (DOM) and clay minerals*, p. 65-96, Los Angeles.
- CASTANO, J.R., (1975). Comparative study of burial history using vitrinite reflectance and authigenic minerals. - In: Alpern, B. (ed.): *Petrographie organique et potentiel petrolier*, p.123-126, CNRS, Paris.
- CHANDRA, H., (1975). Use of reflectance in evaluating temperature of carbonized or thermally metamorphosed coals. - Fuel 44, London, p. 171 - 176.
- DAVIS, A., (1978). The Reflectance of coal. - In: Karr, C. (ed.): *Analytical methods for coal and coal products*, p. 27-81, Academic Press, New York.
- HOOD, A., and CASTANO, J.R., (1974). Organic metamorphism: its relationship to petroleum generation and application to studies of authigenic minerals. U.N. Econ. Comm. Asia Far east, Tech. Bull. 8, p. 85-118, Bangkok.
- HOOD, A., et al., (1975). Organic metamorphism and the generation of petroleum. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geolog., 59, p. 986-996.
- ΙΓΜΕ, (1970). Φύλλον ΣΠΕΡΧΕΙΑΣ, Γεωλογικός Χάρτης 1:50.000, 1 pp.
- KARYTSAS, C., (1983). Rank Variation in the Coal Measures, Offshore Mid-Northumberland, Unpublished M.Sc. Thesis, The University of Newcastle Upon Tyne, 78 pp.
- KARWEIL, J., (1956). Die Metamorphose der Kohlen vom Standpunkt der physikalischen Chemie, Z. dt. geol. Ges., 107, p. 132-139.
- LOPATIN, N.V., (1971). Temperature and geologic time as factors in coalification, Akad. Nauk., SSSR, Ser. Geol.Izvest., 3, p. 95-106.
- MIDDLETON, M.F., (1982). Tectonic history from vitrinite reflectance, CSIRO Div. of Fossil Fuels, North Ryde, Geophys. J.R. Astron. Soc. (GB) vol.68, no.1, Jan. 1982, p. 121-132.
- STACH, E., et al. (1982). *Stach's Textbook of Coal Petrology*, Third Edition, Gebrader Borntraeger Berlin - Stuttgart, 535 pp.