

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΝΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ ΣΤΗ ΝΟΤΙΑ ΑΛΜΩΠΙΑ*

Σ. Β. ΠΑΥΛΙΔΗΣ¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρονολόγηση των πυροκλαστικών της Νότιας Αλμωπίας (K-Ar 4.8 εκατομμύρια χρόνια), τα οποία επηρεάζονται από νεοτεκτονικές δομές, ο προσανατολισμός αυτών των ρηγμάτων σε ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνση, η κινηματική τους συσχέτιση με τους μηχανισμούς γένεσης σεισμών και το ενεργό πεδίο των τάσεων (ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση του άξονα σ_3), καθώς επίσης η ύπαρξη μικροσεισμών αποτελούν σοβαρές ενδείξεις για το χαρακτηρισμό πολλών ρηγμάτων ως ενεργών. Οι δομές αυτές είναι κανονικά έως πλαγιοκανονικά ρήγματα μετάπτωσης.

ABSTRACT

The K-Ar dating of South Almopias (Central Macedonia, Northern Greece) pyroclastics (4.8 Ma), which affected by younger neotectonic structures, as well as the ENE-WSW trending normal fault, their kinematics consistent with focal mechanism and the active stress pattern (σ_3 NNW-SSE), as well as the microseismic activity give evidence for the existence of Active Faults in the area. They are dip-slip to oblique-slip normal structures.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Πυροκλαστικά Νότιας Αλμωπίας, Σεισμοτεκτονική, Ενεργά Ρήγματα, Νεοτεκτονική παραμόρφωση, Βόρεια Ελλάδα.

KEY WORDS: South Almopias Pyroclastics, Seismotectonics, Active Faults, Neotectonic deformation, Northern Greece

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα σημαντικό πρόβλημα της νεοτεκτονικής έρευνας και ιδιαίτερα της ενεργού τεκτονικής παραμένει η χρονολόγηση των διαφόρων τεκτονικών συμβάντων και φάσεων με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Για το σκοπό αυτό η νεοτεκτονική στηρίζεται στις στρωματογραφικές μελέτες του Νεογενούς και ιδιαίτερα του Τεταρογενούς (γυρολογία, βιοζώνες τρηματοφόρων, θηλαστικών), στην απόλυτη χρονολόγηση (ραδιοχρονολόγηση, C14, θερμοφωσφαιγεία κ.ά.) καθώς και στη σύγκριση της γεωμετρίας-κινηματικής νεοτεκτονικών δομών με αντίστοιχες γνωστές σεισμικές δομές (σεισμοτεκτονική).

Στην περιοχή της Νότιας Αλμωπίας (Μακεδονία, Πέλλα) κυριαρχούν τα μεταλιδικά ηφαιστειοκλαστικά και ηφαιστειοϊζηματογενή ιζήματα (Mercier 1968, Ελευθεριάδης 1977, Βουγιουκαλάκης 1994) τα οποία αποτελούν ένα "κάλυμμα" που επικάθεται επάνω στα προ-αλπιδικά και αλπιδικά πετρώματα της Ζώνης της Αλμωπίας (Αξιού). Τα τελευταία αποτελούνται από γνεύσιους, αμφιβολίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθους, κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και μάγμαρα, οφιολίθους, βασικές λάβες, ψαμίτες-μεταψαμίτες, φυλίτες και μεταπηλίτες, που χαρακτηρίζονται από συνεχείς επαναλήψεις λόγω των πολλών τεκτονικών λεπίων (Mercier 1968, Mercier & Vergely 1972, Μουντράκης 1976, Stais 1993).

* DATING THE NEOTECTONISMS IN SOUTH ALMOPIAS (CENTRAL MACEDONIA, N. GREECE)

¹ Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 54006 Θεσσαλονίκη, Dept of Geology, University of Thessaloniki, GR-54006

Τα ηφαιστειακά πετρώματα εντοπίζονται κυρίως στον ορεινό όγκο του Βόρα (βόρεια Αλμωπία), κοντά στα ηφαιστειακά τους κέντρα, και επεκτείνονται στην πεδιάδα της Αλμωπίας, μέχρι Σκύδρα και Αγγελοχώρι. Πρόκειται κυρίως για δόμους, φλέβες και ρεύματα (κοντά στα ηφαιστειακά κέντρα) δακτυλικής, ανδσειτικής λάβας, επίσης λασπορεύματα, ρεύματα συντρομάτων, ιγκνιβρίτες, ποταμοχειμάρρια ιζημάτα σε εναλλαγές οριζόντων κίσησης και σταχτής ανάλογης χημικής σύστασης με τις λάβες (Βουγιουκαλάκης 1994).

Η ευρύτερη περιοχή της νότιας Αλμωπίας-Εδεσσας-Γιαννιτιών είναι περιοχή χαμηλής σεισμικότητας (Ζώνη Ι Νέου Αντισεισμικού Κανονισμού-NEAK) (Voidomatis 1989, Papazachos et al 1993), ενώ η νεοτεκτονική δραστηριότητα παρουσιάζεται σημαντική, ανάλογη με άλλες ιδιαίτερα ενεργές περιοχές του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου (Pavlidis 1993, 1996a). Κατά τον παρόντα αιώνα γνωστοί σεισμοί με μέγιστη ένταση (I_0) της τάξης VI-VII κυμαίνονται στην περιοχή με επιφανειακά μεγέθη $M_s=4.6-5.3$, με εξαίρεση το σεισμό της 21.12.1990 μεγέθους $M_s=5.9$ (Panagiotopoulos et al., 1993). Ισχυροί ιστορικοί σεισμοί είναι γνωστοί μόνο δύο 90 π.Χ. (Stiros 1995) και 896 μ.Χ. (Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989). Η μικροσεισμικότητα, τα γεωμορφολογικά δεδομένα και τα στοιχεία από την ανάλυση δορυφορικών φωτογραφιών (Landsat MSS και STM) δείχνουν την ύπαρξη σημαντικών σε μήκος ρηξιγενών δομών και μικρότερων ρηγμάτων σε ΑΒΑ-ΔΝΑ διεύθυνση (Pavlidis 1997).

Στην εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να χρονολογηθεί η νεότερη τεκτονική (ενεργός) δράση των ρηξιγενών δομών της ευρύτερης περιοχής Έδεσσας, Σκύδρας, Γιαννιτιών κύρια με βάση την ηλικία των νεότερων ηφαιστειακών αποθέσεων (4.8Ma) που επηρεάζονται από τις δομές αυτές, τη γεωμετρία τους και κινηματική τους σε σύγκριση με σύγχρονα σεισμολογικά δεδομένα (σεισμοτεκτονικός συσχετισμός), τη μορφοτεκτονική και την εδαφική έκλυση ραδονίου (R_n).

2. ΗΛΙΚΙΑ ΤΩΝ ΗΦΑΙΣΤΙΤΩΝ

Οι ηφαιστίτες της νότιας Αλμωπίας-περιοχής Σκύδρας θεωρούνται πλειοκαινικής πλειοπλειστοκαινικής ηλικίας (Ελευθεριάδης 1977, Βουγιουκαλάκης 1994) πάντα σε σύγκριση με τους ηφαιστίτες του Βόρα, από τους οποίους και πιστεύεται ότι προέρχονται, καθώς και από τη γεωλογική χρονολόγηση συναποθετικών ιζημάτων (Kolios et al 1980, Mercier & Sauvage 1965, Chorianoπούλου et al 1985). Απενθείας απόλυτη χρονολόγηση των ηφαιστιτών της νότιας Αλμωπίας δεν είχε πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα. Μέσα στα πλαίσια αυτής της εργασίας και ενός προγράμματος της ΔΕΗ για τη μελέτη των νεοτεκτονικών-ενεργών ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής του φράγματος Αλμωπαιών έγινε δειγματοληψία από τα πυροκλαστικά (στάχτη κυρίως) βόρεια του χωριού Καλή ($40^{\circ}8' N$, $22.2^{\circ}E$). Η χρονολόγηση με τη μέθοδο K-Ar έγινε στα εργαστήρια ραδιοχρονολόγησης του Ινστιτούτου Γεωλογίας (SSB) του Πεκίνου (Κίνα). Πριν τη χρονολόγηση έγινε πετρολογικός προσδιορισμός του δείγματος. Αυτός έδειξε ότι το δείγμα αποτελείται από τμήματα: α) ροδόχρου ρουδακίτη, β) λεικού όξινο με εναλλαγές ενδιάμεσου ηφαιστίτη (γρανιτικού τύπου) και γ) διαφόρων πυροκλαστικών υλικών. Τα αποτελέσματα της χρονολόγησης των τριών συνθετικών του δείγματος φαίνονται στον πίνακα I.

ΠΙΝΑΚΑΣ I - TABLE I

Composition	K (%)	40Ar rad (mole/gram)	40Ar rad (%)	Age (Ma)
rhodacite	2.92	2.464 E-11	38.61	4.86±0.90
granite-porphry	3.17	3.287 E-10	95.28	58.82±0.58
pyroclastic material	2.81	3.925 E-11	5.887	8.04±1.14

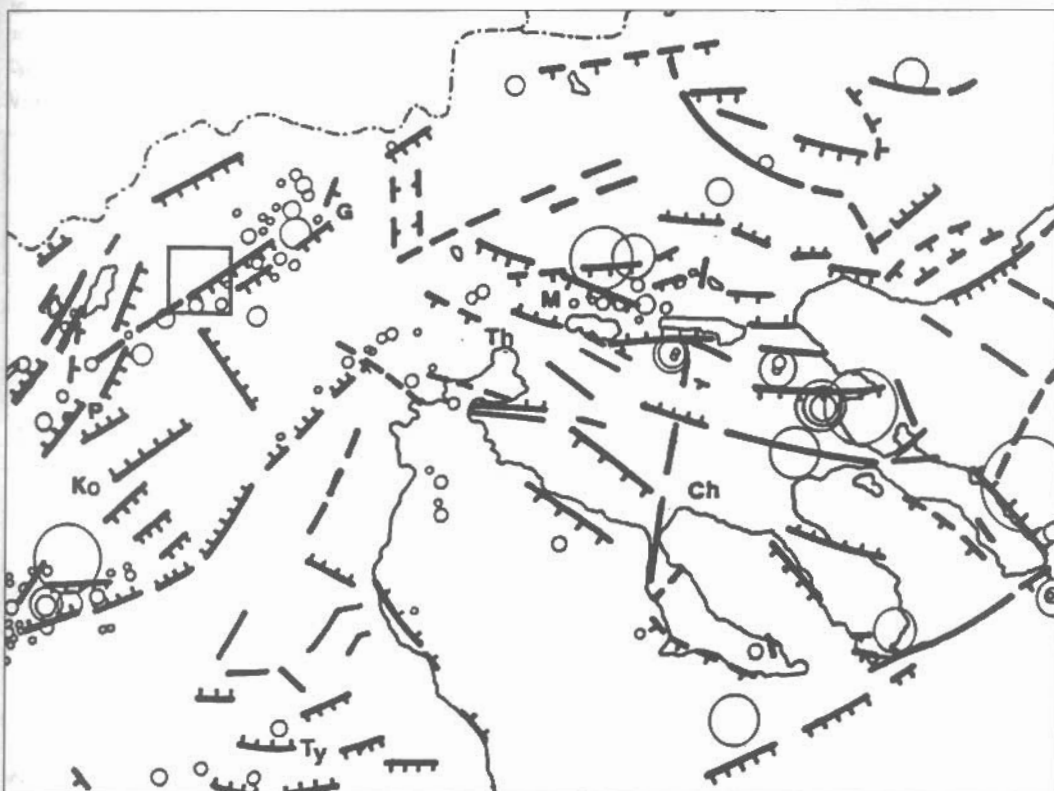
Ο ρουδακίτης πρέπει να αντιπροσωπεύει την κύρια εκρηκτική φάση από την οποία προέρχεται το αντίστοιχο στρώμα δειγματοληψίας και χρονολογήθηκε στα 5Ma (Πλειόκαινο). Το όξινο-ενδιάμεσο ηφαιστειογρανιτικό (?) **Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεοφράστους | Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ** με τα πυροκλαστικά

και πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύει παλιότερο υλικό μικρού βάθους που παρασύρθηκε με την πλειοκαινική έκρηξη. Η ηλικία των πυροκλαστικών προσδιορίζεται σε 8 Ma, αλλά είναι το αποτέλεσμα της χρονολόγησης όλων των παραπάνω πετρολογικών τύπων. Έτσι η ηλικία του ρουδακίτη $4,86 \pm 0,90$ Ma μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για το δείγμα και κατ' επέκταση για το αντίστοιχο στρώμα πυροκλαστικών περιοχής Καλής-Προφήτη Ηλία (Ν. Αλμωπίας). Η ηλικία αυτή βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με τις αντίστοιχες ηλικίες των ηφαιστειτών του Βόρα, 5 μέχρι 1.8 Ma (Kolios et al 1980). Επομένως τα ρήγματα που επηρεάζουν τους ηφαιστειοκλαστικούς σχηματισμούς είναι σαφώς νεοτεκτονικά (μεταπλειοκαινικές δομές).

3. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΤΗΣ Ν. ΑΛΜΩΠΙΑΣ

Ο προσδιορισμός και η μελέτη των ρημάτων της ευρύτερης περιοχής της Βεγορίτιδας-Αλμωπίας έγινε κυρίως από δορυφορικές φωτογραφίες (Landsat MSS Band 7, 7/12/79, Landsat ψευτοέγχρωμες 45,7 και Landsat 5 TM BAND 4, 7, λήψης 4 Οκτ. 1986), από αεροφωτογραφίες της ΓΥΣ, και από πολλές υπαίθριες μετρήσεις (σχ. 1).

Από τη στατιστική ανάλυση των παρατάξεων (διευθύνσεων) των ρημάτων στην περιοχή της Αλμωπίας, όσον αφορά το μήκος και την αξιμουθιακή κατανομή τους, μπορούν να βγουν τα παρακάτω συμπεράσματα:



Σχ. 1: Οι σπουδαιότερες νεοτεκτονικές δομές (κανονικά ρήγματα) της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας (μαύρες γραμμές με δοντάκια που δείχνουν το καταβυθιζόμενο τέμαχος) σε συνδυασμό με επίκεντρα σεισμών, κυρίως των σεισμικών ακολουθιών Θεσσαλονίκης 1978, Γουμένισσας 1990 και Κοζάνης-Γρεβενών 1995 (κύκλοι). (Pavlidis 1977). Μέσα σε πλαίσιο η περιοχή μελέτης.

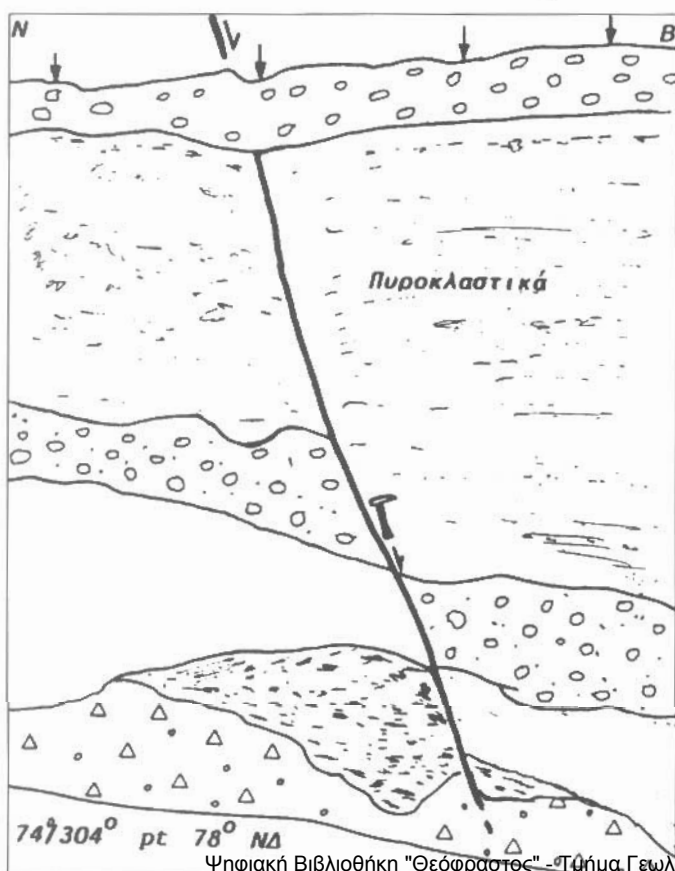
Fig. 1: The main neotectonic structures (normal faults) of Central and Western Macedonia; Greece (heavy black lines with ticks showing the downthrough block) in relation to earthquake epicenters (Thessaloniki 1978; Goumenissa 1990 and Kozani-Grevena 1995 earthquakes). The study area is enclosed in a box. (Pavlidis 1977). The study area is enclosed in a box.

1. Στην ευρύτερη περιοχή ολόκληρης της Αλμωπίας παρατηρούνται δύο κύριες διευθύνσεις κατανομής ρηγμάτων ΒΑ-ΝΑ και ΒΔ-ΝΑ.
2. Τα μεγαλύτερα σε μήκος ρήγματα κατανέμονται μεταξύ Β45°-Β75° με μέγιστο μεταξύ Β50°-Β70°
3. Σε κατά θέσεις μετρήσεις για μικρότερα σε μήκος ρήγματα παρατηρούνται συστηματικά μέγιστα κατανομής Β50°-Β60° ή Β60°-Β70° ή Β70°-Β80°, ενώ το εύρος κατανομής κυμαίνεται γενικά μεταξύ Β30°-Β80°.
4. Ένα δεύτερο μέγιστο κατανομής παρατηρείται στις παρατάξεις Β130°-Β150°.

Όλα σχεδόν τα μεσοσκοπικά ρήγματα που μελετήθηκαν στην πεδιάδα της Αλμωπίας και κυρίως εκείνα που επηρεάζουν τους πυροκλαστικούς σχηματισμούς της περιοχής μελέτης είναι κανονικά (ή πλαγιοκανονικά), έχουν μεγάλες γωνίες κλίσης με κατακόρυφα άλματα που κυμαίνονται μεταξύ ολίγων εκατοστών (συνήθως 1 m) και 10 m (σχ. 2). Παρατηρείται επίσης συστηματική κλίση των περισσότερων ρηγμάτων αυτών προς Ν και με μετάπτωση προς τη ΝΑ κατεύθυνση.

Ένα σύστημα ρηγμάτων του υποβάθρου παρουσιάζει ανάλογη γεωμετρία (διεύθυνση -κλίση) και κινηματική με τις δομές που επηρεάζουν το επιφανειακό ηφαιστειακό "καλυμα". Γενικά μπορούμε να δεχθούμε ότι στην ευρύτερη περιοχή Αλμωπίας, τόσο στο αλιδικό υπόβαθρο όσο και στους νεότερους σχηματισμούς παρατηρούνται ρήγματα κυρίως ΑΒΑ-ΔΝΑ διεύθυνσης, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν σαν αποτέλεσμα της επαναδραστηριοποίησης κατά κανόνα παλαιότερων ρηγμάτων του υποβάθρου ή ότι τα νεοτεκτονικά και πιθανώς τα ενεργά ρήγματα ακολουθούν παλιότερες δομές του υποβάθρου, κληρονομημένες από παλιότερες παραμορφωτικές φάσεις.

Στην περιοχή μελέτης όπου πραγματοποιήθηκαν τεκτονικές μετρήσεις κατά θέσεις, με ομαδοποίηση των ρηγμάτων διαπιστώθηκαν δύο κύριες φάσεις εφελκυσμού για τις οποίες υπολογίστηκαν οι διευθύνσεις και κλίσεις των κύριων αξόνων τάσης



Σχ. 2: Κανονικό ρήγμα ΑΒΑ-ΑΝΑ διεύθυνσης, μεγάλης γωνίας κλίσης (78° προς βόρεια) και άλματος ~70-80 cm στα πλειοκαινικά (4.8 Ma) πυροκλαστικά της περιοχής Σκύδρας.

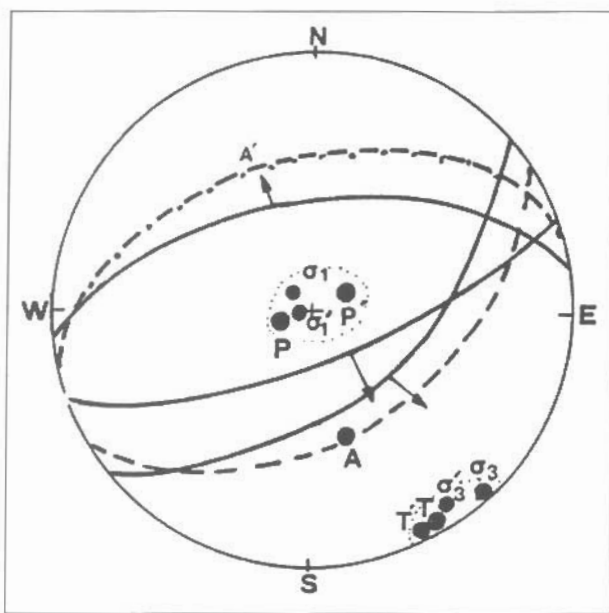
Fig. 2: ENE-WSW trending normal fault with high angle (78°N) and displacement ~70-80 cm affecting Pliocene (4.8 Ma)

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

σ_1 , σ_2 , σ_3 (για τις ποσοτικές μεθόδους υπολογισμού βλέπε Παυλίδης 1985, Mercier et al. 1989). Η πρώτη τεκτοφάση του Αν.Μειόκαινου-Πλειόκαινου, BBA-NNA διεύθυνσης (σ_3), ήταν υπεύθυνη για την δημιουργία ή επαναδραστηριοποίηση ρηγμάτων κύρια ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Το εφελκυστικό αυτό πεδίο των τάσεων είχε σταθερή ΒΑ-ΝΑ διεύθυνση σε ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο του Αιγαίου (ηπειρωτική Ελλάδα, Θράκη, Αιγαίο, Δυτική Τουρκία), όπως προκύπτει και από τις αντίστοιχες μελέτες άλλων ερευνητών (Mercier 1981, Παυλίδης 1985, Mercier et al. 1989).

Η δεύτερη εφελκυστική τεκτοφάση εκδηλώθηκε μετά το πέρας της πλειοκαινικής ιζηματογένεσης και ηφαιστειότητας, δηλαδή κατά το Τετατογενές, είχε ΒΔ-ΝΑ έως ΒΒΑ-ΝΝΑ διεύθυνση του άξονα ελάχιστης τάσης (σ_3) και ήταν ιδιαίτερα έντονη κυρίως στο μεσο-ύστερο (άνω) Πλειστόκαινο. Συνέπεια αυτής της φάσης ήταν η επαναδραστηριοποίηση και η δημιουργία μεγάλων κανονικών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΑ ως Α-Δ διεύθυνσης, τα οποία έπαιξαν κύριο ρόλο στη διαμόρφωση της λεκάνης Αλμωπίας, όπως και της Λεκάνης Βεγορίτιδας. Η εφελκυστική φάση του Τετατογενούς και τα ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης ρήγματα έπαιξαν τον πιο ουσιαστικό ρόλο στη νεοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής. Η τεκτονική αυτή φάση συνεχίζεται μέχρι και σήμερα, όπως διαπιστώνεται από πολύ πρόσφατες επαναδραστηριοποιήσεις ρηγμάτων τόσο στα ιζήματα όσο και στα πρόσφατα ηφαιστειακά, αλλά και από τις επιφανειακές διαρρήξεις ή μηχανισμούς γένεσης καλά προσδιορισμένων γειτονικών μεγάλων σεισμών σε ανάλογο γεωτεκτονικό περιβάλλον (Θεσσαλονίκη 1978, Γουμένισσα 1990, Κοζάνη-Γρεβενά 1995).

Μια σύγκριση του σεισμικού ρήγματος, όπως προκύπτει από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών Γουμένισσας 1990 και Κοζάνης-Γρεβενών 1995, με αντιπροσωπευτικά νεοτεκτονικά ρήγματα της περιοχής, δείχνει ικανοποιητικό συσχετισμό (σχεδόν ταύτιση) και αποτελεί **ισχυρή ένδειξη** για τον χαρακτηρισμό τους σαν ενεργών ρηγμάτων της περιοχής (σχ. 3).



Σχ. 3: Στερεογραφική προβολή (δίκτυο Schmidt) των σεισμικών ρηγμάτων του σεισμού Γουμένισσας της 21ης Δεκ. 1990 (διακεκομμένη γραμμή —, μέγιστος κύκλος) με το αντίστοιχο διάνυσμα κίνησης (A) και του σεισμού της 13ης Μαΐου 1995 Κοζάνης-Γρεβενών (διακεκομμένη και στικτή γραμμή -.-) με το αντίστοιχο διάνυσμα κίνησης (A'), και τριών αντιπροσωπευτικών νέων ρηγμάτων από την περιοχή μελέτης (συνεχείς γραμμές, μέγιστοι κύκλοι, διανυσματα κίνησης ως βέλη. P, P' άξονες μέγιστης

συμπίεσης. T, T' άξονες εφελκυσμού όπως προκύπτουν από τους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών Γουμένισσας 1990 και Κοζάνης-Γρεβενών 1995 αντίστοιχα (Panagiotoopoulos et al 1993; Pavlides et al 1995). σ_1 και σ_3 άξονες μέγιστης συμπίεσης και εφελκυσμού όπως υπολογίζονται από την ποσοτική κινηματική ανάλυση των νεοτεκτονικών ρηγμάτων.

Fig. 3: Stereographic (Schmidt) projection (lower hemisphere) of the seismic fault of 1990 Ms=5.9 (—) and 1995 Ms=6.6 (-.-) earthquakes and their slip vectors (A and A' respectively). Heavy black curves are projection of three representative fault of the study area. Striations (slip vectors) as arrows. P, P' and T, T' compressional and extensional axes of focal mechanisms respectively. (Panagiotoopoulos et al 1993; Pavlides et al 1995) while σ_1 , σ_1' , and σ_3 , σ_3' are the corresponding of maximum and minimum compression derived from neotectonic quantitative fault analysis.

4. ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί υψηλής σεισμικότητας με βάση τις ενόργανες καταγραφές σεισμών και την έλλειψη μαρτυριών ισχυρών σεισμών (ιστορικά στοιχεία). Έτσι η περιοχή της κεντροδυτικής Μακεδονίας θεωρείται "ασεισμική" ή "πολύ χαμηλής σεισμικότητας" και "σχετικά χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας" (Voidomatis 1989, Parazachos 1990). Υπάρχουν πολλά παραδείγματα από τη σύγχρονη βιβλιογραφία, που αναφέρονται σε περιοχές -σεισμικά ασφαλείς- ή -χαμηλής σεισμικότητας- σύμφωνα μόνο με τα σεισμολογικά δεδομένα, στις οποίες συνέβησαν μεγάλοι καταστροφικοί σεισμοί. Η επικρατούσα επιστημονική άποψη διεθνώς σήμερα είναι ότι για τις μελέτες της σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας δεν αρκούν μόνο τα σεισμολογικά δεδομένα, που περιορίζονται σε δείγμα λίγων δεκαετιών, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με σειсмоϊστορικά και κυρίως γεωλογικά (νεοτεκτονικά, γεωμορφολογικά, παλαιοσεισμολογικά κ.ά.). Αυτού του είδους η έρευνα επιχειρείται μέσα στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Από τα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτει ότι οι ενδείξεις νεοτεκτονικής δραστηριότητας στην περιοχή έρχονται σε αντίθεση με τη χαμηλή της σεισμικότητα.

Ο σεισμός της 21ης Δεκεμβρίου 1990 (Ms 6.0, Lat:40.9° N Long:22.4°E) και ιδιαίτερα της 13ης Μαΐου 1995 (Κοζάνη-Γρεβενά, Ms 6.6 Lat:40.2°N Long 21.7E) μας αναγκάζουν να αναθεωρήσουμε τις παραπάνω απόψεις τόσο για την ευρύτερη περιοχή της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας, όσο και για τη στενή περιοχή μελέτης. Ιδιαίτερα επίσης τα νεοτεκτονικά δεδομένα για την περιοχή Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας και Αριδαίας (Παυλίδης 1985, Pavlides & Mountrakis 1987, Παυλίδης και Σημιαϊάκης 1987/1988, Μπαρμπαραούσης και Σημιαϊάκης 1989, Pavlides et al 1990, Pavlides et al 1995) δείχνουν ότι η ευρύτερη περιοχή μελέτης επηρεάζεται από ΒΑ-ΝΑ ως ΑΒΑ-ΔΝΑ διεύθυνσης νεοτεκτονικά-ενεργά ρήγματα (έδρασαν κατά την διάρκεια του Τεταρτογενούς και ιδιαίτερα Ολοκαινίου) τα οποία παρουσιάζουν ομοιότητες με άλλα γνωστά σεισμικά ενεργά ρήγματα του Ελλαδικού χώρου (Pavlides 1996a,b). Έτσι μόνο με γεωλογικά (νεοτεκτονικά) κριτήρια ορισμένα ρήγματα της περιοχής μπορούν να χαρακτηριστούν, με ένα βαθμό αξιοπιστίας, **ενεργά** και η περιοχή στο σύνολό της, η οποία παρουσιάζει έντονη νεοτεκτονική δραστηριότητα και μικρή σεισμική δράση, (Πίνακας II) χαρακτηρίζεται από γεωλογική πλευρά ως ενεργός.

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Κατάλογος σεισμών της περιοχής (νεοτεκτονική ρηξιγενής ζώνη) Βεγορίτιδας-Έδεσσας-Σκύδρας-Γιαννιτσών-Γουμένισσας.

TABLE II. List of earthquakes along the Vegoritits lake-Edessa-Skydra-Gianitsa-Goumenissa neotectonic fault zone.

Έτος	Συντεταγμένες επικέντρου	Μέγεθος (Ms)	Μέγιστη ένταση I ₀ (MM)
1955	40.7°N-22.2°E	5.3	VII+
1979	40.9°N-22.3°E	4.6	VII-
1980	40.8°N-22.3°E	4.6	VI
1984	40.7°N-21.9°E	5.2	VII
1990	40.9°N-22.4°E	5.9	VII

Μια πρώτη εκτίμηση, που συνάγεται από νεοτεκτονικά δεδομένα, είναι ότι η περιοχή μελέτης βρίσκεται σε **σχετική σεισμική ηρεμία**, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι είναι ασεισμική, αλλά πιθανώς να παρουσιάζει μεγάλη περίοδο επανάληψης ισχυρών σεισμών, ή κυκλική σεισμικότητα, δηλαδή μεγάλες περιόδους σεισμικής ησυχίας και ορισμένα χρονικά διαστήματα (άγνωστα προς το παρόν) με έντονη σεισμική δράση.

Ενδεικτικά προς την κατεύθυνση αυτή έγινε μια πρώτη προσπάθεια παλαιοσεισμολογικής προσέγγισης με χρονολόγηση υλικού πλήρωσης (σχ. 4) σε δύο ρήγματα, με τη μέθοδο της θερμοφωταύγειας (TL) σε δύο ρήγματα της ζώνης νεοτεκτονικής δραστηριότητας της περιοχής, με την επένδυση της γεωλογικής έρευνας (Πίνακας II) και της γεωλογικής έρευνας της γεωλογίας, Α.Π.Θ.

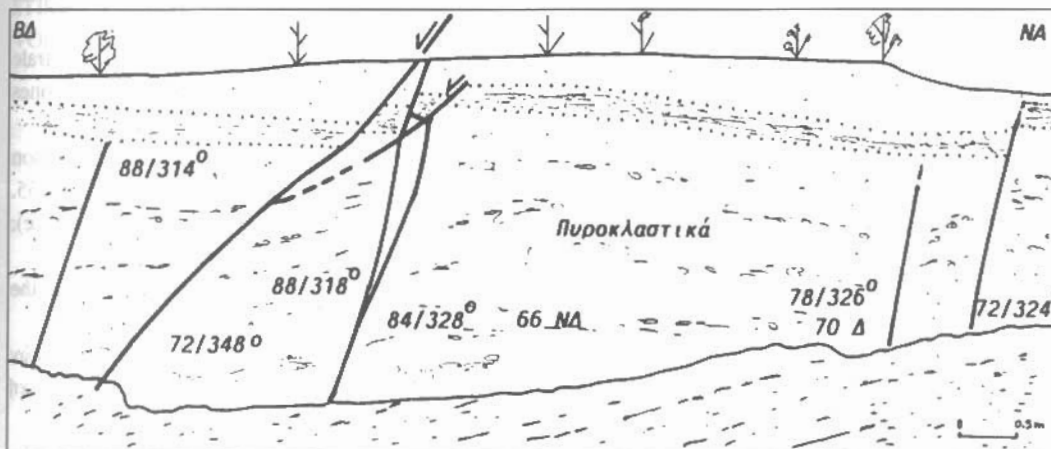
ρωγμών μετά από πιθανή τεκτονική επαναδραστηριοποίησή τους και κυμαίνονται μεταξύ 14.400 και 8.700 χρόνια (Πίνακας III).

ΠΙΝΑΚΑΣ III. Αποτελέσματα θερμοφωταύγειας

TABLE III. Thermoluminescence results

Structure	Material	Age
Normal fault	Soil	14.400±1.300 χρόνια (yr)
Normal fault	Soil-cataclacite	9.400±800 χρόνια (yr)
Joint (open crack)	Soil and pyroclastic material	8.700±700 χρόνια (yr)

Σύμφωνα με τους διεθνείς ορισμούς ενεργών ρηγμάτων, π.χ. Διεθνής Ένωση Ατομικής Ενέργειας (IAEA 1979) εφόσον παρουσιάζουν μια τουλάχιστον επαναδραστηριοποίηση στα τελευταία 35.000 χρόνια θεωρούνται Ενεργά Ρήγματα. Τέλος, ενδεικτική είναι και η έκλυση ραδονίου, ως οδηγός ανίχνευσης ενεργών ρηγμάτων (βλέπε σχήμα 5 από Pavlides 1977).



Σχ. 4: Ομάδα κανονικών ρηγμάτων ΑΒΑ-ΔΝΑ διεύθυνσης στα πυροκλαστικά της Νότιας Αλμωπίας από τα οποία έγινε δειγματοληψία (ΙΑΕΑ 1979-1984, Hunt 1983, REGINE GROUP 1991, Serva (ENEA) 1992/93, Basham & Giardini 1993, Οδηγίες Νεοτεκτονικού Χάρτη ΟΑΣΠ 1986-1996, Επιτροπή Τεκτονικής Γεωλογίας ΕΓΕ) υλικού πλήρωσης για να χρονολογηθεί η τελευταία επαναδραστηριοποίησή τους.

Fig. 4: Normal fault population ENE-WSW trending, within the South Almopias pyroclastics. Samples for dating the last rejuvenation were collected from filling material.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα διεθνή κριτήρια για την αναγνώριση ενεργών ρηγμάτων και την αντίστοιχη ελληνική εμπειρία οι μέθοδοι και οι τεχνικές που εφαρμόστηκαν στην περιοχή της Νότιας Αλμωπίας για τον καθορισμό ενεργών ρηγμάτων ήταν: α. Χρονολόγηση πετρωμάτων τα οποία επηρεάζονται από τα ρήγματα (πυροκλαστικά 4.8 Ma), β. Χρονολόγηση υλικού πλήρωσης ρηγμάτων (8.000α η νεότερη), γ. Υπολογισμούς του νεότερου τεκτονικού πεδίου των τάσεων (εμφελκυσμός ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης) και σύγκριση της κινηματικής των νέων ρηγμάτων με μηχανισμούς γένεσης σεισμών (απόλυτη ταύτιση), δ. Σεισμοτεκτονικός συσχετισμός. Δεν έγινε δυνατόν να εφαρμοσθούν ποιοτικές ή ποσοτικές μέθοδοι μορφοτεκτονικής γιατί το μορφοανάλυφο είναι σχετικά ομαλό και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των ρηγμάτων ασαφή.

Μερικά από τα κανονικά ρήγματα της περιοχής ΑΒΑ-ΝΝΑ κυρίως διεύθυνσης που αποτελούν τμήματα της ευρύτερης οπισθιγενούς ζώνης Πτολεμαΐδας - Βεγοριτίδας - Σκύδρας - Γιαννιτών - Γουμένισσας μπορούν να χαρακτηριστούν ενεργά ή πιθανά ενεργά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BASHAM, P. & GIARDINI, D. (1993). Technical guidelines for global seismic hazard assessment. *Ann. Geol. XXXVI*, 3-4, 15-24.
- ΒΟΥΓΓΙΟΥΚΑΛΑΚΗΣ, Γ. (1994). Οι Πλειοκαινικοί ηφαιστίτες της οροσειράς Βόρα,Κ. Μακεδονία, Ελλάδα. Πρακτικά 7ου Συνεδ. ΕΓΕ Θεσ/νίκη 1994. Δελτίο ΕΓΕ XXX/1, 223-240.
- CHORIANOPOULOU, P., GALEOS, A. IOAKIM, CH.,(1985). Pliocene lacustrine sediments in the volcanic succession of Almopias, Macedonia, Greece. In Dixon & Robertson (Ed.) *Spec. Publ. The Geological Society No 17 Blackwel*. 785-806.
- ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Γ.Ε. (1977). Συμβολή εις την μελέτην των ηφαιστειογενών πετρωμάτων της Νοτίου Αλμωπίας. Διδ. Διατρ., Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 182 σ.
- HUNT, E.R. (1983). Geotechnical Engineering Investigation Manual. *McGraw-Hill* 983 pp.
- IAEA (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY) (1979). Earthquakes and Associated Topics in Relation to nuclear Power Plant Siting. A safety Guide. 1984 Vienna.
- KOLIOS, N., INNOCENTI, F., MANETTI, P., PECCERILLO, A., GIULIANI, O. (1980). The Pliocene Volcanism of the Voras Mts (Central Macedonia, Greece). *Bull. Volcanol.* 43-4, 553-568.
- MERCIER, J.-L., (1968). Etude geologique de zones Internes des Hellenides en Macedoine centrale (Grece). Contribution a l' etude du metamorphisme et de l' evolution magmatique des zones internes des Hellenides. Theses, Paris 1966, *Ann. geol. Pays Hellen.*, 20, 1-792.
- MERCIER J.-L. (1981). Extensional-compressional tectonics associated with the Aegean Arc: comparison with the Andean Cordillera of south Peru-north Bolivia. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A300, 337-355.
- MERCIER J.L. & VERGELY, P. (1972). Les melanges ophiolitiques de Macedoine (Grece): decrochements d' age ante-Cretace superieur. *Z. Dtsch. Geol. Gest., Stut.* 123, 469-489.
- MERCIER, J.- SOREL, D., VERGELY, P., & SIMEAKIS, K. 1989. Extensional tectonics regimes in the Aegean basins during the Cenozoic. *Basin Research* 2, 49-71.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1976). Συμβολή εις την γνώσην της γεωλογίας του Βορείου ορίου των ζωνών Αξιού και Πελαγονικής εις την περιοχήν Κ. Λουτρακίου -Ορμας (Αλμωπίας). Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Θεσσαλονίκης, 164 σ.
- PANAGIOTOPOULOS, D.G., PAPADIMITRIOU, E.E., PAPAIOANNOU, Ch.A., SCORDILIS, E.M. & PAPAZACHOS, B.C. (1993). Source properties of the 21 Dec 1990 Goumenissa Earthquake in Northern Greece. Proc. 2nd Cong. Hell. Geoph. Union, Florina, May 5-8, VI, 286-296.
- PAPAZACHOS, B. C. (1990). Seismicity of the Aegean and surrounding area, *Tectonophysics*, 178, 287-308.
- ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ, Β. and ΠΑΠΑΖΑΧΟΥ, (1989). Οι Σεισμοί της Ελλάδος. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 336 p.p.
- PAPAZACHOS, B.C., PAPAIOANNOU, CH.A., MARGARIS, B.N., & THODOULIDIS, N.P. (1993). Regionalization of Seismic Hazard in Greece Based on Seismic Sources. *Nat. Hazards* 8, 1-18.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ, Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας. Διδακτ. Διατρ., Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 265 σ.
- PAVLIDES, S. (1993). Active faulting in multifracted seismogenic areas: examples from Greece. *Z. Geomorph. N.E.*, 94, 52-72.
- PAVLIDES, S. (1996a). Active Faults in Greece. *J. Earth. Pred. Res.* 5, 422-430.
- PAVLIDES, S. (1996b). First Palaeoseismological results from Greece. *Ann. Geol.*, XXXIX, 3, 545-555.
- PAVLIDES, S. (1997). Active Faulting in northern Greece. Implication on engineering Geology. *Eng. Geol. & Envir.* (Marinos, Koukis, Tsiampaos, Stournaras eds). Βάλκεμα, V1, 315-320.
- PAVLIDES, S. and MOUNTRAKIS, D. (1987). Extensional tectonics of northwestern Macedonia, Greece, since the late Miocene. *J. Struct. Geol.* 9, 4, 385-392.
- PAVLIDES, S. and SIMEAKIS K. (1987/88). Neotectonic and Active tectonics in Low Seismicity areas of Greece: Vegoritis (NW Macedonia) and Melos Isl. Complex (Cyclades)-Comparison. *Ann. Geol.*

Pays Hell., 33, 161-176.

- PAVLIDES, S., MOUNTRAKIS, D., KILIAS, A. and TRANOS, M., (1990). The role of strike-slip movements in the extensional area of Northern Aegean (Greece). A case of transtensional tectonics. *Ann. Tectonicae*, IV, 2, 196-211.
- PAVLIDES S.B., N.C. ZOUROS, A.A. CHATZIPETROS, D.S.KOSTOPOULOS and D.M. MOUNTRAKIS (1995). The 13th May 1995 Western Macedonia, Greece (Kozani - Grevena) earthquake; preliminary results. *Terra nova*, v. 7, 544-549.
- REGINE GROUP (1991). Proposal for classification of fault activity in an intraplate collision setting: Definitions and examples. *Tectonophysics* 194, 279-293.
- SERVA, L.,- ENEA (1992/93). An analysis of the world Major regulatory guides for NPP Seismic design. A guideline for high risk facilities. ENEA-Direzione Centrale Sicurezza Nucleare a Protezione Sanitaria. Roma, 44 pp.
- STAIS, A. (1993). Evolution geodynamique de bassins mesozoïques vardariens: domaines de Peonias et d'Almopias *PH.D. Thesis, Univ. de Lille* pp. 258 (αδημοσίευτο).
- STIROS, S. (1995). Unexpected Shock Rocks and "aseismic" area. *EOS*, 76, 50, 513.
- VOIDOMATIS, P. (1989). Some aspects of a seismotectonic synthesis in the North Aegean Sea and surrounding area. *Boll. di Geol. Teor. Appl.*, VXXXI, 121, 49-61.