

ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΡΚΙΤΣΑΣ - ΑΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ - ΚΑΜΕΝΩΝ ΒΟΥΡΛΩΝ

Σ. Παυλίδης*, Α. Χατζηπέτρος*, Χ. Γκουντρομίχου*,
Π. Αυγερόπουλος#, Γ. Γιαννάτος#, Δ. Βάσιος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή Αγίου Κωνσταντίνου - Καμένων Βούρλων παρουσιάζει από τα πιο εντυπωσιακά νεοτεκτονικά ρήγματα του ηπειρωτικού ελλαδικού χώρου, με έντονα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά και είναι ιδιαίτερα ενεργή γεωτεκτονικά. Με παρατηρήσεις υπαίθρου και μελέτη αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:6.000, οι μορφοτεκτονικές δομές ταξινομήθηκαν σε: α) σαφή τεκτονικά ρήγματα του υποβάθρου, β) διαβρωμένα ρηξιγενή πρηνή με ορατή τη ρηξιγενή επιφάνεια, γ) διαβρωμένα ρηξιγενή πρηνή με θαμμένη τη ρηξιγενή επιφάνεια, και δ) πιθανές τεκτονικές δομές. Έμφαση δίνεται στη χρησιμοποίηση γεωμορφολογικών κριτηρίων για την αναγνώριση νεοτεκτονικών ρηγμάτων στα πρόσφατα ιζήματα και στην αξιοποίηση των αποτελεσμάτων για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου της περιοχής.

ABSTRACT

The area Agios Konstantinos - Kamena Vourla shows the most impressive neotectonic and active faults of continental Greece, which are expressed in the surface by typical morphotectonic characteristics. The area is dominated by two main fault systems, E-W trending and NW-SE to WNW-ESE. The morphotectonic structures have been classified in the basis of field observations and aerial photograph analysis (1:6,000) as: a) typical faults affecting basement rocks, (fault scarps) b) weathered fault scarps of clear tectonic origin (fault-line scarps); c) weathered scarps of possible tectonic origin, d) probable fault scarps. In this study emphasised the morphotectonic criteria for recognition of active fault, especially in the sedimentary deposit, in order to be used in Seismic Hazard Assessment of the area.

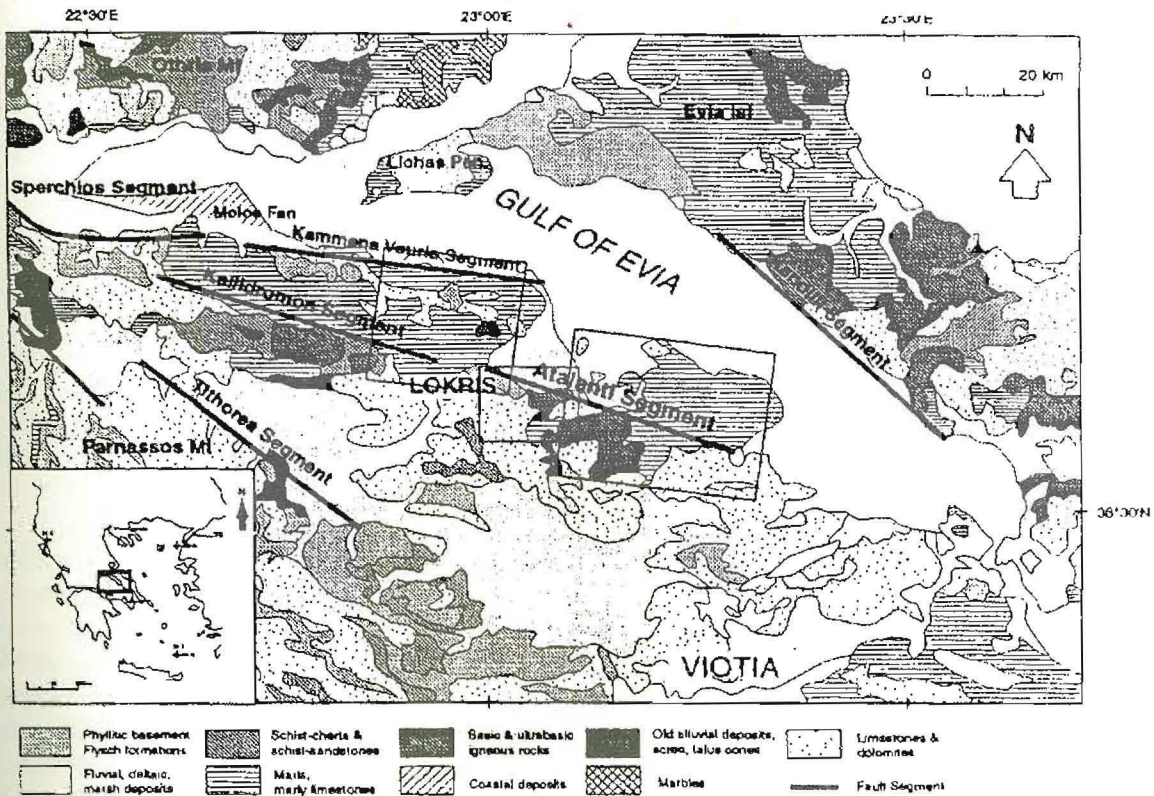
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης Καλλιδρόμου-Καμένων Βούρλων γεωλογικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από νεοτεκτονικής άποψης, διότι παρουσιάζει μερικά από τα πιο εντυπωσιακά νεοτεκτονικά-ενεργά ρήγματα του ηπειρωτικού ελλαδικού χώρου. Το ρήγμα της Αταλάντης (segment) συνδέεται με το μεγάλο καταστρεπτικός σεισμό του Απρίλη του 1894.. Ρήγματα που πιθανά συνδέονται με ιστορικούς σεισμούς, είναι επίσης του Σπερχειού-Θερμοπυλών (427/26 π.Χ., 551μ.Χ. (?), 1544, 1740, 1758) (Ambraseys & Jackson 1990, Παπαζάχος & Παπαζάχου 1989, Μουγιάρης 1994). Το τμήμα Αρκίτσας - Καμένων Βούρλων -Θερμοπυλών δεν φαίνεται να έχει δώσει ιστορικούς σεισμούς, γιατί και η νεοτεκτονική μελέτη αυτού του ρήγματος αποκτά ιδιαίτερη σημασία για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας. Όσον αφορά το μεγάλο σεισμό και πλησιέστερο στην περιοχή μελέτης της 27ης Απριλίου του 1894 στην περιοχή της Αταλάντης, μεγέθους 7.0 R. αρκετοί ερευνητές δέχονται μήκος διάρρηξης 50-60 km και κατακόρυφες μετατοπίσεις μεγαλύτερες των 2m. (Richter 1958, Παπαζάχος, Β., & Παπαζάχου, Κ., 1989, Ambraseys & Jackson 1990). Μια επανεκτίμηση όμως των αρχικών περιγραφών των Μητσόπουλου 1895 και κυρίως Σκούφου 1894, καθώς επίσης και η σύγκρισή με τις εμπειρικές λογαριθμικές σχέσεις από παγκόσμια και ελληνικά δεδομένα (Wells & Coppersmith 1994, Pavlides et al) φαίνεται ότι κατά τον προσεισμό της 20ης Απριλίου (M 6.8), εμφανίστηκαν διαρρήξεις με μικρές

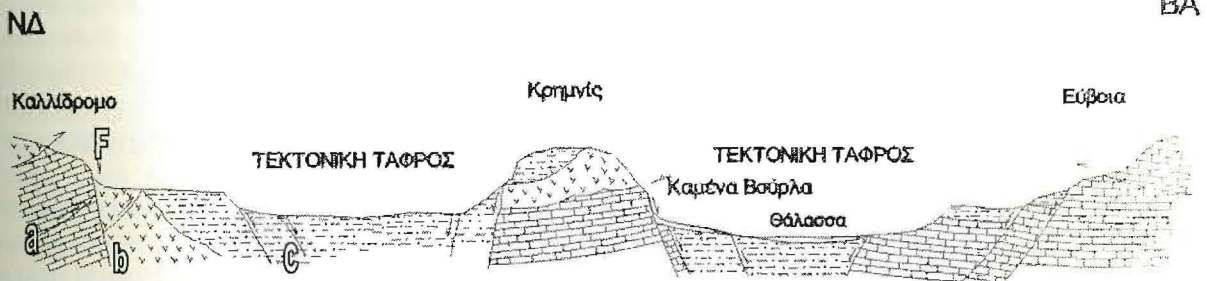
* Τομέας Γεωλογίας & Φυσικής Γεωγραφίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Τ. Κ. 540 06, Θεσσαλονίκη

μετατοπίσεις μήκους λιγότερου των 15km και κατά τον κύριο σεισμό της 27ης Απριλίου 1894 (M 7.0) δημιουργήθηκαν εδαφικές διαρρήξεις από την Αταλάντη μέχρι το Μαρτίνο, με διεύθυνση ANA - ΔΒΔ, με συνολικό μήκος που δεν ξεπερνά τα 25 km. Δείχνουν κανονική συνιστώσα κίνησης με μετάπτωση του ΒΑ τεμάχους κατά μέσο όρο 100 cm περίπου και επαναδραστηριοποίηση των προϋπάρχουσων τεκτονικών δομών παράταξης 300°. Η συνηθισμένη τιμή άλματος των διαρρήξεων κυμαίνεται μεταξύ 5- 20 cm, ενώ μια μέση τιμή μπορεί να θεωρηθεί 30 cm. (Skouphos, Th., 1894, Mitzoroufios, K., 1895, Παπαζάχος, Β., & Παπαζάχου, Κ., 1989, Ambraseys, N., & Jackson, J., 1990). Την νεοτεκτονική της ευρύτερης περιοχής έχουν μελετήσει οι: Pegoraro 1972, Pechoux et al. 1973, Philip 1974, Mercier et al. 1976, Lemeille 1977, Rondoyianni - Tsiambaou 1984, Stiros 1985, Mettos et al. 1992, κ.ά.

Η περιοχή μελέτης, γεωγραφικά περιορίζεται ανάμεσα στην Αρκίτσα, στον Άγιο Κωνσταντίνο και στα Καμένα Βούρλα και οι τεκτονικές επιφάνειες που χαρτογραφήθηκαν υλοποιούν το τμήμα του ρήγματος Καμένων Βούρλων «Σχ. 1». Το ρήγμα παρουσιάζει εντυπωσιακά γεωμορφολογικά χαρα-



Σχήμα 1: Γενικευμένος γεωλογικός – τεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Διακρίνονται τα κύρια τμήματα των μεγάλων ρηγμάτων (Σπερχειού – Θερμοπυλών – Καμένων Βούρλων – Καλλιδρόμου, Αταλάντης και Τιθωραίας) από Ganas, et al., 1997.



Σχήμα 2: Σχηματική γεωλογική τομή με διεύθυνση ΝΔ - ΒΑ, όπου διακρίνονται σε γενικές γραμμές οι δύο τεκτονικές τάφροι, a: ασβεστόλιθοι, b: οφιόλιθοι, c: ιζήματα και F: ρήγματα και επωθήσεις.

κτηριστικά, τα οποία βοήθησαν στη διάκριση των ρηξιγενών πρανών και στο διαχωρισμό τους σε τέσσερις κατηγορίες. Μετρήθηκαν οι μορφοτεκτονικές δομές της περιοχής και υπολογίστηκε το πεδίο των νεοτεκτονικών τάσεων. Χαρτογραφήθηκαν σε κλίμακα 1: 5.000 τα ρήγματα, τα οποία παρουσιάζουν χαρακτηριστικά ενεργού δράσης και κατασκευάστηκε φωτομωσαϊκό (αεροφωτογραφιών κλίμακας 1:6.000), στο οποίο διακρίνονται οι δομές, που μελετήθηκαν με βάση τα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά τους. Από τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις στην ύπαιθρο, αλλά και από τις εργαστηριακές μελέτες, προκύψαν στοιχεία για το μήκος και άλμα τους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της περιοχής.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή γεωλογικά ανήκει στην Πελαγονική ζώνη και αποτελείται από τους Τριαδικό-Ιουρασικούς κρυσταλλικούς ασβεστολίθους και δολομίτες του ανθρακικού καλύμματος της ζώνης, τους αλλόχθονους οφιολίθους και τα Νεογενή – Τεταρτογενή ιζήματα (λιμναία του Ανωτέρου Μειοκαινού – χερσαία του Πλειστοκαίνου – πρόσφατα πλευρικά κορήματα ρηγμάτων) «Σχ. 1, 2».

Οι κύριες τεκτονικές γραμμές, (segments) οι οποίες και κυριαρχούν στην ευρύτερη περιοχή είναι: το ρήγμα της Τιθωραίας, το ρήγμα της Αταλάντης, το ρήγμα Καμένα Βούρλα, το ρήγμα Καλλιδρόμου, το ρήγμα Σπερχειού και το ρήγμα Κανδηλιού στην Εύβοια «Σχ. 1, 2» (Ganas & White 1997, Ganas et al., 1998). Πρόκειται για κανονικά ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΔ -ΝΑ έως ΔΒΔ - ΑΝΑ. Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στο κυρίως ρήγμα Καμένων Βούρλων (segment) από Αρκίτσα μέχρι σχεδόν Θερμοπύλες, και ουσιαστικά περιλαμβάνει την υπαίθρια παρατήρηση και μελέτη αεροφωτογραφιών σε αρκετά μεγάλη κλίμακα (1:6.000). Ρήγματα ανάλογης τεκτονικής συμπεριφοράς (κανονικά), μικρότερου μήκους, παρατηρήθηκαν στην περιοχή και χαρακτηρίστηκαν ως δευτερεύοντα

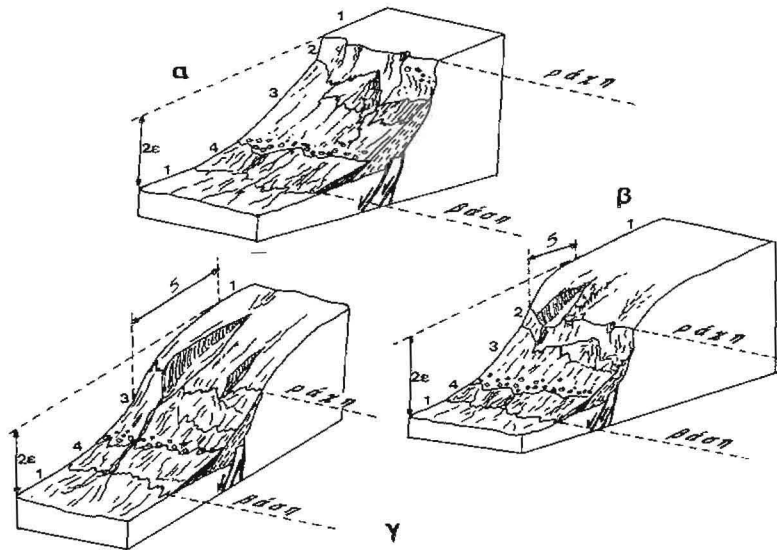
Εργασίες ποσοτικού υπολογισμού της σεισμικότητας με βάση τις ενόργανες καταγραφές σεισμών του παρόντα αιώνα κατατάσσουν την περιοχή μέσης (μέτριας) σεισμικότητας. Οι μεγάλοι όμως σεισμοί στο τέλος του περασμένου αιώνα (1894), η ιστορική σεισμικότητα και τα κυρίως τα γεωλογικά δεδομένα κατατάσσουν την περιοχή στις ζώνες με ιδιαίτερα τεκτονική ενεργό δράση και υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας.

ΜΟΡΦΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Είναι γνωστό, πως οι ενεργοποιήσεις ενός σεισμικού ρήγματος επηρεάζουν τη γεωμορφολογική του έκφραση δίνοντας κάθε φορά μια διαφορετική εικόνα στην επιφάνειά του. Έτσι, διαμορφώνεται πολλές φορές το ανάγλυφο μιας περιοχής και παρατηρώντας στοιχεία της μορφολογίας είναι δυνατό να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για τα ενεργά ρήγματα και τη σεισμικότητα της περιοχής. Ένα ρηξιγενές πρανές ενεργού ρήγματος διαφέρει από ένα οποιοδήποτε άλλο πρανές, στο ότι συνεχίζει να εξελίσσεται και μετά τη δημιουργία του, με τη μορφή επαναλαμβανόμενων ανανεώσεων λόγω της δράσης του ρήγματος.

Η επιφανειακή μορφολογία ενός πρανούς εξελίσσεται συνήθως σε τρία στάδια: α. Σ' ένα νέο τεκτονικό πρανές είναι ευδιάκριτη η ελεύθερη επιφάνεια, ενώ στη βάση του σχηματίζεται η κολλουβιακή σφήνα και η σφήνα απόπλυσης. β. Στη συνέχεια η διάβρωση απομακρύνει επιπλέον υλικό από τη ράχη του πρανούς και το αποθέτει στη βάση. Το πρανές αποκτά αποστρογγυλωμένη κορυφή, ενώ η ράχη μετατοπίζεται προς τα κατάντη. γ. Στο τελικό στάδιο η διάβρωση καταστρέφει τα τελευταία υπολείμματα της ελεύθερης επιφάνειας και δίνει στο πρανές μια ομαλή μορφολογία στην οποία η κλίση του πρανούς είναι αρκετά μικρή «Σχ. 3».

Τα ρηξιγενή πρανή, τα οποία σχηματίζονται σε σκληρά συνεκτικά υλικά (υπόβαθρο) είναι πιο ανθεκτικά στη διάβρωση και γι' αυτό διατηρούν στοιχεία της αρχικής μορφολογίας τους για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ τα ρηξιγενή πρανή σε νέα ιζήματα χάνουν τα αρχικά τους στοιχεία αρκετά γρήγορα. Στα νέα ιζήματα το ρηξιγενές πρανές διατηρείται για αρκετό διάστημα, δεν φαίνονται ρηξιγενείς επιφάνειες και σε αυτά είναι δυνατό να υπολογιστεί το ποσό της μετατόπισης των στρωμάτων εκατέρωθεν της διάρρηξης.



Σχήμα 3: Ορολογία και εξέλιξη ενός ρηξιγενούς πρανούς κανονικού ρήγματος: 1. αρχική επιφάνεια, 2. ελεύθερη επιφάνεια, 3. κολουβιακή σφήνα, 4. σφήνα απόπλυσης και 5. πλάτος της κυρτής επιφάνειας στο άνω μέρος του πρανούς (Χατζηπέτρος, 1998).

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΡΗΓΜΑΤΩΝ

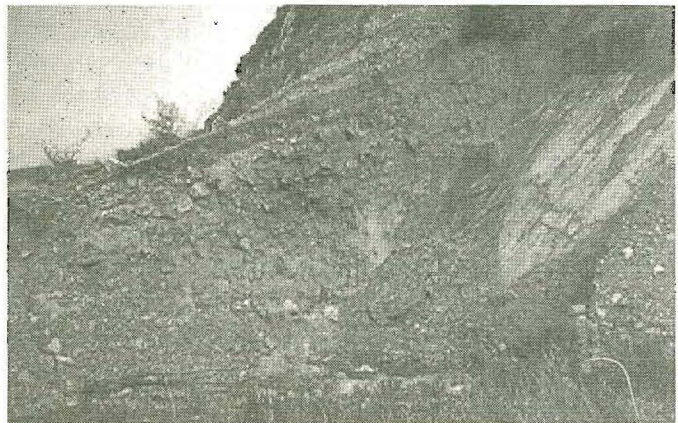
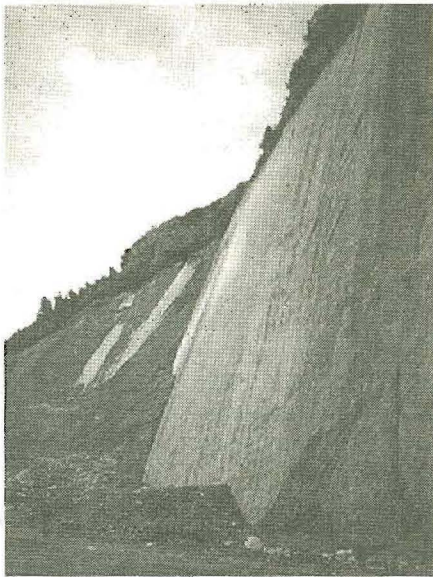
Τα κύρια ρήγματα που επικρατούν στην περιοχή είναι γενικά ΒΔ - ΝΑ και ΔΒΔ - ΑΝΑ παράταξης, τα οποία οριοθετούν και τη δυτική ακτή του Βόρειου Ευβοϊκού κόλπου. «Σχ. 2» Εκτός από κινήσεις καταβύθισης κυρίως των κατελθόντων τεμαχίων των ρηγμάτων (προς Ευβοϊκό κόλπο), που συνδέονται με σεισμική δραστηριότητα έχουν παρατηρηθεί και ασεισμικές κινήσεις, το μέγεθος των οποίων δεν έχει επακριβώς προσδιοριστεί (Stiros & Rondogianni, 1985, Λυκούδης, 1990).

Δύο είναι οι κύριες ρηξιγενείς ζώνες στην περιοχή και μάλιστα αναπτύσσονται παράλληλα μεταξύ τους με διεύθυνση Α - Δ ως ΑΝΑ - ΔΒΔ. Πρόκειται για τη ρηξιγενή Αγίου Κωνσταντίνου - Καμμένων Βούρλων και τη ρηξιγενή ζώνη του Καλλιδρομου «Σχ. 1». Μεταξύ αυτών και σε υψόμετρα μέχρι 300 m - 400 m αναπτύσσονται ποτάμια και λιμναία ιζηματογενή πετρώματα Πλειοπλειστοκαινικής ηλικίας με χαρακτηριστικές κλίσεις 10° - 20° προς νότια (Lemeille 1977, Mercier et al. 1976, Pechoux et al. 1973, Rondoyianni - Tsiambaou, Th. 1988)

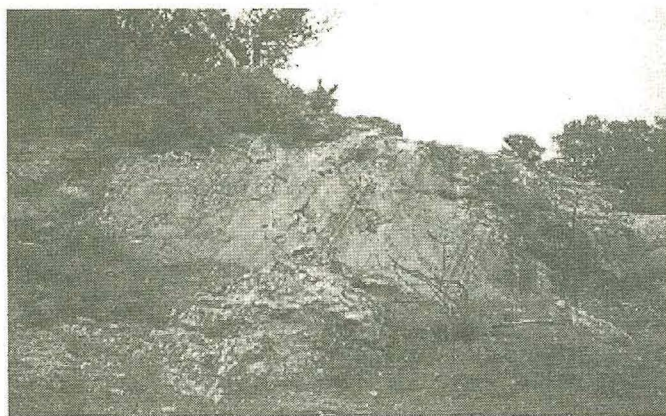
Η ρηξιγενής ζώνη, που εξετάστηκε με λεπτομέρεια και παρουσιάζει ενδιαφέροντα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, εντοπίζεται στο όριο της πεδινής περιοχής, όπου θεμελιώνονται οι οικισμοί Άγιος Κωνσταντίνος, Καμένα Βούρλα και Ασπρονέρι, με το απότομο πρανές δυτικά της υπάρχουσας εθνικής οδού και ουσιαστικά αποτελεί μέρος του ρήγματος Καμένα Βούρλα «Σχ. 1». Σύμφωνα με τους επίσημους ορισμούς ενεργών ρηγμάτων (International Atomic Energy Agency 1979, Keller & Pinter 1996, Kramer 1996.), ένα ρήγμα είναι ενεργό όταν έχει δώσει επιφανειακές μετατοπίσεις μέσα στο Ολόκαινο (~ 10.000 χρ.) και έχει έντονα μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά (τεκτονικά πρανή μεγάλης γωνίας κλίση, λείες επιφάνειες, πρόσφατη επαναδραστηριοποίηση αποτυπωμένη στις ολοκαινικές αποθέσεις κ.α.) όπως στην περίπτωση των ρηγμάτων Αγίου Κωνσταντίνου - Καμένων Βούρλων. Βάση των κριτηρίων αυτών τα ρήγματα που χαρτογραφήθηκαν στην περιοχή μελέτης θεωρήθηκαν ενεργά.

Ακολουθεί μια περιγραφή των ρηγμάτων στην περιοχή Αγίου Κωνσταντίνου - Καμένων Βούρλων, όπως αυτά διακρίθηκαν με βάση υπαίθριες γεωμορφολογικές και τεκτονικές παρατηρήσεις και μελέτη των αεροφωτογραφιών της περιοχής κλίμακας 1: 6.000. Τα ρήγματα, που αποτελούν την κύρια τεκτονική ζώνη οριοθετούν το υπόβαθρο (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) και τα νέα ιζήματα.

1. **Σαφή τεκτονικά ρήγματα του υποβάθρου:** Αποτελούνται από μη διαβρωμένες, πρόσφατα αποκαλυμμένες ρηξιγενείς επιφάνειες του υποβάθρου. Δεσπόζουν στη μορφολογία της περιοχής με ύψος πρανούς μεγαλύτερο των 400 m. Οι λειασμένες τεκτονικές επιφάνειες βρίσκονται στη βάση των πρανών και έχουν ύψος μερικών μέτρων με εξαίρεση τήν τεκτονική ιδιαίτερα λειασμένη επιφάνεια (καθρέπτης του ρήγματος της Αρκίτσας) «Φωτ. 1», το ύψος της οποίας σε μια αποκαλυπτόμενη επιφάνεια μήκους 500 - 600 m, είναι 40 - 50 m. Μάλιστα, από την αλλαγή του αζιμούθιου στο διάνυσμα κίνησης τις επιφάνειες αυτές έχει υπολογιστεί ότι περίπου 50 σεισμικά γεγονότα (ή καλύτερα, σεισμικοί κύκλοι) έχουν σχέση με αυτό το ρήγμα (Jackson & McKenzie, 1999). Η υπαίθρια παρατήρηση έδειξε ότι στις ρηξιγενείς αυτές επιφάνειες είναι κατά θέσεις ορατές πολλές μικροτεκτονικές δομές που έχουν περιγραφεί για νεοτεκτονικά ρήγματα και συγκεκριμένα γραμμώσεις (slickenlines) και αυλακώσεις (cannelures) τεκτονικής ολίσθησης. «χτενοειδείς» διακλάσεις, ζώνες διάτμησης, ζώνες κατακερματισμού, τεκτονικά λατυποπαγή, κ.τ.λ. Αποτελούν την κύρια ρηξιγενή δομή της περιοχής «Σχ. 1», «Φωτ. 2».

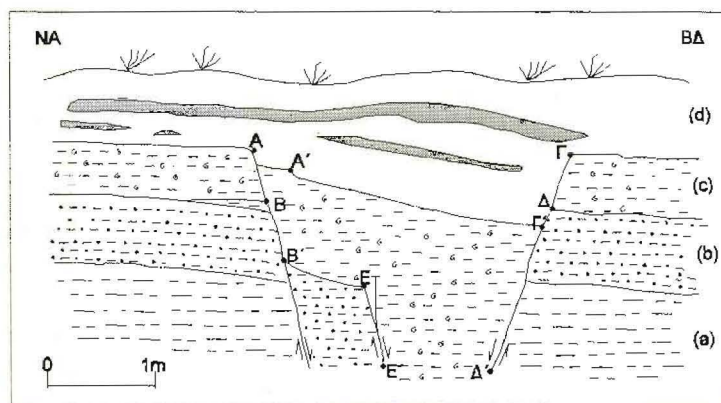


- Φωτ. 1:** (αριστερά) Μία εντυπωσιακή ρηξιγενής επιφάνεια του ρήγματος της Αρκίτσας, όπου (a) η επιφάνεια του ρήγματος με τις χαρακτηριστικές γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης και (b) τα πλευρικά (ολοκαινικά)κορήματα. Το βέλος δείχνει το είδος της κίνησης (πλαγιοκανονική συνιστώσα κίνησης).
- Φωτ. 2:** (δεξιά) Διακρίνονται εκτός από την κύρια επιφάνεια του ρήγματος Καμένων Βούρλων (a) κυρίως τα πολύ πρόσφατα πλευρικά κορήματα (b), που προέρχονται από την διάβρωση της «ράχης» του ρήγματος. Το βέλος δείχνει την απότομη κλίση του μορφολογικού πρανούς και το είδος της κίνησης (κανονικό ρήγμα).



Φωτ. 3: Φαίνεται μια ρηξιγενής επιφάνεια του κυρίου ρήγματος (α), αρκετά λειασμένη, στο ασβεστολιθικό υπόβαθρο της περιοχής.

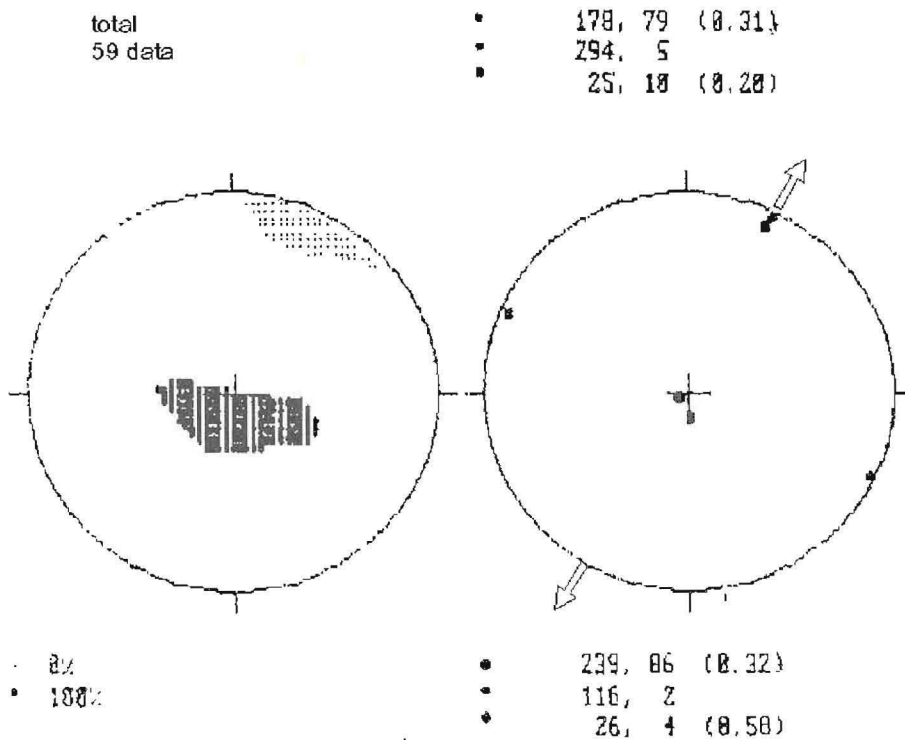
2. **Διαβρωμένα ρηξιγενή πρηνή με ορατή τη ρηξιγενή επιφάνεια:** Είναι πρηνή που βρίσκονται κυρίως στα ανθρακικά πετρώματα του υποβάθρου και αποτελούν παλαιότερες επιφανειακές εκφράσεις του ρήγματος «Φωτ. 3». Είναι γενικά παράλληλα με το κύριο ρήγμα, εκτός από τη ζώνη παράταξης Β - Ν, που βρίσκεται στην περιοχή Καμένα Βούρλα. Οι φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων στα οποία αναπτύσσονται τα συγκεκριμένα πρηνή καθορίζουν και την επιφανειακή μορφολογία τους (μεγάλες γωνίες κλίσης).
3. **Διαβρωμένα ρηξιγενή πρηνή με θαμμένη τη ρηξιγενή επιφάνεια:** Τα πρηνή αυτά αποτελούν την επιφανειακή έκφραση πιθανά ενεργών ρηγματών και εντοπίζονται κατά βάση στα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα. Αν και είναι νεότερα από τα προηγούμενα, η γωνία κλίσης τους είναι σχετικά μικρή λόγω των ιδιοτήτων των υλικών που παραμορφώνονται (χαλαρές έως ημισυμπαγείς αποθέσεις). Επίσης, σε αυτά τα πρηνή δεν είναι δυνατό να γίνει άμεση παρατήρηση της ρηξιγενούς επιφάνειας, παρά μόνο όταν υπάρχουν τεχνητές τομές και διακρίνονται μετατοπίσεις στα ιζήματα, «Σχ. 4» ή όταν παρατηρηθούν αμέσως μετά από κάποιο σεισμικό γεγονός ως επιφανειακές διαρρήξεις. Η παραμόρφωση μετά το σεισμό παραμένει για αρκετό διάστημα ορατή, αλλά λόγω της διαβρωσιμότητας των χαλαρών υλικών με την πάροδο του χρόνου χάνονται τα επιφανειακά ίχνη και οι παρατηρήσεις περιορίζονται μόνο στις τεχνητές τομές, όπως στην περίπτωση του «Σχ. 4». Τα πρηνή αυτά θεωρούνται οι επιφανειακές εκφράσεις του ρήγματος με την μεγαλύτερη πιθανότητα να ενεργοποιηθούν κατά τη διάρκεια ενός σεισμού (βλ. χάρτη και φωτομωσαϊκό).



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση μιας τεχνητής τομής στον οικισμό Κάρβουνα (Άγιος Κωνσταντίνος), όπου διακρίνονται οι μεταπτώσεις από τρία σεισμικά γεγονότα στην περιοχή. Όπου $AA' = 23$ cm, $BB' = 87$ cm, $ΓΓ' = 80$ cm, $ΔΔ' = 120$ cm και $EE' = 70$ cm είναι τα παρατηρούμενα άλματα στους σχηματισμούς a, b, c, d, (a: ερυθροκαστάνινο αργιλικό στρώμα, b: λευκοπράσινη μίγνυ με αργιλοαμμώδεις ενστρώσεις και μικρές (έως 5 cm) αποστρογγυλεμένες κροκάλες, c: γκρίζο αργιλικό (καθαρό) υλικό με απολιθώματα και d: το σύγχρονο έδαφος με οριζόντες παλαιοεδαφών).

4. **Φωτογραμμώσεις** (πιθανές τεκτονικές δομές παλαιότερων - μη ενεργών - φάσεων): Είναι γραμμώσεις που παρατηρήθηκαν στις αεροφωτογραφίες και που δεν κατέστη δυνατό να ταυτιστούν στην ύπαιθρο με κάποια ρηξιγενή ζώνη. Η παρουσία τους φαίνεται να είναι αποτέλεσμα τεκτονικής δράσης.

Από την εργαστηριακή επεξεργασία των δεδομένων, που συλλέχθηκαν από τις υπαίθριες παρατηρήσεις, υπολογίστηκαν διαγράμματα τάσεων. Συγκεκριμένα, από το συνολικό αριθμό των κυρίων ρηγμάτων δίνονται τα διαγράμματα του σχήματος 5. Το διάγραμμα (αριστερά) είναι στερεογραφική προβολή και απεικονίζει την περιοχή (ανοικτόχρωμη γραμμωσκιασμένη περιοχή) της μέγιστης πιθανότητας ύπαρξης του άξονα σ_3 (εφελκυστικός) με τη μέθοδο των ορθών διεδρών γωνιών (σκούρα περιοχή: 0% πιθανότητα για το σ_3 και 100% πιθανότητα για το σ_1). Το διάγραμμα (δεξιά) απεικονίζει τη θέση και των τριών αξόνων της τάσης με δύο διαφορετικές μεθόδους υπολογισμού. Οι αριθμοί επάνω και κάτω από το διάγραμμα δείχνουν τις συντεταγμένες των αξόνων σ_1 , σ_2 και σ_3 με αυτή τη σειρά και στις δύο μεθόδους αντίστοιχα.



Σχήμα 5: Διαγράμματα όπου φαίνεται η κινηματική των ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης με εφελκυστικό άξονα $\sigma_3 = 25^\circ/10^\circ$, δηλαδή διεύθυνσης ΒΒΑ – ΝΝΔ (βέλι).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην ευρύτερη περιοχή Αρκίτσας-Αγ. Κωνσταντίνου-Καμένων Βούρλων κυριαρχούν δυο διευθύνσεις ρηγμάτων σε Α - Δ και ΒΔ - ΝΑ έως ΑΝΑ - ΔΒΔ διεύθυνση. Χαρτογραφήθηκαν ρηξιγενείς επιφάνειες στο κρυσταλλικό ασβεστολιθικό υπόβαθρο, καθώς και άλλες παράλληλες ή υποπαράλληλες με το κυρίως ρήγμα επιφάνειες στα Πλειοτεταρτογενή ιζήματα.

Για τη διάκριση των μορφοτεκτονικών δομών, που κυριαρχούν στην περιοχή εκτιμήθηκε ιδιαίτερα η γεωμορφολογική έκφραση των τεκτονικών πρηνών. Έτσι, διαχωρίστηκαν σε κύρια ρηξιγενή πρηνή με εντυπωσιακές ρηξιγενείς επιφάνειες σε ασβεστόλιθο και δολομίτη, σε διαβρωμένα ρηξιγενή πρηνή με ορατή τη ρηξιγενή επιφάνεια, διαβρωμένα ρηξιγενή πρηνή με θαμμένη τη ρηξιγενή επιφάνεια και φωτογραμμώσεις. Εκτός από τις φωτογραμμώσεις, οι οποίες θεωρούνται τεκτονικής προέλευσης αλλά δεν εξακριβώθηκαν με υπαίθριες παρατηρήσεις, οι άλλες μορφοτεκτονικές δομές εκτιμήθηκαν έως ενεργές. Παρουσιάζουν μετατοπίσεις σε Τεταρτογενή ιζήματα, όταν φαίνεται η ρηξιγενής επιφάνεια είναι στυλιπνή, λεία με ευδιάκριτες τεκτογλυφές και με μεγάλη γωνία κλίσης (υπόβαθρο) ή μικρότερη γωνία σε ιζήματα. Από την μελέτη αυτή κατασκευάστηκε φωτομωσαϊκό κλίμακας 1: 6.000, στο οποίο απεικονίζονται και τα διαφορετικού τύπου νεοτεκτονικά ρήγματα «Χαρτ. 1» και αποτελεί την κύρια συμβολή αυτής της μελέτης στη χαρτογράφηση των ενεργών ρηγμάτων της περιοχής Αρκίτσας- Αγ. Κωνσταντίνου-Καμένων Βούρλων. Οι μετρήσεις των μετακινήσεων και οι υπολογισμοί των μηκών στα κύρια αλλά και στα δευτερεύοντα ρήγματα σε συνδυασμό με την μελέτη της ιστορικής σεισμικότητας αποτελούν στοιχεία, που βοηθούν στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στην περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ambraseys, N. N., & Jackson, J. A., 1990. Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988. *Geophys. J. Int.*, vol. 101, pp.663 - 708.
- Ganas, A., & White, K., 1995. Neotectonic fault segments and footwall geomorphology in Eastern Central Greece from Landsat TM data. *Bull. Geol. Soc. Greece Sp. Publ.* 6, 169 - 175.
- Ganas, A., Roberts, G., & Memou, T., 1998. Segment boundaries, the 1894 Ruptures and strain patterns along the Atalanti Fault, Central Greece. *J. Geodynamics*, vol. 16, no. 2 - 4, pp. 461 - 486.
- Ganas, A., 1998. Mapping of normal Faults in the Lokris Redion (Central Greece) using SPOT DEM Data., *Bul. Geolog. Soc. Greece*, vol. XXXII/1, 173-179.
- Jackson, J., & McKenzie, D., 1999. A hectare of fresh striations on the Arkitsa Fault, central Greece. *J. Structural Geology*, vol.21, pp. 1-6.
- International Atomic Energy Agency., 1979. Earthquakes and Associated Topics in relation to Nuclear Power Plant Siting. A safety Guide., 1984 Vienna.
- Keller, E., & Pinter, N., 1996. Active Tectonics. *Earthquakes, Uplift, and Landscape*. Prentice Hall, pp. 331.
- Kramer, S., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, pp. 653.
- Lemeille, F., 1977. Etudes neotectoniques an Grece centrale nord - orientale (Eubee centrale. Attique. Beotie, Locride et dans les Sporades du Nord- Skiros). These 3e cycle, Universite de Paris XI, pp. 173.
- Λυκούδης, Σπ., 1990. Παράκτιες Μορφολογικές και Ιζηματολογικές Παρατηρήσεις στον Κόλπο της Αταλάντης. *Μεταπτ.Ενδεικτικό Ωκεανογραφίας*, Αθήνα.
- Mercier, J., Carey, E., Philip, H., Sorel, D., 1976. La neotectonique plioquaternaire de l' arc egeen externe at de la mer Egee et ses relations avec la seismicite. *Bull. Soc. Geol. France*, XVIII, vol. 2, pp. 355 - 372.
- Mettos, A., Rondoyanni, Th., Ioakim, Ch., & Papadakis, I., 1992. Evolutiojn geodynamique et reconstruction paleoenvironnementale des bassins neogenes - quaternaire de la Grece centrale. *Paleontologia I evolucion*, vol. 24 - 25, pp. 393 - 402.
- Μητσόπουλος, Κ., 1895. Ο Μέγας της Λοκρίδος Σεισμός κατά 'Απριλίου του 1894. 'Εθνικόν Τυπογραφείον, 'Αθήνα.
- Μουγιάρης, Ν. Κ. 1994. Σεισμική ιστορία της Αιγαίας Χώρας (από 2400 π.Χ. - 1990 μ. Χ.) Διδακτ. Διατρ. Τμήμα Γεωλογίας. Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Παπαζάχος, Β., & Παπαζάχου, Κ., 1989. Οι Σεισμοί της Ελλάδος. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, pp. 336.
- Pavlidis, S., Caputo R., Chatzipetros., A. Empirical relationships among earthquake magnitude, surface ruptures and maximum displacement in the broader Aegean Region. (subm)
- Παυλίδης, Σ., 1993. Συμπληρωματικές Σημειώσεις Νεοτεκτονικής (με στοιχεία Μορφοτεκτονικής, Σεισμοτεκτονικής και Παλαιο-σεισμολογίας) Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, pp.75.
- Pechoux, P., Pegoraro, O., Philip, H., & Mercier, J., 1973. Deformations Pliocenes et Quaternaires en compression et en extension sur les rivages du golfe Maliaque et le canal d' Atalanti (mer Egee. Grece). *C.R. Acad. Sci. Paris, ser. D.T.* 276, pp. 1813 - 1816.
- Pegoraro, O., 1972. Application de la microtectonique a une etude de tectonique: le Golfe Maliaque (Grece centrale). These 3me cycle, Universite du Languedoc, 39p, unpublished.
- Philip, H., 1974. Etude neotectonique des rivages Egeens en Locride et Eubee Nord-Occidentale (Grece). These 3me cycle, Univ. de Science et Tectoniques de Languedoc,pp. 78.
- Rondoyianni - Tsiambaou, Th., 1984. Etude Neotectonique des rivages occidentaux du canal d' Atalanti (Grece Centrale). Doctoral Dissertation, Universite de Paris Sud, Orsay, 200p.
- Rondoyianni - Tsiambaou, Th., 1988. Tectonique recente et subsidence des sites historiques aux rivages de Locride, Grece. In: Marinos and Koukis (Eds.), *Geologie de l' ingenieur appliquee aux travaux anciens, monuments et sites historiques*, Balkema, Rotterdam, pp. 1583 - 1589.
- Skouphos, T., 1894. Die zwei grossen Erdbeben in Lokris am 8/20 und 15/27 April 1894. *Zeitschrift Ges. Erdkunde zu Berlin*, vol. 24, pp. 409 - 474.

- Stiros, S., & Rondoyianni, Th., 1985. Recent Vertical Movements across the Atalanti Fault - Zone (Central Greece). *Pageoph.*, vol. 123, pp. 837 - 848.
- Stiros, S., 1985. Archeological and geomorphic evidence of late Holocene vertical motions in the N. Euboean Gulf (Greece) and its Tectonic implications. Institute of Geology and Mineral exploration, Athens, internal report, pp. 32.
- Χατζηπέτρος, Α., 1998. Παλαιοσεισμολογική - Μορφοτεκτονική μελέτη και Μηχανική Συμπεριφορά των συστημάτων των Ενεργών διαρρήξεων Μυγδονίας, Ανατολικής Χαλκιδικής, Κοζάνη - Γρεβενών. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ. σελ. 353.
- Wells, D.L. & Coppersmith, K. J. 1994. New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84.4. 974-1002.

