

ΖΩΝΕΣ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΗΣ ΣΕ ΕΝΕΡΓΑ ΚΑΝΟΝΙΚΑ ΡΗΓΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ, ΕΛΛΑΔΑ*

I. Κ. ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑΣ¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Την τελευταία δεκαετία αναγνωρίστηκε ότι οι ζώνες μεταβίβασης στα κανονικά ρήγματα είναι σημαντικές τεκτονικές περιοχές με ιδιαίτερες μορφολογικές, ιζηματολογικές, σεισμοτεκτονικές και υδροθερμικές παραμέτρους.

Στην Πελοπόννησο, που χαρακτηρίζεται από συνεχή διαστολή, ζώνες μεταβίβασης προκαλούν αλλαγή διεύθυνσης ποταμών, κάμψεις φλοιού και διαμόρφωση της διασποράς ιζημάτων (Πύργος και Αίγιο). Στην περιοχή του Αιγίου υπολογίστηκε ότι ο Σελινούντας ποταμός μετατοπίζει την κοίτη του κατά σημαντικό ποσοστό (30%) λόγω τεκτονικών κινήσεων. Επίσης ζώνες μεταβίβασης συμβάλλουν στη σεισμικότητα (Πύργος, Σουσάκι) και υδροθερμία (Σουσάκι), που εξαρτάται από έντονη διάρρηξη, συμβολή ρηγμάτων και αΐξηση του ενεργού πορώδους των υδροθερμικών πεδίων.

ABSTRACT

During the last decade the significance of the transfer zones along normal faults are recognized to be important structural elements affecting morphology, sedimentation, aquifers, and seismicity.

In Peloponnesus, that is part of the rapidly extended Aegean continental area, the significance of the transfer zones has been identified to be important for sediment dispersal and morphology. All examples in this paper indicate that sedimentation is directly related with the existence of transfer zones. Of particular interest is the transfer zone control on the fluvial morphology. A spectacular example is the Selinountas river nearby the Egion town. The Selinountas river shows rapid south-eastward course change triggered by tectonic activity on the down-flexing Kouloura ramp. River rotation due to tectonic forces is calculated to produce 30% of the river rotation. Furthermore, seismicity is also hosted on transfer zones as is observed in Pyrgos and Sousaki- Ag.Theodoroi areas. Finally in one case, the Sousaki- Ag. Theodoroi area, the existence of a transfer zone shows to control volcanic intrusions, hydrothermal activity, and sedimentation.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ζώνες μεταβίβασης, ιζηματογένεση, αλλαγή κοίτης ποταμών, σεισμικότητα, υδροθερμία, Πελοπόννησος.

KEY WORDS: transfer fault zones, sedimentation, river course shift, seismicity, hydrothermal activity, Peloponnesus.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μετά τις πρώτες εγγραφές των Larsen (1988), Morley et al. (1990), Gawthorpe & Hurst (1993), Anders & Schlische (1994), έχει αποδειχθεί ότι οι ζώνες μεταβίβασης στα κανονικά ρήγματα επιδρούν σημαντικά στην εξέλιξη των λεκανών ιζηματογένεσης. Ιδιαίτερα παραδείγματα για τον Ελληνικό χώρο

* TRANSFER ZONES ALONG ACTIVE NORMAL FAULTS IN PELOPONNESUS, GREECE

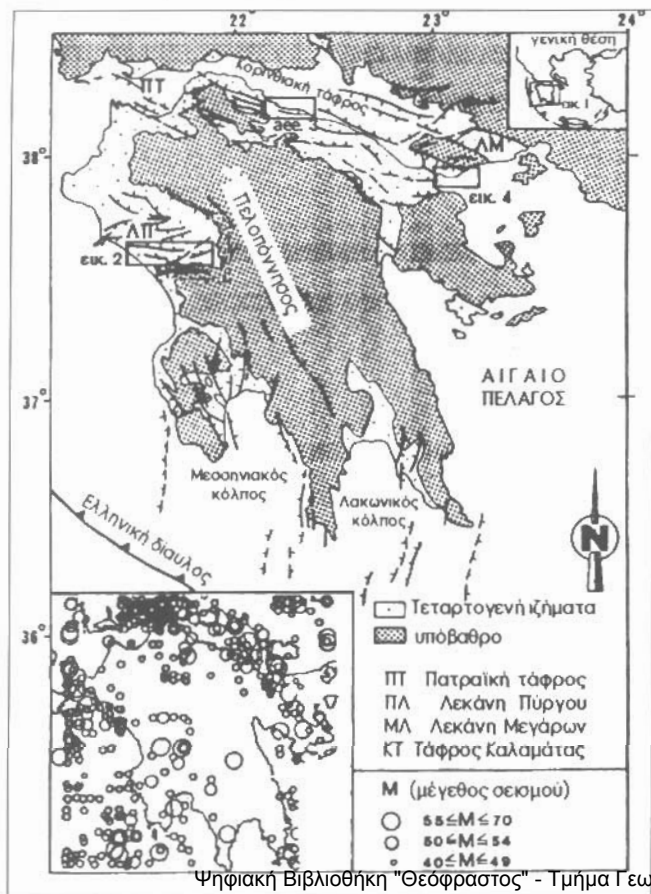
¹ Λέκτορας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γενικής Θαλάσσιας Γεωλογίας και Γεωδυναμικής, 26500 Ρίο Πατρών, Gr.

λόγω της επίδρασης των ζωνών μεταβίβασης επί της ιζηματογένεσης και της ποτάμιας μορφολογίας στον Ελληνικό χώρο έχουν δοθεί από τους Roberts & Jackson (1991), Leeder & Jackson (1993) και Poulimenes (1993). Οι νέες όμως διαπιστώσεις έχουν περιορισμένα εφαρμοσθεί σε σεισμοτεκτονικές έρευνες. Για πρώτη φορά στον Ελληνικό χώρο έχει συνδεθεί η σεισμικότητα με τις ζώνες μετασχηματισμού στον σεισμό της Καλαμάτας (Lyon-Caen et al. 1988) και προτάθηκαν πρόσφατα σαν σημαντικά κινηματικά στοιχεία των μοντέλων για τα ενεργά ρήγματα της νοτίου- και κεντρικής Ελλάδας (Koukouvelas et al. 1996, Poulimenes & Doutsos 1996). Η σημασία της ρηξιγενούς τεκτονικής στη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων είναι κοινώς παραδεκτή.

Στην εργασία αυτή θα συσχετισθεί η υδροθερμία με την τεκτονική σε ζώνες μεταβίβασης και θα διερευνηθεί στην περιοχή του Σουσαζίου-Αγ. Θεοδώρων επιπλέον δε θα δοθούν τρία παραδείγματα ζωνών μεταβίβασης όπου εκδηλώθηκαν πρόσφατα σεισμοί. Στην περιοχή του Αγίου θα παρουσιασθούν ποσοτικά δεδομένα της επίδρασης των ζωνών μεταβίβασης στην ποτάμια μορφολογία. Η παρούσα εργασία βασίζεται σε χαρτογράφηση των ρηξιγενών ζωνών, τεκτονική και μορφοτεκτονική ανάλυση και συνεκτίμηση σεισμολογικών δεδομένων, στοιχείων ιζηματογένεσης και στοιχείων υδροθερμίας.

2. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Η Πελοπόννησος χαρακτηρίζεται από ενεργή "διαστολή", λόγω της σύγχρονης υπόθησης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική πλάκα (Parazachos & Comninakis 1971, Leydecker et al. 1978, Hatzfeld 1994, Jackson 1994). Η υπόθεση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τον κατακεραματισμό (Doutsos & Piper 1990) της, μεταορογενετικά ανυψωμένης, Πελοποννήσου (Εικ. 1).



Εικ. 1: Τεκτονικός χάρτης της Πελοποννήσου στον οποίο φαινόνται τα κύρια ρήγματα, η γεωτεκτονική θέση της Πελοποννήσου και η κατανομή των σεισμικών επικέντρων (η εικόνα έχει συντεθεί με βάση αντίστοιχη εικόνα από Koukouvelas et al. 1996). Τα τετράγωνα δείχνουν τις επόμενες εικόνες.

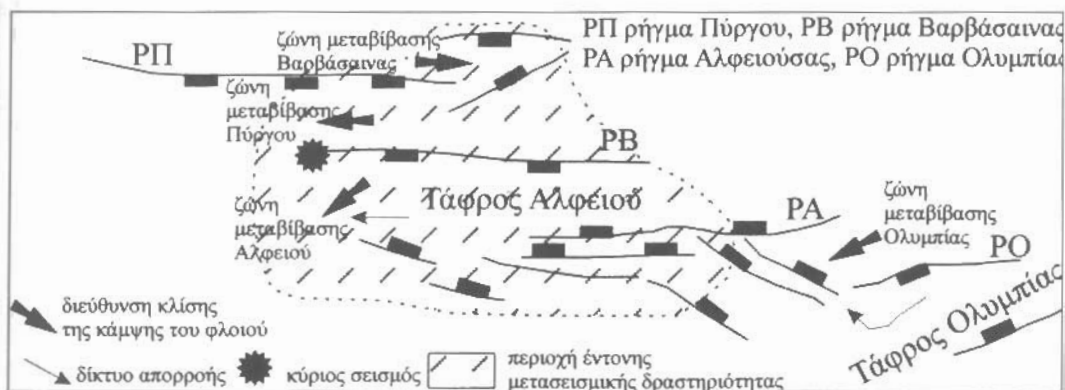
Fig. 1.: Tectonic map of Peloponnesus showing basins, faults and seismicity. Inset shows the position of Peloponnesus in respect to Greece. Figures 2, 3, and 4 in

Η διαστολή της Πελοπόννησο εντοπίζεται κυρίως σε δύο περιοχές την βόρεια και τη νότια με ασύμμετρες λεκάνες και τάφρους (Κουκουvelas et al. 1996 και εργασίες που αναφέρονται εκεί). Οι περιοχές που αναλύονται στη συνέχεια αποτελούν τμήματα της λεκάνης του Πύργου και της Κορινθιακής τάφρου. Σ' αυτές τις περιοχές υπάρχουν μεγάλα κανονικά ρήγματα που δεν ξεπερνούν τα 20 χιλιόμετρα μήκος και έχουν διευθύνσεις: ΑΒΑ-, ΔΒΔ- και ΒΒΑ-. Τα άλματα των ρημάτων αυτών δεν ξεπερνούν τα 1000 μέτρα, στην τιμή αυτή περιλαμβάνεται η επιφανειακή εμφάνιση της μορφολογικής έξαρσης του ρήματος και το πάχος του ιζηματος που αποτίθεται στην οροφή του ρήματος. Τα μεγάλα ρήματα στις περιοχές αυτές είτε είναι περιθωριακά είτε βρίσκονται μέσα στην λεκάνη και ορίζουν τοπικές εξάρσεις υποβάθρου.

3. Η ΖΩΝΗ ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΑΛΦΕΙΟΥ, ΛΕΚΑΝΗ ΠΥΡΓΟΥ

Η γεωλογική εξέλιξη της λεκάνης του Πύργου

Η λεκάνη ιζηματογένεσης του Πύργου χαρακτηρίζεται από δύο κύκλους ιζηματογένεσης έναν κατώτερο αποτελούμενο από λεπτομερή ιζήματα και έναν ανώτερο που αποτελείται από αδρομερή κλαστικά ιζήματα (Hangeman 1976). Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται δύο κύριες ρηξιγενείς ζώνες μια στους πρόποδες του όρους Λάπιθας και μία κατά μήκος του Αλφειού ποταμού (Κουκουvelas et al. 1996). Η πρώτη ρηξιγενής ζώνη οριοθετεί προς νότο τη λεκάνη του Πύργου. Η δεύτερη ρηξιγενής ζώνη διαχωρίζει την λεκάνη σε δύο τμήματα το βόρειο και το νότιο, αποτέλεσε δε τον εστιακό χώρο του σεισμού του Πύργου το 1993. Το δυτικό τμήμα αυτής της ρηξιγενούς ζώνης περιλαμβάνει μια κλιμακωτή διάταξη ρημάτων (Εικ. 2) και χαρακτηρίζεται από τις συμβολές του λοξοτημημένου ρήματος της Αλφειούσας του κατατημημένου ρήματος του Πύργου και του ρήματος της Βαρβάσαινας. Η συμβολή των τριών αυτών ρημάτων (δες Κουκουvelas et al. 1996), οριοθετεί και προκαλεί ιδιαίτερη εντατική κατάσταση στο αποκοιμημένο τεμάχος του Αλφειού. Το τεμάχος αυτό (Εικ. 2) κάμπτεται στο ανατολικό του άκρο αποτελώντας την οροφή και των τριών ρημάτων. Η παραμόρφωση επομένως του τεμάχους του Αλφειού είναι θέμα συμβολής των τριών ρημάτων που το οριοθετούν.



Εικ. 2: Τεκτονικός χάρτης της περιοχής του ποταμού Αλφειού, περιοχή Πύργου.

Fig. 2: Tectonic map of Pyrgos basin showing transfer zones classification. The figure summarises the seismic activity drainage pattern and structural grain of the area between Pyrgos and ancient Olympia.

Ο σεισμός του 1993 στον Πύργο

Ο σεισμός αυτός είχε σαν αποτέλεσμα να καταστρέψει σημαντικό τμήμα της πόλης του Πύργου και να επιδράσει σε μια έκταση γύρω από την επικεντρική περιοχή της τάξεως των 145 km². Ο κύριος σεισμός εκδηλώθηκε ως τρίτος στη σειρά σεισμός μετά από δύο προσεισμικές δονήσεις, των οποίων οι χρόνοι εκδήλωσης ατείχαν 2-3 λεπτά ο προηγούμενος από τον επόμενο. Ο κύριος σεισμός είχε επίκεντρο την περιοχή συμβολής των τριών ρημάτων (Κουκουvelas et al. 1996), η οποία εμφανίζεται ως κατακεραματισμένη. Ο κατακεραματισμός αυτός περιλαμβάνει δύο ημίσειες ενδείξεις. Πρώτον ο

μηχανισμός διάρρηξης δεν ταιριάζει με κανένα από τα ορατά ρήγματα στην επιφάνεια της γης και δεύτερο το μέγεθος σεισμού ($M_L = 5.4$) είναι μικρότερο του αναμενόμενου με βάση την ημειμπειρική σχέση Bonilla et al. (1984). Επιπλέον η μετασεισμική δραστηριότητα που ακολούθησε το σεισμό συγκεντρώθηκε στην περιοχή του τεμάχους του Αλφειού.

Παρόμοια παραδείγματα της επίδρασης ζωνών μεταβίβασης στην σεισμικότητα, αποτελούν ο σεισμός της Καλαμάτας 1988, ο σεισμός της Θεσσαλονίκης 1978, ο σεισμός των Αλκυονίδων 1981 και ο σεισμός της Πάτρας 1993 (Koukouvelas et al. 1996, Poulimenos & Doutsos 1996).

Ζώνες μεταβίβασης-ποτάμια μορφολογία-διασπορά ιζημάτων

Ο ποταμός Αλφειός συνδέεται πλήρως στο δυτικό του τμήμα με την ύπαρξη τριών συνθετικών ή αντιθετικών ζωνών μεταβίβασης (η χρησιμοποιούμενη ορολογία είναι από Gawthorpe & Hurst 1993) (Εικ. 2). Η κοίτη του Αλφειού σύμφωνα με την ανάλυση αυτή ακολουθεί δύο ανεξάρτητες τεκτονικές τάφρους, την τάφρο του Αλφειού και την τάφρο της Ολιμπίας. Η κύρια κοίτη του ποταμού προσεγγίζει κάθε φορά το πιο ενεργό περιθωριακό ρήγμα της τάφρου ενώ οι αλλαγές πορείας του ποταμού οφείλονται σε ζώνες μεταβίβασης (Εικ. 2). Η διασπορά των ιζημάτων στο σύστημα του Αλφειού είναι αξονική και σχετίζεται με την ενεργό τεκτονική, αφού η ροή του ποταμού ακολουθεί τις τεκτονικές τάφρους και διαχέει το ιζηματικό υλικό προς το Ιόνιο πέλαγος επί της μιας δυτικά βυθιζόμενης δελταϊκής πλατφόρμας. Η κλίση αυτή καθορίζεται και πάλι από μια ζώνη μετασχηματισμού που δημιουργήθηκε από την προαναφερθείσα τριπλή συμβολή των ρημάτων Αλφειούσας, Πύργου και Βαρβάσσινας.

4. Η ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΗ ΤΑΦΡΟΣ (περιοχή Αιγίου)

Γεωλογική θεώρηση

Η περιοχή του Αιγίου αποτελεί τμήμα της Κορινθιακής τάφρου και η ιζηματολογική της εξέλιξη είναι τεκτονικά ελεγχόμενη (Poulimenos 1993). Μεγάλου μήκους κανονικά ρήγματα έχουν χαρτογραφηθεί στην περιοχή με ρυθμούς κίνησης μέχρι 1,5 mm/yr (Doutsos & Poulimenos 1992). Η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής είναι πιο έντονη κοντά στην σημερινή ακτογραμμή αν και οι σεισμοί που σημειώνονται στην περιοχή της Δεμέστιχας δείχνουν ότι όλη η τάφρος παραμένει ενεργή ακόμη και στα νότια περιθώριά της (Λούτσος κ. αλ. 1995).

Η ανάλυση στην παρούσα εργασία θα επικεντρωθεί στην περιοχή γύρω από το Αίγιο, η οποία τέμνεται από πέντε κανονικά ρήγματα: τα ρήγματα του Αιγίου, Ελίκης, Μελισσιάς, Κερύνιας και Πυργάκι (Koukouvelas & Doutsos 1996) (Εικ. 3α). Η βασικότερη ιδιότητα αυτών των ρημάτων είναι ότι παρουσιάζουν κατάτμηση κατά την παράταξη καθώς και ζώνες μεταβίβασης μία από τις οποίες είναι και η ζώνη της Κουλούρας (Koukouvelas 1998), η οποία ορίζεται από τα ρήματα της Ελίκης και του Αιγίου (Εικ. 3β).

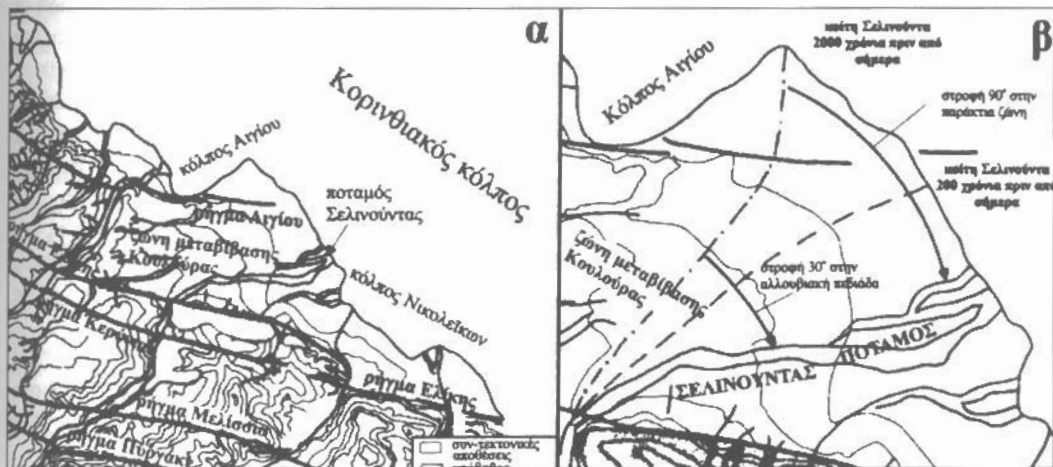
Η σεισμικότητα της περιοχής Αιγίου

Στην περιοχή Αιγίου είναι γνωστοί τουλάχιστον πέντε σεισμοί, τρεις εκ των οποίων έχουν μεγάλη περίπου 6.0 R και δύο που ξεπερνούν το μέγεθος των 6.5 R. Οι χρόνοι επανάληψης για την πρώτη ομάδα σεισμών είναι 120 ± 20 yr ενώ για τη δεύτερη είναι περίπου 2240 yr. Η σεισμικότητα αυτή έχει συνδεθεί κυρίως με δύο ρήματα, το ρήγμα του Αιγίου (Koukouvelas & Doutsos 1996) και το ρήγμα της Ελίκης (Roberts & Jackson 1991, Doutsos & Poulimenos 1992, Stewart & Vita-Finzi 1996) αντίστοιχα. Εξ' αιτίας αυτών των δύο ενεργών ρημάτων έχουν δημιουργηθεί δύο τεκτονικά ελεγχόμενα βυθίσματα, το βύθισμα του κόλπου του Αιγίου και το βύθισμα του κόλπου των Νικολέϊων. Τα βυθίσματα αυτά και η ζώνη μεταβίβασης της Κουλούρας είναι συν-σεισμικά γεωλογικά φαινόμενα.

Η ζώνη μεταβίβασης της Κουλούρας-επίπτωση της στη μετατόπιση της κοίτης του Σελινούντα

Η ζώνη μεταβίβασης της Κουλούρας είναι τμήμα της βάσης του ρήματος Αιγίου και της οροφής του ρήματος της Ελίκης και έχει δημιουργηθεί σαν αποτέλεσμα της κάμψης του φλοιού προς την ανατολή με αποτέλεσμα τη συνακόλουθη μετατόπιση της κοίτης του ποταμού Σελινούντα (Εικ. 3β). Η κοίτη του Σελινούντα είναι ορατή από το νότιο άκρο της ζώνης μεταβίβασης της Κουλούρας (Koukouvelas & Doutsos 1996 και εργασίες που

αναφέρονται εκεί) μετατοπιζόμενη από μια αρχική πορεία με διεύθυνση περίπου BBA- σε μια ABA- διεύθυνση σε διάστημα περίπου 2000 ετών. Η πορεία της μετακίνησης της κοίτης στο χρόνο διαπιστώνεται τόσο από αναφορές σε κείμενα αρχαίων περιηγητών όσο και από την ύπαρξη μιας ρωμαϊκής γέφυρας στην περιοχή Σταφιδαλώνων (προσωπική επικοινωνία με Dr. S. Sotter)(Εικ. 3β, 1).



Εικ. 3: Τεκτονικός χάρτης της περιοχής Αιγίου στο οποίο φαίνονται τα κύρια ρήγματα (α), η προοδευτική αλλαγή της θέσης της κοίτης του Σελινόυντα (β) και η ζώνη μεταβίβασης Κουλούρας. Στο λεπτομερή χάρτη της ζώνης μεταβίβασης, σχήμα (β), τα βέλη δείχνουν τη γωνία στροφής του άνω και του κάτω τμήματος της κοίτης του Σελινόυντα, στρώφες 90^ο και 30^ο αντίστοιχα. Ισούψεις ανά 20 m.

Fig. 3: General tectonic map of Eigion area showing five north-facing WNW-trending normal faults and the position of the Kouloura ramp (a). Detailed map (b) of the Kouloura ramp and the progressive south-eastward migration of the Selinountas river course. Solid arrows show the rotation of the river course near shore for 90^o and rotation the rotation of the river course at an altitude of 20 m for 30^o. Contours at 20 m interval.

Αυτά τα δύο στοιχεία δείχνουν ότι η κοίτη του ποταμού κατά τη ρωμαϊκή περίοδο περνούσε από τη σημερινή θέση της κοινότητας Σταφιδαλώνων. Στην περίοδο της τουρκοκρατίας ο ποταμός έρεε βόρεια του χωριού Τέμενη όπου υπάρχουν υπολείμματα δύο γεφυρών της περιόδου αυτής (Εικ. 3β, 2). Με βάση αυτά τα στοιχεία ο ρυθμός της μετατόπισης της κοίτης του ποταμού επί της παράκτιας ζώνης του ξεπερνά τα 2 m/yr (αντίστοιχη στροφή του ποταμού 90^ο) (Εικ. 3β). Αν επαναλάβουμε όμως την ίδια ανάλυση σε υψόμετρο 20 m από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας τότε ο ρυθμός μετατόπισης είναι της τάξης των 0,5 m/yr (αντίστοιχη στροφή 30^ο). Με βάση αυτά προκύπτει ότι η στροφή της κοίτης δεν είναι ίδια σε όλο το μήκος του ποταμού επί της αλλουβιακής πεδιάδας. Αυτό σημαίνει ότι κατά μήκος του ποταμού δεν επιδρούν στο ίδιο ποσοστό οι εξωγενείς και οι ενδογενείς παράγοντες. Για να ξεχωρισθεί ποιοί παράγοντες επιδρούν σε κάθε περιοχή έγινε η ακόλουθη ανάλυση.

Ο παράγοντας που επιδρά στην ανώτερη κοίτη είναι η τεκτονικά προερχόμενη κάμψη της ράμπας της Κουλούρας και κατά συνέπεια η στροφή της κοίτης κατά 30^ο είναι αποτέλεσμα ενδογενών διεργασιών. Η στροφή προέρχεται από την ανύψωση της περιοχής Αιγίου και τη βύθιση της περιοχής του κόλπου των Νικολαΐκων. Η βύθιση του κόλπου των Νικολαΐκων υπολογίζεται με βάση τον συνδυασμό δεδομένων ανύψωσης από τη χρονολόγηση του ρυθμού ανύψωσης παλαιοακτών (Stewart & Vita-Finzi 1996) και του λόγου βύθιση/ανύψωση (2/1) για το ρήγμα του Αιγίου (Koukouvelas & Doutsos 1996). Γνωρίζοντας ότι η ανύψωση είναι 1,5 mm/yr προκύπτει ότι ο ρυθμός βύθισης είναι 3 mm/yr (σύμφωνα με το λόγο 2/1). Έτσι η βύθιση στην κεντρική περιοχή του ρήγματος Ελικής (περιοχή Τράπεζας, Εικ. 3α, Μ) είναι 6 μέτρα και επιδρά μερικώς στη βύθιση της ζώνης μεταβίβασης της Κουλούρας. Αυτή η μερική επίδραση οφείλεται στο ότι η βύθιση των 6 m δεν είναι σταθερή για όλο το μήκος του ρήγματος. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.α χρησιμοποιήθηκε το

μοντέλο της ακτινικής απόσβεσης της μετατόπισης, στο άκρο του ρήγματος, (κατά Cowie & Scholz 1992) το οποίο δείχνει ότι στην περιοχή εισόδου του Σελινούντα στο αλλουβιακό του πεδίο η βύθιση είναι 1-2 m. Ανάλογοι υπολογισμοί για το ρήγμα του Αιγίου δείχνουν ανύψωση της βάσης του περίπου 2 m.

Οι παράγοντες που επιδρούν στο κατώτερο τμήμα της κοίτης είναι κυρίως εξωγενείς δηλαδή οι συν-σεισμικές ρευστοποιήσεις της κοίτης, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις της πλαγιάς του δέλτα (ιδιαίτερα της ανατολικής πλαγιάς του), τις κλιματολογικές συνθήκες και από την αλλαγή της στάθμης της θάλασσας. Στοιχεία που συνηγορούν στην επίδραση των εξωγενών παραγόντων επί της κοίτης είναι τα ακόλουθα. Φαινόμενα ρευστοποίησης επί της κοίτης τόσο από το σεισμό του 1861 (Schmidt 1879) αλλά και από το πρόσφατο σεισμό του 1995 στο Αίγιο. Στους δύο σεισμούς παρατηρήθηκε ρευστοποίηση της εκβολής του ποταμού και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις στον κόλπο των Νικολεύων, που βρίσκεται στην ανατολική παρυφή του δέλτα του Σελινούντα. Οι απότομες όχθες του ποταμού δείχνουν ότι η αλλουβιακή πεδιάδα του ποταμού ανυψώνεται γεγονός που έχει παγκόσμια αποδειχθεί ότι επιδρά στην αλλαγή της κοίτης (Keller & Pinter 1996). Όλες αυτές οι εξωγενείς κυρίως αλλαγές εντοπίζονται στην περιοχή που βρίσκεται παράλληλα στην ακτογραμμή.

Συνοψίζοντας, η τεκτονικά προκαλούμενη ταχύτητα μετατόπισης της κοίτης είναι 0,5 μέτρα/έτος και φαίνεται στο ανώτερο τμήμα της κοίτης του Σελινούντα. Αντίθετα η παρατηρούμενη εκτροπή στο κατώτερο τμήμα της κοίτης οφείλεται μόνο κατά 30% σε τεκτονικά αίτια και το υπόλοιπο 70% οφείλεται σε εξωγενείς παράγοντες.

Περιοχές με παρόμοια δραστηριότητα ρημάτων επί της ροής των ποταμών, είναι η περιοχή του Αιγίου (Μεγανίτης ποταμός), η περιοχή της Κόνιτσας (Αώος ποταμός), η περιοχή της Κοζάνης (Αχελώος ποταμός και το βύθισμά όπου αναπτύσσεται η τεχνητή λίμνη) και η περιοχή του Σπερχειού στην κεντρική Ελλάδα.

5. Η ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΗ ΤΑΦΡΟΣ, ΛΕΚΑΝΗ ΑΓ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ

Γεωλογική θεώρηση-υδροθερμία-σεισμικότητα

Η ανατολική Κορινθιακή τάφρος, λεκάνη Αγ. Χαράλαμπος, αποτελείται από δύο ακολουθίες ιζηματογενών πετωμάτων: το κατώτερο σύστημα μαργών με κροκαλοπαγή του Αγ. Χαράλαμπος και το ανώτερο σύστημα μαργών και άμμων του Ισθμού (Collier & Dart 1991). Στα ιζήματα αυτά έχουν διεσώσει σε δύο περιόδους, 4,5 και 2 εκατ. χρόνια, ηφαιστειακά πετρώματα όξινης σύστασης (Pe-Piper & Hatziranagiou 1997). Η μικρή κλίση των επιπέδων των ρημάτων στη λεκάνη Αγ. Χαράλαμπος και οι στροφές των στρωμάτων των ιζημάτων, >40°, δείχνει ότι η διαστολή στη λεκάνη του Αγ. Χαράλαμπος φθάνει το 60% (αποτέλεσμα από το γράφημα των Wernicke & Burhfield 1982). Στο νότιο χερσαίο τμήμα η λεκάνη χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τριών επάλληλων αλλουβιακών ριπιδίων εκ' των οποίων κάθε νεώτερο αποτελείται πλευρικά και πάνω από το παλαιότερο. Τα ριπίδια αυτά οριοθετούνται προς βορρά από δύο ρήγματα, ρήγμα Καλαμακίου και ρήγμα Σουσακίου, των οποίων το μήκος φθάνει τα 3,5 km (Εικ. 4). Ανατολικότερα εμφανίζεται το ρήγμα Αγ. Θεοδώρων, ώστε μαζί με τα προηγούμενα ρήγματα να σχηματίζουν μια κλιμακωτή διάταξη, η οποία οριοθετεί την ανάπτυξη των ριπιδίων (Εικ. 4). Στο ανατολικό άκρο του ρήγματος Σουσακίου και στο δυτικό άκρο του ρήγματος των Αγ. Θεοδώρων δηλαδή στη ζώνη μεταβίβασης των δύο ρημάτων εμφανίζονται ηφαιστειακά πετρώματα. Στην ίδια περιοχή αναπτύσσεται ένα γεωθερμικό πεδίο, πεδίο Αγ. Θεοδώρας, το οποίο εντοπίζεται με βάση τη γεωφυσική ανάλυση (Ρόκκα 1985) στην ζώνη μεταβίβασης των ρημάτων (Rokka & Koukouvelas 1996). Η σεισμικότητα της περιοχής είναι γνωστή από το σεισμό του 1953, ο οποίος συνδέεται με εδαφική διάρρηξη ΒΒΔ- διεσύνθεως (Στίρος 1995) (Εικ. 4).

Η υδροθερμική δραστηριότητα

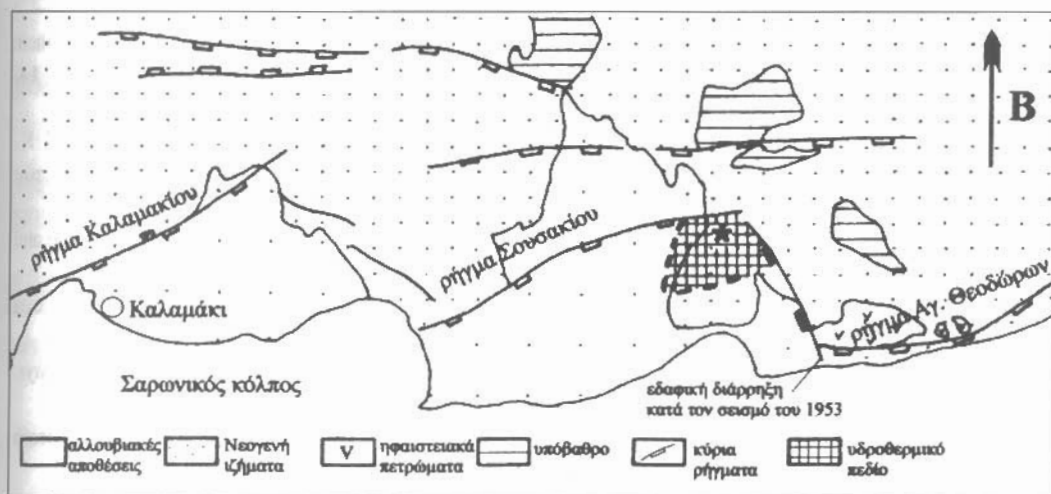
Η κατανομή των θερμοκρασιών στην περιοχή του πεδίου της Αγ. Θεοδώρας δείχνει ότι οι ισόθερμες του πεδίου περιορίζονται προς βορρά από το ρήγμα Καλαμακίου, το οποίο διαχωρίζει την επικωνία αυτού του πεδίου από την υπόλοιπη λεκάνη Αγ. Χαράλαμπος (Ρόκκα 1985, Στίρος 1995, Rokka & Koukouvelas 1996). Ηφαιστειακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. υδρογεωλογικά δεδομένα

δείχνουν ότι η περιοχή χαρακτηρίζεται από θερμά και αλμυρά νερά στην περιοχή της ζώνης μεταβίβασης καθώς επίσης και από ατμιδική δράση.

Η ύπαρξης της ζώνης μεταβίβασης και η ανάπτυξη της υδροθερμίας-σεισμικότητας

Η περιοχή επικάλυψης και η ζώνη μεταβίβασης μεταξύ των ρηγμάτων Σουσακίου και Αγ. Θεοδώρων φιλοξενεί ηφαιστειακή δραστηριότητα γεγονός που δείχνει τη σπουδαιότητα της στην ανοδική κίνηση του μάγματος. Ανάλογες ζώνες που χαρακτηρίζονται ως περιοχές "τεκτονικής ησχίας" είναι γνωστό ότι αποτελούν θέσεις συγκέντρωσης μαγμάτων στο επίπεδο διείδυσης (Hutton 1988). Η πολυδιάρρηξη της ζώνης μεταβίβασης πιθανά παίζει σημαντικό ρόλο στη διείδυση αφού αξιάνει το ενεργό πορώδες της περιοχής και έτσι συντελεί στην ταχύτερη ψύξη του μάγματος. Τέλος τα μακροσεισμικά δεδομένα της περιοχής δείχνουν ότι τα δύο ρήγματα έχουν ενωθεί με ένα ρήγμα μεταβίβασης. Εκτιμάται ότι η ατμιδική και υδροθερμική δράση ενοούνται τόσο από πολυδιάρρηξη της ζώνης μεταβίβασης όσο και από την ανάπτυξη του ρήγματος μεταβίβασης που σχηματίζουν τις διόδους της ανοδικής κίνησης των υδροθερμικών ρευστών προς την επιφάνεια.

Περιοχές στις οποίες υπάρχουν συνθήκες έντονης διάρρηξης σεισμικότητας και υδροθερμίας (Pavlidis 1993) είναι η περιοχή της Μυγδονίας βόρρεια της Θεσσαλονίκης όπου η σεισμική δραστηριότητα εντοπίζεται σε μια ζώνη μεταβίβασης (Koukouvelas et al. 1996).



Εικ. 4: Τεκτονικός χάρτης της περιοχής Σουσακίου-Αγ. Θεοδώρων στον οποίο φαίνονται τα κύρια ρήγματα, η ζώνη μεταβίβασης στην οποία αναπτύσσεται το υδροθερμικό πεδίο, η ατμιδική δράση (αστέρι στο κέντρο του σκιασμένου πεδίου) και η επιφανειακή διάρρηξη του σεισμού του 1953.

Fig. 4: Structural map of the Sousaki- Ag. Theodoroi area. The map shows a step zone of three south-facing normal faults, co-seismic ruptures, hydrothermal activity and volcanic rocks. Star in cross-hatched area show Sousaki fumarole.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι ζώνες μεταβίβασης καθορίζουν το σημείο εισόδου των ποταμών στις λεκάνες ιζηματογένεσης και κατά συνέπεια τη διασπορά των ιζημάτων στις λεκάνες που χαρακτηρίζονται από αλληλεπιδράσεις κανονικών ρηγμάτων. Η αλλαγή της πορείας του Σελινούντια σε ποσοστό 30% ελέγχεται από ενδογενείς παράγοντες και 70% από εξωγενείς παράγοντες ένας των οποίων (ρευστοποιήσεις) ελέγχεται από τη σεισμική δραστηριότητα.

2. Η σεισμική δραστηριότητα στις ζώνες μεταβίβασης προέρχεται από σύνθετη παραμόρφωση δύο ή περισσότερων ρηγμάτων.

3. Η υδροθερμική δραστηριότητα και πιθανά οι ηφαιστειακές διεισδύσεις εξαρτώνται σε περιοχές ζωνών μεταβίβασης συνδυαστικά από την ύπαρξη των ρηγμάτων και τα ρήγματα

μεταβίβασης τα οποία αποτελούν ώριμη στάδιο εξέλιξης των ζωνών μεταβίβασης. Περιοχές υδροθεμίας κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων στην Ελλάδα πρέπει να αναλυθούν με βάση τις ζώνες μεταβίβασης ώστε να περιγραφούν λεπτομέρειες χρήσιμες στην εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANDERS M.H. & SCHLISCHE R.W. (1994) Overlapping faults, intrabasin highs, and the growth of normal faults. *J. Geol.* **102**, 165-180.
- BONILLA M.G., MARK R.F. & LIENKAEMPER J.J. (1984) Statistical relations among earthquake magnitude, surface rupture length, and surface fault displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.* **74**, 2379-2411.
- COLLIER R.E.L.L. & DART C.J. (1991) Neogene to Quaternary rifting, sedimentation and uplift in the Corinth Basin, Greece. *J. geol. Soc. London* **148**, 1049-1065.
- COWIE P.A. & SCHOLZ C.H. (1992) Physical explanation for the displacement-length relationship of faults using a post-yield fracture mechanics model. *J. Struct. Geol.* **14**, 1133-1148.
- DOUTSOS T. & PIPER D.J.W. (1990) Listric faulting, sedimentation and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: First stages of continental rifting. *Bull. geol. Soc. Am.* **102**, 812-829.
- DOUTSOS T. & POULIMENOS G. (1992) Geometry and kinematics of active faults and their seismotectonic significance in the western Corinth-Patras rift (Greece). *J. Struct. Geol.* **14**, 689-699.
- ΔΟΥΤΣΟΣ Θ., ΚΟΥΚΟΥΒΕΛΑΣ Ι., ΠΟΥΛΗΜΕΝΟΣ Γ., ΜΠΡΕΣΙΑΚΑΣ Α., ΜΠΟΡΟΝΚΑΪ Κ., ΚΟΝΤΟΠΟΥΛΟΣ Ν., ΖΕΛΙΑΙΔΗΣ Α. και ΦΡΥΔΑΣ Δ. (1995) Επεξηγηματικό τεύχος του χάρτη ενεργών ρηγμάτων ΒΔ Πελοποννήσου κλίμακας 1:300000, ΟΑΣΠ.
- GAWTHORPE R.L. & HURST J.M. (1993) Transfer zones in extensional basins: their structural style and influence on drainage development and stratigraphy. *J. Geol. Soc. London* **150**, 1137-1152.
- HAGEMAN J. (1976) Stratigraphy and sedimentary history of the Upper Cenozoic of the Pyrgos-area (Western-Peloponnesus), Greece. *Ann. Geol. pays Hellen.* **28**, 299-333.
- HATZFELD D. (1994) On the shape of the subducting slab beneath the Peloponnese, Greece. *Geophys. Res. Lett.* **21**, 173-176.
- HUTTON D. (1988) Granite emplacement mechanisms and tectonic control: inferences from deformation studies. *Trans. Roy. Soc. Edinb.: Earth Sci.* **79**, 245-255.
- JACKSON J. A. (1994) Active Tectonics of the Aegean Region. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.* **22**, 239-271.
- KELLER E.A. & PINTER N. (1996) *Active tectonics; earthquakes, uplift, and landscape*. Prentice Hall.
- KOUKOUVELAS I. AND DOUTSOS T. (1996) Implications of structural segmentation during earthquakes: the 1995 Egion earthquake, Gulf of Corinth, Greece. *J. Struct. Geol.* **18**, 1381-1388.
- KOUKOUVELAS I., MPRESIAKAS A., SOKOS E. AND DOUTSOS T. (1996) The tectonic setting and earthquake ground hazards of the 1993 Pyrgos earthquake, Peloponnese, Greece. *J. geol. Soc. Lond.* **152**, 39-49.
- LARSEN P.H. (1988) Relay structures in a Lower Permian basement-involved extension system, East Greenland. *J. Struct. Geol.* **10**, 3-18.
- LEEDER M. AND JACKSON J. (1993) The interaction between normal faulting and drainage in active extensional basins, with examples from the Western United States and Central Greece. *Basin Res.* **5**, 79-102.
- LEYDECKER G., BERCKHEMER H. & DELIBASSIS N. (1978) A study of seismicity in the Peloponnese region by precise hypocenter determinations. In: Closs H., Roeder D. & Schmidt K. (eds) *Alps, Appenines, Hellenides*. Verlagbuchhandlung, Stuttgart, 406-410.
- LYON-CAEN H., ΑΡΜΙΟΥ Β., ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΒΑΣΚΟΥΤΑΣ Ν., ΔΕΛΙΒΑΣΣΙΣ Ν., ΓΑΛΟΝ Ρ., ΚΟΥΣΚΟΥΝΑ Β., ΛΑΤΟΥΣΣΑΚΙΣ Ι., ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΠΑΠΑΔΙΜΙΤΡΙΟΥ Π.,

- PAPANASTASIOU D. & PEDOTTI G. (1988) The Kalamata (south Peloponnese) earthquake: detailed study of a normal fault and tectonic implication. *J. Geophys. Res.*, **93**, 14967-15000.
- MORLEY C.K., NELSON R.A., PATTON T.L. & MUNN S.G. (1990) Transfer zones in the East African Rift System and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* **74**, 1234-1253.
- PAPAZACHOS B.C., & COMNINAKIS P.E. (1971) Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J. Geophys. Res.* **76**, 8517-8533.
- PE-PIPER G. & HATZIPANAGIOTOU K. (1997) The Pliocene volcanic rocks of Cromyonia, western Greece and their implications for the early evolution of the South Aegean arc. *Geol. Mag.* **134**, 55-66.
- POULIMENOS G. (1993) Tectonics and sedimentation in the western Corinth graben. *Neus. Jb geol. Paleont. Mh.* **10**, 607-630.
- POULIMENOS G. AND DOUTSOS T. (1996) Barriers on seismogenic faults in central Greece. *J. Geodynamics*, **22**, 119-135.
- POKKA A. (1985) Γεωφυσική διασκόπηση της περιοχής "Λουτρακίου-Σουσακίου". Διδακτ. Διατρ., Επιστημονική Επετηρίδα Σχολής Θετικών Επιστημών, παράρτ. αριθμ. 51, τόμ. 23.
- ROKKA A. & KOUKOUVELAS I. (1996) Geophysical and tectonic interpretation of hydrothermal activity: an example of Loutraki-Sousaki area, Greece. *1st Congress Balkan Geophys. Soc.*, abs.P-17.
- ROBERTS S. AND JACKSON J. A. (1991) Active normal faulting in central Greece: an overview. In *The Geometry of Normal Faults* (Roberts A. M., Yielding, G. and Freeman B. eds). *Spec. Publ. geol. Soc. Lond.* **56**, 125-142.
- SCHMIDT, J. (1879) *Studien uber Erdbeben*, Leipzig, 68-83.
- STEWART I. AND VITA-FINZI C. (1996) Coastal uplift on active normal faults: The Eliki fault, Greece. *Geophys. Res. Lett.* **23**, 1853-1856.
- STIROS S.C. (1995) The 1953 seismic surface fault: implications for the modeling of the Sousaki (Corinth area, Greece) geothermal field. *J. Geodynamics* **20**, 167-180.
- WERNICKE B. & BURCHFIEL B. (1982) Models of extensional tectonics. *J. Struct. Geol.* **4**, 105-115.