

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΚΟΦΥΦΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ  
ΜΕ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Σ.Κ. ΣΤΕΙΡΟΣ

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)  
Μεσογείων 70, Αθήνα 11527

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ

Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών  
15701, Ιλίσια, Αθήνα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελέτη υψομετρικών παραμορφώσεων ενεργών τεκτονικά και σεισμικά περιοχών με βάση γεωδαιτικές μεθόδους (επαναληπτικές γεωμετρικές και τριγωνομετρικές χωροσταθμίσεις οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα. Από την διαφορά βαθμίδας μεταβολής του αναγλύφου στην περιοχή των σεισμών Θεσσαλονίκης του 1978 εντοπίζεται καλυμμένο σεισμικό ρήγμα. Αναγνωρίστηκε πιθανή σεισμική κίνηση κατά μήκος του ρήγματος της Αταλάντης που μπορεί να σημαίνει ότι κατά την περίοδο που καλύπτουν οι μετρήσεις δεν συσσωρεύτηκαν ελαστικές τάσεις που θα απελευθερωθούν με κάποιο σεισμό. Αναγνωρίστηκαν σεισμικές ανυψώσεις πίσω από το ρήγμα Καπαρελίου που δεν συμβιβάζονται με ωρισμένα μοντέλα σεισμικής παραμόρφωσης των σεισμών Κορινθιακού 1981. Τέλος διαπιστώθηκε ότι σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες οι ρυθμοί και ο χαρακτήρας της τεκτονικής παραμόρφωσης του Ισθμού και της Βόρειας Πελοποννήσου είναι ίδιοι.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργός τεκτονική στο Αιγαίο και τον περιβάλλοντα χώρο έχει μελετηθεί με βάση σεισμολογικά κύρια στοιχεία, σε συνδυασμό με παρατηρήσεις σεισμικών και παλαιότερων ρηγμάτων ή άλλα γεωμορφολογικά στοιχεία (μεταβολές στάθμης της θάλασσας, εικόνες LANDSAT κλπ), ενώ η συμβολή των γεωδαιτικών στοιχείων υπήρξε ιδιαίτερα περιορισμένη.

Τα τελευταία χρόνια αντίθετα, ένα διεθνές ενδιαφέρον έχει αναπτυχθεί για τη μελέτη της ενεργού τεκτονικής της περιοχής του Αιγαίου αλλά και της Ανατολικής Μεσογείου γενικότερα με βάση δορυφορικές γεωδαιτικές μεθόδους. Οι μέθοδοι όμως αυτές βρίσκονται αφ' ενός στο στάδιο της εξέλιξης και αφ' ετέρου δεν αναμένεται να αποδώσουν γεωλογικά χρήσιμα συμπεράσματα

πριν περάσουν αρκετά χρόνια, όταν θα έχουν συμπληρωθεί αρκετές περίοδοι μέτρησης και θα υπάρχουν στοιχεία σύγκρισης. Σκοπός της δημοσίευσης αυτής είναι πρώτο, να παρουσιάσει συμπεράσματα για με την ενεργό τεκτονική της χώρας που βασίζονται σε συμβατικά (επίγεια) γεωδαιτικά στοιχεία, και ειδικότερα επαναλλειπτικές χωροσταθμίσεις, και δεύτερο, να δείξει τη συμβολή της γεωδαισίας στη μελέτη της ενεργού τεκτονικής.

#### ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα στοιχεία που έχουμε χρησιμοποιήσει προέρχονται από επαναμετρήσεις του Εθνικού Δικτύου (που επιμελείται η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΓΥΣ), που έχουν γίνει είτε από την ίδια τη ΓΥΣ είτε από τη γεωδαιτική ομάδα του ΙΓΜΕ. Τα στοιχεία αυτά καλύπτουν περιόδους μέχρι και 90 ετών και αφορούν τόσο οριζοντιογραφικές, όσο και υψομετρικές μεταβολές του αναγλύφου. Στην παρούσα μελέτη πάντως, μόνο υψομετρικά στοιχεία που προέρχονται κυρίως από χωροσταθμίσεις θα αναλυθούν.

Η φιλοσοφία της γεωδαιτικής πρακτικής στην μελέτη παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της γής είναι ότι τειτονικές παραμορφώσεις σε βάθος αρκετών χιλιομέτρων εμφανίζονται και στην επιφάνεια του εδάφους, και προκαλούν μεταβολές του αναγλύφου που δεν είναι πάντα δυνατόν να ανιχνευτούν από οπτικές και μόνο παρατηρήσεις. Οι μεταβολές αυτές του αναγλύφου αντανακλώνται και αποτυπώνονται σε γεωδαιτικά δίκτυα που έχουν εγκατασταθεί στην επιφάνεια του εδάφους και η μελέτη τους μπορεί να δώσει πληροφορίες για τις βαθύτερες τεκτονικές διαδικασίες.

Τα γεωδαιτικά δίκτυα είναι συστήματα σταθερών σημείων, βασικά εγκατεστημένων για χαρτογραφικούς σκοπούς, τα οποία συνδέονται με παρατηρήσεις γωνιών, αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών. Με συμβατικές μεθόδους η ακρίβεια στον υπολογισμό διαφορών υψομέτρων φθάνει τα 0,5mm/km, ενώ η σχετική ακρίβεια σε οριζοντιογραφικούς προσδιορισμούς φθάνει το 1/1,000,000. Στη συνέχεια, γίνεται παρουσίαση και συζήτηση γεωδαιτικών μεθόδων και στοιχείων που συμβάλλουν αποφασιστικά στη μελέτη της ενεργού τεκτονικής επιλεγμένων ενεργών περιοχών.

#### ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΗ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΣΗ

Αποτελούν τις πλέον συνήθεις μεθόδους υπολογισμού υψομετρικών διαφορών μεταξύ διαφορετικών σημείων.

Η γεωμετρική χωροστάθμιση ή απλά χωροστάθμιση βασίζεται σε μετρήσεις με χωροβάτη και δύο σταδίες. Η υψομετρική διαφορά υπολογίζεται ως άθροισμα διαφόρων τμημάτων μήκους συνήθως 20-100μ στα άκρα των οποίων τοποθετούνται οι σταδίες διαδοχικά και των οποίων η υψομετρική διαφορά μετράται άμεσα με το χωροβάτη. Η μέθοδος αυτή παρέχει εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια, μέχρι 0,5JSmm (όπου S η απόσταση), αλλά είναι δαπανηρή και χρονοβόρα.

Η τριγωνομετρική χωροστάθμιση βασίζεται στον άμεσο υπολογισμό υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων με απλούς τριγωνομετρικούς τύπους από μετρήσεις γωνιών που ορίζει η κατακόρυφος με τη γραμμή σκόπευσης από το ένα σημείο στο άλλο και τη μεταξύ τους απόσταση. Η ακρίβεια της μεθόδου είναι μικρή, σε ευνοϊκές όμως συνθήκες (πχ. όταν τα σημεία απέχουν

λίγα μόνα χιλιόμετρα και οι υπολογισμοί εντάσσονται σε πυκνό δίκτυο) η ακρίβεια υψομετρικής διαφοράς μεταξύ δύο σημείων είναι της τάξης των 5-10εκ.

#### ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΛΛΕΙΠΤΙΚΩΝ ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΣΕΩΝ

Η μέθοδος των επαναλλειπτικών γεωμετρικών χωροσταθμίσεων έχει στόχο τον υπολογισμό μεταβολών υψομετρικών διαφορών μεταξύ σημείων σε δύο ή περισσότερες χρονικές περιόδους, και αποτελεί την απλούστερη, παλαιότερη και πλέον αξιόπιστη μέθοδο μελέτης κατακρύφων ή άλλων (πχ. βύθιση αροφής ιζηματογενούς λεκάνης λόγω αντλήσεως νερού, πετρελαίου, κλπ) κινήσεων. Στην περιοχή πχ. των Βαλκανίων σχετικές μελέτες υπάρχουν ήδη από το 1928 (μελέτη κατακρύφων κινήσεων σεισμών Πλοβντίβ Βουλγαρίας 1928, παρ. Richter 1958), στην Ελλάδα όμως μόνο τα τελευταία χρόνια έχει γίνει εφαρμογή της μεθόδου (πχ. Stiros and Rondogianni 1985, Stiros 1986, 1988, Mariolakos and Stiros 1987).

Η φιλοσοφία της μεθόδου είναι απλή. Σε σχέση με αυθαίρετα επιλεγμένο από γεωδαιτική (αλλά συνήθως όχι από γεωλογική) άποψη σημείο ή περιοχή υπολογίζονται υψομετρικές διαφορές αριθμού σημείων χωροσταθμικής όδευσης (ή συνόλου σημείων που ορίζουν δίκτυο). Η όδευση αυτή συνήθως αποτελεί τμήμα μεγαλύτερης όδευσης που είχε εγκατασταθεί και μετρηθεί για χαρτογραφικούς κυρίως σκοπούς, και μόνο τυχαία διατρέχει περιοχή τεκτονικού ή άλλου ενδιαφέροντος.

Το επιλεγμένο τμήμα της όδευσης, μήκους συνήθως λίγων έως μερικών δεκάδων το πολύ χιλιομέτρων επαναμετράται και υπολογίζονται οι μεταβολές των υψομετρικών διαφορών μεταξύ των ίδιων σημείων για την περίοδο που μεσολαβεί των μετρήσεων.

Είναι προφανές ότι στόχος είναι ο υπολογισμός μεταβολών υψομετρικών διαφορών σε περιωρισμένη έκταση, και για το λόγο αυτό οι υπολογιζόμενες τιμές είναι πρακτικά ανεξάρτητες από μεταβολές του γεωδαιτικού datum αναφοράς (μεταβολές βαρύτητας, στάθμης θάλασσας). Οι υπολογιζόμενες μεταβολές υψομετρικών διαφορών συνήθως εμφανίζονται με τη μορφή αθροιστικών τιμών και/ή διαγραμμάτων (όπως αυτά των σχ. 1-2 και 4-6).

Η ακρίβεια και αξιοπιστία των υπολογιζόμενων μεταβολών υψομετρικών διαφορών εξαρτάται α) από τις προδιαγραφές της μετρολογικής διαδικασίας κάθε περιόδου, β) από το πόσο διαφέρουν αυτές, και γ) από το συνολικό μήκος της όδευσης (πχ. Strange 1981).

Σε ακραίες περιπτώσεις, πχ. στην περιοχή του Palmdale της Νότιας Καλιφόρνιας (όπου υπήρχε πολύ μεγάλη διαφορά προδιαγραφών μεταξύ περιόδων μέτρησης με αποτέλεσμα να επισυσσωρεύεται σφάλμα ατμοσφαιρικής διάθλασης), έχουν εκφραστεί επιφυλάξεις ότι σε μήκος 100-200χλμ οι υπολογισμένες τιμές έχουν σφάλμα 20εκ (Strange 1981).

Για την περίπτωση των μετρήσεων που συζητούνται στη συνέχεια η τυπική ακρίβεια μεταβολής υψομετρικής διαφοράς είναι της τάξης του  $1.5\sqrt{S}$  mm, όπου S το μήκος μεταξύ των θεωρούμενων σημείων (Stiros and Rondogianni 1985). Συνεπώς, οι μεταβολές υψομετρικών διαφορών που συζητούνται στη συνέχεια έχουν ακρίβεια μερικών το πολύ εκατοστών σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

#### ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΑΝΑΛΛΕΙΠΤΙΚΩΝ ΤΡΙΓΩΝΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Αντίστοιχη είναι και η φιλοσοφία υπολογισμού μεταβολών υψομετρικών διαφορών με τριγωνομετρικές χωροσταθμίσεις, αφού συνήθως υπολογίζονται μεταβολές υψομέτρων των σημείων ενός δικτύου μεταξύ δύο περιόδων μετρήσεων ως προς συγκεκριμένο σημείο.

Για την περίπτωση των μετρήσεων της περιοχής Καπαρελίου που συζητούνται στη συνέχεια, η πυκνότητα του δικτύου και το μικρό μήκος των σκοπεύσεων καθιστούν τις ακρίβειες υπολογισμού μεταβολών υψομετρικών διαφορών καλύτερες από 10εκ (παρ. Bomford 1977).

#### ΣΕΙΣΜΟΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ 1978

Ανάλυση της μορφής των κυμάτων του κυρίου σεισμού της Θεσσαλονίκης του 1978 ωδήγησε στον υπολογισμό μέσης τιμής βύθισης 25-30 cm, περίπου 2-2.5 φορές μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη κίνηση στα ρήγματα (περίπου 12 cm). Η σημαντική αυτή διαφορά ερμηνεύτηκε σαν μείωση των παραμορφώσεων προς την επιφάνεια (Souflieris & Stewart 1981). Ωμως, επαναμέτρηση μετά του σεισμούς μιας χωροσταθμικής όδευσης που διέρχεται από την τάφρο των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έδειξε ότι οι σεισμικές βυθίσεις στην επιφάνεια είναι της τάξης των 25 cm (σχ. 1), και επομένως η παραμόρφωση δεν μειώθηκε προς την επιφάνεια, αλλά αναλήφθηκε από υλικό που συμπεριφέρθηκε με πλαστικό τρόπο. Επομένως, εκτός από τη ρηξιγενή, και η πλαστική παραμόρφωση των ανώτερων στρωμάτων πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη για την εκτίμηση της τεκτονικής κίνησης.

Επι πλέον, η μεγάλη βαθμίδα της μεταβολής των υψομέτρων που παρατηρείται κατά μήκος της χωροσταθμικής όδευσης στο ΝΔ άκρο της Βόλβης μπορεί να υποδηλώνει θαμμένο ρήγμα, πιθανότατα ΒΔ διεύθυνσης. Σύμφωνα με την ερμηνεία αυτή το μήκος των σεισμικών διαρρήξεων είναι διπλάσιο από αυτό που οπτικά εμφανίζεται στην επιφάνεια και ίσο με το μήκος που υποδηλώνει η κατανομή των επικέντρων των μετασεισμών (Souflieris & Stewart 1981).

#### ΡΗΓΜΑ ΛΟΚΡΙΔΑΣ

Σύγκριση υψομέτρων χωροσταθμικών σημείων κατά μήκος τμήματος όδευσης μήκους 14km που διέρχεται από το ρήγμα της Αταλάντης, και ιδιαιτέρως από τμήμα του που ανέδρασε το 1894, έδειξε μικρές μεταβολές των υψομέτρων μεταξύ 1969 και 1984 (σχ. 2). Οι μεταβολές αυτές πιθανά υποδηλώνουν σχετική ταπείνωση του κατερχομένου τεμάχους του ρήγματος Λοκρίδας. Μια πιθανή ερμηνεία είναι ότι στο διάστημα 1969- 1984 το ρήγμα χαρακτηρίστηκε από σεισμική κίνηση (creep) και επομένως δεν συσσωρεύτηκαν τάσεις που απελευθερώνονται με σεισμό.

#### ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΥ 1981

Μελέτη γεωδαιτικών προσεισμικών και μετασεισμικών στοιχείων στην πλειοψηφία περιοχή Αλκυονίδων - Καπαρελλίου του 1981 ωδήγησε στη σύνθεση του ομαλοποιημένου διαγράμματος σεισμικής μεταβολής υψομέτρων του σχ. 3. Το διάγραμμα εμφανίζει βύθιση άνω των 50 cm περίπου κατά μήκος του άξονα της "σεισμικής τάφρου" που ορίζουν οι σεισμικές διαρρήξεις και η

κατανομή των επικέντρων των κυρίων σεισμών και μετασεισμών της σεισμικής ακολουθίας του 1981 (Kim et al. 1984), αλλά και ανύψωση του σχετικού ανερχόμενου τμήχους (footwall) του ρήγματος Καπαρελλίου. Το συμπέρασμα αυτό δεν επιβεβαιώνει την υπόθεση των Jackson et al (1982) ότι το ρήγμα Καπαρελλίου είναι μόνο αντιθετικό ρήγμα, δηλαδή δομή δεύτερης τάξης, στο ανερχόμενο τμήχος (footwall) του οποίου μόνο βύθιση αναμένεται.

#### ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΙΣΘΜΟΥ ΚΑΙ ΒΟΡΕΙΑΣ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

Στα σχ. 4 και 5 φαίνεται η σύγκριση της παράμορφωσης του Ισθμού και της Βόρειας Πελοποννήσου με βάση γεωδαιτικά στοιχεία και γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία που καλύπτουν διάστημα μερικών έως και εκατοντάδων χιλιάδων ετών. Η ομοιότητα των αντίστοιχων καμπυλών υποδηλώνει ότι ποιοτικά τουλάχιστο, στο Ανώτερο Πλειστόκαινο-Ολόκαινο ο ιδιότυπος χαρακτήρας της τεκτονικής παραμόρφωσης της περιοχής (μηχανική στρέψη στον Ισθμό, αντιμορφική ανύψωση της Βόρειας Πελοποννήσου, πχ. Μαριολάκος 1975) δεν έχει μεταβληθεί.

#### ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ 1986

Επαναμέτρηση τμημάτων χωροσταθμικών οδεύσεων που διατρέχουν την σεισμόπληκτη περιοχή Καλαμάτας έδειξαν ότι σημαντικές μεταβολές διαφορών υψομέτρων παρουσιάστηκαν στον ανατολικό κλάδο που διατρέχει την περιοχή όπου εντοπίζονται και οι μεγάλες καταστροφές (Parastamatiou et al 1988), κατά μήκος του δρόμου προς τη Σπάρτη. Αντίθετα, στο δυτικό κλάδο, κατά μήκος του δρόμου για την Τρίπολη όπου οι ζημιές ήταν μικρές (οπ. παρ.) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές μεταβολές υψομετρικών διαφορών (σχ. 6).

Η χαρακτηριστική διαφορά στη βαθμίδα μεταβολής του αναγλύφου υποδηλώνει είτε ότι μεταξύ των δύο κλάδων των οδεύσεων διέρχεται σεισμικό ρήγμα (Στείρος 1988), είτε ότι το σεισμικό ρήγμα πρέπει να διέρχεται πολύ κοντά στον ανατολικό χωροσταθμικό κλάδο. Ρήγμα που ανέδρασε κατά τους σεισμούς του 1986 δεν φαίνεται στην επιφάνεια, αφού μόνο μερικές μικροδιαρρήξεις παρατηρήθηκαν (πχ. Μαριολάκος κ.ά 1987). Ξρισμένοι συγγραφείς (πχ. Parazachos et al. 1988; Lyon-Caen et al, 1989) διέτυψαν την άποψη ότι οι μικροδιαρρήξεις αυτές ορίζουν ευθυγραμμία που συμπίπτει με κανονικό νεοτεκτονικό ρήγμα διεύθυνσης περίπου ΒΒΑ και με κατερχόμενο το δυτικό τμήχος.

Η υπόθεση αυτή είναι μεν σύμφωνη με το μηχανισμό γένεσης του σεισμού (Delibassis et al. 1987, Parazachos et al. 1988, Lyon Caen et al. 1989), δύσκολα όμως μπορεί να ερμηνεύσει την έλλειψη εσωτερικής παραμόρφωσης στο θεωρούμενο κατερχόμενο τμήχος του ρήγματος (hanging wall) που τεκμαίρεται τόσο από τα γεωδαιτικά στοιχεία όσο και από την γεωγραφική κατανομή των σεισμικών καταστροφών (παρ. Parastamatiou et al. 1988). Οι τελευταίες, παραδόξως πως εμφανίζονται συντριπτικά μεγαλύτερες στο σχετικά ανερχόμενο απ' ότι στο κατερχόμενο τμήχος του ρήγματος που θεωρείται ότι ανέδρασε, παρότι από λιθολογική άποψη το μεν χαρακτηρίζεται από πρόσφατα ιζήματα ενώ το δεύτερο από μεσοζωικά.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Τα στοιχεία που περιληπτικά εκτέθηκαν πιο πάνω αποτελούν μικρό μέρος των στοιχείων που έχουν διατεθεί από τη ΓΥΣ στο ΙΓΜΕ στα πλαίσια της μεταξύ τους συνεργασίας, ή συλλεγεί από τη γεωδαιτική ομάδα του ΙΓΜΕ, και δείχνουν τη σημασία και έκταση της γεωδαιτικής συμβολής στη μελέτη της ενεργού τεκτονικής.

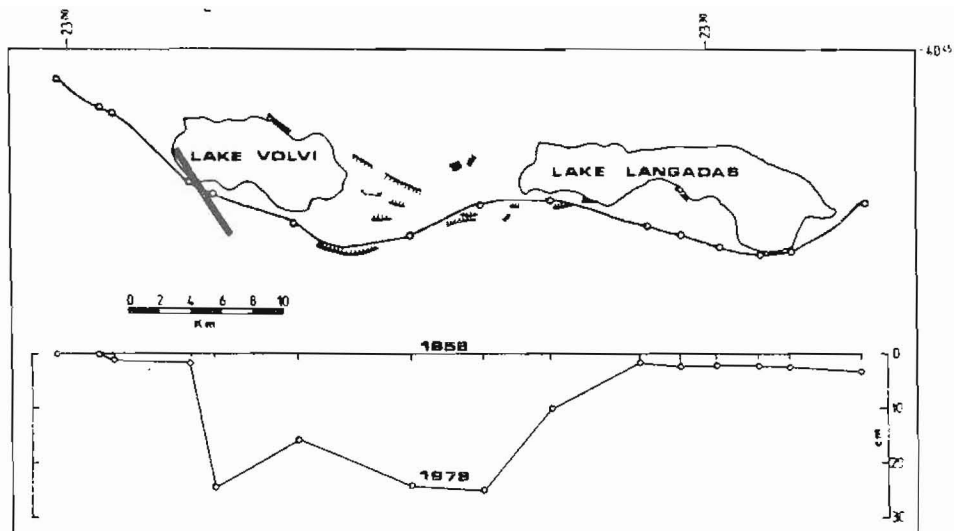
## ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ

Οι γεωδαιτικές μέθοδοι εισήχθησαν στο ΙΓΜΕ στα πλαίσια της μελέτης προβλημάτων Τεχνικής Γεωλογίας χάρις στο προσωπικό ενδιαφέρον του Β. Ανδρονόπουλου, ενώ στην ανάπτυξη τους και εφαρμογή τους στη μελέτη τεκτονικών προβλημάτων βοήθησε ο Ι. Μπορνόβας που υπήρξε και αρχιτέκτονας της συνεργασίας του ΙΓΜΕ με τη ΓΥΣ στον τομέα αυτό. Η μελέτη της Καλαμάτας έχει μερικά χρηματοδοτηθεί από τον ΟΑΣΠ και υποστηριχθεί από το Δήμο Καλαμάτας. Η εργασία αυτή αποτελεί συμβολή Νο // του Έργου ΔΦ-8661704-ΙΓΜΕ, "Μελέτη του σύγχρονου γεωδυναμικού καθεστώτος του Ελλαδικού χώρου".

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

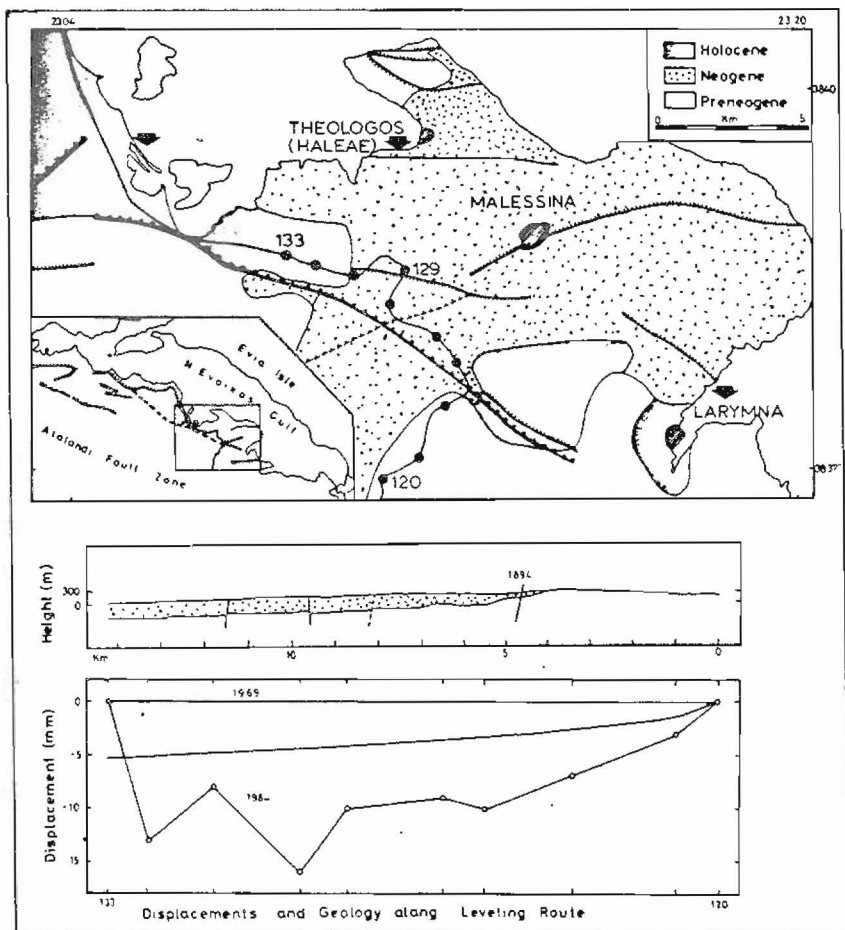
- Ανώνυμος (1982) Έλεγχος Κρατικού Τριγωνομετρικού Δικτύου στη σεισμική περιοχή Αλκυονίδων. Δελτίο ΓΥΣ, 122, 37-58.
- Bomford, G. (1977) Geodesy, 3rd ed. Oxford Univ. Press.
- Delibassis, N., Drakopoulos, J. & Stavrakakis, G. (1987) The Kalamata (Southern Greece) earthquake of 13 September 1986. Annales Geophysicae, 5B, (6), 731-734.
- Kim, W.-Y., Kulhanek, O. & Meyer, K. (1984) Source processes of the 1981 Gulf of Corinth earthquake sequence from body-wave analysis, Bull. Seis. Soc. Amer., 74, 459-477.
- Lyon-Caen, H., Armijo, R., Drakopoulos, J., Baskoutas, J., Delibassis, N., Gaulon, R., Koustkoua, V., Latoussakis, J., Makropoulos, K., Papadimitriou, P., Papanastassiou, D. & Pedotti, G. (1988) The 1986 Kalamata (South Peloponnese) earthquake: Detailed study of a normal fault, evidences for east-west extension in the Hellenic Arc, J. Geophys. Res., 93, 14967-15000.
- Μαριολάκος, Η. (1975) Σκέψεις και απόψεις επί ωρισμένων προβλημάτων της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της Πελοποννήσου. Γεωλ. Χρον. Ελλ. Χωρών 27, 215-313.
- Μαριολάκος, Η., Σαρπώ, Β., Αλεξόπουλος, Α., Δανάμος, Γ., Λέκκας, Ε., Λόγος, Ε., Λόσιος, Σ., Μερτζάνης, Α. & Φουντούλης, Γ. (1986) Μικροζωνική μελέτη Καλαμάτας, Προκαταρκτική Μελέτη, ΟΑΣΠ.
- Μαριολάκος Ι. & Στιρος, Σ. (1987) Quaternary deformation of the Isthmus and Gulf of Corinthos (Greece). Geology, 15, 225-228.
- Papastamatiou, D., Mouyiaris, N. & Kynigalaki, M. (1988). Interrelation between seismic geology and archaeology—Investigations triggered by the 1986 Kalamata earthquake, in Engineering geology of ancient works, monuments and historical sites, ed. Marinou, P. & Koukis, G., vol. 3, 1233-1239, Balkema, Rotterdam.
- Papazachos, B., Kiratzi, A., Karakostas, B., Panagiotopoulos, D., Scordilis, E. και Mountrakis, D. (1988). Surface fault traces, fault plane solution and spacial distribution of

- the after shocks of the September 13, 1986 earthquake of Kalamata (Southern Greece). Pageoph. 126, 55-68.
- Richter, C. (1958) Elementary Seismology. Freeman & Co, San Francisco.
- Soufleris, C. & Stewart, G. (1981) A source study of the Thessaloniki (northern Greece) 1978 earthquake sequence. Geophys. J. R. astr. Soc. 67, 343-358.
- Στεῖρος, Σ. (1988). Κατακόρυφες κινήσεις που συνδέονται με τους σεισμούς της Καλαμάτας του 1986: Μελέτη με βάση χωροσταθμικά στοιχεία και συμπεράσματα για την ενεργό τεκτονική της περιοχής. Αδηροσέυτη Έκθεση ΙΓΜΕ.
- Stiros, S. (1986) Geodetically controlled taphrogenesis in back-arc environments: Three examples from Central and Northern Greece. Tectonophysics 130, 281-288.
- Stiros, S. (1988) Model for the North Peloponnesian (Central Greece) uplift. J. Geodynamics 9, 199-214.
- Stiros, S. & Rondogianni, T. (1985) Recent vertical movements across the Atalandi fault-zone (Central Greece), Pageoph. 123, 837-848.



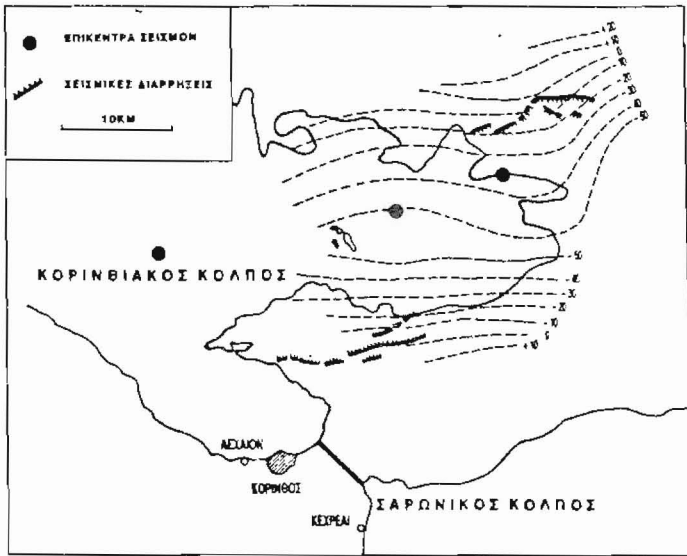
Σχήμα 1

Χωροσταθμική όδευση, εδαφικές διαρρήξεις τών σεισμών του 1978 στην περιοχή των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά Θεσσαλονίκης και σεισμικές μεταβολές υψομέτρων κατό μήκος της όδευσης. Παχιά γραμμή υποδηλώνει ρήγμα που πιθανό ανέδρασε κατά τους σεισμούς αλλά δεν εμφανίστηκε στην επιφάνεια (τροποποιημένο από Stiros 1986).



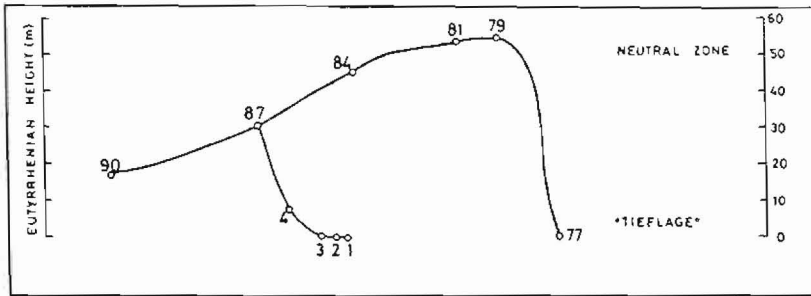
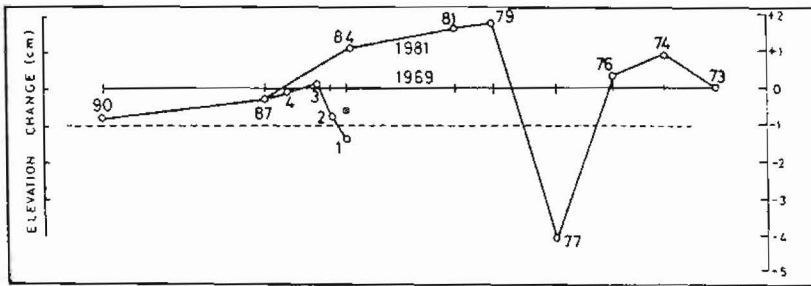
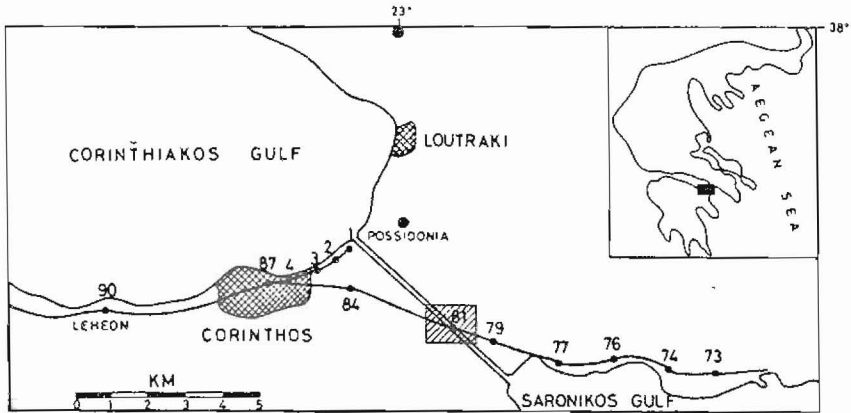
Σχήμα 2

Άνω: Γεωλογία και θέση των χωροσταθμικών σημείων της όδευσης που διατρέχει το ρήγμα Αοκρίδας του 1894. Μέσο: Γεωλογική τομή κατά μήκος της όδευσης. Κάτω: Μεταβολές υψομέτρων κατά μήκος της χωροσταθμικής όδευσης (από Stiros & Rondogianni 1985).



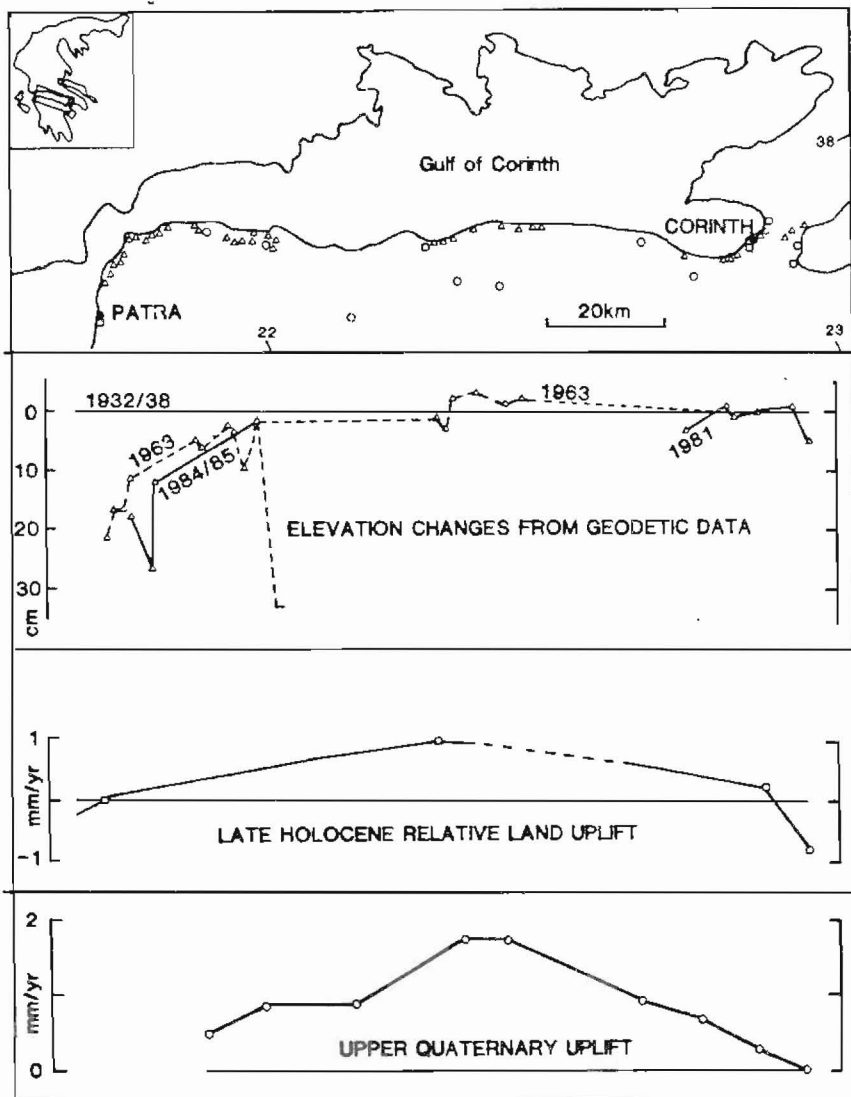
Σχήμα 3

Ισοϋψείς της σεισμικής μεταβολής των υψομέτρων στην επικεντρική περιοχή των σεισμών των Αλκυονίδων του 1981 (από Stigos 1986, απλοποιημένο, με βάση στοιχεία από Ανώνυμος 1982). Στο ανερχόμενο τέμαχος του ρήγματος Καπορευίου όπου παρατηρείται σεισμική ανύψωση η ακρίβεια υπολογισμού των υψομέτρων είναι της τάξης των 10εκ.

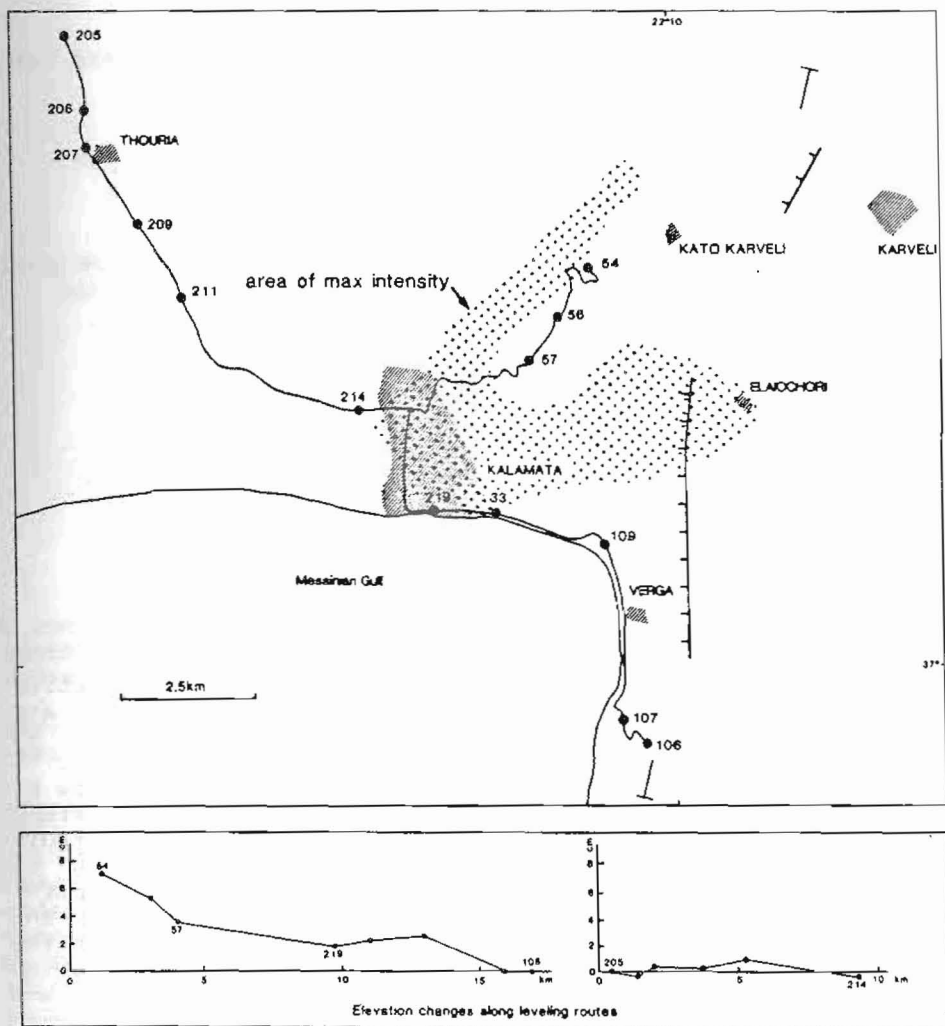


Σχήμα 4

α: Χάρτης περιοχής Ισθμού που δείχνει τη θέση χωροσταθμικών αφετηριών. β: Μεταβολές υψομέτρων κατά μήκος της χωροσταθμικής όδευσης. γ: Μεταβολή του υψομέτρου του Ευτυρρηνίου ΙΙ κατά μήκος της χωροσταθμικής όδευσης. Η ομοιότητα των δύο καμπυλών υποδηλώνει ότι η ενεργός παραμόρφωση είναι όμοια με την Ανω Πλειστοκαινική παραμόρφωση (από Mariolakos & Stiros 1987).



Σχήμα 5  
 Ανύψωση της Βόρειας Πελοποννήσου σε 50 χρόνια από επανολλειπτικά χωροσταθμικά στοιχεία, σε 2000-3000 χρόνια από μεταβολές στάθμης θάλασσας και σε μερικές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια από στρωματογραφικά στοιχεία (από Stiros 1988, απλοποιημένα).



Σχήμα 6

Μεταβολές υψομέτρων που συνδέονται με τους σεισμούς 1986 της Καλαμάτας, κατά μήκος δύο χωροσταθμικών κλάδων. Επίσης εμφανίζεται το νεοτεκτονικό ρήγμα που κατά τους Papazachos et al (1988) και Lyon Caen et al (1989) ανέδρασε το 1986 και η πλειόσειστη περιοχή κατά τους Papastamatiou et al (1988).

# GEODETIC CONTROL OF VERTICAL TECTONIC DEFORMATIONS

S.C. STIROS

Institute of Geology and Mineral Exploration (IGME)  
70, Messoghion st., Athens 11527, Greece

I. MARIOLAKOS

Geology Dept, University of Athens  
Ilissia 15701, Athens, Greece

## ABSTRACT

The study of vertical deformations in tectonically active areas in Greece using geodetic data (repeated spirit and trigonometric leveling) led to the following conclusions. In the epicentral area of the Thessaloniki 1978 earthquakes, a buried fault has been identified from the difference of gradient of the deformation; possible aseismic motions along the Atalandi fault may indicate that this part of the fault was creeping between measurements, and no stresses to be released by earthquakes have been cumulated; seismic uplift at the footwall of the Papareli fault that broke during the 1981 Gulf of Corinth earthquakes is not consistent with the hypothesis of an antithetic fault, at the footwall of which only subsidence is expected; a similarity in the pattern and rates of deformation of the Isthmus and the North Peloponnesus in different time scales has been deduced.