

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΥΨΗΛΗΣ ΕΥΚΡΙΝΕΙΑΣ  
ΣΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ.  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ, ΑΡΧΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Καραστάθης, Β., Μακρόπουλος, Κ. και Δρακόπουλος, Ι.

Τομέας Γεωφυσικής - Γεωθερμίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο  
Αθηνών, 15784 Αθήνα

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Με κύριο στόχο τον εντοπισμό των πιθανών ρηγμάτων, των περιοχών με κάποιες ενδείξεις καταπόνησης, αλλά και όλων αυτών των δομικών ανωμαλιών, που σχετίζονται με τη ρηγματική ζώνη της Αταλάντης, και των οποίων η γνώση θα μπορούσε να συνεισφέρει σε γεωτεχνικές μελέτες ή μελέτες για αντισεισμική προστασία, πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης υψηλής ευκρίνειας στο ΝΔ άκρο της πόλης της Αταλάντης.

Τρεις σεισμικές τομές πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση της επιφανειακής σεισμικής πηγής kangaroo και γεωφώνων των 100 Hz. Αν και ο σειсмоγράφος, που χρησιμοποιήθηκε, ήταν πολύ μικρού δυναμικού εύρους (48 dB), έγινε δυνατή η λήψη του σήματος ανάκλασης χάρη σε μια κατάλληλη εκλογή των παραμέτρων στη συλλογή των δεδομένων στην ύπαιθρο. Οι τομές έχουν διεύθυνση κάθετη στο ρήγμα, όπως αυτό έχει αποτυπωθεί στους χάρτες από προηγούμενες γεωλογικές μελέτες.

Από την επεξεργασία των δεδομένων δε διαφάνηκε καμία ένδειξη πλευρικής ασυνέχειας στα πετρώματα του υποβάθρου. Αντίθετα, αυτό που παρατηρήθηκε ήταν σαφείς ενδείξεις σειράς διαρρηξικών αλμάτων της τάξης των μερικών μέτρων.

THE CONTRIBUTION OF HIGH RESOLUTION REFLECTION SEISMICS IN  
THE SOLUTION OF GEOTECHNICAL PROBLEMS

CASE STUDY IN THE AREA OF THE ATALANTI TOWN, PRELIMINARY RESULTS

Karastathis, V., Makropoulos, K. and Drakopoulos, J.

A B S T R A C T

High resolution reflection seismics were implemented in the SW part of Atalanti town in order to locate possible faults and all these structure anomalies related to the Atalanti faulted zone whose determination could support geotechnical studies.

Three seismic profiles were conducted using the surface source "kangaroo" and geophones with resonant frequency of 100 Hz. Although the seismograph used was of a very small dynamic range (48 dB), acquiring of the reflection signal became possible due to the proper choice of the acquisition parameters in the field. All the profiles were oriented perpendicularly to the fault as this was mapped after previous geological studies.

After the processing of the data no indication for a lateral

unconformity was observed. In contrast what is strongly suggested is a series of fractures with steps up to few meters.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

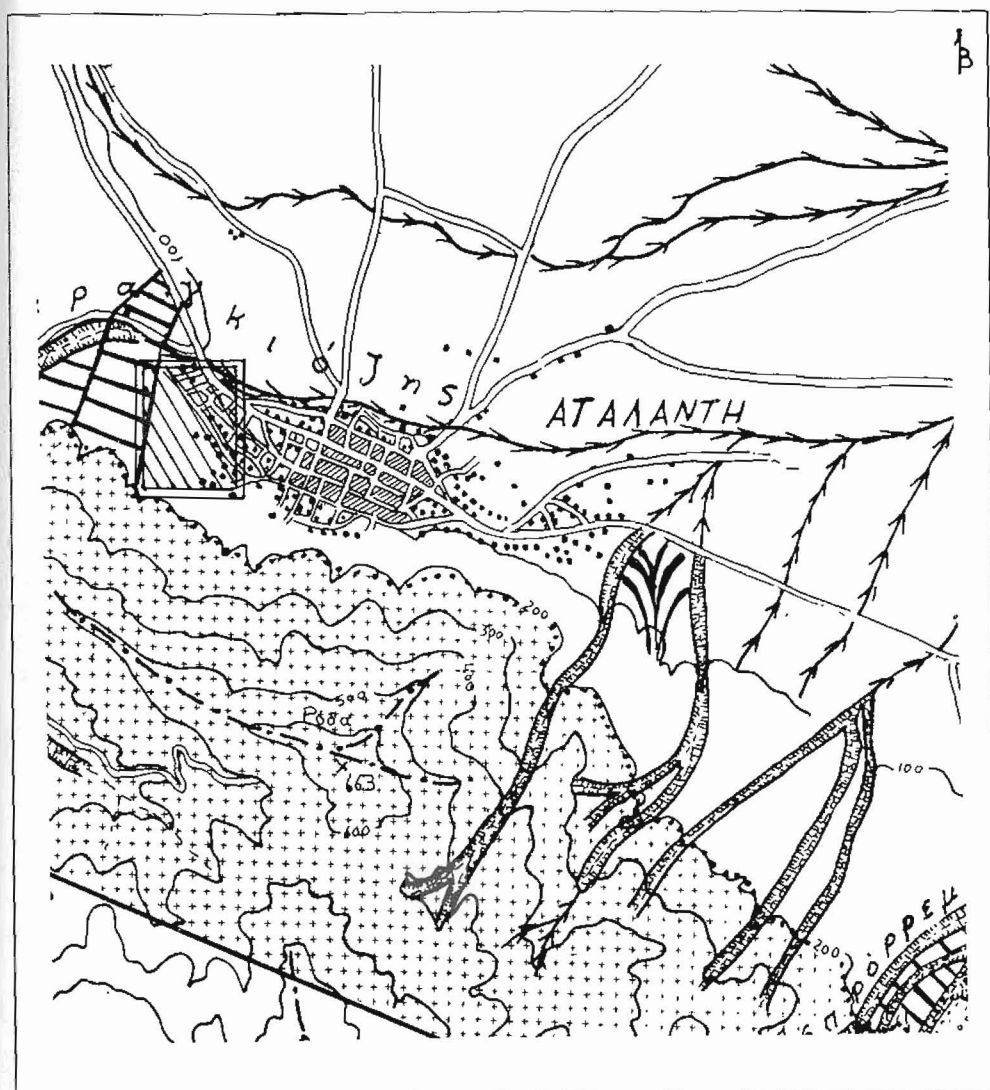
Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης είναι γνωστή κυρίως από την κλασική της εφαρμογή στην έρευνα πετρελαίου και έχει αναγνωρισθεί ως η γεωφυσική μέθοδος, που παρέχει την πιο λεπτομερή απεικόνιση της μορφής του υπεδάφους σε πολύ μεγάλα βάθη.

Παρά τις πολύχρονες προσπάθειες που έγιναν για τη μεταφορά της μεθόδου σε ρηχές καταστάσεις, όπως αυτές που σχετίζονται με προβλήματα τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας, μόνο την τελευταία δεκαετία άρχισε πρόοδος προς αυτή την κατεύθυνση, κυρίως λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας στην ηλεκτρονική, και ειδικότερα στους υπολογιστές. Αν και δεν υπάρχει σαφής καθορισμός στο τι ονομάζουμε "βαθύ" και "ρηχό", συχνά το βάθος των 1000 μέτρων χρησιμοποιείται ως όριο στη ρηχή σεισμική ανάκλαση. Βάθη από 300 έως 500 μέτρα θεωρούνται κλασικά για την έρευνα με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης υψηλής ευκρίνειας, ενώ υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον για τη βελτίωση της μεθόδου σε ρηχότερες καταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει δημοσιεύσεις από έρευνες, που είχαν αρκετή ευκρίνεια, ώστε να δώσουν πληροφορίες για βάθη μικρότερα των 10 μέτρων (Birkelo et al., 1988). Αυτή η αύξηση της ευκρίνειας μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμη, κυρίως όταν η έρευνα γίνεται για την παρακολούθηση ενός ορίζοντα, που ενώ σε κάποιο μέρος του έχει αρκετό βάθος (π.χ. 30 μ.), σε κάποιο άλλο έχει πολύ μικρότερο (π.χ. 4 μ.) (Miller et al., 1989).

Η μέθοδος βρήκε μεγάλη ανταπόκριση από τις τεχνικές και υδρογεωλογικές εταιρείες, οι οποίες κυρίως ενδιαφέρονται για τα πρώτα 300 μέτρα βάθους. Είναι ικανή να δίνει μία σεισμική τομή (profile) παρόμοια με την πραγματική γεωλογική τομή, όπου σε αυτή θα μπορούσαν να διακριθούν τα κύρια γεωλογικά χαρακτηριστικά, π.χ. συνοριακές επιφάνειες μεταξύ των στρωμάτων, ρήγματα κλπ. Έτσι ενίσχυσε κατά πολύ την έρευνα για τον εντοπισμό ρηγμάτων, για τη ρηχή στρωματογραφία, για τον εντοπισμό λιγνίτη και άνθρακα, για τη χαρτογράφηση υποβάθρου, τον εντοπισμό κοιλωμάτων, την παρακολούθηση του υδροφόρου ορίζοντα, την ενδοαλλουβιακή στρωματογραφία, αλλά και για την επίλυση άλλων πιο ειδικών προβλημάτων, όπως η επιλογή θέσης για απόρριψη πυρηνικών καταλοίπων κλπ. (Gochioco, 1989; Ayers, 1989; Daniels, 1988; Hunter et al., 1984; κ. ά).

Με σκοπό τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου - με τον υπάρχοντα εξοπλισμό - στον εντοπισμό πολύπλοκων μικροτεκτονικών ανωμαλιών, οι οποίες πολλές φορές διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σε γεωτεχνικές μελέτες, και στον αντισεισμικό σχεδιασμό, πραγματοποιήθηκε προκαταρκτική έρευνα στο ΝΔ μέρος της πόλης της Αταλάντης (σχ. 1). Η περιοχή αυτή επελέγη εξαιτίας της δεδομένης έντονης σεισμικής δραστηριότητας, που είχε επιδείξει κατά το παρελθόν. Αναλυτικότερα, στους στόχους μας ήταν ο εντοπισμός των πιθανών διαρρήξεων της περιοχής, οι οποίες εντάσσονται στην ευρύτερη ρηγματική ζώνη της Αταλάντης, καθώς και η επισήμανση κάποιων περιοχών που παρουσιάζουν οαφείς ενδείξεις καταπόνησης.

Η ρηγματική ζώνη της Αταλάντης είναι εξαιρετικού



Σχ.1. Χάρτης της τοποθεσίας έρευνας. Η κλίμακα είναι 1:30.000.

ενδιαφέροντος εξαιτίας του μεγάλου σεισμού που έδωσε το 1894. Συγκεκριμένα στις 20 και 27 Απριλίου του έτους αυτού σημειώθηκαν δύο πολύ ισχυρές σεισμικές δονήσεις μεγεθών 6.8 και 7.0 αντίστοιχα (Comninakis, et. al. 1982). Κατά το δεύτερο σεισμό επλήγη ιδιαίτερα η πόλη της Αταλάντης, η οποία "έπαθε πανωλεθρίαν και κατέστη ακατοίκητος" (Μητσόπουλος, 1894).

Κατά το δεύτερο αυτόν σεισμό εμφανίστηκε το ρήγμα της Αταλάντης με μήκος περί τα 55 χιλιόμετρα και με άλμα, που

σημειώθηκε ίσο με 40 εκατοστά στο υπόβαθρο μέχρι δύο μέτρα στα όρια του υποβάθρου με την αλλουβιακή πεδιάδα (Ροντογιάννη κ.ά., 1986).

Οι σεισμικές τομές σχεδιάστηκαν έτσι, ώστε να είναι κάθετες προς τη διεύθυνση του ίχνους του ρήγματος, όπως αυτό καθορίστηκε από προηγούμενες εργασίες (Ροντογιάννη κ.ά., 1986.; Αγγελίδης, 1991; Μαράτος, 1965).

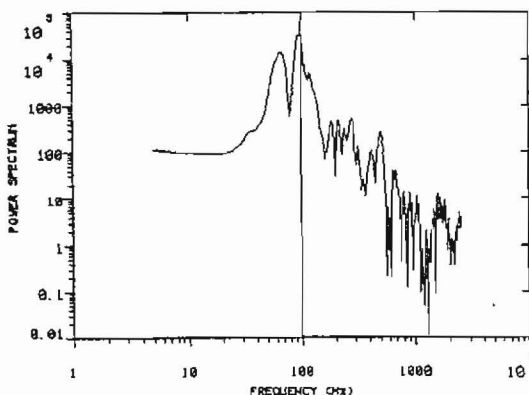
Από γεωλογικής πλευράς (Ροντογιάννη κ. ά., 1986) στην περιοχή εμφανίζονται δύο κύριοι σχηματισμοί: α) τα ριπίδια και πλευρικά κορήματα, τα οποία είναι αποθέσεις μέτριας συνεκτικότητας, και συνίστανται από λατύπες ποικίλου μεγέθους, προερχόμενες από πετρώματα του όρους Χλωμού και αργιλικό συνδεδεικό υλικό καστανού χρώματος, και β) το περμοτριάδικό υπόβαθρο, που αποτελείται από βασικούς ηφαιστειακούς σχηματισμούς χρώματος πράσινου σκούρου, καστανού, ιώδους και έχει εναλλαγές πυροκλαστικών και λαβών (ανδσειτικής μέχρι βασαλτικής σύστασης), με παρεμβολές σχιστολίθων και ψαμμιτών .

Στο υπόβαθρο τα δύο πετρώματα, που συναντώνται κυρίως και εναλλάσσονται πολύ συχνά μεταξύ τους και χαρακτηρίζονται ως πυροκλαστίτες, είναι σχιστοψαμμίτες και κροκαλοπαγή, ενώ αραιότερη είναι η εμφάνιση αργιλικών σχιστολίθων και γραυσβάκων. Τα ηφαιστειακής προέλευσης υλικά (π.χ. ηφαιστειακοί τόφφοι) συναντώνται μόνο σε ορισμένες θέσεις περιορισμένης έκτασης (Αγγελίδης, 1991).

#### ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια σειμογράφου 24 καναλιών τύπου terraloc II με μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D) των 8 bits. Το τελευταίο περιορίζει το δυναμικό εύρος στα 48 dB.

Η σεισμική πηγή ήταν τύπου kangaroo, το οποίο χρησιμοποιεί φυσίγγια όπλου με 60 γραμμάρια πυρίτιδας. Η πηγή αυτή, που ζυγίζει περί τα 80 κιλά, με την πυροδότηση εκτινάσσεται από το έδαφος και προκαλεί με τη δύναμη ανάδρασης το σεισμικό κύμα (Meeks et al., 1990). Η πηγή εξετάστηκε φασματικά και έδωσε την κύρια συχνότητά της έως και 100 Hz (σχ.2).



Σχ-2. Παράδειγμα φασματικής ανάλυσης της πηγής.

Δεδομένου του μικρού δυναμικού εύρους του σειсмоγράφου (48 dB) και της παραγωγής υψηλού ποσού συναφούς θορύβου από την πηγή Kangaroo, θεωρήθηκε επιβεβλημένη μία ισοστάθμιση του φάσματος πλατών καταγραφικής. Η ισοστάθμιση αυτή μπορεί να προκύψει από τη χρήση προεμφατικού αναλογικού φίλτρου πριν την ψηφιοποίηση του σήματος. Δεδομένου ότι α) η χαμηλή κλίση φίλτρου των γεωφώνων δεν αλλοιώνει αισθητά τη φάση του παλμού και β) δεν υπήρχε ιδιαίτερη ανάγκη για χρήση μεγαλύτερου προεμφατικού φίλτρου από αυτό των 100 Hz για το φάσμα συχνοτήτων της πηγής που χρησιμοποιήθηκε, κρίθηκε ότι η χρήση των γεωφώνων των 100 Hz θα μπορούσε να διαδραματίσει το ρόλο του προεμφατικού φίλτρου και θα βοηθούσε την ευκρίνεια της έρευνας, αφού θα βελτίωνε την καταγραφή στην μετατροπή του αναλογικού σε ψηφιακό σήμα.

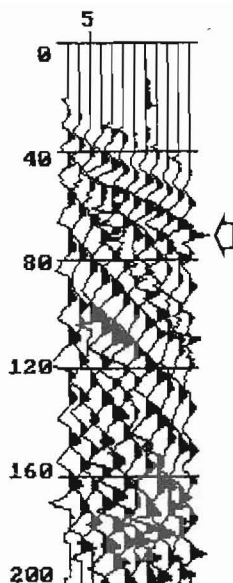
Τέτοια φασματική ισοστάθμιση ελαττώνει τις επιδράσεις της γης ως φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων, βελτιώνει το ποσοστό των καταγραφόμενων δεδομένων και κάνει την καταγραφή των υψηλής ευκρίνειας δεδομένων επιφανειακή μέσω της ελάττωσης του χαμηλού συχνοτήτων σήματος σ' ένα επίπεδο, το οποίο θα οδηγούσε σε κορεσμό ένα καταγραφικό επίπεδο απόκρισης (Knapp and Steerles 1986).

Εντός από το προεμφατικό αυτό έμμεσο φίλτράρισμα χρησιμοποιήσαμε επίσης και αναλογικό φίλτρο των 50 Hz με 32 dB/oct πριν από την ψηφιοποίηση για τον αυστηρό περιορισμό του εδαφικού θορύβου χαμηλής συχνότητας. Η αναγνώριση του θορύβου έγινε με ειδικές δοκιμές θορύβου (walkaway tests), οι οποίες βοήθησαν και στην εκλογή των αποστάσεων μεταξύ της πηγής και του πρώτου γεωφώνου (offset). Λόγω της πιθανής ύπαρξης οριζοντίων ανομοιογενειών στις ταχύτητες, υπήρχε ανάγκη να κρατήσουμε όσο το δυνατόν μικρότερα offsets. Η ισχυρή παρουσία όμως του εδαφικού θορύβου και του κύματος αέρος μέσα στα δεδομένα, καθώς και η απαίτηση για μια όσο το δυνατόν ρεαλιστικότερη ανάλυση ταχυτήτων, απαιτούσε τη χρήση μεγάλων αποστάσεων. Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες οδηγηθήκαμε στην εκλογή των 12, 10 και 12 μέτρων για τις γραμμές ΑΑ', ΒΒ' και ΓΓ' αντίστοιχα. Η χρήση αποστάσεων αυτής της τάξης επιτρέπει μία ανάλυση ταχυτήτων με οφάγμα της τάξης του 10% στον προσδιορισμό των τιμών των ταχυτήτων (Steentoft et al., 1992), γεγονός που βοηθάει σημαντικά σε μία περιοχή, χωρίς διερευνητικές γεωτρήσεις. Παρ' όλα αυτά για την ακριβή γνώση της ταχύτητας των επιφανειακών στρωμάτων (που θα χρησιμοποιηθεί στην μετατροπή των χρόνων σε βάθη) και της ταχύτητας του φλοιού αποσάθρωσης (για τις στατικές διορθώσεις), πραγματοποιήθηκαν και ρηχές διαθλάσεις στις ίδιες περιοχές και έδωσαν τιμή ταχύτητας για το υπερκείμενο στρώμα ίση με 1100 m/s που, ως σημειωθεί, υποδηλώνει μια αρκετά μεγάλη συνεκτικότητα στις τεταρτογενείς αποθέσεις.

Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η κλασσική απλή συνεχής διάταξη (off-end) με κατά μήκος κύλιση 12 καναλιών (roll-along), η οποία εξασφάλιζε κατ' αυτόν τον τρόπο επικάλυψη ίση με 6 ίχνη ανά κοινό σημείο.

Η απόσταση των γεωφώνων κρίθηκε να είναι 2 μέτρα, ώστε να παρέχει πυκνή ροή πληροφορίας χωρίς να έχουμε προβλήματα χωρικής ψευδοφάνειας.

Ένα παράδειγμα από τα δεδομένα (πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία) φαίνεται στο σχήμα 3. Στη σεισμική αυτή αναγραφή φαίνεται και το σήμα ανάκλισης με τη χαρακτηριστική υπερβολική μορφή του. Παρατηρούμε επίσης, ότι μεγάλο μέρος του σήματος ανάκλισης καλύπτεται από συναφή θόρυβο χαμηλής ταχύτητας, ο



Σχ.3. Παράδειγμα σεισμικής αναγραφής. Στο οχήμα μπορεί να παρατηρηθεί το σήμα ανάκλασης με τη χαρακτηριστική μορφή του:

οποίος θα πρέπει να απομακρυνθεί αργότερα κατά το στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων.

#### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

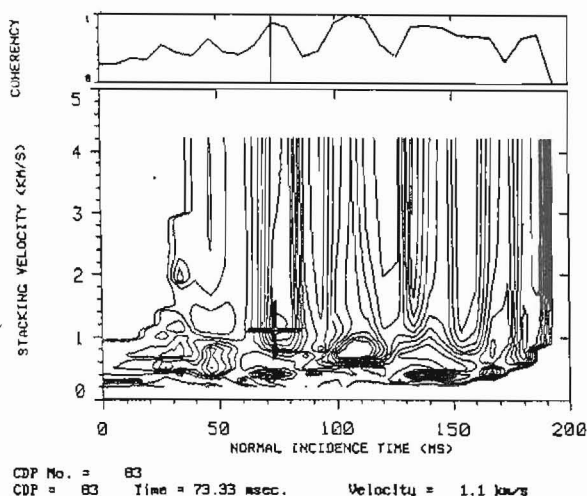
Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια του προσωπικού υπολογιστή και του σεισμικού προγράμματος seistrix 2 (Interpex, 1991). Για επιμέρους εργασίες χρησιμοποιήθηκε επίσης και το πρόγραμμα vesna (Spectratek systems, 1988). Πέρα από τα βασικά στάδια της CDP επεξεργασίας χρησιμοποιήθηκαν επίσης: α) φίλτρο ταχυτήτων (FK filtering) για την απομάκρυνση του εδαφικού θορύβου από τα δεδομένα, β) αποκοπή (muting) των πρώτων αφίξεων ώστε να αποφευχθεί πιθανή σφύρευση των διαθλάσεων και αποκοπή του κύματος αέρος που εξαιτίας της μεγάλης του συχνότητας και της μικρής ταχύτητάς του εμφανίζει χωρική ψευδοφάνια και κατά συνέπεια διαφεύγει από το φίλτρο ταχυτήτων και γ) στατικές διορθώσεις υπό τη μορφή των στατικών υπαίθρου (field statics) και των στατικών υπολοίπων (residual statics) για τη βελτίωση της συνάφειας των δεδομένων. Ως επίπεδο αναφοράς θεωρήθηκε η γενικά επίπεδη επιφάνεια της γης, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα λάθη που υπεισέρχονται πάντα από την εφαρμογή των διορθώσεων λόγω υψομετρικών διαφορών. Οι τιμές της ταχύτητας του αποσαθρωμένου φλοιού επιμέτρησης υπολογίσθηκαν από τις αφίξεις των απ' ευθείας κυμάτων σε καταγραφές ρηχών διαθλάσεων. Η δυναμική διόρθωση βασίστηκε σε ανάλυση ταχυτήτων με τη χρήση των σωρεύσεων κοινής ταχύτητας (CVS panels) (Yilmaz, 1987). Εκτός των CVS χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της ταύτισης της υπερβολής, αλλά και

των φασμάτων μέγιστης ομοιότητας (semblance spectra) για λόγους επιβεβαίωσης των τιμών των ταχυτήτων σώρευσης. Η ομοιότητα ορίζεται ως ο κανονικοποιημένος λόγος ενέργειας εξόδου / εισόδου και δίνεται από τον τύπο

$$NE = \frac{1}{M} \frac{\sum_t S_t^2}{\sum_t \sum_{i=1}^M f_{i,t}^2(i)}$$

όπου  $s_t$  το πλάτος σώρευσης, που δίνεται από τον τύπο  $s_t = \sum_{i=1}^M f_{i,t}(i)$

και όπου  $f_{i,t}(i)$  είναι η τιμή του πλάτους του  $i$  ίχνους σε χρόνο διπλής διαδρομής  $t(i)$ . Το  $M$  είναι ο αριθμός των ίχνων των ομάδων Κ.Β.Σ. (Yilmaz, 1987). Στο σχήμα 4 φαίνεται ένα παράδειγμα ανάλυσης ταχυτήτων με τη μέθοδο των φασμάτων μέγιστης ομοιότητας.



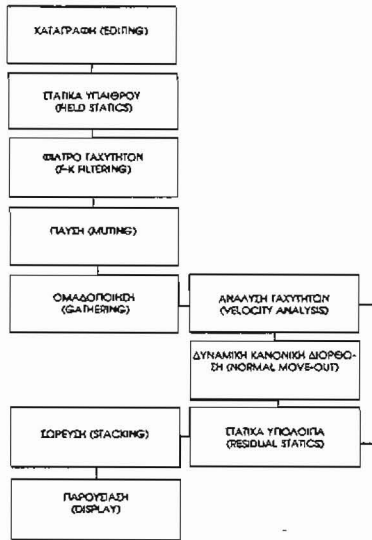
**Σχ.4.** Παράδειγμα ανάλυσης ταχυτήτων με τη μέθοδο των φασμάτων μέγιστης ομοιότητας. Το σημείο που έχει σημειωθεί είναι μέγιστης ομοιότητας και υποδεικνύει ταχύτητα σώρευσης για το πρώτο στρώμα (ση με 1100 m/s). Το σημείο μέγιστης ομοιότητας πάνω από τα 110 ms οφείλεται στην συνάφεια του εδαφικού θορύβου.

Το σημείο που έχει σημειωθεί είναι μέγιστης ομοιότητας και υποδεικνύει ταχύτητα σώρευσης για το πρώτο στρώμα (ση με 1100 m/s). Επειδή η ταχύτητα σώρευσης, όταν πρόκειται για το πρώτο στρώμα, ταυτίζεται με την πραγματική του ταχύτητα, συμπεραίνουμε ότι η τελευταία ισούται με 1100 m/s στην περίπτωση αυτή. (Το σημείο μέγιστης ομοιότητας πάνω από τα 110 ms οφείλεται στην συνάφεια του εδαφικού θορύβου). Γενικά όμως οι τιμές που έδωσε η ανάλυση ταχυτήτων για την ταχύτητα του πρώτου στρώματος ήταν μεταξύ των 1000-1200 m/s, δηλαδή παραπλήσιες στην τιμή που

υπολογίσθηκε με τις διαθλάσεις. Έτσι για τη δυναμική διόρθωση χρησιμοποιήθηκε κοινή συνάρτηση ταχυτήτων κατά μήκος των τομών.

Οι διορθωμένες ομάδες σωρεύθηκαν και έδωσαν τις σεισμικές τομές των σχημάτων 8, 9 και 10. Η παρουσίαση των τομών βελτιώθηκε με την εφαρμογή αυτόματου ελέγχου ενίσχυσης των πλατών των σχημάτων (Automatic Gain Control -AGC).

Στο σχήμα 5 φαίνεται διαγραμματικά η επεξεργασία των δεδομένων.



Σχ.5. Διάγραμμα των σταδίων της επεξεργασίας.

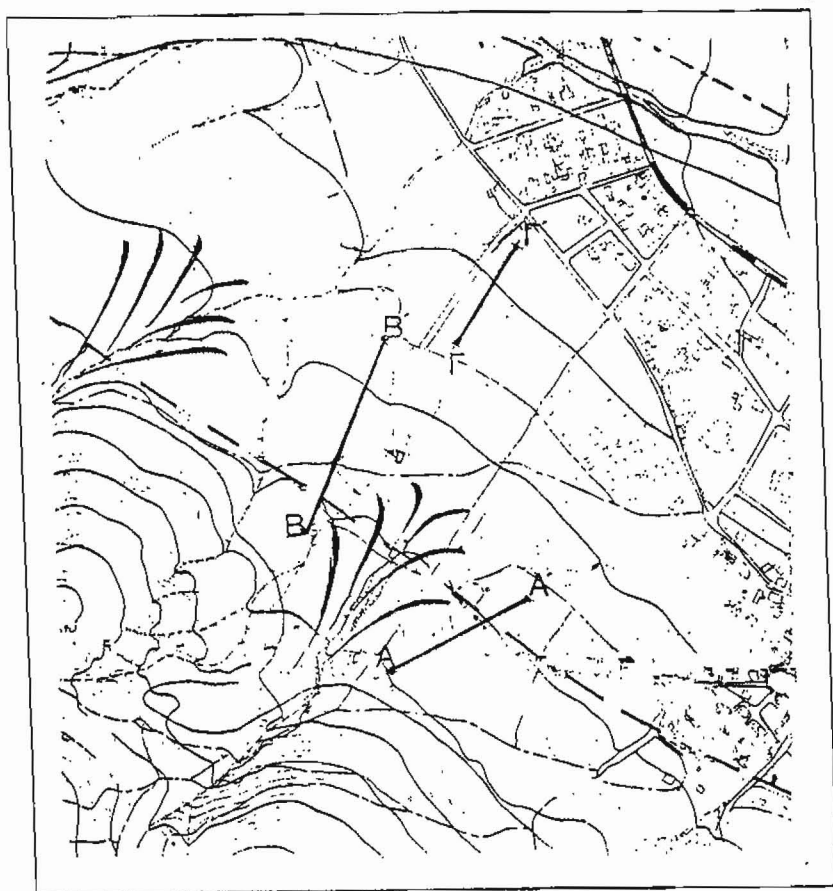
Αποσυνέλιξη δεν εφαρμόστηκε στα δεδομένα, και αυτό γιατί από εκτεταμένα πειράματα που έγιναν, για να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της, παρατηρήθηκε μία μείωση του λόγου σήματος προς θόρυβο (S/N) και της συνάφειας του ανακλαστήρα. Είναι γνωστή η γενικότερη δυσκολία για την τεχνική αυτή, στο να υιοθετηθεί στην ρηχή ανάκλαση (Davies et al., 1992; Treadway et al., 1988, Miller et al., 1992), επειδή για να λειτουργήσει η αποσυνέλιξη σωστά, πρέπει να υπάρχουν αριετά πρωτεύοντα γεγονότα ανάκλασης στα δεδομένα, τα χαρακτηριστικά του παλμού του σήματος να είναι σταθερά και ο λόγος S/N πρέπει να είναι υψηλός (Miller et al., 1992). Στη δική μας περίπτωση έχουμε μόνο ένα γεγονός ανάκλασης πέραν του ότι ούτε ο λόγος S/N είναι ιδιαίτερα υψηλός και τα χαρακτηριστικά του παλμού δεν έχουν σταθερότητα. Ενώ κάποια συρρίκνωση του παλμού δε φαίνεται ρεαλιστική με εφαρμογή αποσυνέλιξης, δεν υπάρχει και κάποια πολλαπλή ανάκλαση, ώστε να την επιβάλλει, δηλαδή να απαιτεί κατ' ανάγκη προβλεπτική αποσυνέλιξη (predictive deconvolution).

Από την ανάλυση των φασμάτων συχνοτήτων φαίνεται ότι οι κυρίαρχες συχνότητες της έρευνάς μας ήταν μέχρι και 100 Hz, ενώ η μέγιστη πλειοψηφία των φασμάτων παρουσίασε μέγιστο αισθητά άνω των 75 Hz. Σύμφωνα με το κριτήριο Rayleigh ( $\lambda/4$ ), οι τιμές κατακόρυφης διακριτικής ικανότητας για κυρίαρχες συχνότητες 100 Hz και 75 Hz είναι αντίστοιχα 2.7 και 3.6 m. Οι τιμές αυτές

επιτρέπουν τη μελέτη ρηγμάτων με άλματα μεγαλύτερα ή ίσα αυτών των διαστάσεων, αλλά και τον απλό εντοπισμό μικρότερων. Στις περιπτώσεις όπου τα άλματα των πιθανών ρηγμάτων δεν είναι κατά πολύ μεγαλύτερα των ορίων Rayleigh, απλά σημειώνουμε τον εντοπισμό τους.

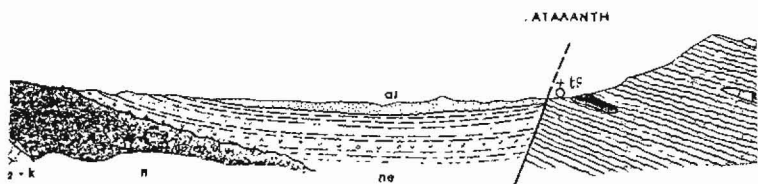
#### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η έρευνα συμπεριέλαβε τρεις κύριες σεισμικές τομές, οι διευθύνσεις των οποίων είναι κάθετες στη διεύθυνση του ίχνους εμφάνισης του ρήγματος, όπως αυτό χαρτογραφήθηκε από τη Ροντογιάννη (1986), και οι θέσεις τους φαίνονται στο χάρτη (σχ.6).



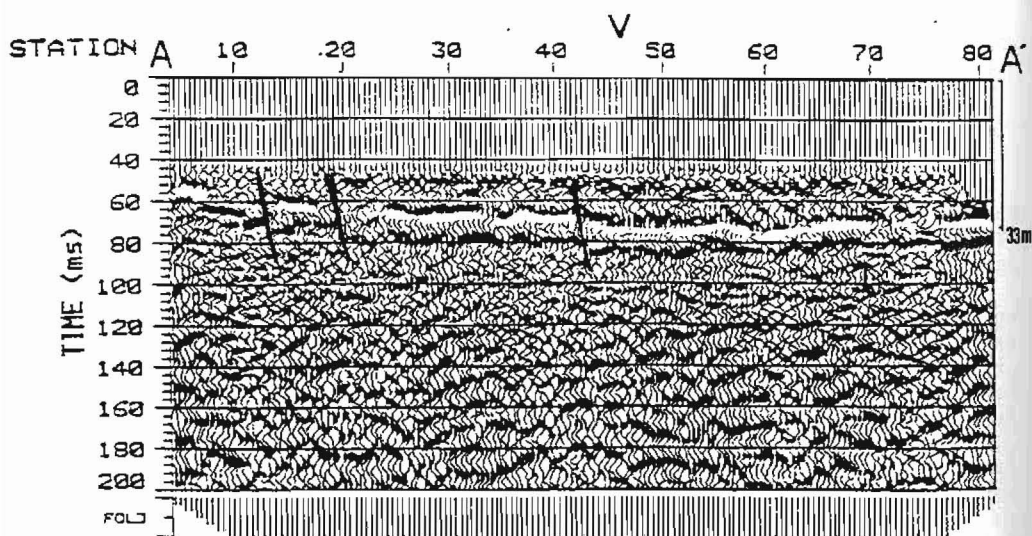
Σχ.6. Χάρτης με τις θέσεις των σεισμικών τομών. Με τη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται το ρήγμα όπως αυτό χαρτογραφήθηκε από Ροντογιάννη κ.ά. Η κλίμακα είναι 1.5000.

Η εμφάνιση νεογενών δυτικά της περιοχής έρευνας θέτει ένα κρίσιμο ερώτημα: Υπάρχει οριζόντια ασυνέχεια στο υποβάθρο, δηλαδή μετάβαση από το περμοτριάδικό στο νεογενές στη περιοχή αυτή ή όχι; Σε περίπτωση που αυτή η ασυνέχεια υπάρχει, τότε θα πρέπει να ομιλούμε για ένα μεγάλο τεκτονικό ρήγμα μεγάλου άλματος, το οποίο έχει επαναδράσει πολλές φορές στο παρελθόν. Την εκδοχή αυτή ακολουθεί και ο χάρτης του ΙΓΜΕ (σχ.7).



Σχ.7. Γεωλογική τομή πάνω από την περιοχή έρευνας σύμφωνα με το χάρτη του ΙΓΜΕ.

Από το σχήμα 8 που παρουσιάζει τη σεισμική τομή AA', παρατηρούμε ότι, παρά το γεγονός ότι η γραμμή αυτή είναι τοποθετημένη πάνω στη χαρτογραφημένη θέση του ρήγματος, δεν

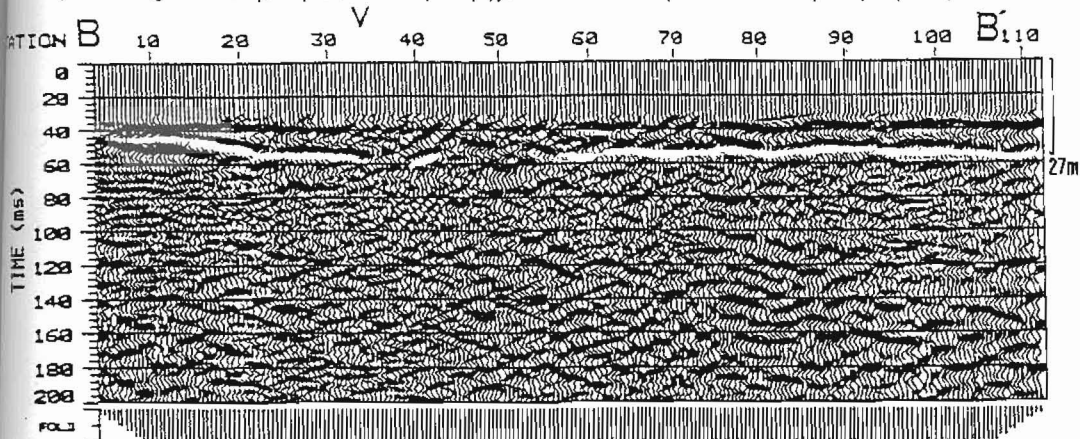


Σχ.8. Η σεισμική τομή AA'. Το μήκος της είναι 114 m.

παρουσιάζει μεγάλες ασυνέχειες στον ορίζοντα του υποβάθρου, αλλά ενδείξεις διαρρήξεων με σχετικά άλματα μερικών μέτρων. Συγκεκριμένα, ο ορίζοντας του υποβάθρου φαίνεται να υποχωρεί γύρω στα 22 ms από το αρχικό σημείο έως το σημείο 50. Δεδομένου ότι η ταχύτητα μετρήθηκε γύρω στα 1100 m/s, το αναμενόμενο συνολικό άλμα στη γραμμή αυτή είναι περί τα 12 m. Κατόπιν παρουσιάζεται

ελαφρά άνοδος έως το τέλος. Οι διαρρήξεις τοποθετούνται στα σημεία 11, 20 και 44.

Στο σχήμα 9 παρατηρούμε τη σεισμική τομή ΒΒ', όπου ένα κύριο χαρακτηριστικό της είναι η σχετικά φτωχή ποιότητα των δεδομένων (που εξάλλου μπορεί να προέρχεται από την ιδιαίτερα μεγάλη



Σχ.9. Η σεισμική τομή ΒΒ'. Το μήκος της είναι 210m.

καταπόνηση του υπερκείμενου στρώματος), γεγονός όμως που δε μας εμποδίζει να προχωρήσουμε σε κάποιες γενικές παρατηρήσεις. Σαφές είναι ότι ο ανακλαστήρας φαίνεται να υποχωρεί από την αρχή μέχρι το σημείο 40 κατά 20 ms (11 m) περίπου και παρουσιάζει ακολουθώς μία άνοδο κατά 10 ms (5.5 m) στο σημείο 58 της τομής. Η δομή αυτή μπορεί να δικαιολογηθεί ως μια τοπική υποχώρηση του υποβάθρου.

Η σχετικά βελτιωμένη "συνέχεια" των ανακλαστήρων μετά από το σημείο 75 οφείλεται στην αλλαγή σεισμικής πηγής από κανγατοο σε σφυρί λόγω τεχνικού προβλήματος. Το σφυρί σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις δίνει καλύτερο σήμα και ευκρίνεια αλλά με κάθετη σύρρευση 15 έως 20 επαναλήψεων.

Στο σχήμα 10 παρουσιάζεται η σεισμική τομή ΓΓ' και δείχνει καθαρά μία αναθόλωση του υποβάθρου κάτω από το σημείο 40 και εκατέρωθεν αυτής δύο πιθανά σημεία διάρρηξης.

Αξίζει να σημειωθεί εξάλλου το γεγονός ότι τα βάθη που υπολογίστηκαν με γεωφυσικές μεθόδους συμφωνούν με τα βάθη κοντινών σχετικά γεωτρήσεων.

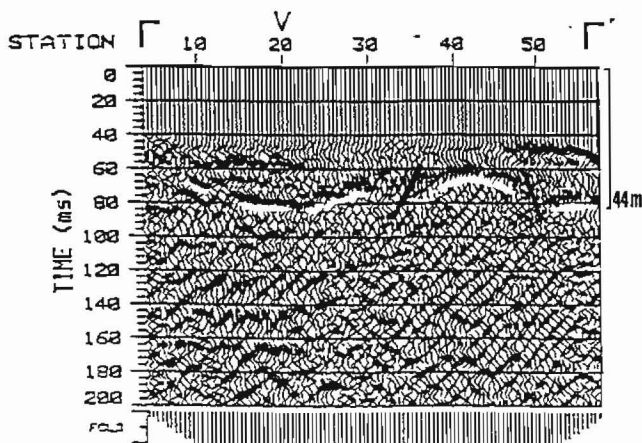
#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της μεθόδου σεισμικής ανάκλασης υψηλής ευκρίνειας με τον υπάρχοντα εξοπλισμό στάθηκε ικανή σε γενικές γραμμές στο να χαρτογραφήσει με αρκετή ακρίβεια το υπόβαθρο και να υποδείξει κάποιες πιθανές διαρρήξεις.

Τα γενικά συμπεράσματα από την έρευνα είναι:

α) Σε ότι αφορά το τεχνικό μέρος της μεθόδου:

Η εφαρμογή της έδωσε χρήσιμο συμπέρασμα, στο πώς θα πρέπει να γίνει μία εκτεταμένη έρευνα με τη μέθοδο αυτή στην περιοχή με τον ίδιο πάντα εξοπλισμό. Το πρόβλημα που δημιουργεί το μικρό δυναμικό εύρος του σειсмоγράφου δε θα είναι τόσο οξύ, αν



Σχ.10. Η σεισμική τομή ΓΓ'. Το μήκος της είναι 96 m.

χρησιμοποιηθούν θαμμένες ισχυρές πηγές (εκρηκτικά). Έτσι θα έχουμε ταυτόχρονα και σήμα απαλλαγμένο από επιφανειακό θόρυβο και ικανό να έρχεται από βαθύτερους ανακλαστήρες. Το κόστος όμως της έρευνας θα πολλαπλασιαστεί λόγω του μεγάλου κόστους των εκρηκτικών, αλλά και της καθυστέρησης εξαιτίας της διάνοιξης και γόμωσης των σχετικών φρεατίων.

β) Η ανάλυση των σεισμικών τομών έδειξε ότι:

Υπάρχει μια συνέχεια του ορίζοντα του περμοτριάδικου υποβάθρου κάτω από την περιοχή, όπου το ρήγμα είχε χαρτογραφηθεί, δηλαδή δε φαίνεται να υπάρχει μια πλευρική μετάβαση από το περμοτριάδικο στο νεογενές. Η έρευνα υπέδειξε κάποιες διαρρήξεις στην περιοχή αυτή στην γραμμή ΑΑ', που δίνουν ένα συνολικό άλμα περί τα 12 μέτρα. Στην γραμμή ΓΓ', εκατέρωθεν μιας φανεράς αναθόλωσης του υποβάθρου, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρχουν διαρρήξεις.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε το Γενικό Διευθυντή του ΙΓΜΕ κ. Ανδρονόπουλο Β. και το Διευθυντή του Γεωφυσικού Τμήματος του ΙΓΜΕ κ. Σίδηρη Γ. για την παραχώρηση υλικότεχνικού εξοπλισμού στη διεξαγωγή της έρευνάς μας, καθώς και το γεωφυσικό του ΙΓΜΕ κ. Μ. Νικολαΐδη για την προσωπική του παράσταση και βοήθεια στην εργασία για τη λήψη των δεδομένων. Ευχαριστούμε επίσης τους φοιτητές του Γεωλογικού Τμήματος Ι. Τράκη και Ι. Διαλιάρη για τη συμμετοχή τους στην εργασία λήψης δεδομένων. Τέλος εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας και στον δήμαρχο Αταλάντης κ. Γ. Γιαννόπουλο, που μας παραχώρησε αποθηκευτικό χώρο για τη διασφάλιση των οργάνων κατά την περίοδο της έρευνας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αγγελίδης, Χ.Γ., (1991). Τεχνικογεωλογική έρευνα ευρύτερης περιοχής Αταλάντης. Διδακτορική διατριβή στο Τμ. Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών ΕΜΠ.
- Ayers, J.F., (1989). Application and comparison of shallow seismic methods in the study of an alluvial aquifer. *Ground Water*, July-August 1989.
- Birkelo, B.A., Steeples, D.W., Miller, R.D. and Sophocleous, M., (1987). Seismic Reflection study of a Shallow Aquifer During a Pumping Test. *Ground Water Vol.25, No. 6*.
- Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C., (1982). A Catalogue of Historical Earthquakes in Greece and Surrounding Area 479 B. C. 1900 A.D. University of Thessaloniki, Geophysical Laboratory, Publication No.5.
- Daniels, J., (1988). Locating caves, tunnels and mines. *Leading Edge of Exploration*, March, 32-52.
- Davies, K.J. and King, R.F., (1992). The essentials of shallow reflection data processing. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 25, 191-206.
- Gochioco, M.L. and Cotten, S.A., (1989). Locating faults in underground coal mines using high resolution seismic reflection techniques. *Geophysics* 54, 1521-1527.
- Hunter, J.A., Pullan, S.E., Burns, R.A., Gagne, R.M. and Good, R. L., (1984). Shallow seismic reflection mapping of the overburden-bedrock interface with the engineering seismograph - some simple techniques. *Geophysics* 49, 1381 - 1385.
- Interpex Limited, (1991). Seistrix 2 Seismic reflection data processing software.
- Knapp, R.W and Steeples, D.W., (1986). High - resolution common - depth -point seismic reflection profiling: Instrumentation. *Geophysics*, Vol.51, No.2 (February 1986); p. 276-282 .
- Μαράτος, Γ., (1965). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους.
- Miller, R.D., Saenz, V. and Huggins, R.J., (1992). Feadibility of CDP seismic reflection to image structures in a 220-m deep, 3-m thick coal zone near Palau, Coahuila, Mexico. *Geophysics*, Vol.57, No.10, 1373-1380.
- Meeks, J.A.C., Scheffers, B.C. and Ridder, J., (1990). Optimization of high -resolution seismic reflection parameters for hydrological investigations in the Netherlands. *First Break* 8, 263-270.
- Μητσόπουλος, Κ., (1894). Ο μεγάλος σεισμός της Λοκρίδος τον Απρίλιο 1894. Φυσικές επιστήμες. Αθήνα.
- Miller, R.D., Steeples, D.W. and Brannan, M., (1989). Mapping a bedrock surface under dry alluvium with shallow seismic reflections, *Geophysics*, 54, 1528-1534.
- Ροντογιάννη, Θ., Παπαδάκης, Ι., (1986). Εκθεση γεωλογικών σεισμοτεκτονικών συνθηκών περιοχής Αταλάντης. Δ.Γ.Γ.Χ ΙΓΜΕ.
- Steenoft, H., Godde, W. and Thiel, M., (1992). Presentation in EAEG meeting 1.6.992, Paris.
- Spectratek Systems, (1988). Vesna. Shallow seismic reflection processing system.

- Treadway, J.A., Steeples, D.W., Miller, R.D., (1988). Shallow Seismic Study of the Fault Scarp Near Borah Peak, Idaho. Journal of Geophysical Research, Vol. 93, No. B6, 6325-6337.
- Yilmaz, O., (1987). Seismic data processing, Investigation in geophysics, vol.2, Society of Exploration Geophysicists.