

ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΕΙΣ ΜΕ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΕΚΤΙΝΑΞΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΟΥ  
ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ 16 - 10 - 1988 ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΒΑΡΘΟΛΟΜΙΟΥ  
( ΔΥΤ. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ, ΕΛΛΑΔΑ )

Από τους

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟ, Ε. ΛΕΚΚΑ, Γ. ΔΑΝΑΜΟ, Ε. ΛΟΓΟ, Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗ

Περίληψη

Περιγράφονται εδαφικές διαρρήξεις και φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου τα οποία παρατηρήθηκαν κατά τη σεισμική δραστηριότητα της 16-10 1988 στη περιοχή Μπούκας Βαρθολομίου (Δυτ. Πελοπόννησος). Πρόκειται για εντυπωσιακά και σπάνια φαινόμενα τα οποία οφείλονται καθαρά στις σεισμικές κινήσεις και στη φύση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής. Οι εδαφικές διαρρήξεις έχουν συγκεκριμένες διευθύνσεις και αναπτύσσονται σε ένα επιφανειακό σχετικά άκαμπτο και συμπαγή σχηματισμό, ο οποίος υπέρκειται ενός χαλαρού σχηματισμού με υδροφορία. Η εκτίναξη νερού και άμμου έγινε κύρια μέσα από τις εδαφικές διαρρήξεις και οφείλεται σε φαινόμενα ρευματοποίησης του κατώτερου σχηματισμού.

Abstract

Soil fractures and sand shaking off observed during the seismic activity of the October 16 1988 at the Bouka Vartholomio region (W. Peloponnesus, Greece), will be described. They are quite impressive and rare phenomena due sheerly to the earthquake movements occurred and the structure of the geological background of the area. The soil fractures have quite particular directions and they develop on a rather flexible and coarse formation overlain a loose water bearing formation. Water and sand have been ejected through these particular fractures. This is due to the liquefaction phenomena of the lower formation.

---

I. MARIOLAKOS, E. LEKKAS, G. DANAMOS, E. LOGOS, I. FOUNTOULIS :  
Soil fractures and sand, water's shaking off observed during the  
earthquake of October 16 1988 at the region of Vartholomio (W.  
Peloponnesus, Greece).

Dynamic, Tectonic, Applied Geology, Department of Geology,  
University of Athens, Panepistimiopoli Zografou 157 84.

## Ι Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

### 1. Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στις 16 Οκτωβρίου 1988 και ώρα 14.34.06 η ευρύτερη περιοχή Κυλλήνης - Βαρθολομιού - Ζακύνθου επλήγη από σεισμό  $M_s=5.5$  R. Το επίκεντρο του σεισμού, το οποίο απείχε περίπου 240 χιλιόμετρα δυτικά των Αθηνών τοποθετήθηκε στο βόρειο άκρο του διαύλου της Χερσονήσου της Κυλλήνης και της Ζακύνθου (Εικ. 1). Η κύρια σεισμική κίνηση συνοδεύτηκε από πολλούς μετασεισμούς μικρότερου μεγέθους ενώ και πριν από τον κύριο σεισμό είχαν σημειωθεί μικρές σεισμικές κινήσεις. Η σεισμική δραστηριότητα είχε σαν αποτέλεσμα να προκληθούν εκτεταμένες καταστροφές στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Ηλείας με περισσότερο σημαντικές στο Κάστρο, στο Βαρθολομιά στην Κυλλήνη, στα Λουτρά Κυλλήνης, στη Γαστούνη κ.ά.

Ταυτόχρονα με την κύρια σεισμική δόνηση παρατηρήθηκαν νότια του Βαρθολομιού εδαφικές διαρρήξεις και σπάνια φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου. Η περιοχή παρατήρησης των φαινομένων απέχει περί τα 400 μέτρα από την ακτή Μπούκα, έχει ύψομετρο 4 μέτρα, έκταση 10 περίπου στρέμματα και ορίζεται προς τα ανατολικά από την οχθη του Πηνειού ποταμού, προς τα δυτικά από τον αγροτικό δρόμο Βαρθολομιού - Μπούκας, προς τα βόρεια από μία ελώδη ζώνη πλάτους 10 περίπου μέτρων και προς τα νότια από τις μορφολογικές εξάρσεις των θινών της παραλίας.

Κύριοι στόχοι μετά την παρατήρηση των φαινομένων τέθηκαν κατά σειρά οι ακόλουθοι:

- α. Να γίνει λεπτομερής αποτύπωση των εδαφικών διαρρήξεων και των χασμάτων και να καταγραφούν τα ιδιαίτερα τους χαρακτηριστικά.
- β. Να γίνει λεπτομερής αποτύπωση και περιγραφή των σημείων εκτίναξης νερού και άμμου.
- γ. Να διερευνηθεί το υπέδαφος με την εκτέλεση μικρού βάθους δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.
- δ. Να συσχετισθούν οι εδαφικές διαρρήξεις με τις τεκτονικές ασυνέχειες και τη γεωλογική δομή της ευρύτερης περιοχής.
- ε. Να αιτιολογηθούν τα φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου.
- στ. Να αιτιολογηθεί γιατί τα φαινόμενα περιορίζονται μόνο στην συγκεκριμένη περιοχή και δεν παρατηρούνται σε ευρύτερη έκταση.

### 2. ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΚΤΙΝΑΞΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΟΥ ΣΤΟΝ ΔΙΕΘΝΗ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Τα φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου είναι φαινόμενα τα οποία συνδέονται συχνά με σεισμικές κινήσεις. Εκδηλώνονται κυρίως κατά τη διάρκεια μεγάλων σεισμών και συνεχίζουν να υφίστανται για

μικρά ή μεγάλα χρονικά διαστήματα. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν και πριν από την εκδήλωση μεγάλων σεισμών, με αποτέλεσμα να θεωρούνται και πρόδρομα φαινόμενα (WAKITA 1984, 1985).

Μία από τις πληρέστερες καταγραφές φαινομένων εκτίναξης νερού και άμμου έγινε από τον WAKITA (1984-1985) στο Ιαπωνικό νησιώτικο σύμπλεγμα. Συνολικά αναφέρονται πενήντα περίπου περιπτώσεις εκτίναξης νερού και άμμου που συνόδευσαν σεισμούς μεγέθους  $M > 6.0 R$  από το 634 Μ.Χ. ως το 1978 καθώς επίσης και δύο περιπτώσεις φαινομένων που έλαβαν χώρα πριν από μεγάλους σεισμούς.

Ανάλογα φαινόμενα έχουν αναφερθεί και καταγραφεί στις Η.Π.Α., στις Ινδίες (15 Ιανουαρίου 1934, HECK 1936), στην Κίνα (28 Ιουλίου 1976, FANK HONGQI 1987), στη Σοβιετική Ένωση (WAKITA 1984-85) στην Γιουγκοσλαβία κατά μήκος της παράκτιας περιοχής (15 Απριλίου 1979, TALAGANOV et al 1981) και αλλού.

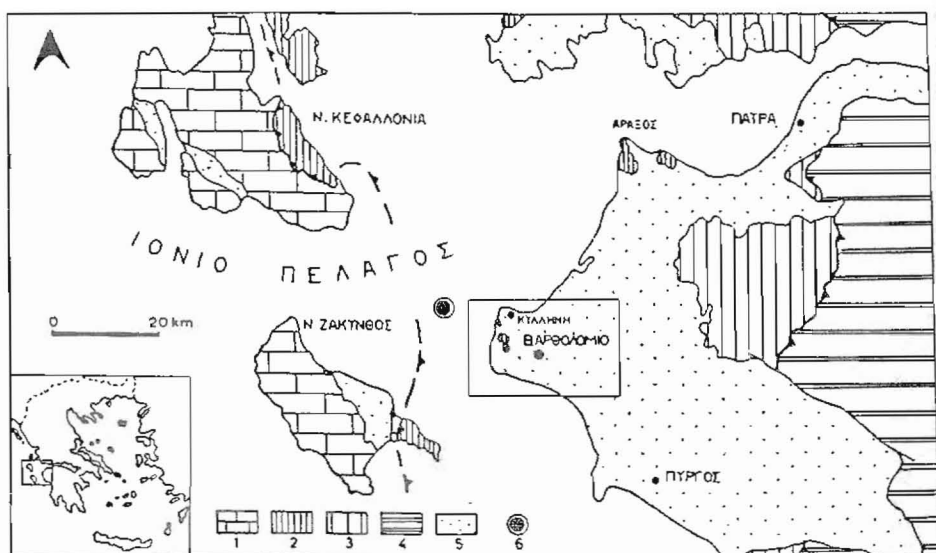
Στον Ελληνικό χώρο έχουν αναφερθεί και καταγραφεί περιπτώσεις φαινομένων εκτίναξης νερού και άμμου. Συγκεκριμένα ο ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ (1976) αναφέρει ότι ο SCHMIDT παρατήρησε φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου κατά τον σεισμό του Αιγίου πηλίκιον της ακτής και μεταξύ των ποταμών Ερασίνου και Μεγανίτου, τα οποία συνόδευσαν πολλές εδαφικές διαρρήξεις, και μετατοπίσεις γραμμών ακτών. Ανάλογα φαινόμενα αναφέρονται και από τον ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ (1941) κατά τους σεισμούς της Λάρισας (1 Μαρτίου 1941) κοντά στα χωριά Ελευθέριο και Νέσσο) καθώς επίσης και από τον Ι. ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ κατά τον σεισμό των Σοφάδων στις 30 Απριλίου 1954. (ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ & ΜΟΥΓΓΙΑΡΗΣ, 1986).

### 3. Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην ευρύτερη περιοχή παρατήρησης των εδαφικών διαρρήξεων και των φαινομένων εκτίναξης νερού και άμμου (Κυλλήνη - Κάστρο - Βαρθολομιό - Αμαλιάδα - Αραξός) σύμφωνα με τα δεδομένα παλαιότερων και νεώτερων ερευνών (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ 1969, 1970, HAGEMAN 1977, KOWALCZYK & WINTER 1979a, 1979b, ΚΑΜΠΙΕΡΗΣ 1987, UNDERHILL 1985, 1988 κ.ά.) καθώς επίσης και σύμφωνα με τις παρατηρήσεις μας στο ύπαιθρο εμφανίζονται Άλπικοί και Μεταλπικοί σχηματισμοί (Εικ. 1, 2).

Οι Άλπικοί σχηματισμοί αποτελούν το υπόβαθρο και ανήκουν στην Ιόνια Ενότητα. Ειδικότερα στην περιοχή του χωριού Κάστρο και σε ορισμένα σημεία της ακτής Κυλλήνης - Λουτρών Κυλλήνης εμφανίζονται γύψοι πιθανώτατα Τριαδικής ηλικίας οι οποίοι υπόκεινται υπόλευκων μεσοστρωματωδών και πτυχωμένων ασβεστολίθων με ορισμένες παρεμβολές οριζόντων silex (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ 1969). Η ηλικία των ασβεστολίθων είναι Κρητιδικό - Ηώκαινο ενώ η επαφή των δύο σχηματισμών (ασβεστολίθων - γύψων) είναι τεκτονική εξ αιτίας των φαινομένων διαπείρισμού των γύψων. Ασβεστολίθοι της Ιονίου ενότητας εμφανίζονται επίσης και στα Άκρωτήρια Αραξός και Κουνουπέλι.

Οι Μεταλπικοί σχηματισμοί επικάθονται ασύμφωνα στους Άλπικούς σχηματισμούς εμφανίζονται σε όλη την υπόλοιπη έκταση έχουν ηλικία Πλειο - Πλειστόκαινο, Ολόκαινο ενώ παλαιότερα ιζήματα (Μειοκαινικά) έχουν εντοπισθεί με γεωτρήσεις στη θαλάσσια περιοχή του Κόλπου Χελωνίτη. (ΔΑΒΗ 1957, κ.ά.).



Εικ. 1. Γενικευμένος χάρτης με το επίκεντρο του σεισμού της 16-10-1988 και τις γειτονικές Γεωτεκτονικές ενότητες. 1. Παξών, 2. Ιόνιος, 3. Γαβρόβου - Πύλου, 4. Ωλονού - Πίνδου, 5. Μεταλλικά 6. Επίκεντρο. Με το πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή της Εικ. 2.



Εικ. 2. Απλουτεμένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής εμφάνισης των φαινομένων εκτίναξης νερού και άμμου καθώς και των εδαφικών διαρρήξεων. Η θέση τους σημειώνεται με το βέλος. (1. Αλπικοί σχηματισμοί της Ιονίου Ενότητας, 2. Πλειο-Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί, 3. Αλλούβια, 4. Θ(νες).

Τα Πλειο-Πλειστοκαινικά είναι κυρίως κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, άμμοι, ιλύς και άργιλοι με ορισμένες ενδιαστρώσεις λιγνιτικών οριζόντων, συνολικού πάχους πάνω από 1500 μέτρα. Τα Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζημάτα έχουν διαχωρισθεί σε σχηματισμούς από διάφορους ερευνητές (ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ 1969, HAGEMAN 1977, KOWALCZYK & WINTER 1979a, 1979b, ΚΑΜΠΕΡΗΣ 1987, κ.ά.) με βάση λιθολογικά, ιζηματολογικά ή στρωματογραφικά κριτήρια.

Τα Ολοκαινικά ιζημάτα αποτελούνται κυρίως από εναλλαγές μικρολατυποπαγών, άμμων, ψαμμιτών, ιλύων και άργιλων με συνολικό πάχος πάνω από 20 μέτρα. Εμφανίζονται κυρίως στην πεδινή επίπεδη περιοχή Λεχαινών, Ανδραβίδας, Γαστούνης και Βαρθολομιού.

Κατά μήκος της παράκτιας ζώνης Κυλλήνης, Λουτρών Κυλλήνης και Μπούκας εμφανίζονται θίνες οι οποίες έχουν χαρακτηριστικές ημικυκλικές μορφές και αποτελούνται από περισσότερο ή λιγώτερο συνεκτικές άμμους χαλαζιακής σύστασης.

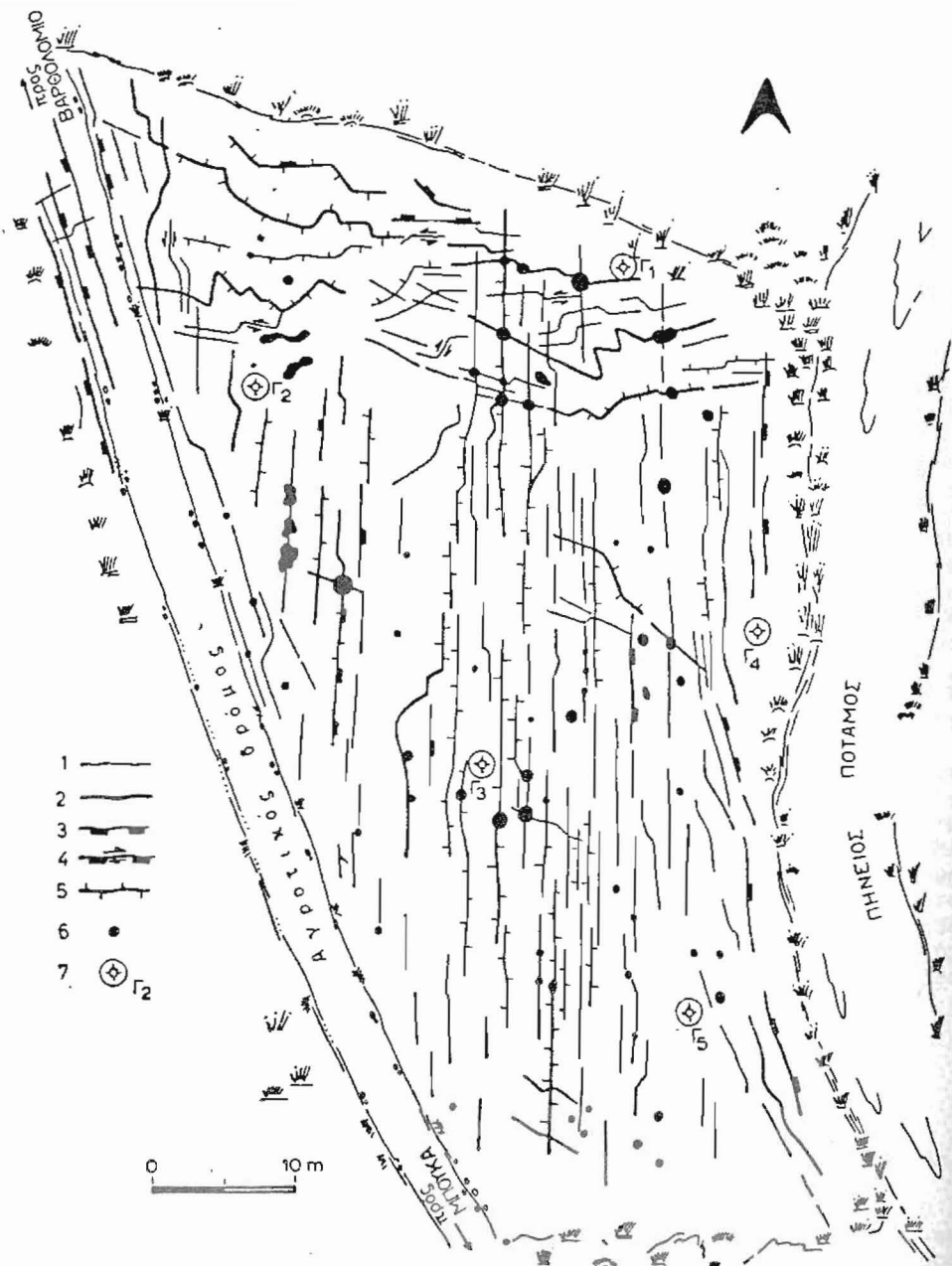
Στο σύνολό τους οι Αλπικοί σχηματισμοί της Ιονίου ενότητας σχηματίζουν ένα τεκτονικό βύθισμα γενικής διεύθυνσης Β-Ν το οποίο έχει καλυφθεί σχεδόν ολοσχαιρώς από τους Μεταλπικούς σχηματισμούς. Τα κορυφαία τμήματα του δυτικού περιθωρίου του βύθισματος εμφανίζονται στην περιοχή του Κάστρου, ενώ τα αντίστοιχα του ανατολικού περιθωρίου στα ακρωτήρια Αράζος και Κουνουπέλι. Ο άξονας του βύθισματος, το οποίο έχει επιβεβαιωθεί τόσο από τις βαθείες γεωτρήσεις που έχουν εκτελεσθεί κατά καιρούς για την ανεύρεση πετρελαίου, όσο και από την ερμηνεία των γεωφυσικών δεδομένων, έχει διεύθυνση Β-Ν και ευρίσκεται 3-5 χιλιόμετρα δυτικά της νοπτής γραμμής Λεχαινά - Ανδραβίδα - Γαστούνη.

Η συγκεκριμένη περιοχή παρατήρησης των φαινομένων ευρίσκεται στον άξονα του βύθισματος όπου τα Μεταλπικά ιζημάτα έχουν πάχος 1400 περίπου μέτρα, σύμφωνα με τα δεδομένα γειτονικών γεωτρήσεων και την ερμηνεία των γεωφυσικών διασκοπήσεων (ΚΑΜΠΕΡΗΣ 1987). Ο κορυφαίος σχηματισμός στην περιοχή είναι ο σχηματισμός των παράκτιων θινών ο οποίος όπως αναφέρθηκε αποτελείται από άμμους μέσα στους οποίους παρατηρήθηκαν λεπτές παρεμβολές λεπτομερέστερων υλικών. Οι άμμοι έχουν καλυφθεί κατά θέσεις από εδαφικό κάλυμμα μικρού πάχους ή ποτάμιες αποθέσεις (ιλύς - άργιλος) του Πηνειού ποταμού.

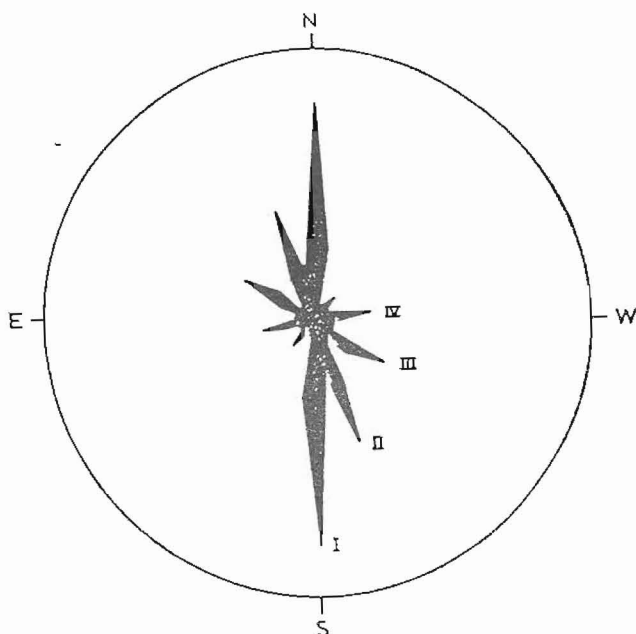
## II ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

### 1. ΟΙ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΔΙΑΡΡΗΞΕΙΣ

Όπως αναφέρθηκε ο σεισμός της 16-10-1988 συνοδεύτηκε από εδαφικές διαρρήξεις που παρατηρήθηκαν σε διάφορες θέσεις στην Χερσόνησο της Κυλλήνης. Οι διαρρήξεις που μελετήθηκαν εντοπίζονται σε μία έκταση 10 περίπου στρεμμάτων νότια του Βαρθολομιού που απέχει 400 μέτρα από την ακτή Μπούκα. Οι εδαφικές διαρρήξεις χαρτογραφήθηκαν με ακρίβεια (Εικ. 3) και καταγράφηκαν τα ιδιαίτερα τους χαρακτηριστικά. Κατά τη χαρτογράφηση διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:



Εικ. 3. Χάρτης των εδαφικών διαρρήξεων και των φαινόμενων εκτίναξης νερού και άμμου στην περιοχή Μπούκα Βαρβολομιού (1. Εδαφική διάρρηξη 2. Εδαφική διάρρηξη με μεγάλο εύρος. 3. Εδαφική διάρρηξη με άλμα 4. Εδαφική διάρρηξη με οριζόντια συνιστώσα 5. Ανάβλυση κατά μήκος εδαφικής διάρρηξης 6. Κρατήρας εκτίναξης 7. Θέση Γεώτρησης).



Εικ. 4. Τα τέσσερα συστήματα των εδαφικών διαρρήξεων.

- α. Οι εδαφικές διαρρήξεις έχουν μήκος λίγα εκατοστά ως μερικές δεκάδες μέτρα, είναι ως επί το πλείστον ευθύγραμμες ή ελάχιστα αποκλίνουσες, αλλά και καμπύλες. Σε πολλά σημεία αλλάζουν διεύθυνση ή τέμνονται από άλλες διαρρήξεις.
- β. Το πλάτος των διαρρήξεων κυμαίνεται από λίγα χιλιοστά ως 40 περίπου εκατοστά. Οι πλέον μεγάλες σε πλάτος παρατηρούνται στο ανατολικό τμήμα δίπλα στην όχθη του Πηνειού ποταμού στο Βόρειο και στο Βορειοδυτικό τμήμα κατά μήκος του αγροτικού δρόμου Βαρθολομιού - Μπούκας.
- γ. Τα ορατά βάθη των διαρρήξεων υπερβαίνουν τα 40 εκατοστά ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις τα κενά των διαρρήξεων έχουν καλυφθεί από εδαφικά υλικά των εκατέρωθεν πλευρών που κατέρρευσαν. Ειδικά στις διαρρήξεις που παρατηρούνται κατά μήκος του αγροτικού δρόμου Βαρθολομιού - Μπούκας τα βάθη τους ήταν μεγαλύτερα (60-70 εκατοστά) λόγω της υψομετρικής διαφοράς δρόμου - υπόλοιπης έκτασης που είναι περίπου 20-30 εκατοστά.
- δ. Όπως προέκυψε από την στατιστική επεξεργασία των διευθύνσεων των διαρρήξεων υφίστανται τέσσερα συστήματα διαρρήξεων (Εικ. 4). Το πρωτεύον σύστημα έχει διεύθυνση Β-Ν περιλαμβάνει τις μεγαλύτερες σε μήκος διαρρήξεις και εμφανίζεται σε κάθε επί μέρους τμήμα της περιοχής. Το δευτερεύον σύστημα έχει διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ (160°-340°), περιλαμβάνει διαρρήξεις με μεγάλο πλάτος και εμφανίζεται κυρίως στο ανατολικό τμήμα δίπλα στην όχθη του Πηνειού ποταμού και στο ΒΔ τμήμα κατά

μήκος και εκατέρωθεν του δρόμου Βαρβολομιού - Μπούκας. Το τριτεύον και υπολοιπόμενο έχει διευθύνσεις ΝΑ-ΒΑ (120°-300°) και ΒΑΑ-ΝΔΑ (080°-260°) αντιστοιχα περιλαμβάνουν διαρρήξεις οι οποίες εμφανίζονται στο Βόρειο τμήμα.

- ε. Σε ορισμένες διαρρήξεις ή σε ορισμένα τμήματα διαρρήξεων παρατηρούνται άλματα της τάξεως 5-10 εκατοστών. Ζεύγη τέτοιων διαρρήξεων ορισθετούν σε εξαιρετικές περιπτώσεις μικρο-μπλόκ τα οποία δίδουν την εικόνα μικρο-τάφρων ή μικροκεράτων με ή χωρίς περιστροφή. Μία χαρακτηριστική περίπτωση μικροτάφρου είναι αυτή που παρατηρείται κατά μήκος του αγροτικού δρόμου Βαρβολομιού - Μπούκας όπου δύο παράλληλες διαρρήξεις του δεύτερου συστήματος (160°-340°) έχουν άλματα της τάξης των 10 εκατοστών με αποτέλεσμα το μικρο-τέμαχος που οριοθετούν να έχει ταπεινωθεί σε σχέση με τα εκατέρωθεν (Εικ. 5).
- στ. Σε ορισμένα σημεία κατά μήκος μερικών διαρρήξεων παρατηρήθηκαν δεξιόστροφες ή αριστερόστροφες μετατοπίσεις της τάξης των 5 εκατοστών.
- ζ. Ορισμένες διαρρήξεις του πρώτου συστήματος συνέπιπταν με τα βαθύτερα τμήματα των αυλακώσεων της καλλιέργειας. Οι διαρρήξεις αυτές είχαν περιορισμένο εύρος αλλά σχετικά μεγάλο μήκος.

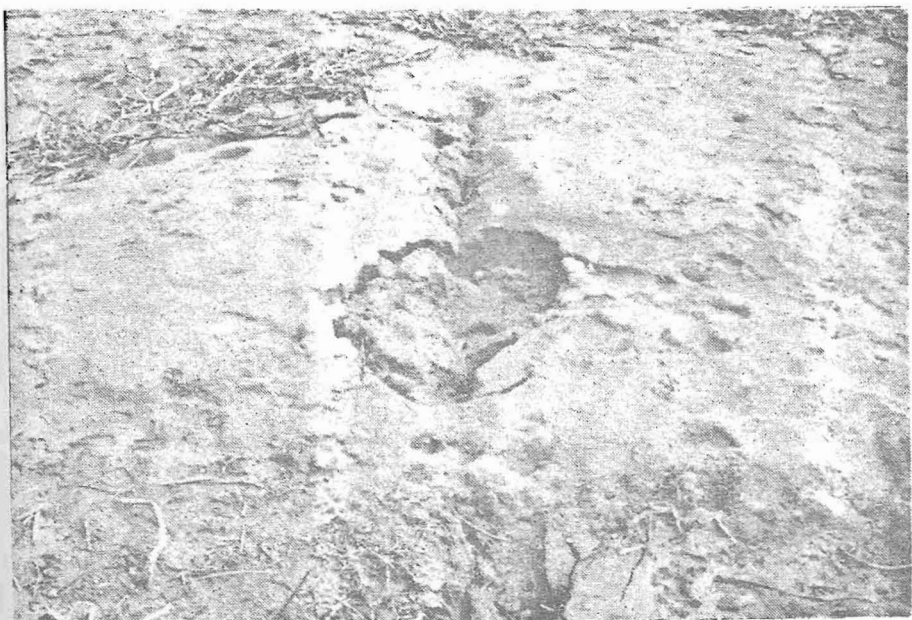
## 2. ΤΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΕΚΤΙΝΑΞΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΑΜΜΟΥ

Ταυτόχρονα με τις εδαφικές διαρρήξεις κατά τον σεισμό της 16-10-1988 παρατηρήθηκαν εντυπωσιακά φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου τα οποία σύμφωνα με μαρτυρίες αγροτών της περιοχής διήρκεσαν για μερικές ώρες μετά τη σεισμική δόνηση. Από τη μελέτη στην περιοχή παρατηρήθηκε ότι η εκτίναξη νερού και άμμου καθώς επίσης και άλλων υλικών (χαλίκων, ιλύων, αργίλων) έγινε μέσα (i) από κρατήρες που ευρίσκοντο κατά μήκος των εδαφικών διαρρήξεων (ii) από κρατήρες οι οποίοι ευρίσκοντο στην τομή δύο ή περισσότερων εδαφικών διαρρήξεων (iii) από τις ίδιες τις διαρρήξεις σε όλο το μήκος τους ή σε ένα μεγάλο τμήμα τους και (iv) από μεμονωμένους κρατήρες ή ομάδες κρατήρων (Εικ. 3). Ειδικότερα:

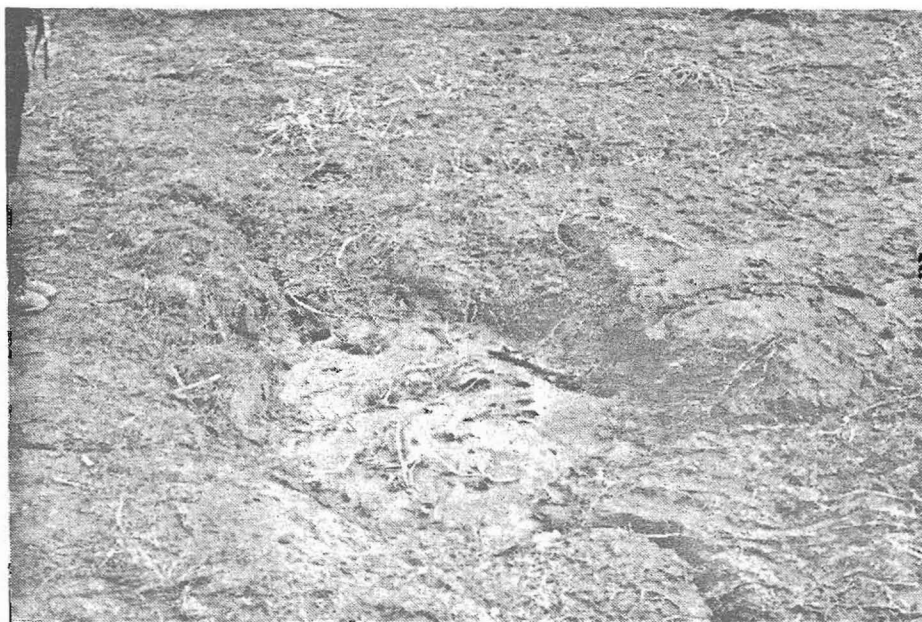
- α. Οι κρατήρες κατά μήκος των εδαφικών διαρρήξεων είχαν διάμετρο ως 40 εκατοστά (Εικ. 6). Γύρω από αυτούς αποτέθηκαν αρχικά κυανές ιλύες και στη συνέχεια καστανέρυθροι άμμοι που μάλιστα διατάσσονται σε ομόκεντρους κύκλους. Επίσης από την ποσότητα και τη διάταξη των υλικών γύρω από τους κρατήρες συμπεραίνεται ότι η ταχύτητα εκροής θα πρέπει να ήταν σχετικά έντονη. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκτίναξης επήλθε συμπύκνωση των υλικών - λόγω της απώλειας ύδατος - με αποτέλεσμα τα κεντρικά τμήματα των κρατήρων λόγω απώλειας στήριξης να καταρρεύσουν.



Εικ. 5. Εδαφικές διαρρήξεις διεύθυνσης ΝΝΑ-ΒΒΔ κατά μήκος του αγροτικού δρόμου Βαρθολομιού - Μπούκας. Οι διαρρήξεις έχουν άλμα της τάξης των 5-10 εκατοστών με αποτέλεσμα το ενδιάμεσο μικρο-τέμαχος να έχει ταπεινωθεί σε σχέση με τα εκατέρωθεν.



Εικ. 6. Κρατήρας εκτίναξης νερού άμμου και ιλύος κατά μήκος διάρρηξης. Διακρίνονται η απόθεση αρχικά της ιλύος και στη συνέχεια της άμμου. Επίσης διακρίνεται η κατάρρευση του κεντρικού τμήματος του κρατήρα μετά από τη συμπύκνωση των υλικών λόγω της απώλειας ύδατος.



Εικ. 7. Κρατήρας ανάβλυσης στην τομή δύο εδαφικών διαρρήξεων. Τα υλικά που παρατηρούνται στον κρατήρα είναι λεπτομερή εξ αιτίας της μικρής ταχύτητας εκροής του νερού λόγω της μεγάλης διαμέτρου.



Εικ. 8. Εκτίναξη κατά μήκος εδαφικής διαρρήξης. Διακρίνεται εκατέρωθεν της διαρρήξης οι αποθέσεις άμμου - χαλικών και ιλύος.



Εικ. 9. Κρατήρες γύρω από τους οποίους διακρίνονται οι αποθέσεις άμμου. Από τη μορφή και το μέγεθος των κρατήρων συμπεραίνεται ότι η εκτίναξη θα πρέπει να ήταν ιδιαίτερα έντονη ενώ είναι πιθανή και η συμμετοχή αέριας φάσης στη διαδικασία εκτίναξης.

- β. Οι κρατήρες οι οποίοι ευρίσκοντο στην τομή δύο ή περισσότερων εδαφικών διαρρήξεων είχαν ως επί το πλείστον μεγάλες διαμέτρους οι οποίες συχνά υπέρβαιναν τα 60 εκατοστά φθάνοντας και το ένα μέτρο (Εικ. 7) Λόγω των διαστάσεων τους η ταχύτητα εκροής θα πρέπει να ήταν σχετικά μικρή γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την παρουσία μέσα ή γύρω από αυτές μόνο λεπτομερών υλικών, κυρίως λεπτών άμμων ιλύων και αρχίλων και όχι αδρομερών (π.χ. χονδροί άμμοι, χάλικες). Από την μορφή των κρατήρων συμπεραίνεται ότι πρώτα έλαβε χώρα κατάπτωση του επιφανειακού σχηματισμού και στη συνέχεια άνοδος των υλικών.
- γ. Η εκροή - εκτίναξη κατά μήκος των εδαφικών διαρρήξεων είχε σαν αποτέλεσμα την απόθεση καστανέρυθρης άμμου, ορισμένων χαλικών και κυανών ιλύων (Εικ. 8). Και στην περίπτωση αυτή από τη διάταξη των υλικών συμπεραίνεται ότι πρώτα έλαβε χώρα η εκτίναξη των λεπτομερών υλικών και ακολούθησε η εκτίναξη των αδρομερών.
- δ. Οι μεμονωμένοι κρατήρες είχαν σχετικά μικρή διάμετρο η οποία δεν υπερέβαινε τα 20 εκατοστά. Γύρω από τις οπές υπήρχε μεγάλη συσώρευση καστανέρυθρης άμμου (Εικ. 9). Η ταχύτητα εκτίναξης θα πρέπει να ήταν σχετικά μεγάλη ως πολύ μεγάλη γεγονός που προκύπτει από το σχήμα του κρατήρα και τα υλικά που αποτέθηκαν. Η πιθανότητα ύπαρξης και αερίων (φυτικής προ-

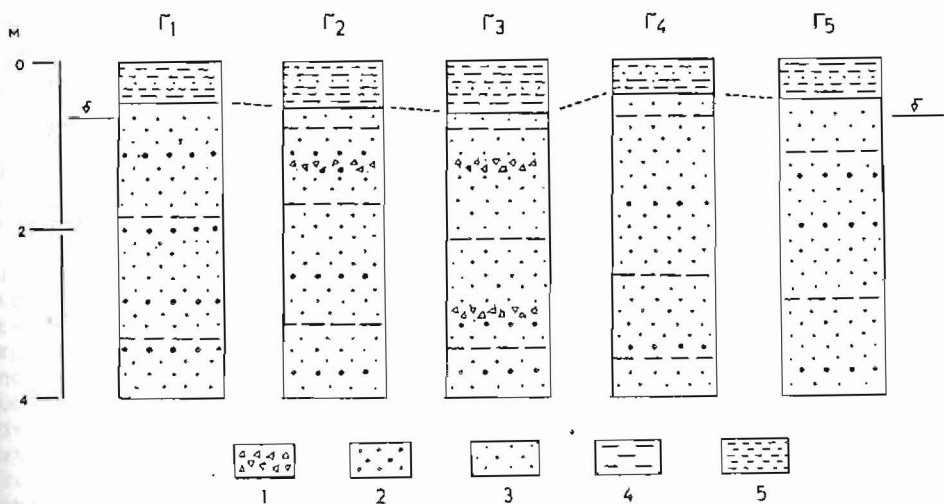
έλευσης) στη διαδικασία εκτίναξης σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ πιθανή.

θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εκτίναξη νερού και άμμου παρατηρείται με την ίδια συχνότητα σε κάθε επί μέρους τμήμα της περιοχής εμφάνισης των φαινομένων. Ειδικά όμως στις διαρρήξεις οι οποίες τέμνουν ή βρίσκονται εκατέρωθεν του αγροτικού δρόμου αν και οι διαστάσεις τους ήταν σημαντικές (μήκος - πλάτος) εν τούτοις δεν παρατηρήθηκαν ανάλογα φαινόμενα.

### III ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Γιά να διερευνηθούν πλήρως τα φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου στην περιοχή που αναφέρθηκε, κρίθηκε σκόπιμο να εκτελεσθούν ορισμένες γεωτρήσεις έτσι ώστε να υπάρχει μία ολοκληρωμένη εικόνα των σχηματισμών, τόσο από καθαρά γεωλογική άποψη όσο και από γεωτεχνική. Συνολικά έγιναν πέντε γεωτρήσεις μικρού βάθους με χειροκίνητη αρίδα η οποία είχε τη δυνατότητα δειγματοληψίας. Οι θέσεις των γεωτρήσεων (Εικ. 3) ήταν τέτοια έτσι ώστε να καλύπτεται ισομερώς όλη η περιοχή εμφάνισης των φαινομένων. Από τις γεωτρήσεις (Εικ. 10) τη δειγματοληψία και τις κοκκομετρικές αναλύσεις των δειγμάτων (Εικ. 11) διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα:

- α. Από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και βάθος 50 εκατοστά αναπτύσσεται ένας σχηματισμός καστανέρυθρου χρώματος ο οποίος περιλαμβάνει άμμους, ιλύ και αργίλους που ήταν δύσκολο να διατηρηθεί. Η ακριβής σύσταση του επιφανειακού σχηματισμού για κάθε μία γεώτρηση ξεχωριστά δίδεται με τις καμπύλες της εικόνας 11α, οι οποίες προέκυψαν από την κοκκομετρική ανάλυση των πυρήνων. Σε γενικές γραμμές από τη μορφή των καμπυλών χαρακτηρίζεται σαν αμμώδης άργιλος ως αργιλώδης άμμος με άμμο (40% - 60%), ιλύ (30% - 40%) και άργιλο (10% - 20%).
- β. Κάτω από τον επιφανειακό σχηματισμό (δηλαδή τα 0.50 μέτρα) και μέχρι βάθος 4.00 μέτρα - βάθος μέχρι το οποίο η αρίδα είχε τη δυνατότητα διάτρησης και δειγματοληψίας αναπτύσσεται ένας διαφορετικός σχηματισμός. Κύριο του χαρακτηριστικό είναι η παρουσία καστανέρυθρης άμμου με ορισμένες ενδιαστρώσεις σε διάφορα βάθη (Εικ. 10) οριζόντων ιλύων κυανού χρώματος και πάχους 10-15 εκατοστών ενώ σε ορισμένες θέσεις υπήρχαν και ορισμένοι χάλικες. Η σύσταση του υποκείμενου σχηματισμού για κάθε μία γεώτρηση χωριστά δίδεται με τις καμπύλες της Εικ. 11β οι οποίες προέκυψαν από τις κοκκομετρικές αναλύσεις των πυρήνων. Σε γενικές γραμμές από τη μορφή των καμπυλών ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται σαν ομοιόμορφος με συντελεστή ομοιομορφίας ( $\sigma$ ) 1.7 ως 3.3 και αποτελείται από λεπτή άμμο (60% - 70%), μέση άμμο (10% - 20%) χονδρή άμμο (0% - 5%) χάλικες (0% - 5%) και ιλύ (0% - 15%). Η προέλευση του σχηματισμού όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι αιολική γεγονός που ενισχύεται από την σχεδόν ίδια μορφή της καμπύλης της κοκκομετρικής ανάλυσης δειγμάτων θινών της



Εικ. 10. Λιθολογικές στήλες των γεωτρήσεων Γ1-Γ5. (1. Χάλικες 2. Μέσος, Χονδρόκοκκος άμμος 3. Λεπτή άμμος, 4. Ιλύς, 5. Αργίλος).

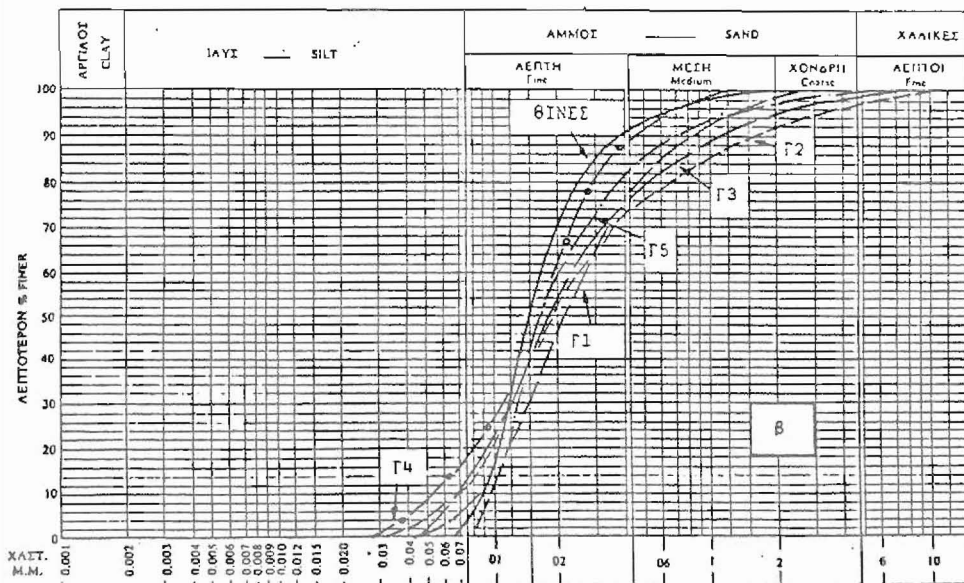
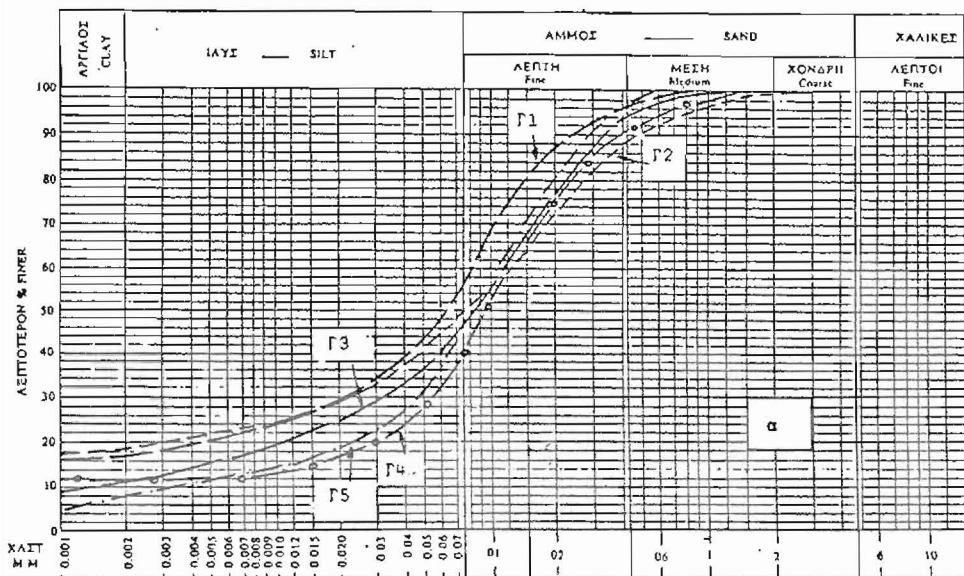
παράλιας της Μπούκας με τις καμπύλες των πυρήνων (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4, Γ5).

Σε βάθος περίπου 0.60 μέτρα από την επιφάνεια και μέσα στον κατώτερο σχηματισμό αναπτύσσεται ένας υδροφόρος ορίζοντας. Λόγω της παρουσίας του υδροφόρου ορίζοντα και της φύσης του σχηματισμού η διατήρηση του ήταν εξαιρετικά εύκολη ενώ αντίθετα ήταν πολύ δύσκολη η δειγματοληψία λόγω της ροής της άμμου.

Εκτός από τις γεωτρήσεις στην συγκεκριμένη περιοχή εμφάνισαν των φαινομένων και για να εξακριβωθεί ο λόγος για τον οποίο τα φαινόμενα δεν επεκτείνονται και σε παρακείμενες, εκτελέστηκαν δύο γεωτρήσεις σε γειτονικούς αγρούς. Από τις γεωτρήσεις διαπιστώθηκε ότι και μέχρι βάθος 4.00 μέτρα αναπτύσσεται ένας και μόνος σχηματισμός που ήταν πολύ δύσκολο να διατηρηθεί και αποτελείται από ιλύ.

#### IV ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Όπως αναφέρθηκε οι εδαφικές διαρρήξεις και τα φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου παρατηρήθηκαν σε μία περιοχή έκτασης 10 περίπου στρεμμάτων. Στην περιοχή εμφανίζονται Ολοκαινικοί σχηματισμοί και ειδικότερα θίνες οι οποίες καλύπτονται κατά θέσεις από εδαφικό μανδύα, καλλιεργήσιμο έδαφος και ποτάμιας



Εικ. 11. Καμπύλες των κοκκομετρικών αναλύσεων των πυρήνων των γεωτρήσεων (Γ1-Γ5) για τον επιφανειακό σχηματισμό (α) και για τον υποκειμενο σχηματισμό (β). Διακρίνεται και η καμπύλη της κοκκομετρικής ανάλυσης δείγματος από τις θίνες της ακτής Μπούκας.

αποθέσεις του Πηνειού ποταμού. Οι Ολοκαινικοί σχηματισμοί επικάθονται ασύμφωνα σε Πλειο - Πλειστοκαινικούς και πιθανώς Μειοκαινικούς σχηματισμούς καθώς επίσης και σε Αλπικούς σχηματισμούς της Ιόνιας Ενότητας. Στο σύνολό τους οι Μεταλπικοί σχηματισμοί έχουν πληρώσει ένα τεκτονικό βύθισμα διεύθυνσης Β-Ν το οποίο σχηματίζουν οι Αλπικοί σχηματισμοί.

Οι εδαφικές διαρρήξεις προκλήθηκαν από τους σεισμούς της 16-10-1988 έχουν προσβάλλει τον επιφανειακό σχηματισμό που έχει πάχος 50 περίπου εκατοστά. Η στατιστική επεξεργασία των διευθύνσεων των διαρρήξεων έδειξε ότι υφίστανται 4 συστήματα.

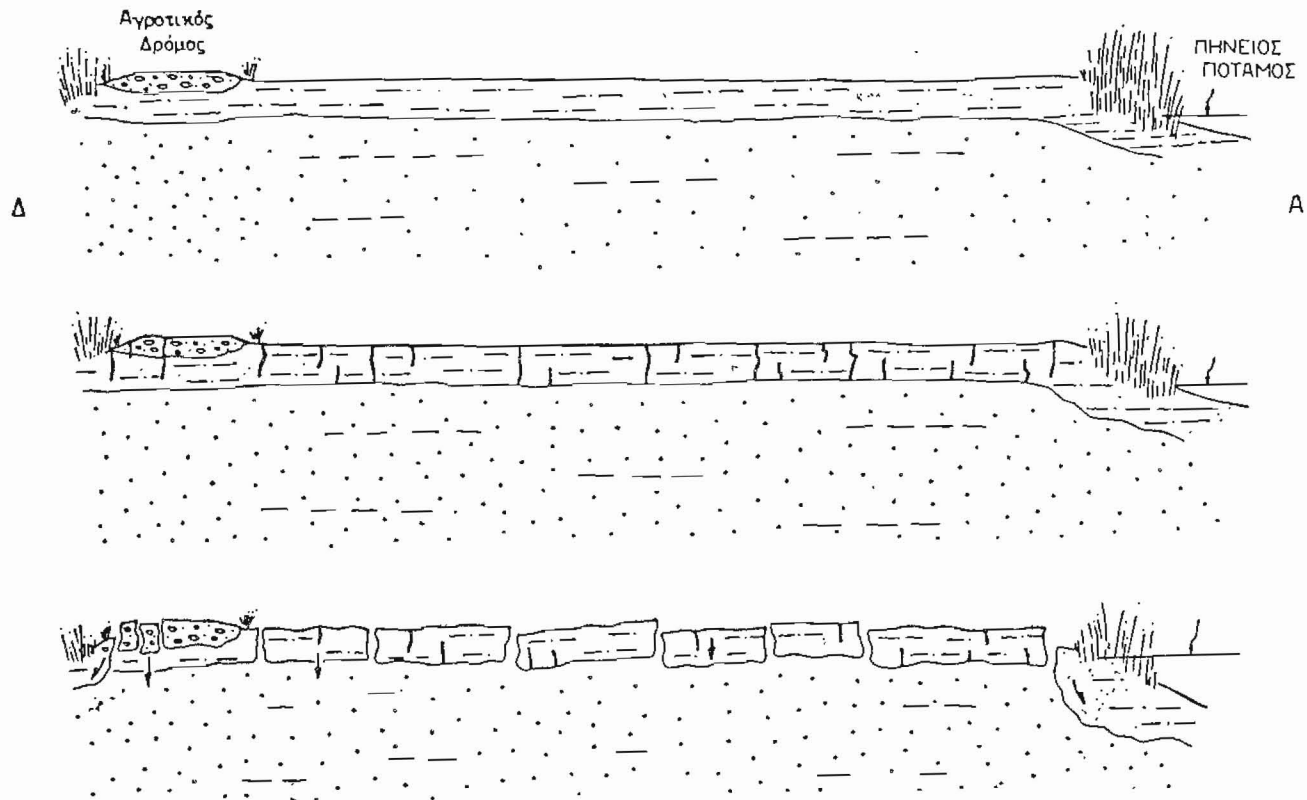
Το πρωτεύον σύστημα το οποίο κυριαρχεί από άποψη συχνότητας και μήκους έχει διεύθυνση Β-Ν η οποία συμπίπτει (i) με τη διεύθυνση του τεκτονικού βυθίσματος (ii) με τη διεύθυνση των σεισμικών διαρρήξεων που εντοπίστηκαν σε ασβεστολίθους της περιοχής Κάστρου και (iii) με τη διεύθυνση των αυλακώσεων λόγω της καλλιέργειας. Η δημιουργία των διαρρήξεων του πρώτου συστήματος μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία των αυλακώσεων (ανθρωπογενή αίτια) οι οποίες είχαν σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής του επιφανειακού σχηματισμού κατά μήκος τους, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατό να συνδεθεί το τεκτονικό καθεστώς μιας περιοχής με εδαφικές διαρρήξεις κάτω από τις οποίες υπάρχει ένα στρώμα που ρευστοποιήθηκε.

Το δευτερεύον σύστημα έχει διεύθυνση ΝΝΑ-ΒΒΔ και περιλαμβάνει διαρρήξεις οι οποίες εμφανίζονται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής και είναι παράλληλες προς την όχθη του Πηνειού ποταμού καθώς επίσης και στο ΒΔ τμήμα. Η δημιουργία των διαρρήξεων αυτών φαίνεται να οφείλεται σε πλευρική αστάθεια των ακραίων τμημάτων γεγονός που ενισχύεται από τα μεγάλα χάσματα των διαρρήξεων και την ταπείνωση των ακραίων τεμαχίων.

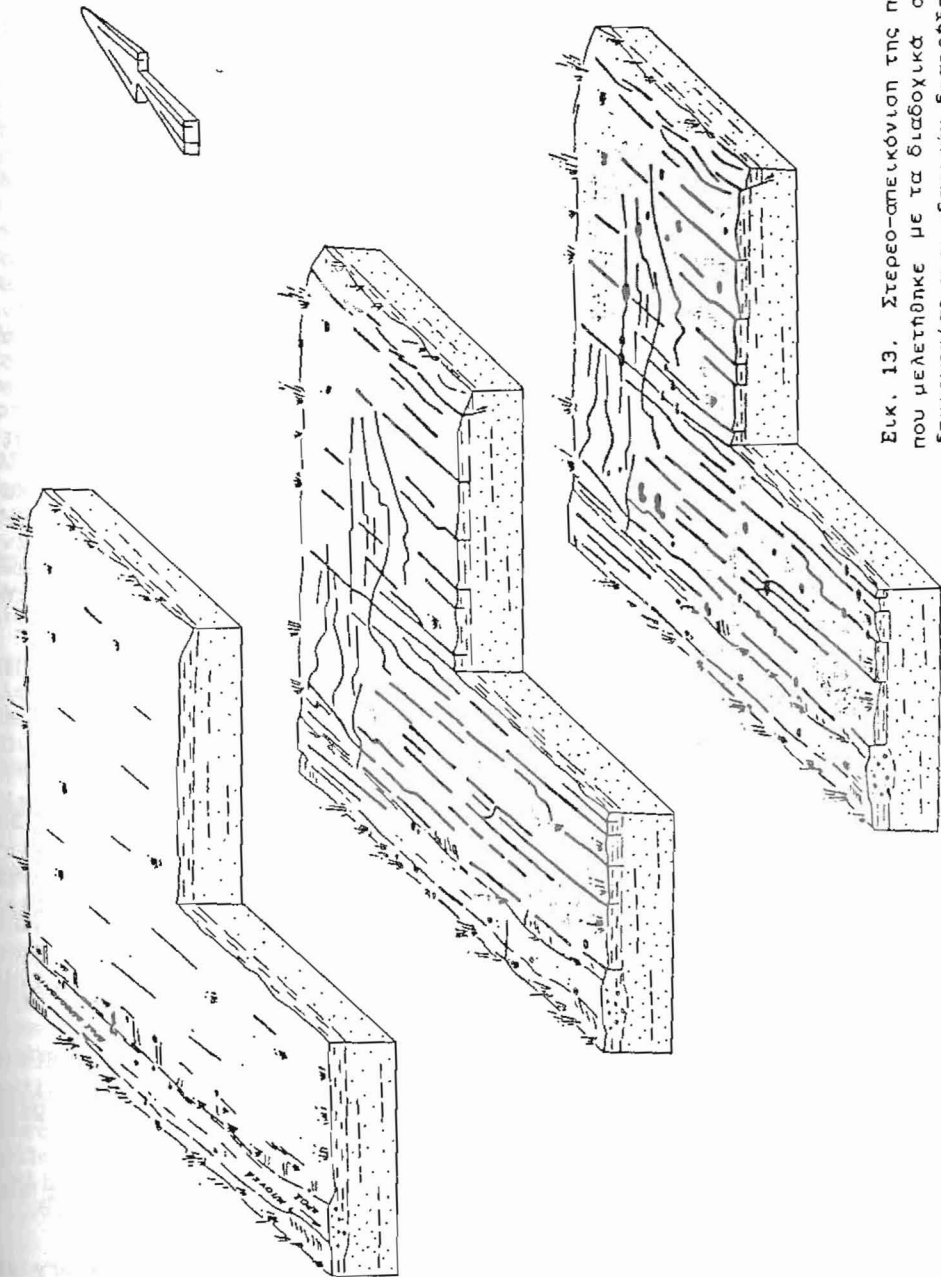
Το τριτεύον και το υπολοιπούμενο σύστημα με διευθύνσεις ΝΑ-ΒΔ (120°-260°) και ΒΑΑ-ΝΔΔ (080-260) αντίστοιχα περιλαμβάνουν διαρρήξεις οι οποίες εμφανίζονται αποκλειστικά σχεδόν στο βόρειο τμήμα και είναι περίπου παράλληλες προς την αρχή της ελώδους ζώνης. Και η δημιουργία αυτών των διαρρήξεων μπορεί να αποδοθεί σε πλευρική απώλεια στήριξης των ακραίων τμημάτων γεγονός που ενισχύεται από τα μεγάλα χάσματα (πλάτη) καθώς επίσης και την σχετική ταπείνωση των ακραίων ρηξιτεμαχίων.

Οι εδαφικές διαρρήξεις έχουν - όπως αναφέρθηκε - βάθος 40 εκατοστά περίπου και παρατηρούνται μόνο στον ανώτερο σχηματισμό και όχι στον υποκείμενο. Ο κύριος λόγος για αυτή την εκλεκτική παρουσία των διαρρήξεων, είναι το γεγονός ότι ο ανώτερος σχηματισμός είναι πύδ συμπαγής και σχετικά πύδ άκαμπτος από τον υποκείμενο σχηματισμό ο οποίος είναι σχετικά χαλαρός και εύκαμπτος με έντονη την παρουσία υγρής φάσης.

Τα φαινόμενα εκτίναξης νερού και άμμου που έλαβαν χώρα κατά τους σεισμούς της 16-10-1988 οφείλονται τόσο στην ίδια τη σεισμική δόνηση όσο και στις ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες και ειδικότερα στη φύση των δύο ανωτέρων σχηματισμών οι οποίοι υφίστανται αποκλειστικά και μόνο στην περιοχή παρατήρησης των φαινομένων, σύμφωνα και με τα δεδομένα των γεωτρήσεων. Ειδικότερα η σεισμική κίνηση είχε σαν αποτέλεσμα τη ρευστοποίηση (liquefaction) των άμμων του κατώτερου σχηματισμού με αποτέλεσμα ο σχηματισμός στο σύνολό του ή σε μεγάλα τμήματά του να συμπεριφέρεται σαν βαρύ ρευστό με μηδαμινή διατμητική αντοχή. Όπως είναι γνωστό τα φαινόμενα ρευστοποίησης λαμβάνουν χώρα όταν



Εικ. 12. Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού εκτίναξης νερού και άμμου κατά το σεισμό της 16-10-1988 στην περιοχή Μπούκα Βαρβολοίου. Η διαρρηξιμότητα του εδάφους είναι ανώτερη στην αριστερή πλευρά - ο οποίος έχει διαρραγεί - και ο υποκείμενος διαπερατός και σχετικά χαλαρός σχηματισμός.



Συκ. 13. Στερεο-σπεικόνισι της περιοχής που μελετήθηκε με τα διαδοχικά στάδια δημιουργίας των εδαφικών διαφρήξεων και της εκτίναξης νερού και άμμου

χαλαροί άμμοι ή ιλυώδεις άμμοι υπόκεινται σε ορισμένου πλάτους διατμητικές επαναλαμβανόμενες παραμορφώσεις (π.χ. σεισμικό κύμα).

Η δημιουργία των διαρρήξεων στον ανώτερο σχηματισμό ταυτόχρονα διευκόλυνε την εκτίναξη του νερού προς τα άνω το οποίο παρέσυρε και υλικά του κατώτερου σχηματισμού. Η ταχύτητα εκτίναξης ορίσθηκε από το είδος και το μέγεθος των διαρρήξεων και ήταν καθοριστικός παράγοντας για την άνοδο λεπτομερών ή χονδρόκοκκων υλικών, τα οποία αποτέθηκαν γύρω από τις εξόδους. Η κίνηση του νερού προς οριζόντια - πλάγια κατεύθυνση πιθανώτατα να εμποδίσθηκε σε μεγάλο βαθμό από την απόφραξη των διόδων λόγω της ταπείνωσης των πλευρικών ρηξιτεμαχών (Εικ. 12, 13) αλλά και της παρουσίας αρχιλικών υλικών και ιλύος από τις αποθέσεις του Πηνειού ποταμού και των ελών.

Η εκτίναξη νερού και άμμου ενισχύθηκε κατά θέσεις σημαντικά και από τη δημιουργία ανεξάρτητων μικρο-ρηξιτεμαχών στον ανώτερο σχηματισμό λόγω της δημιουργίας των εδαφικών διαρρήξεων οι οποίες και τα οριοθετούν. Συγκεκριμένα ορισμένα μικρο - ρηξιτεμάχη βρέθηκαν κάτω από συνθήκες απώλειας στήριξης με αποτέλεσμα να βυθισθούν ή να περιστραφούν γεγονός που φαίνεται και από τα μικρά άλματα ή τις οριζόντιες μετατοπίσεις. Η σχετική κίνηση προς τα κάτω ορισμένων μικρο - ρηξιτεμαχών του ανώτερου σχηματισμού υποβοηθήσε την εκτίναξη προς τα άνω του νερού.

Η απουσία φαινομένων εκτίναξης κατά μήκος των εδαφικών διαρρήξεων που παρατηρούνται κατά μήκος του δρόμου ή εκατέρωθεν αυτού οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στη μειωμένη υδροφορία του κατώτερου σχηματισμού - στα συγκεκριμένα σημεία - λόγω της τεχνικής συμπύκνωσης του από τις εργασίες για την κατασκευή του αγροτικού δρόμου (οδόστρωση - επιχωμάτωση).

## **B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α**

**ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Γ. (1969).** - Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας κλ. 1:50.000 Φύλλο "Βαρβολομιά", ΙΓΜΕ, Αθήνα.

**ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Γ. (1970).** - Uber die neogenen Ablagerungen im Gebiet von Kyllini (NW. Peloponnes). I.G.M.E., Special Publication, 11, 1-60.

**ΔΑΒΗ, Ε. (1957).** - Les foraminiferes neogens d Elide (Peloponnes). Ann. Geol. pays Hellen. 8, 263-268, Athens.

**FANG, HONGQI. (1987).** - Some principal characteristics of Strong Earthquake - Induced landsliding in Plain Regions, Proceedings Regional Crustal Stability & Geological Hazards, IGCP No 250, December 1987, Beijing, China p. 36-43.

**ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Α. (1976).** - Στοιχεία σεισμολογίας και φυσικής του εσωτερικού της γης. Εκδόσεις Παν/μίου Αθηνών.

**HAGEMAN, J. (1977).** - Stratigraphy and sedimentary History of the Upper Cenozoic of the Pyrgos area (W. Peloponnesus,

Greece). Ann. Geol. pays Héllé. 28, 299-333.

HECK, N. (1936). - Earthquakes. Princeton University Press.

ΚΑΜΠΕΡΗΣ, Ε. (1987). - Γεωλογική και Πετρελαιογεωλογική μελέτη Β.Α. Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π.

KOWALCZYK, G. & WINTER, K.P. (1979a). - Die geological Entwicklung der Kyllini - Halbinsel in Neogene and Quartaz (West Peloponnes, Griechenland), Z. dt geol. Ges., 130.

KOWALCZYK, G. & WINTER, K.P. (1979b). - Outline of the Cenozoic history of the Kyllini peninsula, W. Peloponnese. In: Symeonides, N. Papanikolaou D. and Dermitzakis, M. Field guide to the Neogene of Megara-Peloponnesus-Zakynthos Department of Geology and Palaeontology, S. A, No 34.

ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ, Ι. ΜΑΕ. (1941). - Γεωλογική και μακροσεισμική σπουδή του ερημωτικού σεισμού της Λαρόσης της 1ης Μαρτίου 1941. Ανάτυπο εκ της Τριακονταπενταετηρίδος του καθηγητού Ν. Κρητικού (1907-1942).

ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, Δ. & ΜΟΥΤΙΑΡΗΣ, Ν. - (1986). - Ο σεισμός των Σοφάδων της 30ης Απρίλη 1954 - Παρατηρήσεις υπαίθρου του Γιάννη Παπασταματίου. Γεωφ. - Γεωλ. Μελ., ΙΓΜΕ 1986 σελ. 341-362.

SEED, I. B. (1976). - Evaluation of Soil Liquefaction Effects on Level Ground during Earthquakes. Amer. Soc. of Civil Eng. Liquefaction problems in geotechnical engineering, 1-19.

TALAGANOV, K., PETROVSKI, J., & MIHAILOV, V. (1981). - Soil Liquefaction Seismic Risk Analysis Based on Post 1979 Earthquake Observations in Montenegro. International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics 1981, Univ. of Missouri - Rolla.

UNDERHILL, J.P. (1988). - Triassic evaporites and Plio-Quaternary diapirism in Western Greece. Journal of the Geological Society, London. Vol. 145, p.p. 269-282.

UNDERHILL, J.R. (1985). - Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece. PhD. thesis, Univ. Wales.

WAKITA, H. (1984-85). - Changes in Groundwater level and Chemical Composition: Earth.predic.techn. and their appl. Tokyo Press, 175-216.

WINTER, K.P. (1977). - Zur neotektonischen Entwicklung im Bereich der Kyllini - Halbinsel (Vartholomion sheet) W. Peloponnes. In: Kallergis, G. Proceedings of the vi Colloquium on the Geology of the Aegean region. Vol. I (I.G.M.E.) Greece p.p. 425-34.