

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ - ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Αρ. Πρωτ. $\frac{2161}{21.12.87}$

ΜΙΚΡΟΖΩΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
(Επέκταση)

"ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ
ΣΕ ΙΣΧΥΡΕΣ ΔΟΝΗΣΕΙΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ
ΥΠΩΣΗ ΤΟΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ"

Επιστημονικός Υπεύθυνος: Κυριαζής Πιτιλάκης

Θεσσαλονίκη 19.12.87

Στην μελέτη συνεργάστηκαν οι παρακάτω:

Κυριαζής Πιτιλάκης : (Επιστημονικός Υπεύθυνος) Επίκουρος
Καθηγητής Γεωτεχνικής Μηχανικής Α.Π.Θ.

P.Y. Bard: Docteur és Sciences. L.G.I.T.-Université de
Grenoble

J.L. Gariel: L.G.I.T. - Université de Grenoble

A. Μουτσάκης: Πολιτικός Μηχανικός Ερευνητής Α.Π.Θ.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σεισμός της Καλαμάτας στις 13.9.86 ($M_s=6.2$) καταγράφηκε σε δύο επιταχυνσιογράφους στο κέντρο της πόλης. Ο πρώτος (SMA-1) ήταν εγκατεστημένος στο υπόγειο του κτιρίου της Νομαρχίας (7 όροφοι) και ο δεύτερος (επίσης SMA-1) στο κτίριο του παλαιού ΟΤΕ (2 όροφοι), 600 Μ βορειότερα της Νομαρχίας. Η επικεντρική απόσταση των δύο θέσεων είναι μικρότερη των 10 Km (Σχ. 1). Οι δύο αυτές καταγραφές παρουσιάζουν κάποια ομοιότητα, παράλληλα όμως έχουν και ουσιώδεις διαφορές, τόσο αναφορικά με την μέγιστη επιτάχυνση (Σχ. 3) όσο και με το φασματικό περιεχόμενο (Σχ. 4,5).

Οι ζημιές που προκάλεσε ο σεισμός στα κτίρια της πόλης παρουσιάζουν μια αρκετά εμφανή διαφοροποίηση στις διάφορες περιοχές κύρια σε ό,τι αφορά το μέγεθος. Στην παλιά πόλη, όπου επικρατούν τα διόροφα, παλιά και σχετικά άκαμπτα κτίρια, το ποσοστό των κτιρίων με σοβαρές ζημιές και άνω ήταν περίπου 30%. Αντίθετα, στην παραλιακή ζώνη, όπου επικρατούν τα νέα συνήθως 5όροφα κτίρια το ποσοστό αυτό πέφτει στο 5%. Το γεγονός αυτό εξεταζόμενο χωριστά από το σύνολο των σεισμολογικών και λοιπών στοιχείων υποδηλώνει την μεγάλη επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Παρ'όλα αυτά η πολύ μικρή επικεντρική απόσταση (συνθήκες κοντινού πεδίου), οι ενδείξεις ότι το ρήγμα πρέπει να περνούσε σχεδόν κάτω από την πόλη (βλ. Parazachos et al, 1988) και τέλος οι διαφορετικές καταγραφές στις δύο θέσεις όπου το έδαφος δεν παρουσιάζει δραματικές αλλαγές, οδηγούν στην ανάγκη μιας περισσότερο προσεκτικής μελέτης μιας σειράς παραγόντων που η κλασσική μονοδιάστατη ανάλυση αδυνατεί να αντιμετωπίσει.

Συγκεκριμένα οι διαφορές στις καταγραφές και στην κατανομή των ζημιών είναι δυνατόν να οφείλονται στους παρακάτω

παράγοντες, χωρίς βέβαια ο ένας να αποκλείει κάποιον άλλο.

- α.- Ετερογένειες οφειλόμενες στον μηχανισμό διάρρηξης
- β.- Επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών
- γ.- Επιρροή της διαφοροποίησης του πάχους και του είδους των αλλουβιακών αποθέσεων από θέση σε θέση, σε συνδυασμό με τον συγκεκριμένο μηχανισμό διάρρηξης
- δ.- Αλληλοεπίδραση εδάφους-θεμελίωσης-ανωδομής (ειδικά σε ό,τι αφορά τις διαφορές των δύο καταγραφών που όπως είπαμε πραγματοποιήθηκαν στην πλάκα του υπογείου δύο αρκετά διαφορετικών κτιρίων).

Εφόσον αποδειχθεί ότι η επιρροή των παραγόντων α, γ και δ είναι μικρής σημασίας, τότε οι κλασσικές μονοδιάστατες αναλύσεις της επιρροής των τοπικών εδαφικών συνθηκών μπορούν και στην περίπτωση της Καλαμάτας να θεωρηθούν απόλυτα αξιόπιστες, σε ό,τι αφορά βέβαια τον συγκεκριμένο σεισμό κοντινού πεδίου.

Στην έκθεση αυτή παρουσιάζονται τα σπουδαιότερα αποτελέσματα μελέτης που αφορά τους παράγοντες (α) και (γ). Για λόγους κύρια χρονικούς και με δεδομένο το γεγονός ότι πρόκειται για μια ερευνητική προσπάθεια και όχι για μία εφαρμοσμένη μελέτη, οπότε είναι πολύ δύσκολο να ολοκληρωθεί σε τακτά χρονικά διαστήματα, πόσο μάλλον τόσο περιορισμένα όπως στην συγκεκριμένη περίπτωση, η όλη μελέτη έχει περισσότερο έναν προκαταρκτικό χαρακτήρα. Για την ολοκλήρωσή της απαιτείται συνέχιση της έρευνας σε σημεία που θα αναφερθούν στην συνέχεια στο κείμενο.

Στόχος λοιπόν της μελέτης αυτής είναι α) η εξέταση της επιρροής του μηχανισμού διάρρηξης σε συνθήκες κοντινού πεδίου πάνω στην σεισμική απόκριση των εδαφικών σχηματισμών, και β) η μελέτη της χωρικής μεταβλητότητας της σεισμικής δόνησης σε συνάρτηση με την μεταβολή του πάχους και του είδους των αλλου-

βιακών αποθέσεων.

Η μελέτη αφορά μόνο τον κύριο σεισμό (13.9.86 $M_s=6.2$).

Ανατέθηκε από τον ΟΑΣΠ με σύμβαση που υπογράφηκε στις 17.7.87.

2. ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι δύο καταγραφές δίνονται στα σχήματα 3α και 3β. Η απευθείας σύγκριση των δύο πρέπει να γίνει με προσοχή καθώς ενώ το επιταχυνσιογράφημα της Νομαρχίας (καταγραφή ΙΤΣΑΚ) έχει επεξεργασθεί με την κλασσική διαδικασία σε συνεργασία με την ΕΝΕΑ (ψηφιοποίηση, διόρθωση οργάνου, φιλτράρισμα των υψηλών συχνοτήτων, διόρθωση της γραμμής βάσης, φιλτράρισμα των χαμηλών συχνοτήτων), για το επιταχυνσιογράφημα του Παληού ΟΤΕ δεν διαθέτουμε τις αντίστοιχες πληροφορίες. Παρ'όλα αυτά οι διαφορές, εφόσον υπάρχουν, δεν πρέπει να είναι τόσο σημαντικές ώστε να αλλοιώσουν την όλη εικόνα, που συνοπτικά παρουσιάζεται στον πίνακα I που ακολουθεί:

ΠΙΝΑΚΑΣ I: Μέγιστες επιταχύνσεις

	VERT	EW	NS
NOMARCHIA	178 cm/sec ²	255	252
Π. ΟΤΕ	397	216	293

Οι διαφορές είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην κατακόρυφη συνιστώσα, γεγονός αναμενόμενο καθώς εκεί ακριβώς βρίσκονται οι υψηλές συχνοότητες.

Οι μορφές των κυμάτων των οριζόντιων συνιστωσών παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες. Εντούτοις παρατηρείται μια διαφορά φάσης μεταξύ των δύο σταθμών (~0,3 sec) (EW και NS) που

θα ήταν ενδιαφέρον να γνωρίζουμε αν προέρχεται από την ψηφιοποίηση ή από άλλα πραγματικά αίτια.

Επίσης είναι ενδιαφέρον να συγκριθούν οι δύο καταγραφές στην περιοχή συχνοτήτων, γεγονός που γίνεται με την σύγκριση των φασμάτων επιτάχυνσης Fourier στα σχήματα 5. Πρέπει να σημειωθεί ότι προκειμένου να μπορεί να γίνει απ'ευθείας σύγκριση, οι οριζόντιες συνιστώσες στο σταθμό της Νομαρχίας έχουν υποστεί μια στροφή 10^0 , ώστε να ταυτίζονται με τις διευθύνσεις NS-EW του Π. ΟΤΕ. Από τη μελέτη λοιπόν των φασμάτων Fourier απορρέουν τα εξής:

- η κατακόρυφη συνιστώσα είναι σαφώς μικρότερη στην Νομαρχία ειδικά γύρω στις συχνότητες $f = 1$ Hz και 3 Hz $< f < 13$ Hz
- οι οριζόντιες συνιστώσες έχουν σημαντικά υψηλότερες τιμές στην Νομαρχία (λόγος $1 \pm 1,75$) απ'ότι στο Π. ΟΤΕ στην περιοχή 1 ± 4 Hz (στη συνέχεια το φάσμα επιτάχυνσης μειώνεται σημαντικά και πρακτικά μηδενίζεται για συχνότητες $f \gg 10$ Hz).

Σχετικά με τα καθαρώς σεισμολογικά στοιχεία που αφορούν όλη τη σεισμική ακολουθία του Σεπτεμβρίου 1986 και κυρίως του κυρίου σεισμού (13.9.86) διαπιστώνουμε τα παρακάτω (Parazachos et al, 1988 και Lyon Coen et al, 1987):

- Εστία - Επίκεντρο : $37^{\circ}11$ N, $22^{\circ}14$ E
- Βάθος h : 8 Km
- Ρήγμα : Strike N30E \pm N20E
Κλίση 40° W \pm 47° W
- Επιφάνεια ρήματος : L = 15 Km W = 11 Km
- Μορφή ρήματος : Κανονικό
- Σεισμική ροπή : $M_0 = 7 \cdot 10^{24}$ dyn.cm \pm $16 \cdot 10^{24}$ dyn.cm

3. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ (ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΔΙΑΡΡΗΞΗΣ)

3.1. Προσομοίωση της πηγής

Υιοθετήθηκε σε γενικές γραμμές, το μοντέλο των φραγμάτων (κλείθρων) των Parageorgiou and Aki (B.S.S.A, 1983) που συνίσταται στην προσομοίωση της πηγής με μία σειρά συνεχόμενων κυκλικών ρηγμάτων, ίδιων χαρακτηριστικών, που καλύπτουν την συνολική επιφάνεια του ρήγματος.

Η θραύση σε κάθε κυκλικό ρήγμα πραγματοποιείται ξεκινώντας από το κέντρο και διαδίδεται ισότροπα με ταχύτητα $V_R (=0,7 \pm 0,9 V_S)$. Η ολίσθηση σε κάθε κυκλική επιφάνεια θραύσης έχει μέγιστη τιμή στο κέντρο και μηδενίζεται στην περιφέρεια. Εάν δηλαδή a είναι η ακτίνα του κάθε κύκλου

$$\Delta u(\tau) = D_{\max} \frac{\sqrt{a^2 - \tau^2}}{a}$$

Στο βασικό μοντέλο των Parageorgiou and Aki η θραύση στο κέντρο κάθε στοιχειώδους κυκλικής πηγής που συνθέτουν το συνολικό ρήγμα γίνεται με τρόπο τυχαίο. Στην συγκεκριμένη μελέτη για λόγους περισσότερο χρονικούς, η θραύση ξεκινά από το κέντρο του βορειότερου κύκλου (Σχ. 6) που ταυτίζεται με το υπόκεντρο του κυρίως σεισμού σύμφωνα με την μελέτη των Parazachos et al (1988). Η θραύση στις υπόλοιπες στοιχειώδεις πηγές ξεκινά με μια χρονική καθυστέρηση $t_i = l_i / V_R$ όπου l_i είναι η απόσταση που χωρίζει την πηγή i από την αρχική πηγή εκκίνησης.

Συνοπτικά λοιπόν το μοντέλο πηγής που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη περιγράφεται ως εξής:

- Ρήγμα : Strike N20°

Κλίση 40°W

- Κυκλικά στοιχειώδη ρήγματα: 12 (σχ. 6)

$$a=1,8 \text{ Km (LxW=14,4x10,8 Km}^2)$$

- Μέση ολίσθηση: $\bar{D}_u=16 \text{ cm (D}_{\max}=24 \text{ cm)}$

- Ταχύτητα θραύσης: $V_R=0,75V_S=2,5 \text{ Km/sec}$

Η στρωματοποίηση που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στο σχήμα 7. και είναι αυτή που χρησιμοποιούν και οι Papazachos et al για τον καθορισμό των υποκέντρων.

Η απόκριση (επιταχυνσιογραφήματα: εγκάρσια συνιστώσα: N110E, ακτινική: N20E και κατακόρυφη) υπολογίσθηκαν σε 12 σημεία-δέκτες, σε δύο σειρές, με διεύθυνση N20°E. Μεταξύ τους οι δύο σειρές απέχουν 1 Km και σε κάθε σειρά 600M. Τα σημεία 2 και 8 (σχ. 7) απέχουν 9 Km από το επίκεντρο και αντιστοιχούν στην θέση της Νομαρχίας, ενώ τα σημεία 3 και 9 αντιστοιχούν στο Παληό ΟΤΕ.

Οι υπολογισμοί έγιναν σε υπολογιστή CRAY2 του CCVR στο Palaiseau (Γαλλία). Παρόλη την εξαιρετικά μεγάλη ισχύ του Η/Υ η μελέτη για όλη την γκάμα των συχνοτήτων απαιτούσε πολύ μεγάλο υπολογιστικό κόστος με αποτέλεσμα να περιοριστούμε στην περιοχή 0-4 Hz που παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Απαιτήθηκε χρόνος CSU-CRAY2 περίπου μιάς ώρας (1h).

3.2. Αποτελέσματα

Τα επιταχυνσιογραφήματα που υπολογίσθηκαν στις 12 θέσεις (σχ. 6) δίνονται στα σχήματα 8α, 8β και 8γ.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η άμεση σύγκριση με τα επιταχυνσιογραφήματα που καταγράφηκαν στην επιφάνεια, στα σχήματα 9α, 9β δίνονται με την ίδια κλίμακα χρόνου και ύστερα από φιλτράρισμα των χαμηλών συχνοτήτων και μιά στροφή ώστε να επι-

τευχθεί ταύτιση των αξόνων NS, EW N110E, N20°E, οι δύο βασικές καταγραφές του κυρίως σεισμού. Παράλληλα στο σχήμα 9γ δίδεται και "σεισμός εισαγωγής" που χρησιμοποιήθηκε για το σύνολο της πόλης στην μονοδιάστατη ανάλυση που προηγήθηκε με άλλο ερευνητικό πρόγραμμα που εκπόνησε το Εργαστήριο Γεωτεχνικής Μηχανικής του Α.Π.Θ.

Τέλος στα σχήματα 10α και 10β παρουσιάζονται συγκρίσεις φασμάτων Fourier των τριών συνιστωσών μεταξύ των σημείων 2 και 3 όπως και μεταξύ των 8 και 9 που αντιστοιχούν στην Νομαρχία (2,8) και το Παληό ΟΤΕ (3,9).

3.3. Συγκρίσεις-παρατηρήσεις

3.3.1. Συγκρίσεις μεταξύ των συνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων

Όπως φαίνεται στα σχήματα 8 οι μέγιστες επιταχύνσεις και η μορφή των κραδασμών διαφέρουν αρκετά από θέση σε θέση ιδίως σε μεγάλες αποστάσεις (1-6 και 7-12). Η γενική τάση είναι να μειώνεται η μέγιστη επιτάχυνση όσο πλησιάζουμε στην παραλία, χωρίς όμως οι διαφορές να είναι πολύ ουσιώδεις.

Η μελέτη των φασμάτων Fourier οδηγεί σε ανάλογες παρατηρήσεις (Σχ. 10α,β). Και πάλι για την περιοχή των συχνοτήτων 1-4 Hz δεν παρατηρείται ουσιώδης διαφοροποίηση του σήματος μεταξύ της Νομαρχίας και του Παληού ΟΤΕ. Γενικά όμως στην περιοχή της Νομαρχίας παρατηρούνται υψηλότερες τιμές στην περιοχή των συχνοτήτων 1,5÷4 Hz.

Για την ολοκλήρωση της μελέτης και προκειμένου να αποδειχθεί εάν και κατά πόσο ο μηχανισμός διάρρηξης έπαιξε σημαντικό ρόλο πρέπει σε ένα επόμενο στάδιο να επαναληφθεί η μελέτη αυτή για τυχαία εκκίνηση της διάρρηξης και όχι μόνο από την βορειότερη στοιχειώδη κυκλική πηγή. Μόνο τότε θα είμαστε αρκετά σίγουροι σχετικά με την επιρροή του μηχανισμού διάρρηξης.

3.3.2. Συγκρίσεις μεταξύ των συνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων και των πραγματικών καταγραφών

Τα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα στο τμήμα αυτό της μελέτης έχουν εκτιμηθεί με βάση το εδαφικό μοντέλο του σχήματος 7. Το επιφανειακό στρώμα, σ'όλο του το πάχος, χαρακτηρίζεται από $V_s = 2,47$ Km/sec ενώ στην πραγματικότητα τα πρώτα 50 ± 100 μέτρα έχουν ένα $V_s = 200 \pm 600$ m/sec. Έτσι τα συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα που προέκυψαν στις 12 θέσεις-δέκτες, ανταποκρίνονται ουσιαστικά στον κραδασμό του βραχώδους υποστρώματος και όχι στον επιφανειακό κραδασμό. Για τον λόγο αυτό οι μέγιστες υπολογισθείσες επιταχύνσεις δεν ξεπερνούν το 0.05 g κατά την εγκάρσια συνιστώσα (σχ. 8β) και το 0,12 g (σχ. 8α) κατά την κατακόρυφο συνιστώσα. Επιπλέον για τον ίδιο λόγο παρατηρούνται και φασματικές αιχμές στην περιοχή $f \approx 1$ Hz ενώ στις πραγματικές επιφανειακές καταγραφές οι αιχμές βρίσκονται περισσότερο στην περιοχή $0,1 \leq f \leq 3$ Hz.

Έτσι λοιπόν η απ'ευθείας σύγκριση των επιφανειακών πραγματικών καταγραφών (που επιπλέον δεν είναι και ελευθέρου πεδίου) με τα επιταχυνσιογραφήματα που υπολογίσθηκαν, δεν προσφέρεται για την εξαγωγή οιαυδήποτε συμπεράσματος. Εκείνο όμως που έχει ενδιαφέρον είναι η σύγκριση των συνθετικών αυτών επιταχυνσιογραφημάτων και ενός εκτιμηθέντος επιταχυνσιογραφήματος στην στάθμη του "βραχώδους υποστρώματος" για την ισοδύναμο ελαστική ή ανελαστική μονοδιάστατη ανάλυση. Η σύγκριση αυτή γίνεται μεταξύ των σχημάτων 9γ και 8β (σημείο 2 ή 3). Στο σχήμα 9γ δίδεται το επιταχυνσιογράφημα που εκτιμήθηκε για την μονοδιάστατη μελέτη της εδαφικής απόκρισης, μέσω βασικά μιας "αντιστροφής" της συνιστώσας NS της καταγραφής ITΣAK στην Νομαρχία. Η μέγιστη επιτάχυνση φθάνει το 0,17 g. Λαμβάνοντας

υπόψη ότι ο κραδασμός αυτός εκτιμάται σε βάθος 60 ± 80 m ($V_s = 750 \pm 800$ m/sec), και ότι δεν έγινε κανένα φιλτράρισμα των συχνοτήτων, η συσχέτιση των δύο κραδασμών, αναφορικά με τις μέγιστες τιμές των επιταχύνσεων, είναι αρκετά ικανοποιητική. Εκείνο όμως που είναι περισσότερο ενδιαφέρον είναι η εξαιρετική συμφωνία της μορφής των επιταχυνσιογραφημάτων (σχ. 11). Παρουσιάζεται μια σχεδόν πλήρης ταύτιση της μορφής των δύο κραδασμών γεγονός που είναι πολλαπλά χρήσιμο. Συγκεκριμένα το γεγονός αυτό μας παρέχει μια βεβαιότητα ότι το μοντέλο είναι σωστά φτιαγμένο και ότι τα πρώτα αποτελέσματα είναι αξιόπιστα. Παράλληλα επιβεβαιώνει ότι στην προηγούμενη μελέτη η εκτίμηση του "σεισμού σχεδιασμού" είναι σε γενικές γραμμές σωστή, τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά.

3.3.3. Συμπεράσματα

Με την συγκεκριμένη μελέτη κατέστη δυνατό να βγουν μερικά χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την χωρική μεταβλητότητα της σεισμικής δόνησης της 13.9.86 σε συνάρτηση με τον μηχανισμό διάρρηξης. Συγκεκριμένα:

- Οι πρώτες ενδείξεις πείθουν ότι η επιρροή του μηχανισμού διάρρηξης δεν ήταν κεφαλαιώδους σημασίας. Το συμπέρασμα αυτό πρέπει να θεωρείται προσωρινό μέχρις ότου ολοκληρωθεί το δεύτερο στάδιο της μελέτης (εφόσον υπάρξει αντίστοιχο ενδιαφέρον) τυχαίας διέγερσης των στοιχειωδών πηγών (§ 3.3.1).
- Παρατηρείται παρ'όλα αυτά μια μείωση της έντασης του κραδασμού όσο πλησιάζουμε στην παραλία που είναι ιδιαίτερα αισθητή στην κατακόρυφο συνιστώσα.
- Η μέγιστη επιτάχυνση στο φυσικό βραχώδες υπόστρωμα πρέπει να εκυμαίνεται για τον σεισμό της 13.9.86 μεταξύ 0,5 και 0.12g ανάλογα με την συνιστώσα.

- Το επιταχυνσιογράφημα εισαγωγής που προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε στην προγενέστερη μελέτη του ίδιου εργαστηρίου, μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αξιόπιστο και αντιπροσωπευτικό.
- Η συγκεκριμένη προσομύωση του μηχανισμού διάρρηξης παρουσιάζεται ικανοποιητικά αξιόπιστη ώστε να έχει ενδιαφέρον η συνέχιση της όλης ερευνητικής προσπάθειας.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΩΡΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΩΝ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ

4.1. Προσομύωση-γεωλογικά

Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής δίνεται στο σχήμα 2. Από το εξαιρετικά μεγάλο πλήθος των γεωλογικών και γεωτεχνικών στοιχείων που διαθέτουμε ύστερα από την ολοκλήρωση της πρώτης φάσης της μικροζωνικής μελέτης, καταλήγουμε στην απλοποιημένη τομή σχεδιασμού του σχήματος 12. Αφορά μια τομή Βορρά-Νότου που περνά από τα δύο σημεία που διαθέτουμε καταγραφές (Π.ΟΤΕ και Νομαρχία). Ο φυσικός βράχος βρίσκεται σε σημαντικό μεγάλο βάθος. Κάθε στρώμα χαρακτηρίζεται από την πυκνότητα ρ_i (ή ειδικό βάρος γ_i), την ταχύτητα V_{S_i} και το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης ξ_i (%). Η μελέτη γίνεται για κατακόρυφη διάδοση κυμάτων SH.

Οι υπολογισμοί της εδαφικής απόκρισης έγιναν με βάση το μοντέλο των Aki και Larner, όμως διαμορφώθηκε από τον Geli στο Πανεπιστήμιο της Grenoble (1985).

Βασικός στόχος της συγκεκριμένης προσομύωσης είναι η εξέταση του κατά πόσο η προοδευτική από βορρά προς νότο αύξηση του πάχους των αλλουβιακών αποθέσεων είχε σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση του επιφανειακού κραδασμού και τελικά την διαφοροποίηση του ποσοστού και του είδους των ζημιών που παρα-

τηρήθηκαν. Πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές υπολογισμών. Η πρώτη καλύπτει ένα κάπως μικρό εύρος συχνοτήτων $f=0\pm 4$ Hz, ενώ η δεύτερη καλύπτει ένα μεγάλο εύρος $f=0\pm 10$ Hz. Το σύνολο του υπολογιστικού χρόνου, συμπεριλαμβανομένων και των προκαταρκτικών δοκιμών ανήλθε σε 30' χρόνου CSU του CRAY2.

4.2. Αποτελέσματα

Στα σχήματα 12α και 12β δίδονται για κάθε μία από τις δύο σειρές αναλύσεων (12α: 0 ± 4 Hz και 12β: 0 ± 10 Hz) οι κατά μήκος μεταβολές των εξής τριών παραμέτρων:

- μέγιστος συντελεστής φασματικής ενίσχυσης $A_m(x)$
(=αιχμή της συνάρτησης μεταφοράς (transfer function) στην θέση x)
- η συχνότητα $f_m(x)$ που αντιστοιχεί στην τιμή $A_m(x)$
- ο μέσος συντελεστής φασματικής ενίσχυσης $A_{m, \text{μέσο}}(x)$

Στο σχήμα 13 δίνονται οι επεξηγήσεις των διαφόρων συμβολισμών.

Στα σχήματα 14α,β παρουσιάζονται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια οι συναρτήσεις $A_m(x)$ σε τέσσερεις θέσεις (ύψος Υπαπαντής, Παληό ΟΤΕ, Νομαρχία και Κολυμβητήριο). Για κάθε μία από τις 4 θέσεις εκτιμώνται οι $A_m(x)$ σε τρία σημεία που ισαπέχουν 20 Μ έτσι ώστε να αποκτήσουμε μία εικόνα της τοπικής μεταβλητότητας των συναρτήσεων μεταφοράς $A_m(x)$. Τέλος στα σχήματα 15α,β δίδονται πάντοτε για τις δύο σειρές αναλύσεων, οι συναρτήσεις $A_m(x)$ σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του άξονα Β-Ν που μελετήθηκε.

4.3. Συζήτηση των αποτελεσμάτων-παρατηρήσεις-συμπεράσματα

Από τα σχήματα 12α,β διαπιστώνουμε ότι ενώ η μέγιστη φασματική ενίσχυση είναι περίπου η ίδια στο Παληό ΟΤΕ και την Νομαρχία (-2,6) οι συχνότητες συντονισμού $f_m(x)$ διαφέρουν σημαντικά

(1.8 Hz στην Νομαρχία και 3 Hz στο Π.ΟΤΕ). Αυτό σημαίνει ότι οι δεσπόζουσες περίοδοι T είναι 0,55 και 0,33 sec αντίστοιχα.

Στην παληά πόλη ενώ η μέγιστη φασματική ενίσχυση είναι σχετικά μικρή (-1,5), παρατηρούμε ότι οι συχνότητες συντονισμού κυμαίνονται από 3Hz ως 8Hz περίπου. Δηλαδή οι δεσπόζουσες περίοδοι T είναι μεταξύ 0,33 sec και 0,125 sec γεγονός που βρίσκεται σε πολύ καλή συμφωνία με το μέγεθος και το είδος των ζημιών στην περιοχή αυτή (μεγάλες ζημιές > 30%, άκαμπτα παληά διόροφα ως επί το πλεϊστον κτίρια).

Η απόκριση της περιοχής της Νομαρχίας γίνεται σαφέστατα σε χαμηλότερες συχνότητες απ'ό,τι του Παληού ΟΤΕ. Η παληά πόλη με την σειρά της διεγείρεται περισσότερο σε συχνότητες $f \gg 5\text{Hz}$. Αναλυτικώτερα βλέπουμε ότι η περιοχή της Νομαρχίας παρουσιάζει υψηλότερες τιμές φασματικών επιταχύνσεων απ'ό,τι η περιοχή του Παληού ΟΤΕ, μόνο σε μια περιοχή συχνοτήτων $f=1\pm 2,5\text{ Hz}$ ($T=1\pm 0,4\text{ sec}$), ενώ στις πραγματικές καταγραφές είναι για ένα μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων ($f=0\pm 4\text{ Hz}$). Το γεγονός αυτό ενδέχεται να οφείλεται είτε στο απλοποιημένο διδιάστατο προφίλ που δεχθήκαμε, είτε στον κραδασμό διέγερσης (ενδεχόμενα η περιοχή της Νομαρχίας έπρεπε να διεγείρεται από ένα τμήμα εισαγωγής πλουσιώτερο σε χαμηλές συχνότητες), είτε τέλος στην διαφοροποίηση των επιφανειακών καταγραφών από το φαινόμενο της δυναμικής αλληλοεπίδρασης εδάφους-κατασκευής.

Σχετικά με το κατά πόσο υπάρχει μεταβολή των χαρακτηριστικών της δόνησης κατά μήκος του άξονα Β-Ν (Παληά Πόλη-Κολυμβητήριο-Παραλία) παρατηρούμε το εξής: Η συχνότητα συντονισμού μετατοπίζεται σταδιακά από τιμές $f \gg 5\text{Hz}$ στο βόρειο τμήμα προς τιμές $f \leq 2,5\text{ Hz}$ όσο πλησιάζουμε στην παραλία. Το γεγονός αυτό βρίσκεται σε συμφωνία τόσο με τα αποτελέσματα της προγενέστερης μελέτης της εδαφικής απόκρισης με μοντέλο μονοδιάστατης ανάλυ-

σης, όσο και με τις παρατηρήσεις από το μέγεθος, την κατανομή και το είδος των ζημιών κατά τον σεισμό της 13ης Σεπτεμβρίου 1986. Συγκεκριμένα στην παραλία η συχνότητα συντονισμού $f_m(x)$ είναι περίπου 1,5 Hz ενώ στην παλιά πόλη 6 Hz, με αντιστοιχούς μέγιστους συντελεστές φασματικής ενίσχυσης της τάξης του 2,6.

Σε γενικές γραμμές από το δεύτερο αυτό σκέλος της μελέτης συμπεραίνουμε ότι πράγματι στο βόρειο τμήμα της πόλης είχαμε κραδασμούς σε συχνότητες σαφέστατα μεγαλύτερες από 3 Hz (ιδιοπερίοδος των κτιρίων της περιοχής $0,1 \pm 0,3$ sec) ενώ στο νότιο τμήμα της πόλης οι μέγιστες τιμές παρουσιάσθηκαν σε συχνότητες $f=1,7$ Hz (ιδιοπερίοδος μοντέρνων 4όροφων-5όροφων κτιρίων από Ω.Σ. $T=0,4 \pm 0,5$ sec).

Όσον αφορά την μέγιστη ένταση της δόνησης δεν φαίνεται να διαφοροποιείται ουσιαστικά από θέση σε θέση.

5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το γενικό συμπέρασμα της ερευνητικής αυτής προσπάθειας θα μπορούσε να συνοψισθεί εις το ότι η επιρροή του μηχανισμού διάρρηξης δεν ήταν ιδιαίτερα αποφασιστικής σημασίας και ότι η μέγιστη ένταση της δόνησης (στο βραχώδες υπόβαθρο) ήταν περίπου ομοιόμορφη σ' όλη την πόλη, εμφανίζοντας όμως τα μέγιστα σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων από θέση σε θέση.

Εάν αποδεχθούμε το συμπέρασμα αυτό τότε αναδεικνύεται η πολύ μεγάλη σημασία:

- α. των καθαρά τοπικών εδαφικών συνθηκών
- β. της αλληλοεπίδρασης εδάφους-κατασκευής (ώστε να εξηγηθούν πληρέστερα οι διαφορές στις καταγραφές Νομαρχίας και Π.ΟΤΕ)
- γ. του συγκεκριμένου τρόπου δόνησης και της γενικής κατάστασης των κτιρίων της Καλαμάτας πριν τον σεισμό.

Το συμπέρασμα όμως αυτό είναι μάλλον πρόωρο να βγει από την μελέτη αυτή, που όμως αποδείχθηκε πολύ αξιόπιστη, αν λάβει κανείς υπόψη του την συνθετότητα των παραμέτρων που επεμβαίνουν, και τις αναγκαστικές υποθέσεις και απλουστεύσεις.

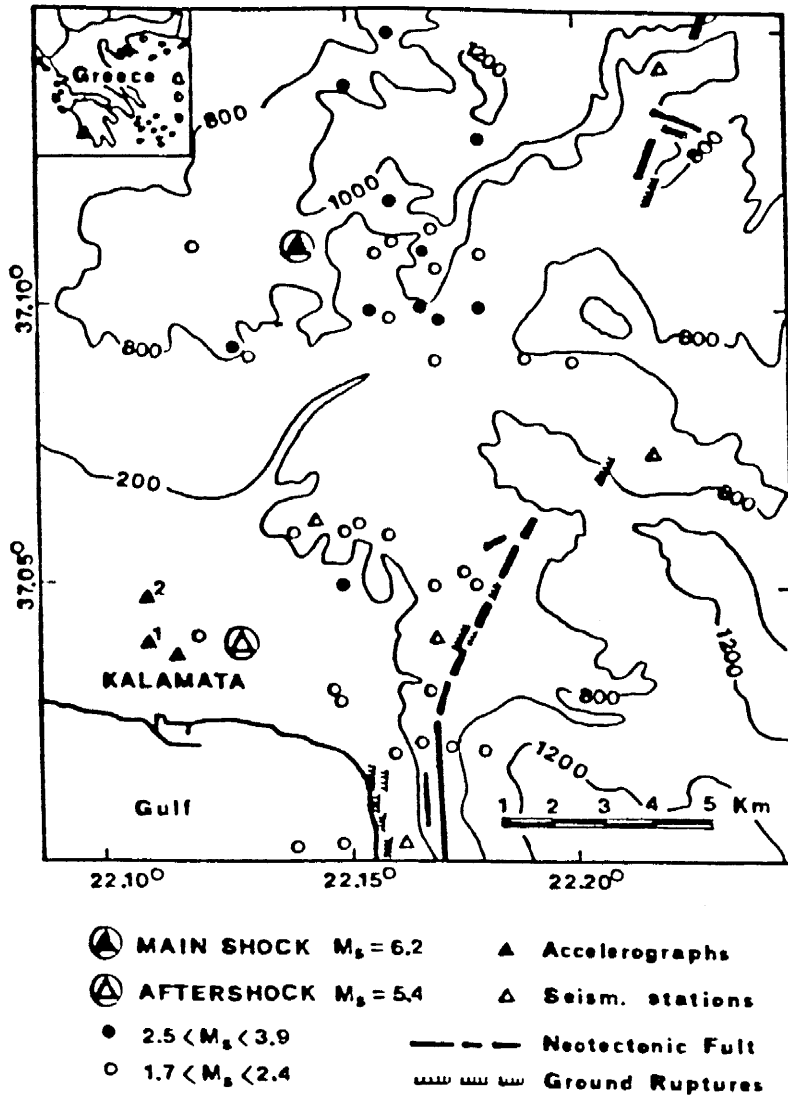
Προκειμένου τα παραπάνω συμπεράσματα να θεωρηθούν σαν οριστικά, κρίνεται σκόπιμο να συνεχισθεί στο μέλλον η μελέτη πάνω στους εξής άξονες:

- Να μελετηθεί πληρέστερα ο μηχανισμός θραύσης και η προσομοίωσή του, πράγμα που απαιτεί ανάλογες με την παρούσα παραμετρικές μελέτες, για όλη την σεισμική ακολουθία, και ειδικά για τους μετασεισμούς που διαθέτουμε καταγραφές τόσο μέσα στην πόλη όσο και μακριά από αυτήν. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαδοχικών αυτών μελετών θα εξηγήσει πολλά σημεία και θα δώσει κάποιες οριστικές απαντήσεις σε βασικά ερωτήματα, όπως αυτό που αφορά την διαφορά των καταγραφών σε διάφορες θέσεις.
- Να μελετηθούν πληρέστερα τα δυναμικά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα η απόσβεση των επιφανειακών εδαφικών σχηματισμών, καθώς σε όλες τις μελέτες, τόσο τις προηγούμενες όσο και τις τωρινές η απόσβεση των εδαφικών σχηματισμών εκτιμάται ουσιαστικά εμπειρικά. Παράλληλα, πρέπει να εκτιμηθούν και οι ταχύτητες διάδοσης των κυμάτων στα ενδιάμεσα στρώματα (50±60 εκ. ως τα 2 Km).

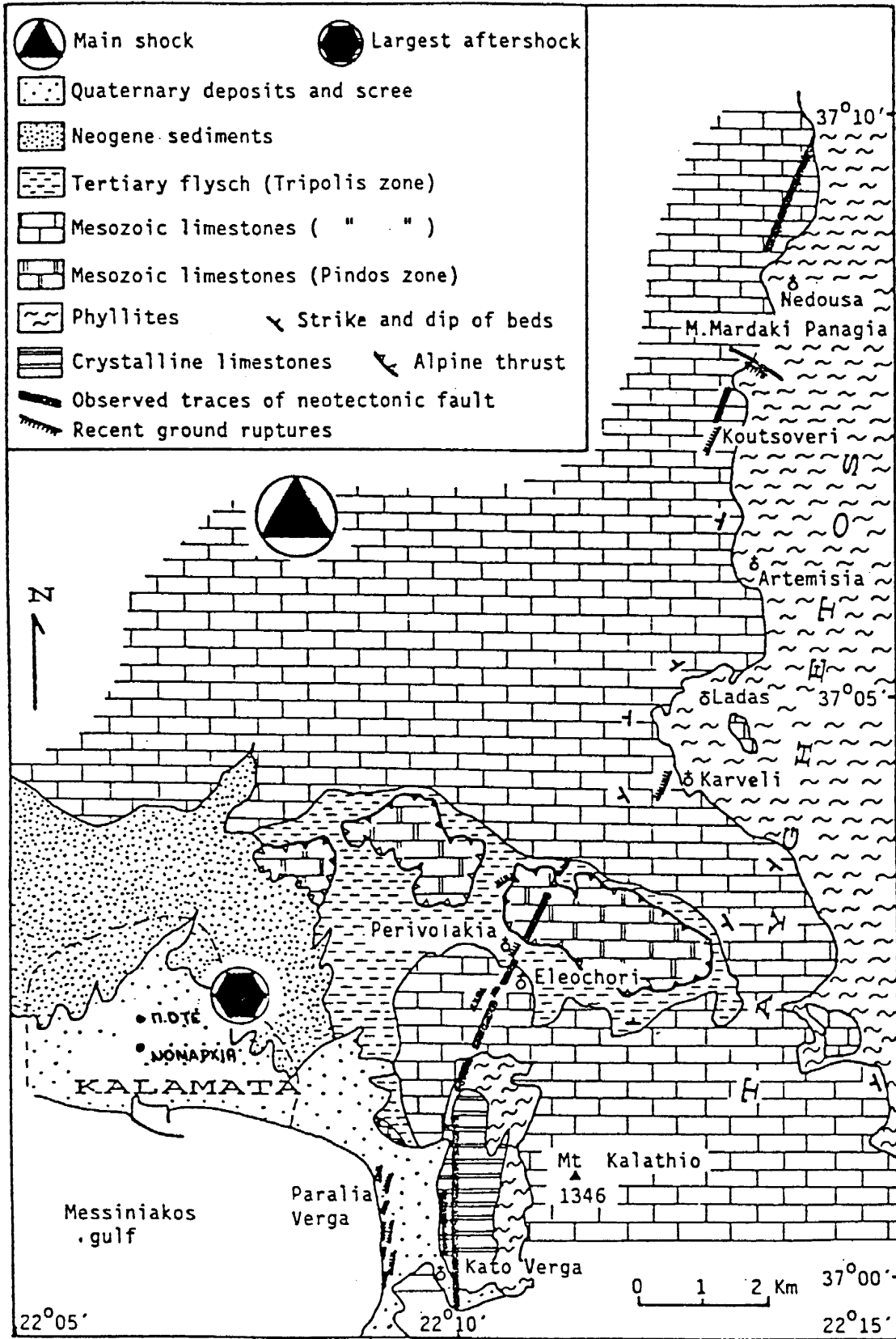
ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ -ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Το σύνολο των μέχρι σήμερα ερευνών πάνω στην Μικροζωνική Μελέτη της Καλαμάτας.
2. Papazachos, et als (1988): "Surface fault tracs, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of the September 13, 1986 earthquake of Kalamata (Southern Greece)", Pageoph, Vol. 126, 4.
3. Lyon, Caen, Armijo, Drakopoulos, Baskoutas, Delibassis, Caulon, Kouskouna, Latoussakis, Makropoulos, Papadimitriou, Papanastassiou and Pedotti (1988): "The 1986 Kalamata (South Peloponnessus) Earthquake: detailed study of a normal fault and sentaine implications". Υποβλήθηκε στο J.G.R., Νοέμβριος 1987.
4. Papageorgiou and Aki (1983): "A specific barriers model for the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion, I & II", B.S.S.A 73, p.p. 693-721.
5. Bouchon, (1981): "A simple method to calculate Green's function for elastic layered media", B.S.S.A. 71, 959-971.
6. Campillo et Bouchon (1983), "A theoretical study of the radiation from small strike-slip earthquakes at close distances", B.S.S.A. 73, p.p. 83-96.
7. Géli (1985): "Propagation d'ondes sismiques dans les formations superficiels: Effet d'une géometrie complexe et influence de la saturation en eceu", Thèse de Doctorat de l'U.S.M.G., Grenoble.

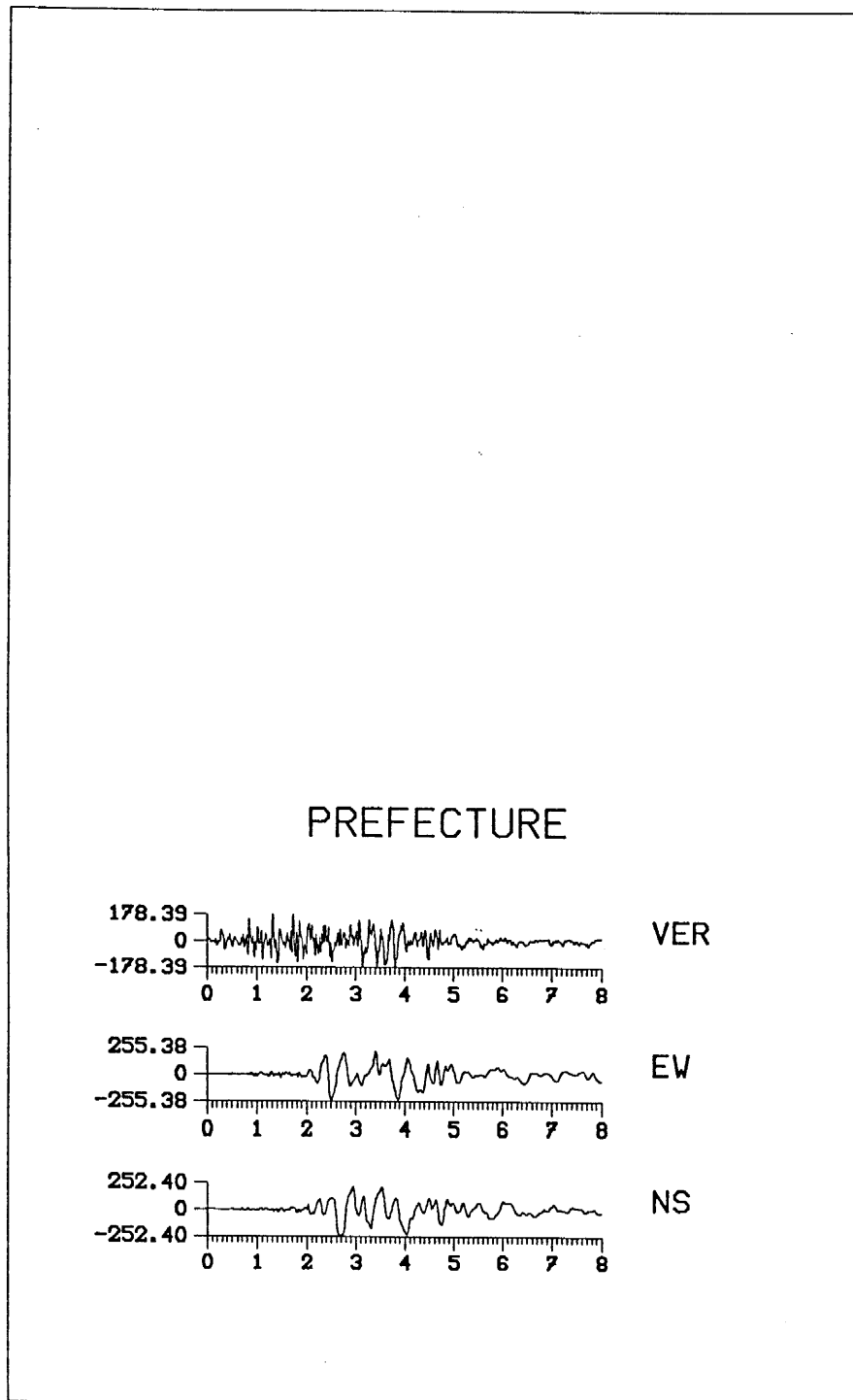
Σ Χ Η Μ Α Τ Α



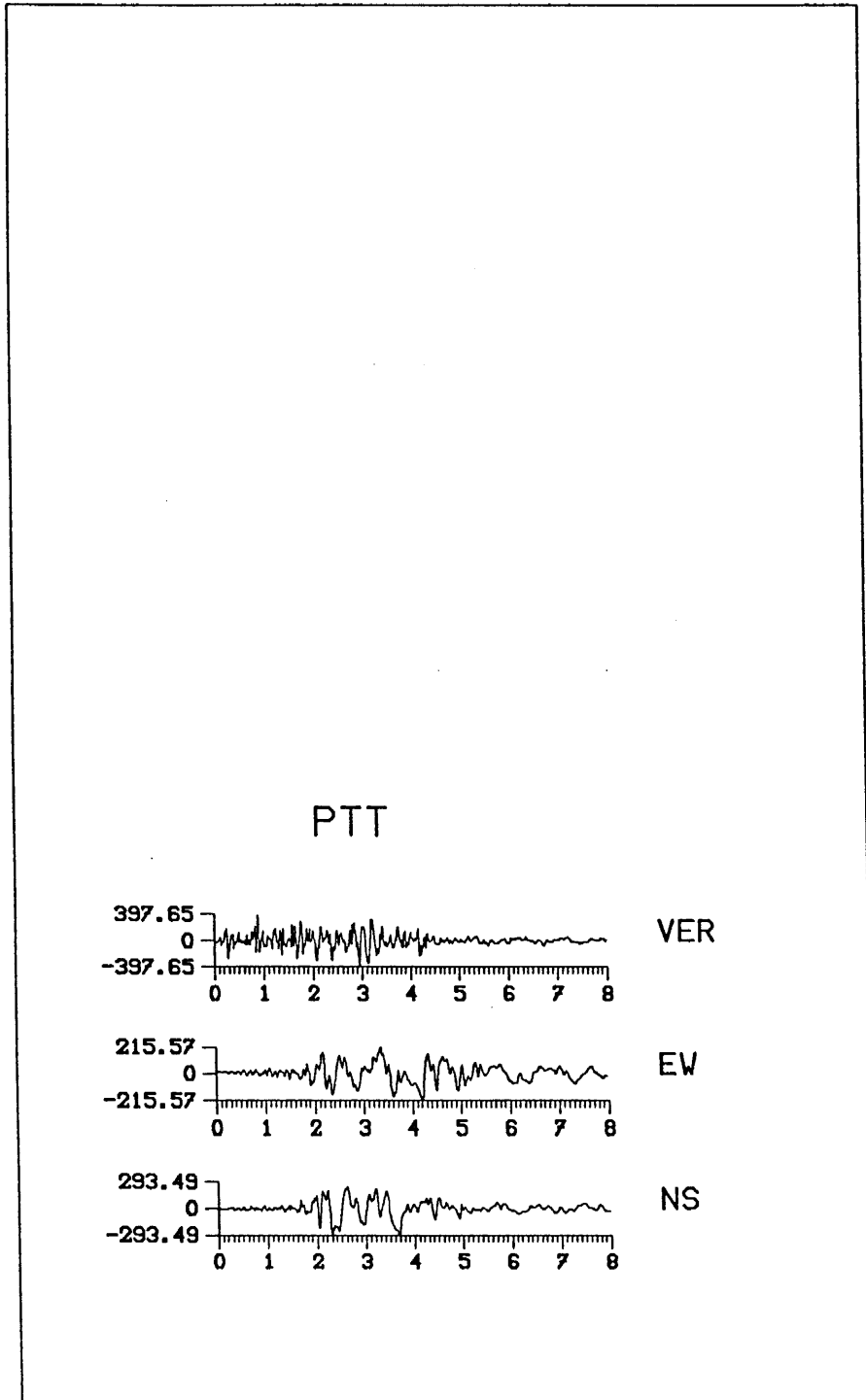
Σχήμα 1: Επίκεντρα σεισμικής ακολουθίας Σεπτεμβρίου 1986 (Papazachos et al, 1988)



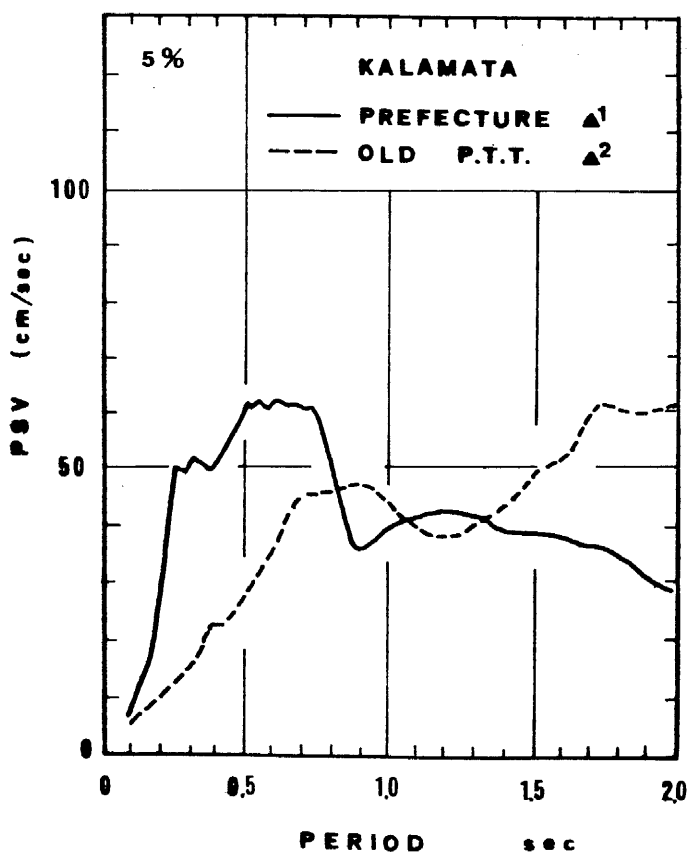
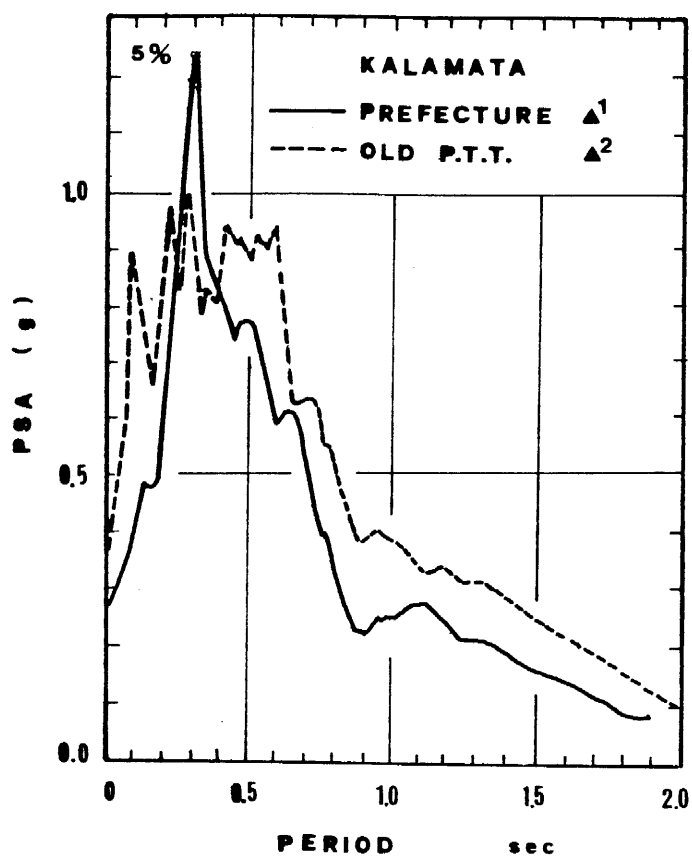
Σχήμα 2: Γεωλογία της περιοχής



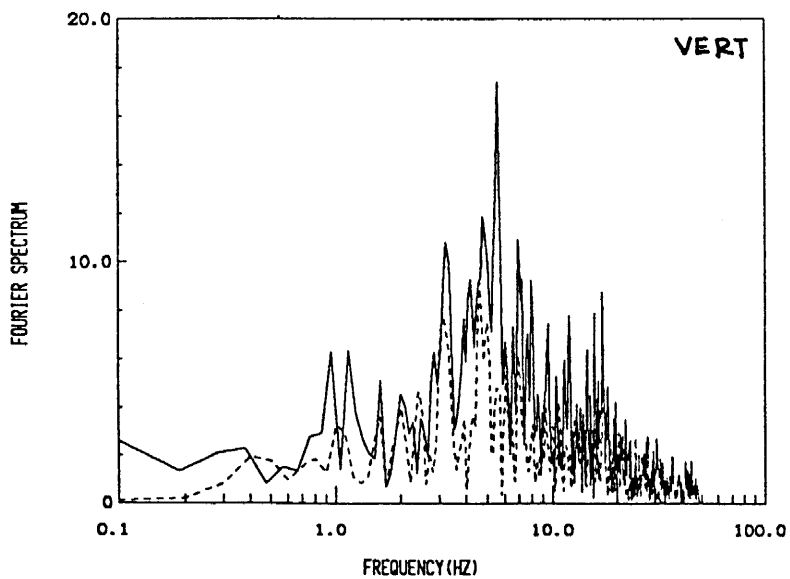
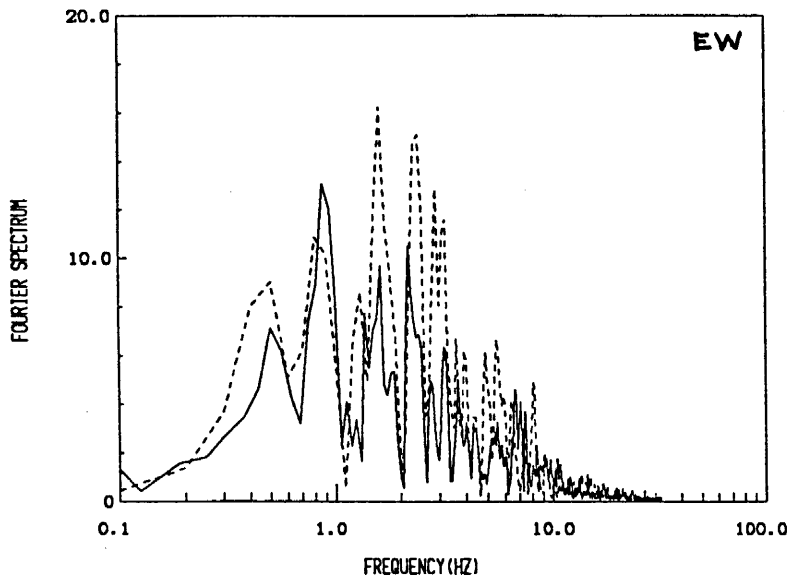
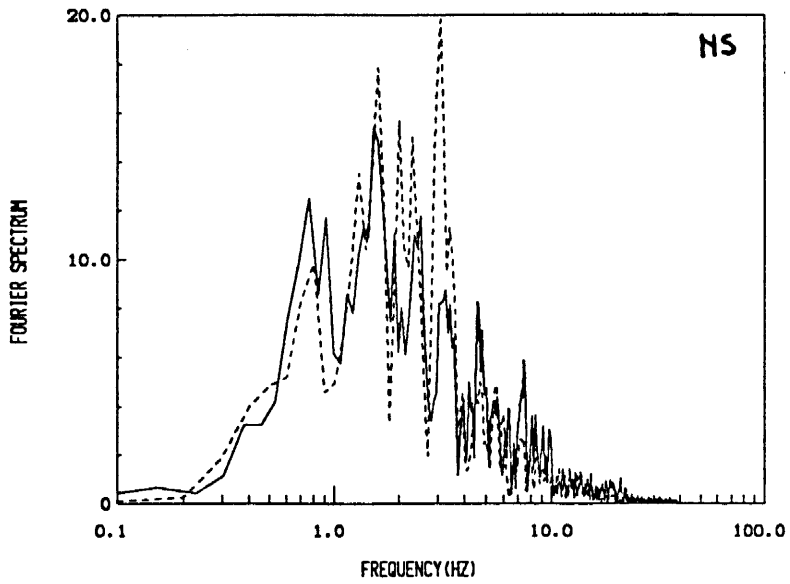
Σχήμα 3α: Καταγραφή Νομαρχίας (ΙΤΣΑΚ)
Ψηφιοποίηση ENEA, διορθώσεις, φιλτράρισμα ΙΤΣΑΚ, στροφή αξόνων L.G.I.T.



Σχήμα 3β: Καταγραφή Π. ΟΤΕ (Εθν. Αστεροσκοπεύο)
"θόρυβοι ψηφιοποίησης" από ΙΤΣΑΚ, διορθώσεις (;) φιλτράρισμα (;)

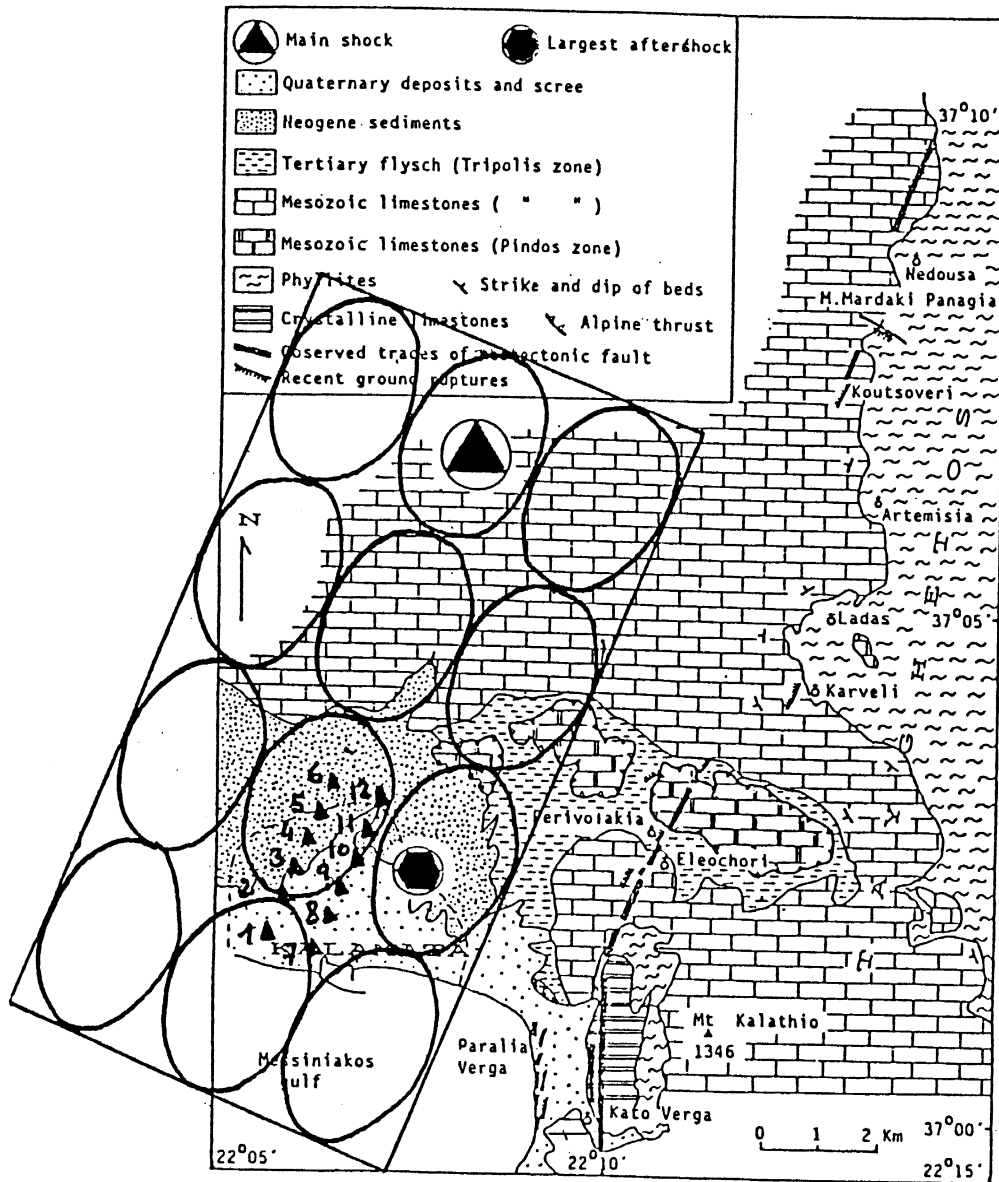


Σχ. 4: Ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης και ταχύτητας

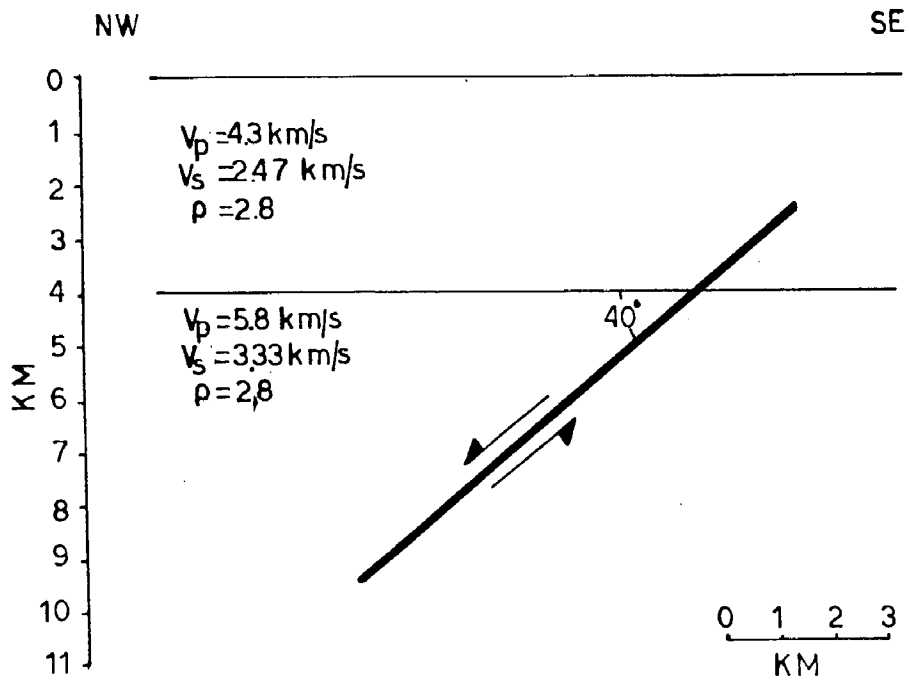


Σχ. 5: Φάσματα Fourier
 (οι κλίμακες είναι ίδιες
 στις δύο καταγραφές, ενώ
 οι απόλυτες τιμές δεν
 ενδιαφέρουν)

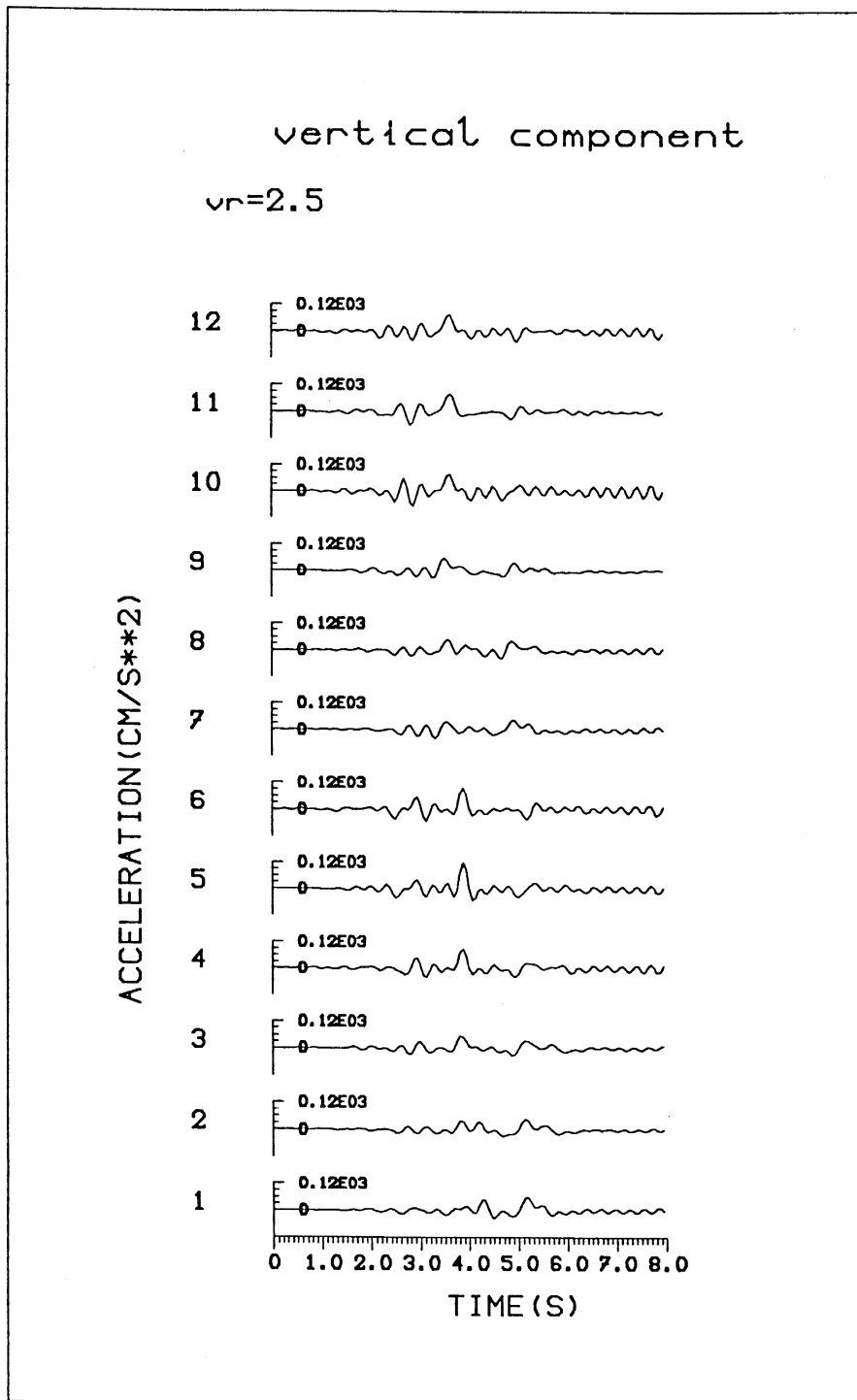
———— Π.Ο.Τ.Ε
 - - - - - ΝΟΜΑΡΧΙΑ



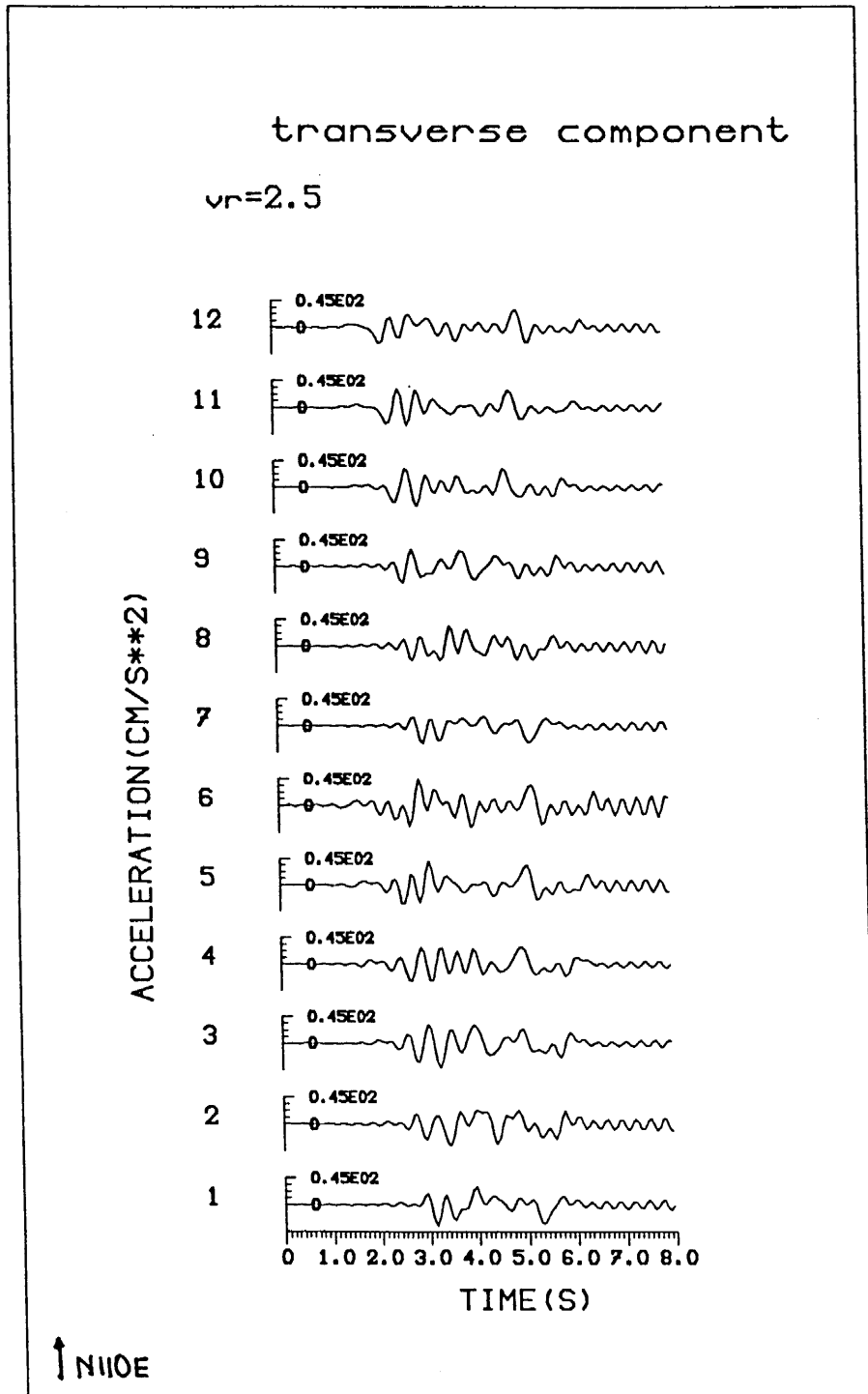
Σχ. 6: Προσομολωση της πηγής (σεισμός 13.9.86)
Γεωμετρία των στοιχειωδών πηγών-Δέκτες 1÷12



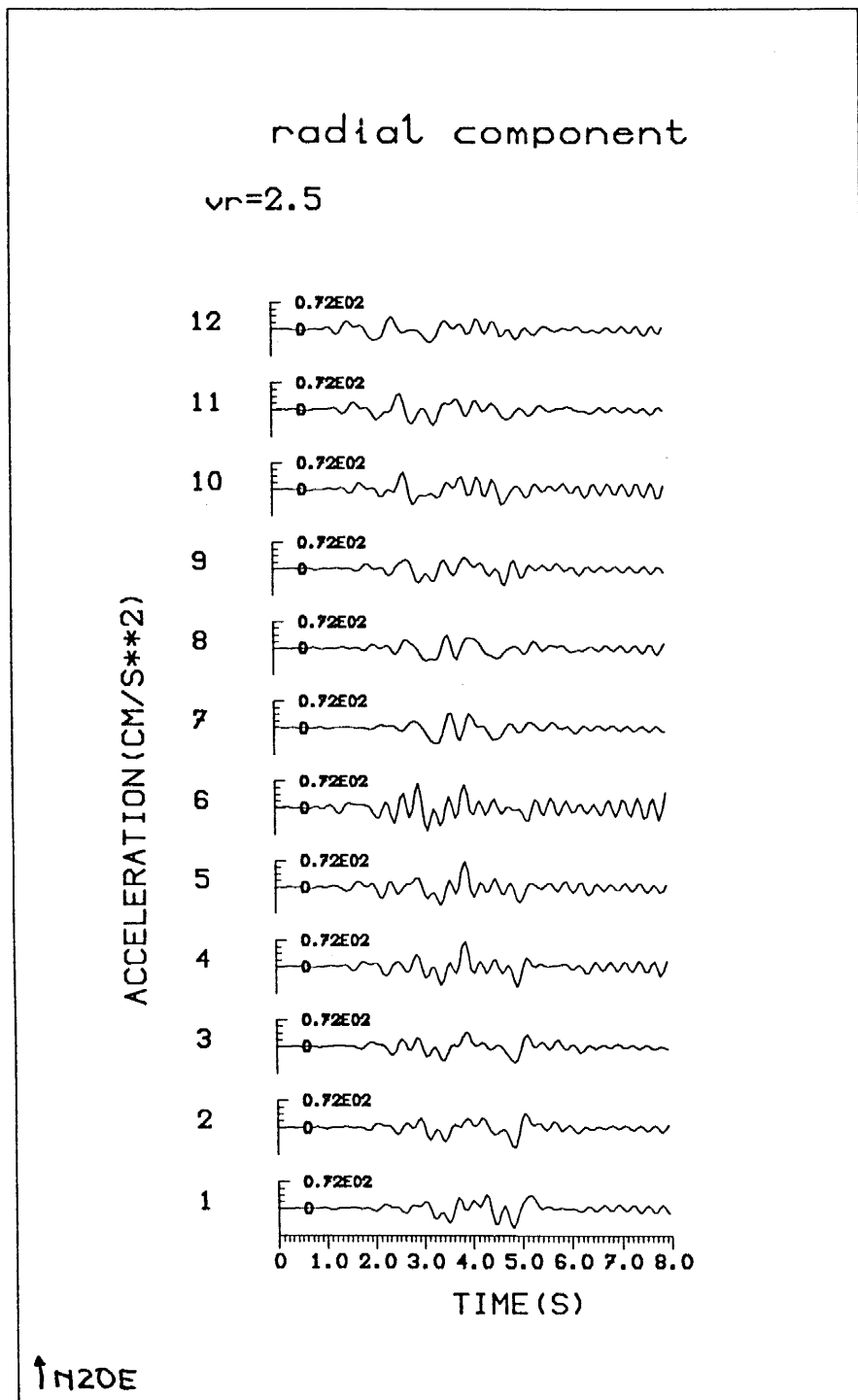
Σχ. 7: Προσομύωση της πηγής (σεισμός 13.9.86)
Εγκάρσια τομή ρήγματος



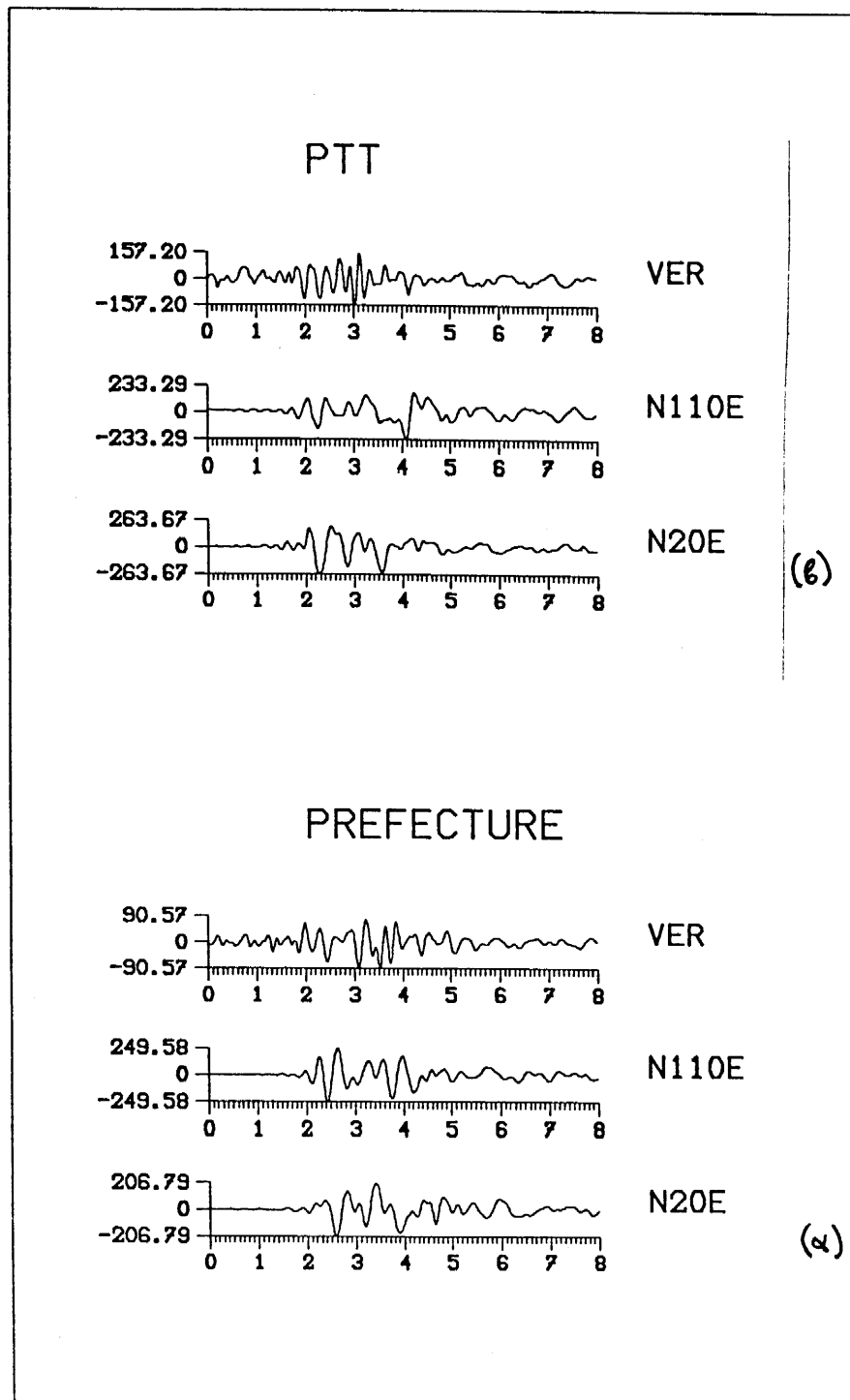
Σχ. 8α: Κατακόρυφη συνιστώσα συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος



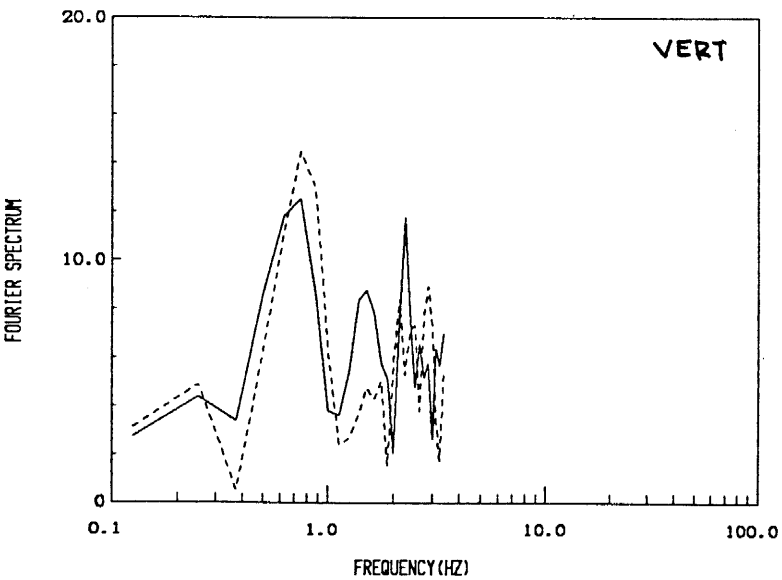
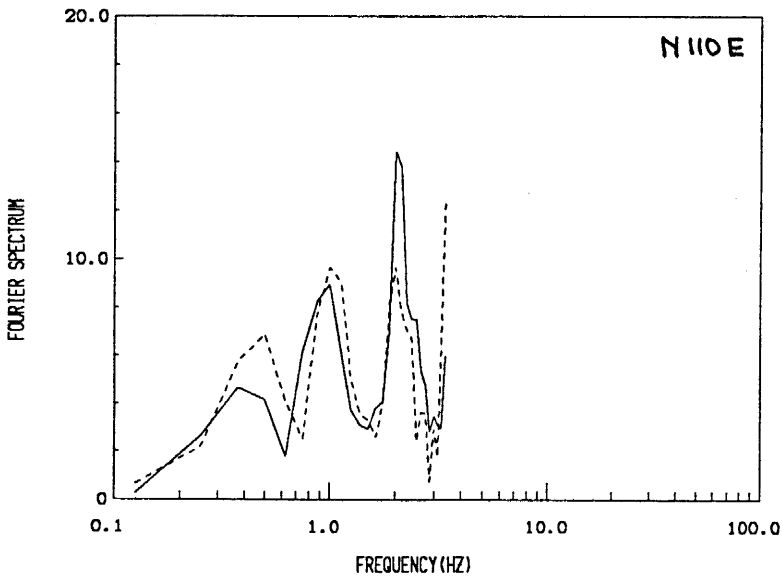
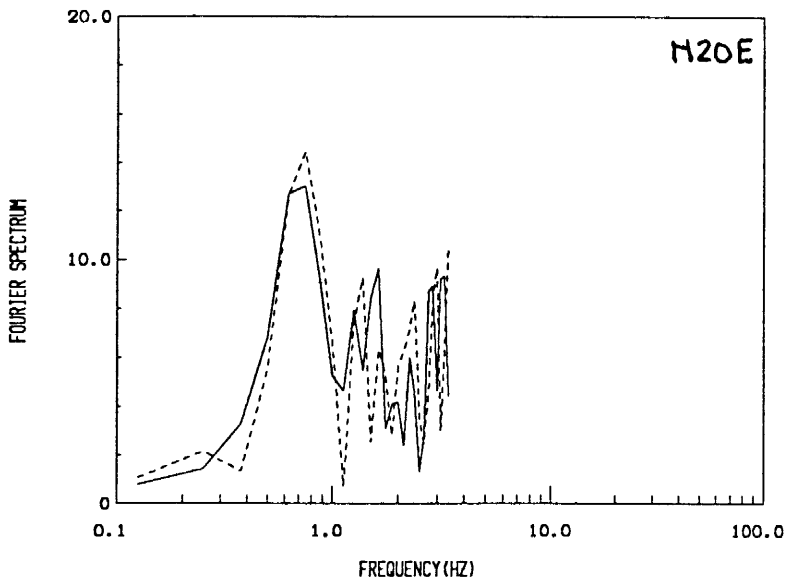
Σχ. 8β: Εγκάρσια συνιστώσα συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος



Σχ. 8γ: Ακτινική συνιστώσα συνθετικού επιταχυνσιογραφήματος

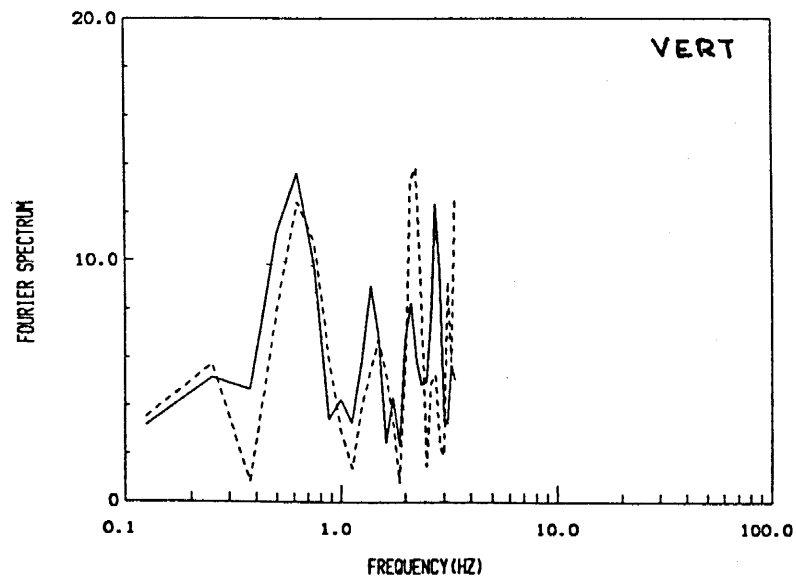
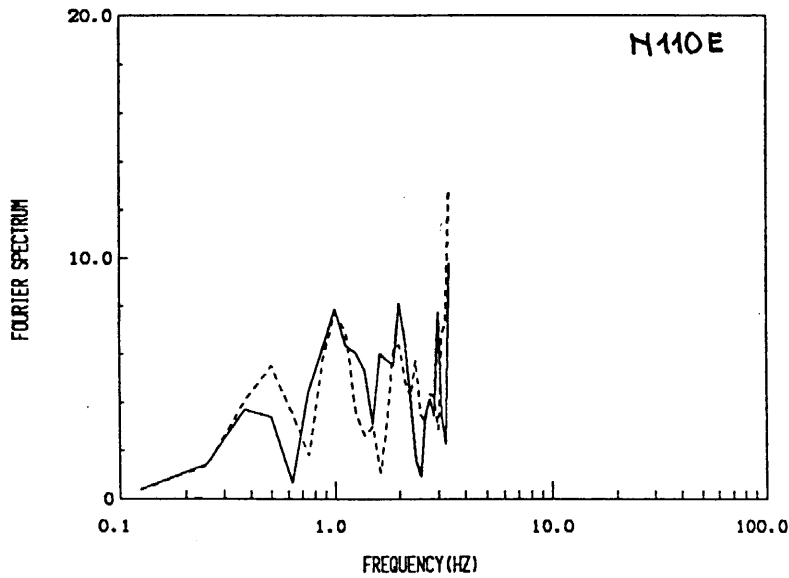
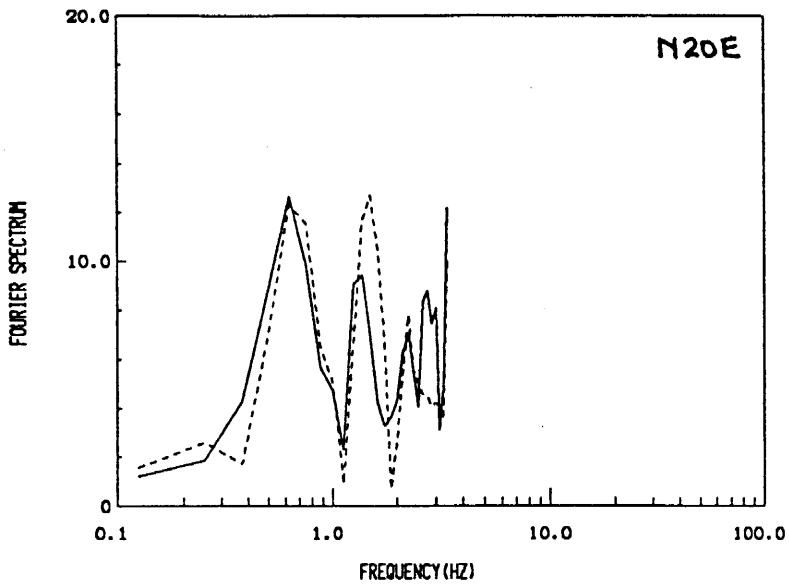


Σχ. 9α,β: Πραγματικές καταγραφές, (13.9.86)
(φιλτράρισμα Butterworth, $f_c=4$ Hz και στροφή αξόνων)



Σχ. 10α: Φάσματα Fourier
(υπολογισμένα,
σημεία 2 και 3)
Απόλυτες κλίμακες
διαφορετικές από
αυτές του σχήματος 5

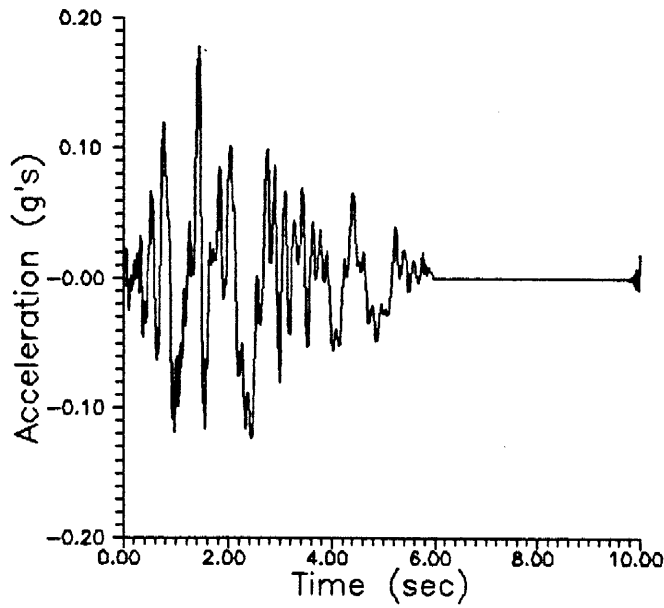
----- Θέση 2 : ΝΟΝΑΡΧΙΑ
————— Θέση 3 : Π.ΟΤΕ



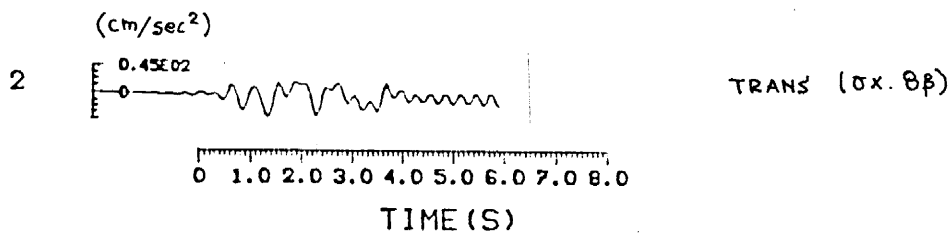
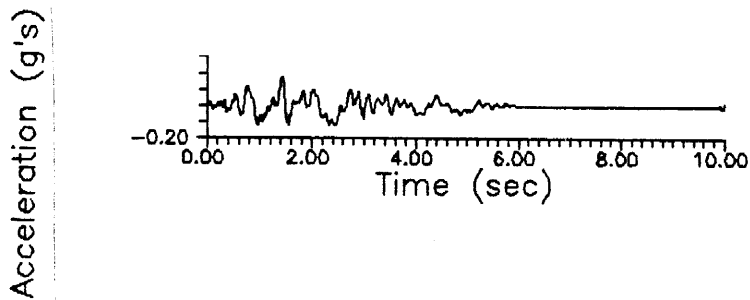
Σχ. 10β: Φάσματα Fourier
(υπολογισμένα,
σημεία 8 και 9)
Απόλυτες κλίμακες
διαφορετικές από
αυτές του σχήματος 5,
ίδιες όμως με του σχή-
ματος 10α

----- Θέση 8 : ΝΟΜΑΡΧΙΑ

————— Θέση 9 : Π.ΟΤΕ

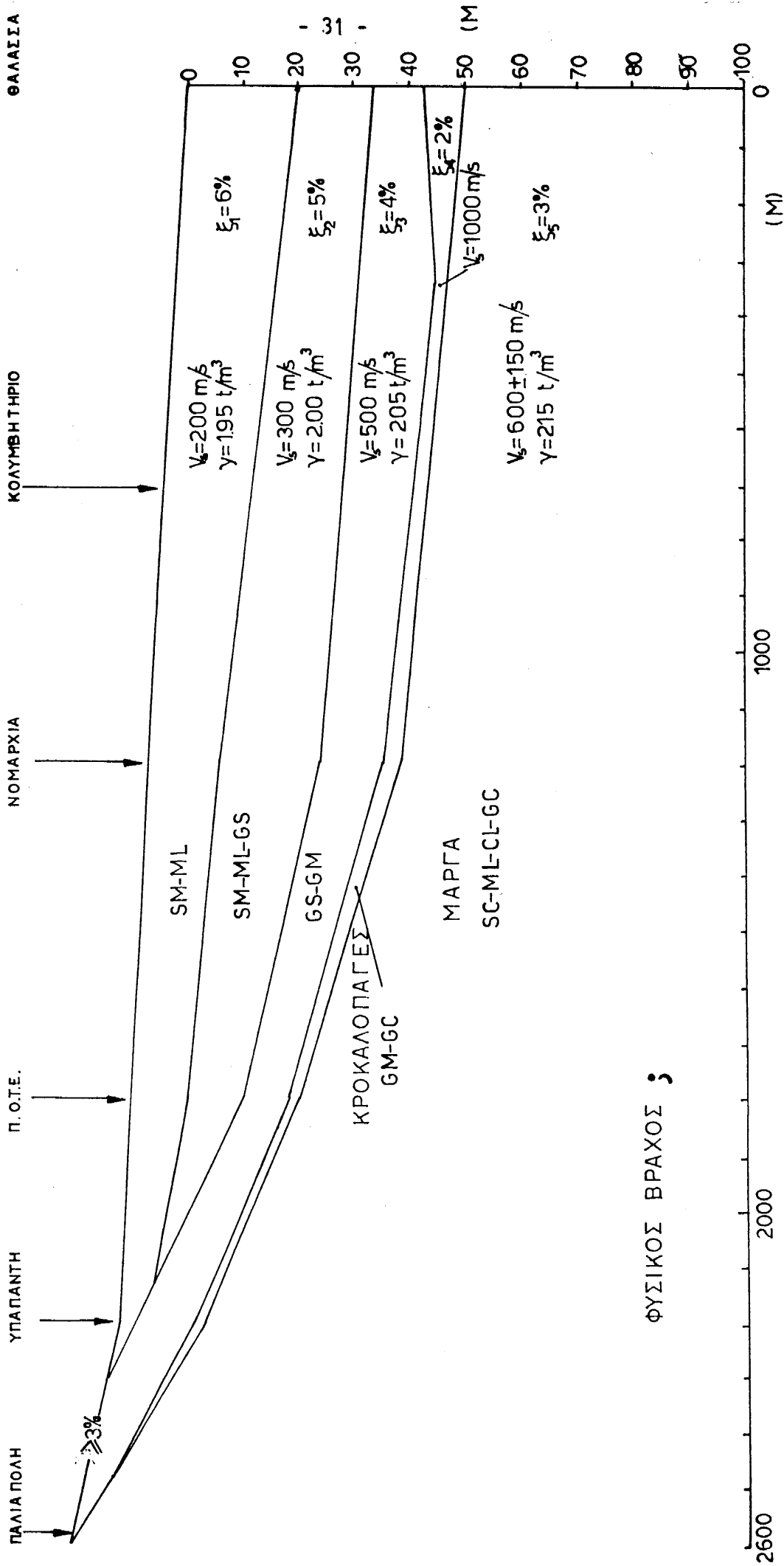


Σχ. 9γ: Τεχνητό επιταχυνσιογράφημα "σεισμού εισαγωγής" στο "θέσει" βραχώδες υπόστρωμα (60m+80m) που χρησιμοποιήθηκε στην προγενέστερη μελέτη εδαφικής απόκρισης (μονοδιάστατη ανάλυση)



Σχ. 11: Σύγκριση δύο συνθετικών επιταχυνσιογραφημάτων: θέση 2 παρούσας μελέτης και επιταχυνσιογράφημα σχήματος 9γ σε διαφορετική κλίμακα

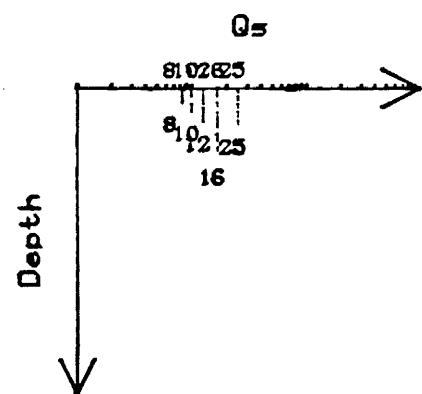
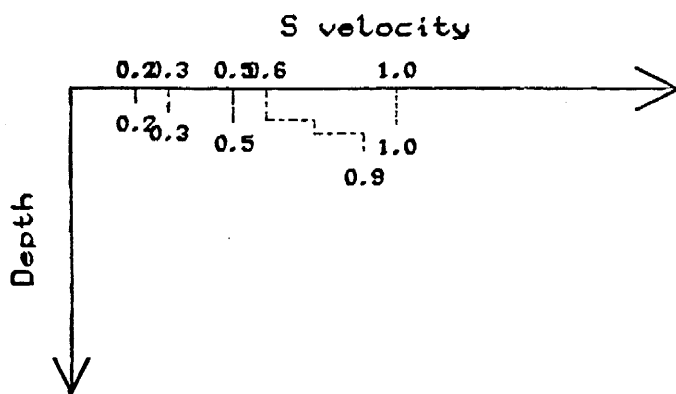
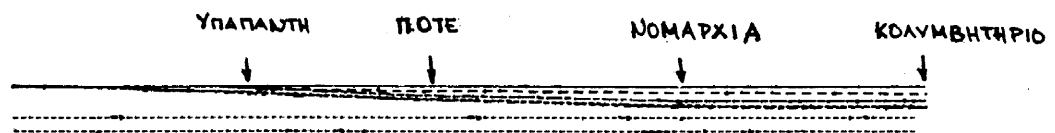
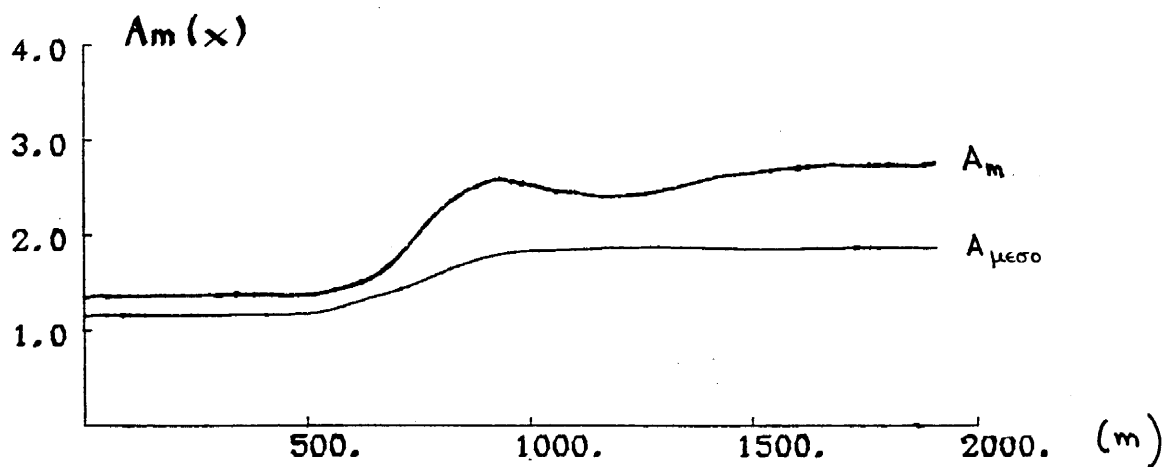
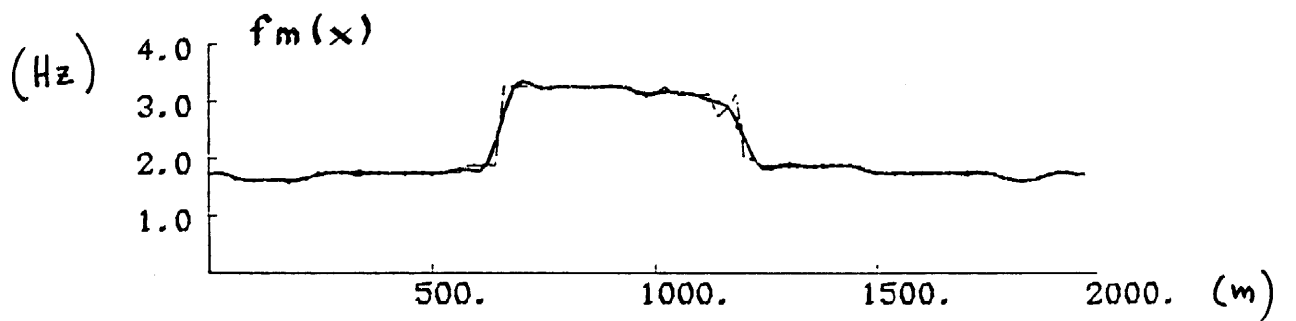
ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΤΟΜΗ (N - s)



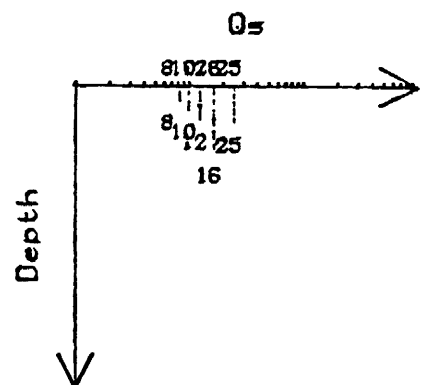
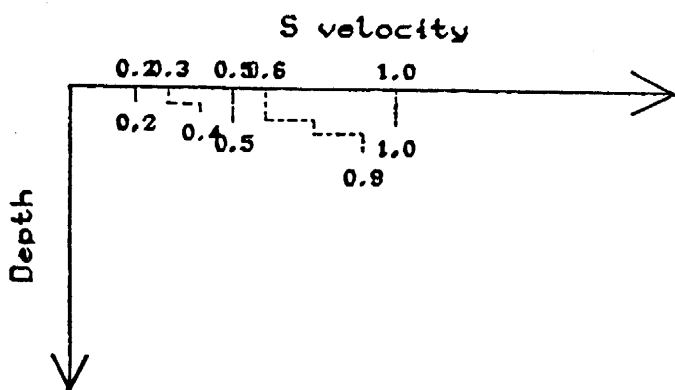
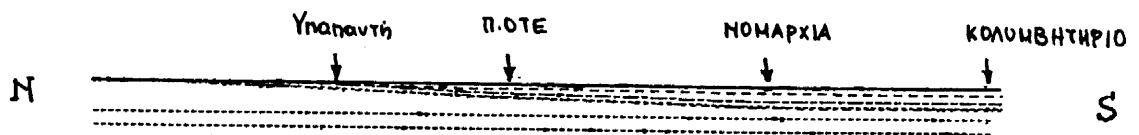
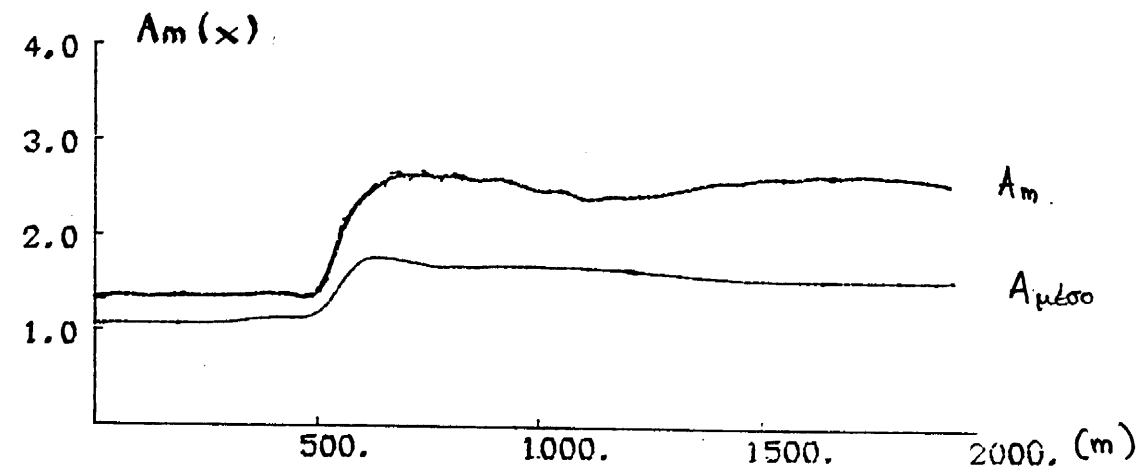
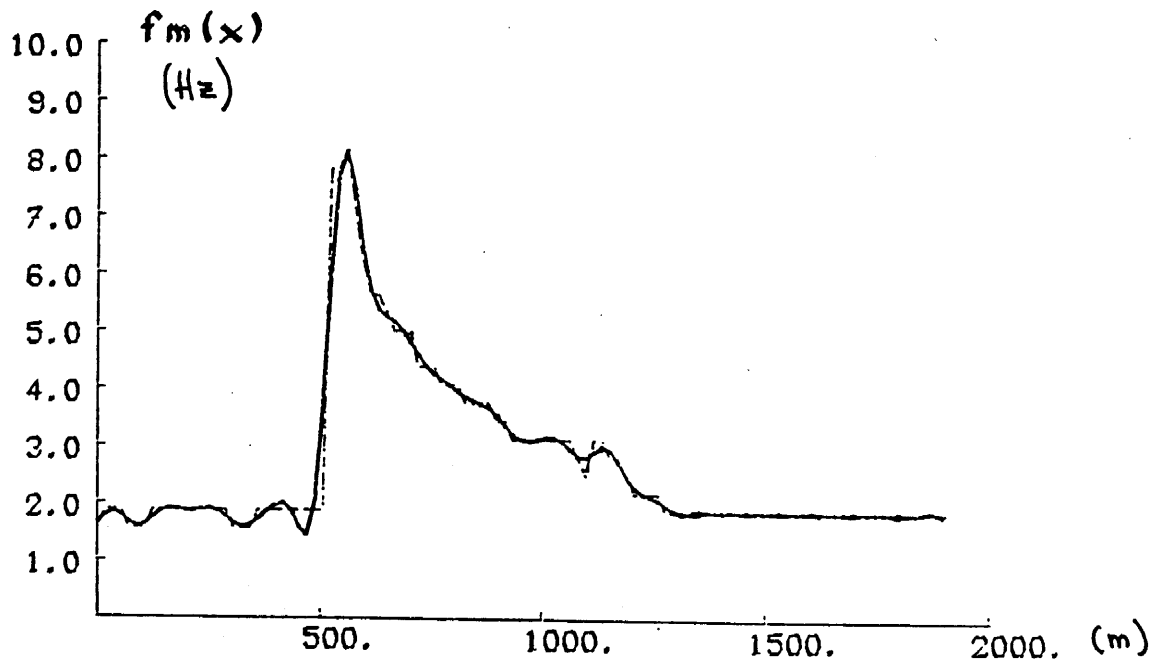
ΦΥΣΙΚΟΣ ΒΡΑΧΟΣ ;

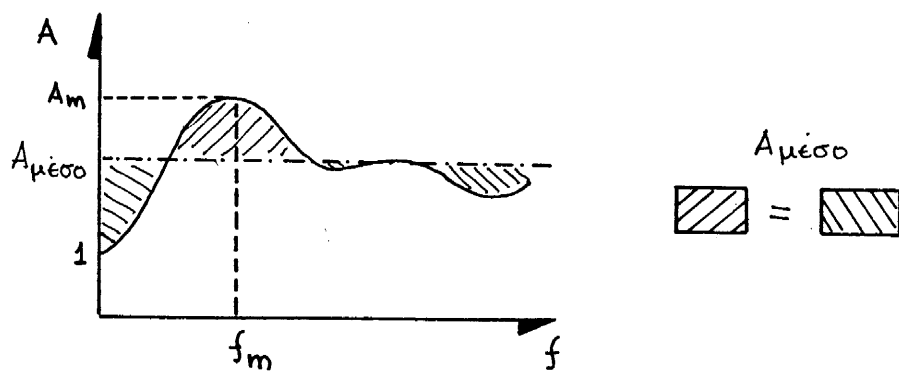
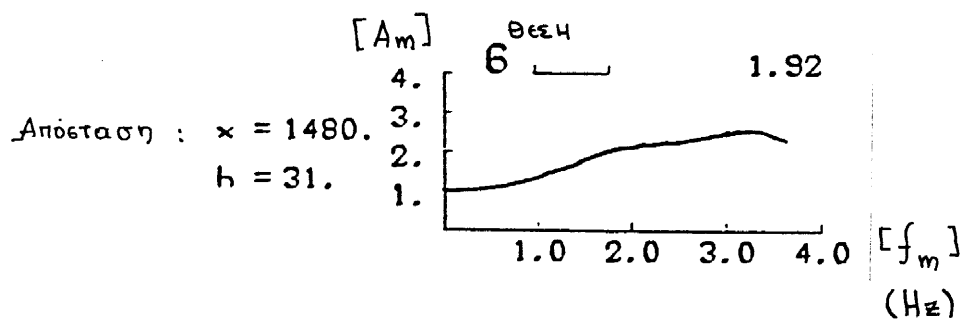
ΣΧΗΜΑ 12

Σχ. 13α: Συναρτήσεις μεταφοράς (0+4 Hz)

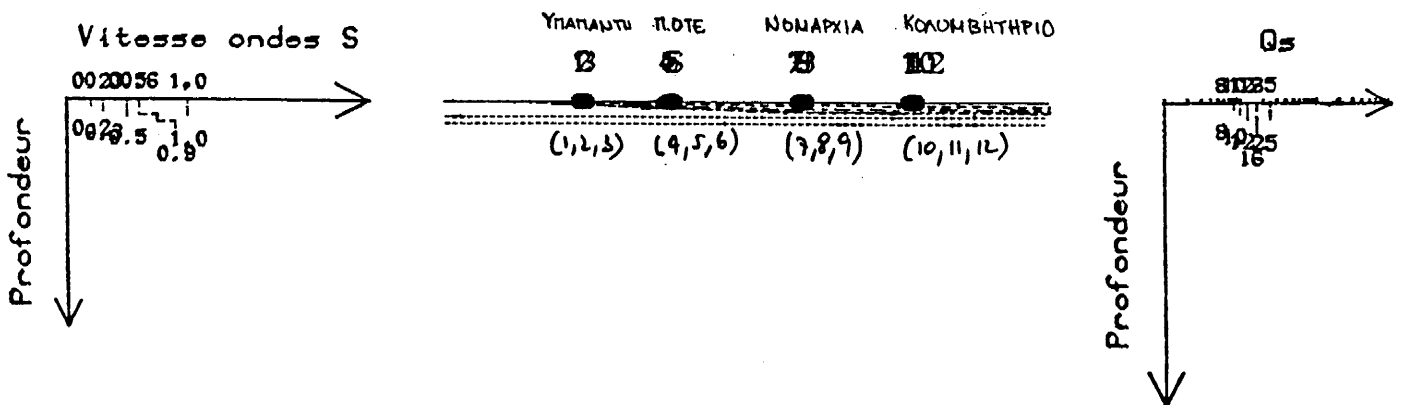
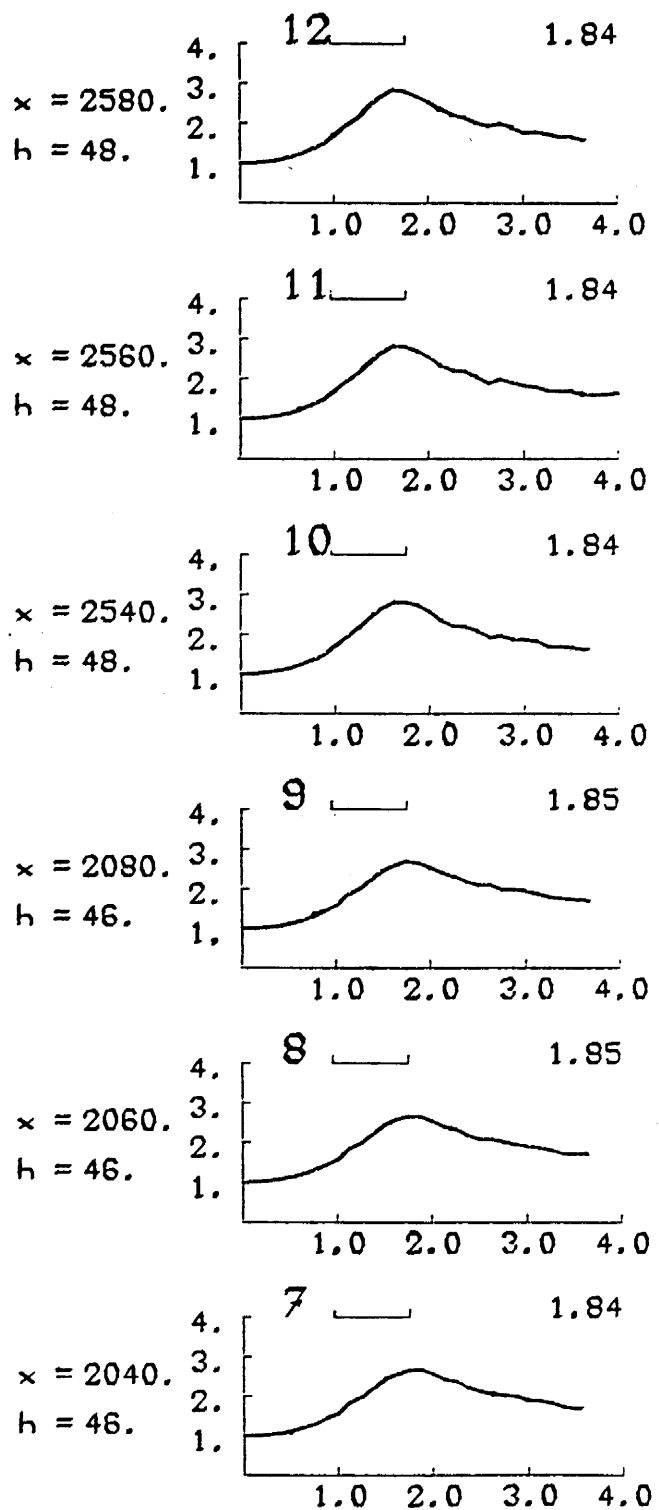
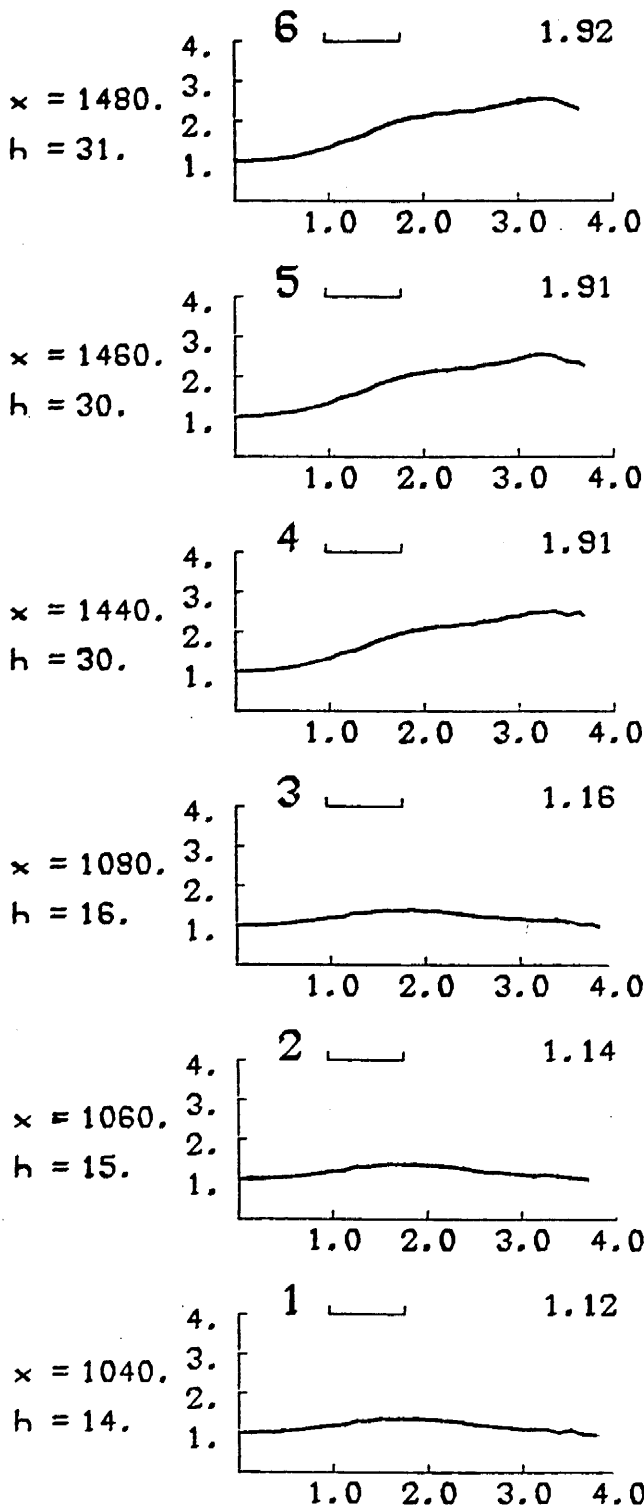


Σχ. 13β: Συναρτήσεις μεταφοράς (0÷10 Hz)

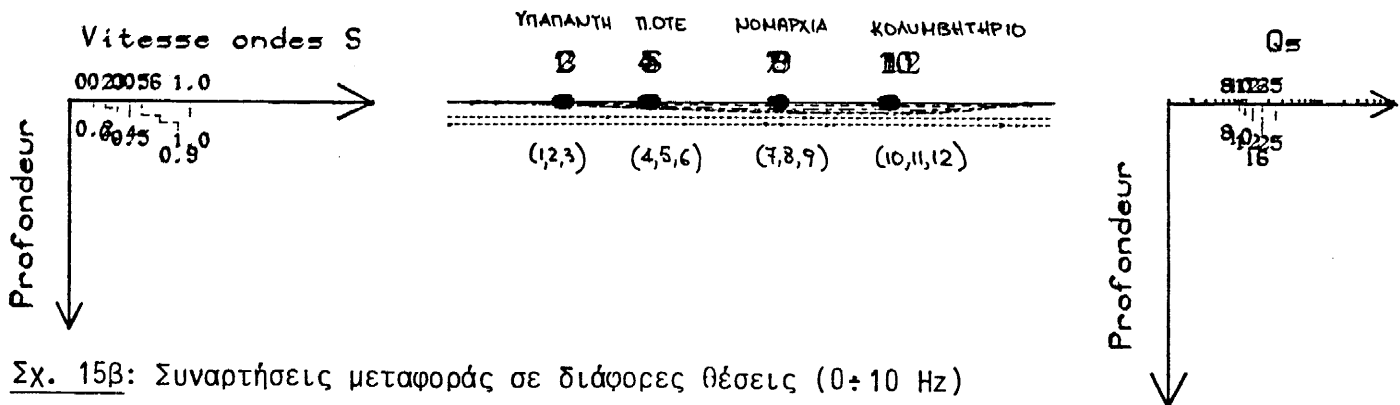
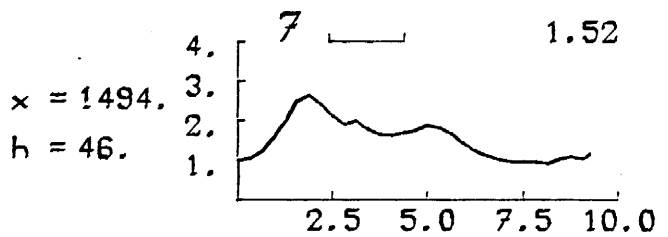
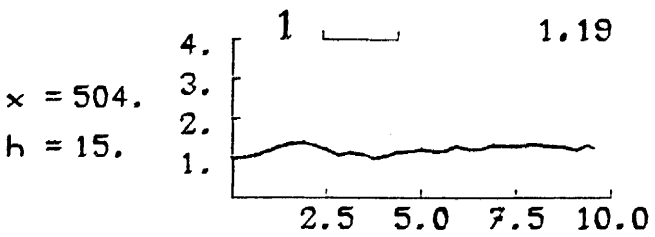
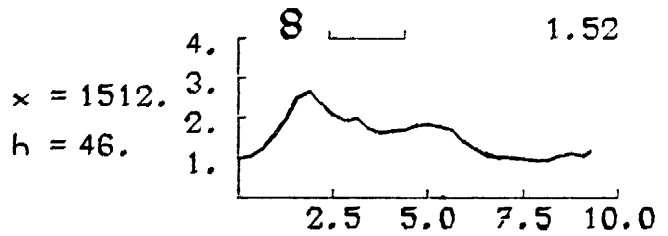
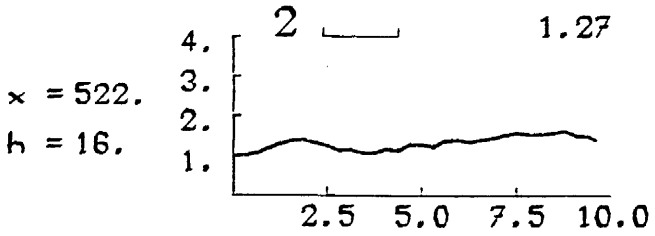
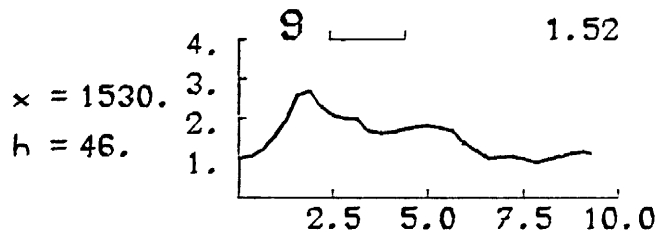
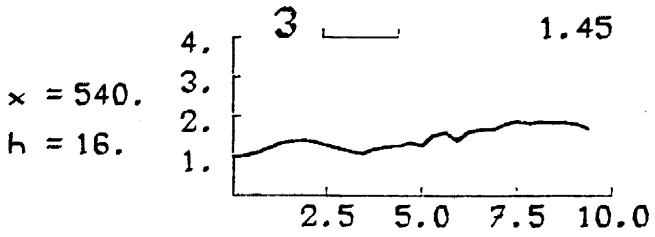
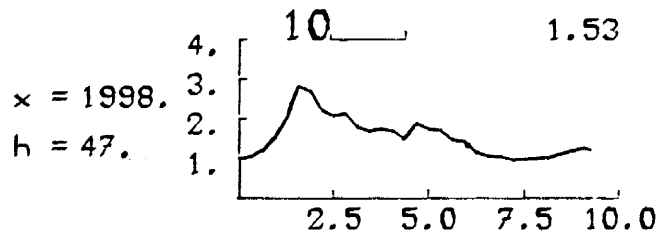
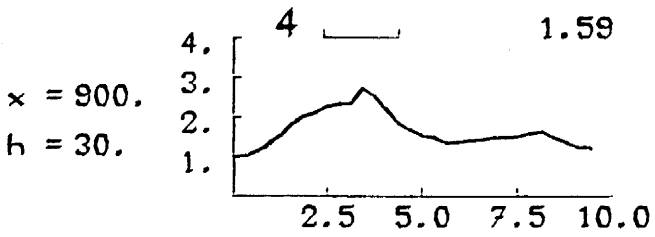
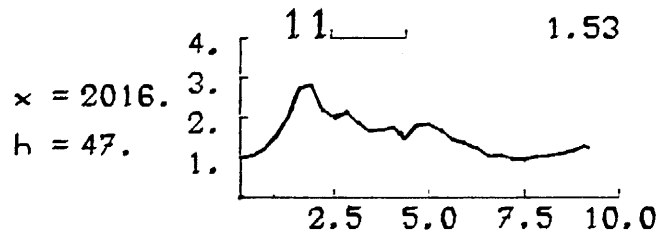
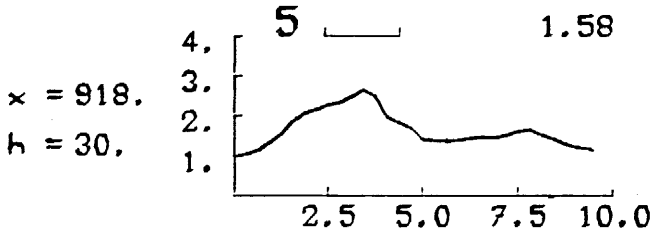
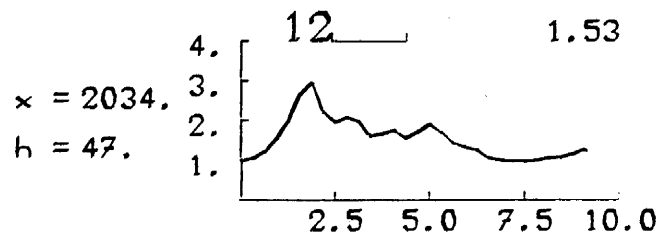
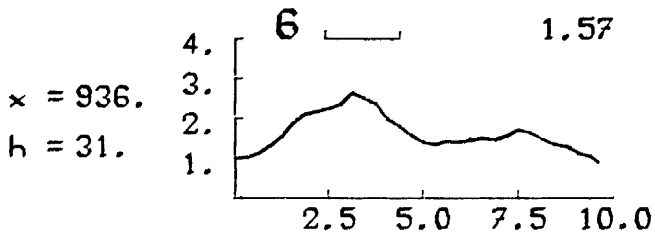




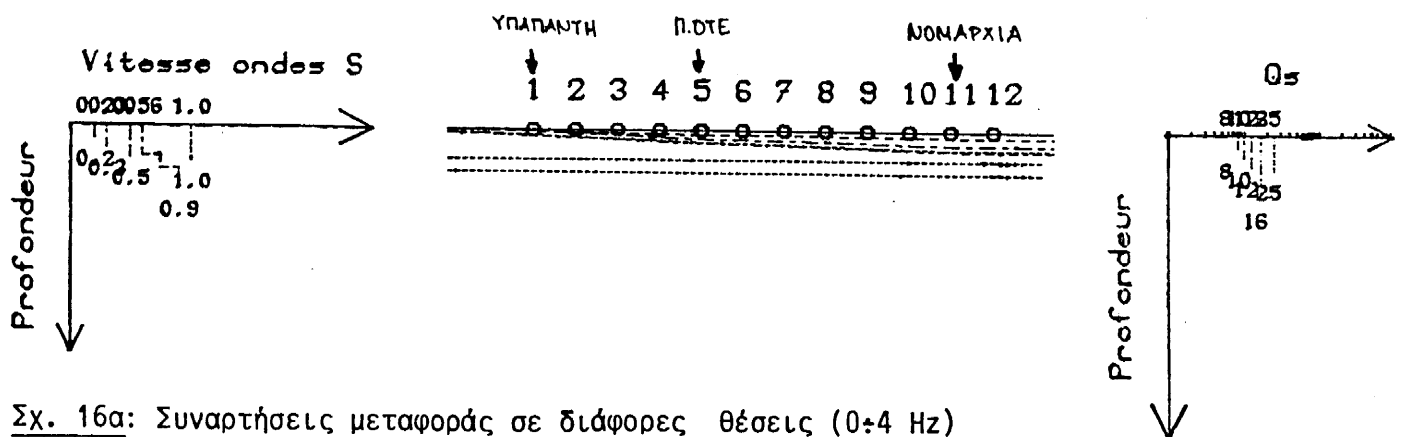
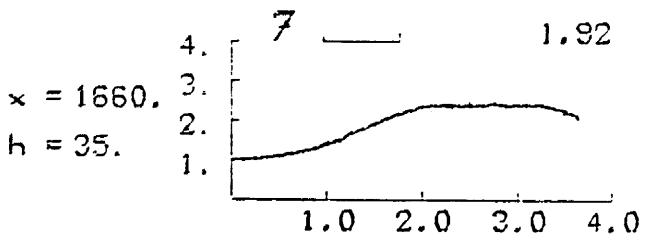
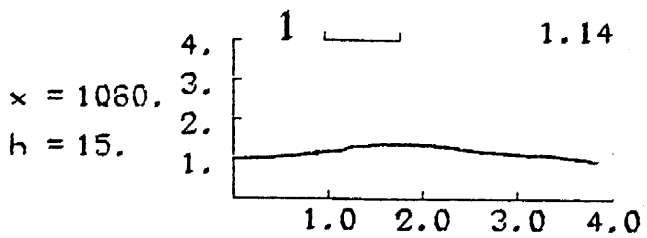
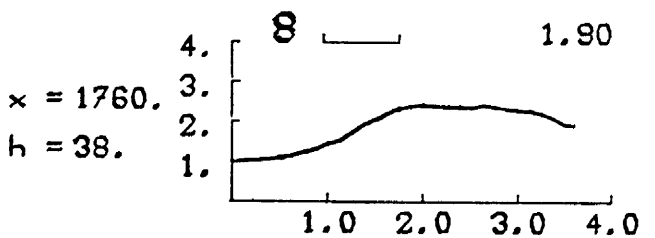
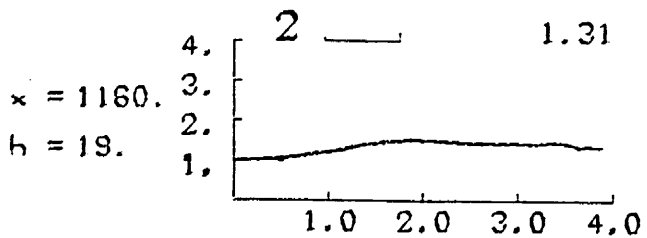
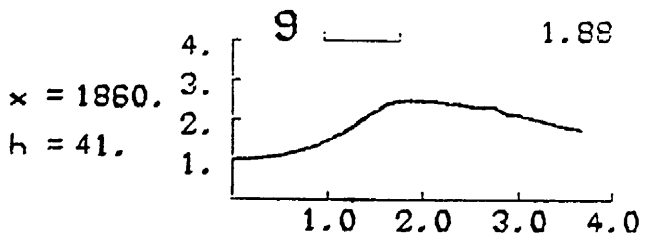
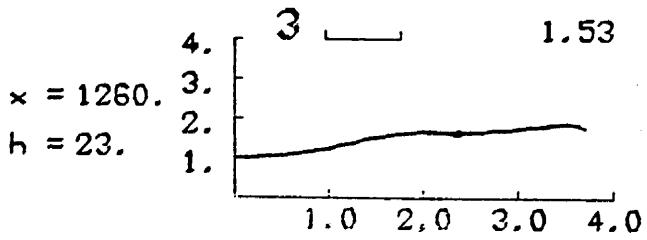
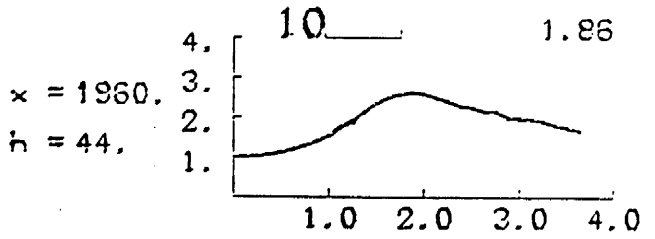
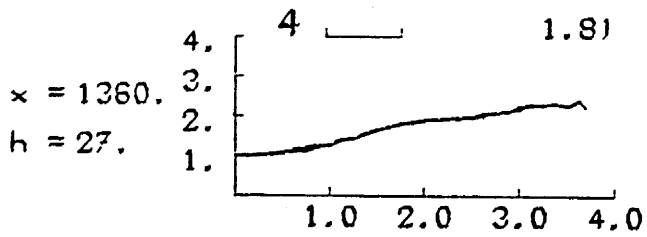
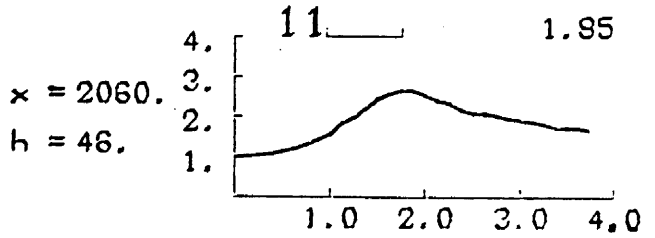
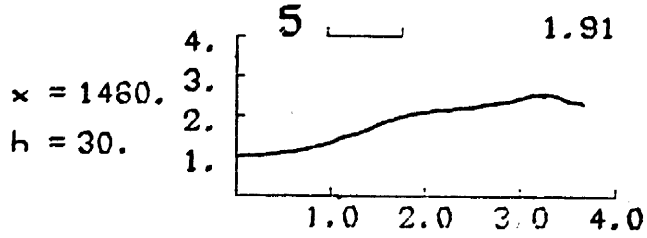
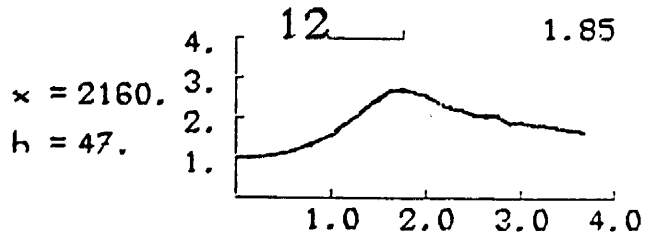
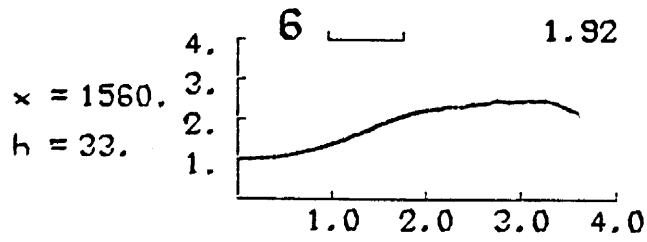
Σχ. 14: Υπόμνημα επεξήγησης σχημάτων και συμβόλων



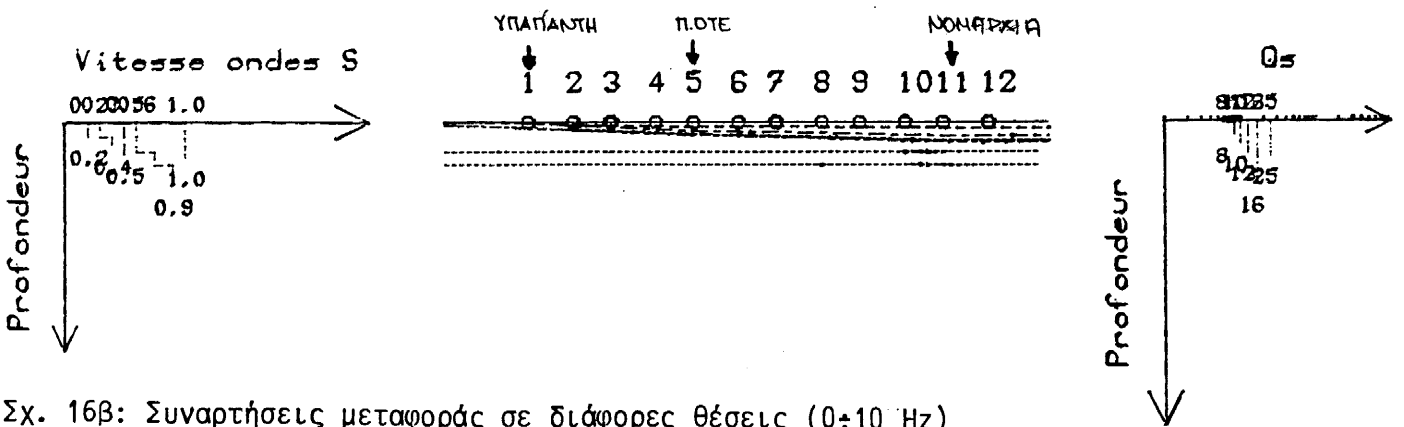
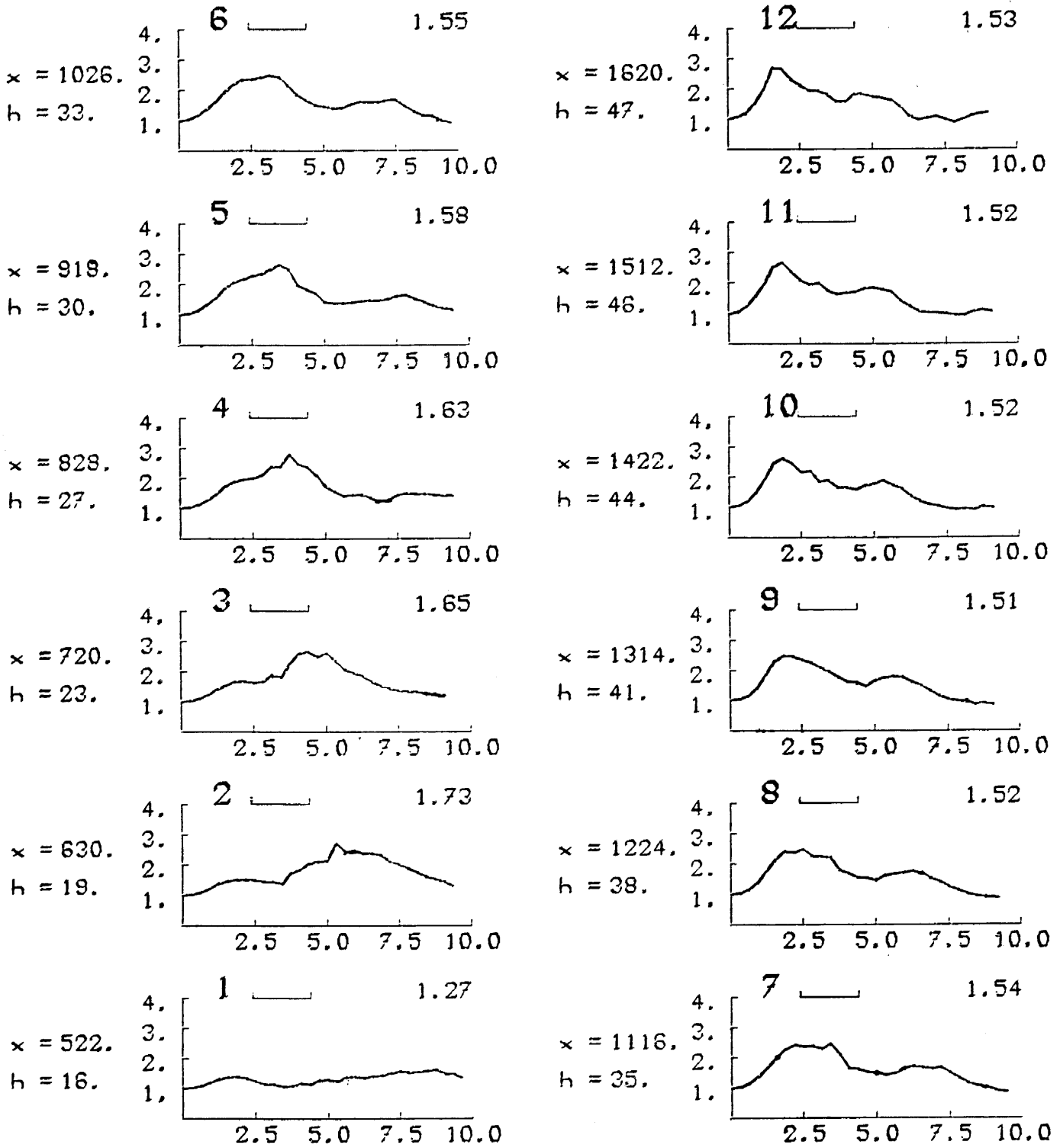
Σχ. 15α: Συναρτήσεις μεταφοράς σε διάφορες θέσεις (0-4 Hz)



Σχ. 15β: Συναρτήσεις μεταφοράς σε διάφορες θέσεις (0÷10 Hz)



Σχ. 16α: Συναρτήσεις μεταφοράς σε διάφορες θέσεις (0÷4 Hz)



Σχ. 16β: Συναρτήσεις μεταφοράς σε διάφορες θέσεις (0÷10 Hz)