

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

## 7. ΑΔΑΜΕΣ : ΚΑΤΑΝΟΜΗ των ΒΛΑΒΩΝ, ΕΠΙΔΡΑΣΗ του ΕΔΑΦΟΥΣ και της ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 7.1 Μετασεισμικές Παρατηρήσεις, Γεωτεχνική Έρευνα

Η περιοχή των Αδαμών, αποτελεί περιοχή με χαμηλή πυκνότητα δόμησης. Εκτεινόμενη περίπου 1200 m σε μήκος και 300 m σε πλάτος, βρίσκεται δίπλα στο σημείο όπου το φαράγγι του Κηφισού παρουσιάζει μέγιστο βάθος και απότομη κλίση. Τα περισσότερα κτίρια στην εν-λόγω περιοχή είχαν κατασκευασθεί κατά την δεκαετία του '70 και στις αρχές της δεκαετίας του '80. Πρόκειται κυρίως για δύοροφα έως τετραόροφα κτίρια ωπλισμένου σκυροδέματος, ενώ υπάρχουν λιγοστές μονόροφες κατοικίες και ελάχιστα πενταόροφα κτίρια βιομηχανικής χρήσεως.

Εν γένει, η *δομητική ποιότητα* στην περιοχή των Αδαμών κρίνεται ως *όχι χειρότερη* (ή, ίσως, και καλύτερη) από την αντίστοιχη ποιότητα κτιρίων που βρίσκονται σε άλλες περιοχές μεταξύ του κέντρου της Αθήνας και του επικέντρου του σεισμού (όπως π.χ. το Καματερό, η Πετρούπολη, και το Περιστερί), οι οποίες κείνται σε ίσες ή και μικρότερες αποστάσεις από το επίκεντρο. Η ένταση σε αυτές τις τρεις περιοχές δεν υπερέβη στην κλίμακα Mercalli την τιμή  $MMI = VII \frac{1}{2}$  (συγκρινόμενο με την  $MMI = IX^-$  των Αδαμών), ενώ υπήρξαν μόνον δύο ανθρώπινα θύματα σε μία και μοναδική κατάρρευση κτιρίου. (Ο συνολικός πληθυσμός των περιοχών αυτών πλησιάζει το μισό εκατομμύριο.) Αντιθέτως, στις Αδάμες (με συνολικό πληθυσμό περί τις 3.000) η κατάρρευση τριών κτιρίων βιομηχανικής χρήσης και δύο κατοικιών προκάλεσε τον θάνατο 18 ανθρώπων, και τον εγκλωβισμό δεκάδων άλλων που ευτυχώς διεσώθησαν. Πολλά άλλα κτίρια, είτε κατέρρευσαν (χωρίς να έχουν θύματα), είτε παρουσίασαν σοβαρότατες βλάβες στο ισόγειό τους (συνήθως κτίρια με πυλωτή) και κρίθηκαν κατεδαφιστέα. Η θέση τους απεικονίζεται στο Σχήμα 7.1(α). Το πλήθος των ορόφων και ο

χρόνος κατασκευής τού κτιρίου δείχνονται στα Σχήματα 7.1(β) και 7.1(γ), αντιστοίχως.

Στους χάρτες τού Σχήματος 7.1 είναι εμφανές ότι οι βλάβες είναι εντονότερες σε δύο τουλάχιστον θέσεις: μία ακριβώς δίπλα στην παρειά τού πρανούς (μεταξύ ενός ή δύο οικοδομικών τετραγώνων) - -- Θέση 3, και μία σε απόσταση 200–300 m --- Θέση 2. Μικρές μόνον βλάβες παρατηρήθηκαν σε ενδιάμεση απόσταση.

Για να ολοκληρωθεί η εικόνα, δείχνεται μία χαρακτηριστική κατάρρευση κτιρίου στην Φωτογραφία 7.1, ενώ στο Σχήμα 7.2 απεικονίζονται σκαριφηματικές τομές δύο κτιρίων που κατέρρευσαν στις Θέσεις 2 και 3.

Τοπογραφική μελέτη τής περιοχής (που διεξήχθη υπό την καθοδήγησή μας από το Τμήμα Τοπογράφων τού Ε.Μ.Π., Μάρτιος-Απρίλιος 2000) κατέληξε στις δύο τομές (M-M' & K-K') που δείχνονται στο Σχήμα 7.3 (βλ. επίσης Σχήμα 7.1(α)). Η ελαφρώς εξιδανικευμένη γεωμετρία που χρησιμοποιήθηκε κατά τις αναλύσεις δείχνεται επίσης στο σχήμα αυτό. Είναι εμφανή: το βάθος των 40 m και η σχεδόν 2:1 (= μήκος : ύψος) κλίση τού πρανούς τής χαράδρας (Φωτογραφία 7.2).

Η γεωτεχνική έρευνα τής περιοχής διεξήχθη από το Κ.Ε.Δ.Ε. και περιελάμβανε δέκα γεωτρήσεις με δοκιμές SPT και εργαστηριακές δοκιμές. Οκτώ από αυτές προσέγγισαν το βάθος τών 35 m, ενώ οι υπόλοιπες δύο πλησίασαν τα 80 m. Εμμεσην ένδειξη για μεγαλύτερα βάθη έδωσα δύο γεωτρήσεις 150 m βάθους που είχαν διεξαχθεί στο υπό-κατασκευήν Ολυμπιακό Χωριό, 1.5 km βορειο-δυτικά τών Αδαμών. Επιπλέον, προσδιορίσθηκαν οι ταχύτητες διάδοσης τού διατμητικού κύματος  $V_s$  μέσω δοκιμών Crosshole σε τέσσερις θέσεις.

Η γενική εικόνα που προκύπτει από την γεωτεχνική έρευνα αποτυπώνεται μέσω τού Σχήματος 7.4, στο οποίο παρουσιάζονται οι

τυπικές τιμές  $N_{SPT}$  και οι ταχύτητες  $V_s$  (για μικρές παραμορφώσεις) για τις Θέσεις 1, 2, και 3 (βλ. Σχήμα 7.1(α)). Εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Όλες οι κατατομές αποτελούνται από εναλλασσόμενα εδαφικά στρώματα ιλυώδους αμμοχαλίκου και αμμοχαλικώδους αργίλου μέχρι βάθους 20 - 30 m από την επιφάνεια. Σε μερικές γεωτρήσεις εντοπίζονται παρεμβαλλόμενα στρώματα ψαμμίτη ή μάργας.
- Υπάρχει αδρή ποιοτική συμφωνία μεταξύ των τιμών  $N_{SPT}$  και  $V_s$ , αν και η παρουσία τεμαχίων ασβεστολίθου σε ορισμένα στρώματα οδηγεί σε πλασματική αύξηση των τιμών  $N_{SPT}$  και δυσχεραίνει την ποσοτική συσχέτιση.
- Η προσεγγιστική μέση ταχύτητα,  $\bar{V}_s$ , των εδαφικών στρωμάτων για τις τρεις θέσεις δίδονται στον Πίνακα 7.2:

Πίνακας 7.2

*Προσεγγιστικές μέσες τιμές της ταχύτητας διάδοσης διατμητικού κύματος για τρεις θέσεις στις Αδάμες*

Θέση	$\bar{V}_s$ (m/s)	Θεωρούμενο Πάχος (m)
1	500	30
2	400	30
3	340	30

Οι τιμές αυτές είναι ενδεικτικές πολύ σκληρής (Θέση 1), απλώς σκληρής (Θέση 2), και μετρίως σκληρής (Θέση 3) εδαφικής κατατομής. Σημειώνεται ότι, σύμφωνα με τις διατάξεις του προτύπου αντισεισμικού κανονισμού NEHRP 1997 (βλ. Dobry et al 2000), τα εδάφη στις θέσεις αυτές ανήκουν στις κατηγορίες C

(πολύ στιφρό έδαφος :  $360 < \bar{V}_s \text{ (m/s)} < 760$ ,  $\bar{N}_{SPT} > 50$ ), και D (στιφρό έδαφος:  $180 < \bar{V}_s \text{ (m/s)} < 360$ , και  $\bar{N}_{SPT} > 15$ ).

- Μολονότι δεν εντοπίσθηκε βραχώδες υπόβαθρο στο βάθος των 80 m, τα στρώματα κάτω από τα 30 m περιλαμβάνουν μαλακούς βράχους (μάργες και αμμόλιθους) με ταχύτητες  $V_s \approx 550 - 800$  m/s.

## 7.2 Μονοδιάστατες Αναλύσεις της Εδαφικής Απόκρισης

Για να διερευνηθεί ο ρόλος που ενδεχομένως διαδραμάτισαν οι εδαφικές συνθήκες στην αλλοίωση τής έντασης και τών φασματικών χαρακτηριστικών τής εδαφικής δόνησης στις Αδάμες, διεξήχθησαν καταρχάς μονοδιάστατες ισοδυνάμως-γραμμικές αναλύσεις της κυματικής διάδοσης, με χρήση τού κώδικα SHAKE (Schnabel et al 1973). Η μείωση τού μέτρου διατμήσεως και η αύξηση τής απόσβεσης υλικού, αυξανόμενης τής διατμητικής παραμόρφωσης, δεν προήλθαν από πειραματικές μετρήσεις, αλλά από εμπειρικές καμπύλες τής βιβλιογραφίας (Vucetic & Dobry 1991). Οι έξι προαναφερθείσες σεισμικές δονήσεις [Σχήματα 7.5(α),(β)] χρησιμοποιήθηκαν ως διεγέρσεις *rock-outcrop* για κάθε μία από τις τρεις θέσεις τού Σχήματος 7.1(α).

Παρατίθενται μόνον μερικά τυπικά αποτελέσματα για την διέγερση ΚΕΔΕ, με την βοήθεια τών Σχημάτων 7.6 (για την Θέση 1), 7.7 (για την Θέση 2), και 7.8 (για την Θέση 3). Κάθε ένα από τα τρία σχήματα συγκρίνει τις διεγέρσεις στην βάση με τις επιφανειακές χρονοϊστορίες επιταχύνσεως και τα αντίστοιχα φάσματα, ενώ επίσης απεικονίζει και τον λόγο τών φασμάτων Fourier ("*Εδαφική Ενίσχυση*"). Εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- α. Η Θέση 1 (όπου κατέρρευσε το κτίριο 'Furlis' με 8 ανθρώπινα θύματα, το δε έδαφος είναι το στιφρότερο των τριών θέσεων), παρουσιάζει έναν υπολογίσιμο βαθμόν ενισχύσεως. Η μέγιστη

επιτάχυνση PGA και οι φασματικές επιταχύνσεις (SA) για περιόδους  $T = T_a < 0.30 \text{ sec}$  αυξάνονται κατά 30% περίπου, ενώ σε υψηλότερες περιόδους οι τιμές SA για την βάση και την επιφάνεια συγκλίνουν, και ουσιαστικώς ταυτίζονται. Η μόνη διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφόρων αναλύσεων είναι ότι, για τις διεγέρσεις TEMBLOR και SPLB, η περίοδος  $T_a$ , πέραν της οποίας η εδαφική ενίσχυση είναι ασήμαντη, αυξάνεται σε 0.50 sec περίπου. Το γεγονός αυτό θα αποτελούσε σημαντικότερη διαφορά για διόροφα έως τετραόροφα κτίρια.

- β. Η Θέση 2 (όπου κατέρρευσαν τα κτίρια 'ΦΑΡΑΝ', 'ΠΡΟΚΟΣ', και δύο κατοικίες) έχει έδαφος πιο μαλακό από την Θέση 1. Δεν αποτελεί έκπληξη λοιπόν, το ότι οι αναλύσεις παρουσιάζουν μεγάλη ενίσχυση σε μεγαλύτερο εύρος περιόδων. Οι υπολογισθείσες τιμές μεγίστων επιταχύνσεων PGA κυμαίνονται μεταξύ 0.40 g – 0.50 g, και η δε μέγιστη φασματική επιτάχυνση SA πλησιάζει τα 2 g σε περίοδο  $T \approx 0.22 \text{ sec}$ . Εμφανώς, αναπτύσσεται συνθήκη ψευδο-συντονισμού σ' αυτήν την περίοδο: η δεσπόζουσα περίοδος της εδαφικής στήλης ( $T_s \approx 0.22 \text{ sec}$ , από τον Συντελεστή Ενίσχυσης του Σχήματος 7.7) σχεδόν συμπίπτει με την δεσπόζουσα περίοδο της διέγερσης ( $T_E \approx 0.20 \text{ sec}$ ). Οι καταγραφείσες μετασεισμικές δονήσεις στο κτίριο ΦΑΡΑΝ φαίνεται να επιβεβαιώνουν την δεσπόζουσα περίοδο των μονοδιάστατων αναλύσεων.
- γ. Η Θέση 3 (δίπλα στην χαράδρα, όπου κατέρρευσαν πολλά κτίρια) είναι η πιο μαλακή από τις τρεις θέσεις. Το φάσμα του μονοδιάστατου συντελεστή ενίσχυσης εμφανίζει ένα μέγιστο στην περίοδο  $T \approx 0.42 \text{ sec}$ , που ερμηνεύεται ως η δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος  $T_s$  της εδαφικής απόθεσης. Υπενθυμίζεται ότι οι περισσότερες από τις διεγέρσεις rock-outcrop έχουν πολύ μικρότερες δεσπόζουσες περιόδους,  $T_E \approx 0.10\text{--}0.20 \text{ sec}$ . Συνεπώς, αναμένεται μικρή ή και μηδενική αύξηση λόγω

εδάφους στις τιμές PGA και SA για περιόδους  $T < 0.25 \text{ sec}$ , γεγονός που επιβεβαιώνεται από τα μονοδιάστατα αποτελέσματα του Σχήματος 7.8. Απεναντίας, ο διπλασιασμός των πλατών Fourier που εμφανίζεται για το εύρος περιόδων  $0.30\text{--}0.60 \text{ sec}$ , θα μπορούσε να είναι σημαντικός αν η διέγερση ήταν πλούσια σε σχετικώς μακροπερίοδες συνιστώσες. Αυτό συμβαίνει κυρίως με τις καταγραφές τύπου SPLB, TEMBLOR, και CHOLAME.

Μία ποιοτική σύγκριση των εδαφικών επιταχύνσεων στην επιφάνεια (χρονοϊστορίες και φάσματα) που προβλέφθηκαν για τις τρεις υπό-εξέταση θέσεις υποθέτοντας μονοδιάστατη κυματική διάδοση με την παρατηρηθείσα ένταση βλαβών στις Αδάμες, αλλά και με τις καταγραφείσες δονήσεις στο κέντρο της Αθήνας, οδηγεί στα εξής συμπεράσματα:

- α. για την Θέση 2, οι μονοδιάστατα εδαφικώς-ενισχυμένες δονήσεις είναι ισχυρότερες από κάθε καταγραφή, (στο κέντρο της Αθήνας) και είναι συμβατές με την παρατηρηθείσα υψηλή συγκέντρωση βλαβών στην περιοχή.
- β. για τις Θέσεις 1 και 3, η μονοδιάστατη εδαφική ενίσχυση, παρόλη την σημασία της, δεν θα μπορούσε από μόνη της να ερμηνεύσει τις παρατηρήσεις --- κυρίως για την Θέση 3, η οποία αποτελεί μία από τις πλέον έντονα πληγείσες περιοχές στον σεισμό της 7-9-99.

Όπως δείχνεται στην επόμενη ενότητα ότι πρόσθετη ενίσχυση προκύπτει και λόγω διδιάστατων κυμάτων που προέρχονται από το τοπογραφικό ανάγλυφο της χαράδρας του Κηφισού.

### 7.3 Διδιάστατη Προσομοίωση Πρανούς και Χαράδρας

Οι διδιάστατες αναλύσεις κυματικής διάδοσης διεξήχθησαν με τον κώδικα πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS (Hibbit et al 1997). Το προσομοίωμα βασίστηκε στις εδαφικές ιδιότητες που περιγράφησαν

στο Σχήμα 7.4. Θεωρούνται επίπεδα διατμητικά κύματα SV, με τις έξι *rock-outcrop* χρονοϊστορίες επιταχύνσεως τού Σχήματος 7.5(α) να περιγράφουν την διέγερση στην βάση. Επιπλέον, με στόχο μία πληρέστερη κατανόηση τής κυματικής τού προβλήματος, χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας φασματικών στοιχείων AHNSE (Casadei & Gabellini 1997; Faccioli et al 1997), ενώ ως προσπίπτοντα κύματα SV εθεωρήθησαν παλμοί Ricker :

$$u(t) = [1 - 2b(t - t_0)^2] \exp[-b(t - t_0)^2]$$

όπου  $b = (\pi f_0)^2$  με  $f_0$  την χαρακτηριστική συχνότητα, και  $t_0$  η χρονική στιγμή μεγιστοποιήσεως του  $u(t)$ . Οι προκύπτουσες χρονοϊστορίες της επιτάχυνσης,  $\ddot{u}(t)$ , έχουν υποστεί επικλιμάκια αναγωγή σε τιμές συμβατές με τις δονήσεις *rock-outcrop*.

Η διακριτοποίηση με πεπερασμένα στοιχεία τού διδιάστατου προσομοιώματος δείχνεται στο Σχήμα 7.9. Το δίκτυο απαρτίζεται από οκτακομβικά τετραπλευρικά και εξακομβικά τριγωνικά στοιχεία, οι διαστάσεις τών οποίων έχουν διατηρηθεί κάτω από το 1/5 τού θεωρουμένου μικρότερου σημαντικού μήκους κύματος,  $\lambda_{\min}$ .

Με σκοπό να εισαχθεί ρεαλιστικά στο ABAQUS η διέγερση μέσω προσπίπτοντος (κατακορύφου ή κεκλιμένου) κύματος SV, η φόρτιση επιβάλλεται μέσω μίας ειδικής τεχνικής, τής "*Τεχνικής τών Ενεργών Σεισμικών Δυνάμεων*" που πρωτο-αναπτύχθηκε από τον Bielak και συνεργάτες [Bielak & Christiano (1984), Loukakis (1988), και Bielak et al (1996)], και εφαρμόσθηκε από την ερευνητική μας ομάδα. Με αυτήν την προσέγγιση, το πρόβλημα τής σεισμικής απόκρισης ενός διδιάστατου εδαφικού σχηματισμού μετατρέπεται σε ένα ισοδύναμο, όπου η πηγή τοποθετείται στο εσωτερικό τού πεδίου υπολογισμού. Το πλεονέκτημα τής μεθόδου είναι ότι, καθώς η σεισμική διέγερση επιβάλλεται απ' ευθείας εντός τής περιοχής ενδιαφέροντος, τεχνητά σύνορα απαιτούνται μόνον για την απορρόφηση τής ενέργειας



ακτινοβολίας τού συστήματος. Συνεπώς, ιξώδεις απορροφητήρες δύνανται να τοποθετηθούν όχι μόνον στα κατακόρυφα σύνορα, αλλά και στην βάση τού προσομοιώματος. Επιπλέον, τα σύνορα αυτά μπορούν να τοποθετηθούν τόσο κοντά στην υπο-εξέταση περιοχή, όσο η ακρίβεια τών απορροφητήρων επιτρέπει. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την διακριτοποίηση περιορισμένου βάθους, μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το υπολογιστικό κόστος.

Η απόσβεση υλικού στο ABAQUS είναι τύπου Rayleigh, που σημαίνει ότι η απόσβεση είναι συνάρτηση της συχνότητας. Επιπροσθέτως, η υστερητική συμπεριφορά τού εδάφους αντιπροσωπεύεται προσεγγιστικώς μέσω μίας επαναληπτικής ισοδυνάμως-γραμμικής μεθόδου. Η πραγματική απόσβεση υλικού στα εντόνως παραμορφωτά άνω εδαφικά στρώματα ήταν τής τάξεως τού 7% (που αντιστοιχεί σε συντελεστή ποιότητας  $Q = 7$ ).

Η διακριτοποίηση με φασματικά στοιχεία για τον κώδικα AHNSE αποτελείται από μακρο-στοιχεία, το καθένα από τα οποία υποδιαιρείται σε 16 μικρο-στοιχεία. Το μέγεθος τού στοιχείου έχει ρυθμιστεί ανάλογα με το μήκος κύματος. Η διέγερση στο AHNSE αποτελείται αποκλειστικώς από προσπίπτοντες SV παλμούς Ricker. Απορροφητικά σύνορα τοποθετήθηκαν στην βάση και στα κατακόρυφα άκρα τού προσομοιώματος. Η συμβατότητα τών αποτελεσμάτων μεταξύ πεπερασμένων και φασματικών στοιχείων αποτέλεσε αναγκαία προϋπόθεση για την αξιοπιστία της μετέπειτα λεπτομερούς αναλύσεως.

#### **7.4 Επίδραση τής Τοπογραφίας και τού Εδάφους : Αποτελέσματα Διδιάστατων Αναλύσεων**

Η επίδραση τού εντόνου τοπογραφικού αναγλύφου (που σημαίνει: *μή-επίπεδη* επιφάνεια τού εδάφους, όπως συμβαίνει με τις χαράδρες, τους λόφους, τα πρανή, κ.ο.κ.) στην σεισμική απόκριση έχει επανειλημμένως αποδειχθεί καταστρεπτική για τις κατασκευές.

Αυξημένη συγκέντρωση τών βλαβών κοντά στις παρειές πρανών και χαράδρων, ή κοντά στην κορυφή λόφων έχει παρατηρηθεί σε πολλούς σεισμούς: Miyagiken-oki 1978, Chile 1985, Southern Germany 1978, Whittier Narrows 1987, Irpinia 1980, και Eje Cafetero-Colombia 1999. (Βλ. λεπτομέριες στους Ohtsuki & Harumi 1983, Celebi 1988, Kawase & Aki 1990, Siro 1982, Restrepo & Cowan 2000).

Υπάρχουν πολλές ενόργανες αποδείξεις τοπογραφικής ενίσχυσης σε ασθενή ενγένει σεισμικά περιβάλλοντα, και μάλλον περιορισμένες σε ισχυρές και καταστρεπτικές σεισμικές δονήσεις. Μεταξύ των παραδειγμάτων της δεύτερης κατηγορίας: η καταγραφή στο φράγμα Pacoima κατά το σεισμό τού San Fernando (1971), δύο καταγραφές στον σεισμό Nahanni (1985), και οι εκπληκτικές καταγραφές στο Tarzana Hill Nursery κατά τους σεισμούς Whittier Narrows (1987) και Northridge (1994) (βλ. Boore 1973, Leeds 1992, Sanchez-Sesma 1985, Aki 1988, Shakal et al 1988, Bouchon & Barker 1996).

Μεγάλο πλήθος αναλυτικών και αριθμητικών αναλύσεων και μελετών έχει παράσχει αποδείξεις τής σημασίας τής τοπογραφικής επίδρασης. Μέθοδοι αναλύσεως και κριτικές επισκοπήσεις μπορούν να βρεθούν στα άρθρα: Wong & Trifunac (1974), Bard (1982, 1995), Bard & Tucker (1985), Aki (1988), Sanchez-Sesma & Campillo (1991), Sanchez-Sesma (1991), Faccioli (1991), Finn (1991). Πάντως, όπως καταδεικνύεται από τους Geli et al (1988), η ταυτόχρονη επίδραση ετερογενειών στις ταχύτητες  $V_s$  τού υπεδάφους (έδαφος και βράχος) μπορεί να είναι εξίσου σημαντική, αν και το τελευταίο δεν είναι πλήρως τεκμηριωμένο (βλ. επίσης Paolucci et al 1999).

Η περίπτωση τών Αδαμών που εξετάζεται εδώ προσφέρει μία τεκμηριωμένη απόδειξη συνδυασμού επιδράσεων τοπογραφίας και εδαφικής ετερογένειας. Τα αποτελέσματα τής παραμετρικής

διερεύνησής μας συνοψίζονται στα Σχήματα 7.10–7.18. Συγκεκριμένα:

Το Σχήμα 7.10 αναφέρεται στην θεμελιώδη περίπτωση ομοιογενούς ημίσφαιρου με πρηνές που υποβάλλεται σε παλμική διέγερση τύπου Ricker ( $f_0 = 3 \text{ Hz}$ ). Απεικονίζεται η κατανομή της κανονικοποιημένης μέγιστης οριζόντιας ( $A_H$ ) και κατακόρυφης ( $A_V$ ) επιτάχυνσης, κατά μήκος της επιφανείας. Η απόσβεση υλικού στον ημίσφαιρο διατηρείται στο επίπεδο του 5% (μέση τιμή των μονοδιάστατων ισοδυνάμωσ-γραμμικών αναλύσεων), ενώ η  $V_s$  εθεωρήθη ίση  $550 \text{ m/s}$ , τυπική τιμή για τις στιφρές αργίλους και μάργες που συναντήθηκαν στις σεισμόπληκτες περιοχές. Αποδεικνύεται ότι υπ' αυτές τις συνθήκες η τοπογραφική επίδραση είναι μεν αισθητή, αλλά όχι σημαντική για κατακορύφως διαδιδόμενα SV κύματα: οι οριζόντιες επιταχύνσεις,  $A_H$ , αυξάνονται περίπου 20% σε μία ζώνη 50 m από την παρειά του πρηνούς, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές ελευθέρου πεδίου, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται κατακόρυφη παρασιτική συνιστώσα  $A_V \approx 0.20 A_H$ . Ομολογουμένως πάντως, η συγκεκριμένη επίδραση είναι εξαρτημένη από την συχνότητα· η ευρύτητα φάσματος που χαρακτηρίζει τον παλμό Ricker ίσως δεν τονίζει αρκετά τον πιθανώς σημαντικό ρόλο μερικών συχνοτήτων.

Το Σχήμα 7.11 καταδεικνύει ότι σε πολύστρωτο μέσο που αντιστοιχεί στο εδαφικό προφίλ (κατατομή) της Θέσης 2 (αλλά με την ίδια γεωμετρία και την ίδια εξαίτηση όπως αυτές του Σχήματος 7.10) η μέγιστη ενίσχυση φθάνει στο 1.35 για την οριζόντια επιτάχυνση, αλλά μειώνεται ταχύτατα μετά 50 m από την παρειά του πρηνούς. Η κατακόρυφη συνιστώσα,  $A_V$ , προσεγγίζει το  $0.20 A_H$ . Υπενθυμίζεται ότι δόθηκαν σε κάθε εδαφικό στρώμα οι ισοδυνάμωσ-γραμμικές ιδιότητες, με την απόσβεση υλικού να κυμαίνεται μεταξύ 4% και 7% στα άνω 30 m.

Σημειώνεται ότι οι ανωτέρω τιμές τοπογραφικής ενίσχυσης είναι ποιοτικώς και ποσοτικώς παρόμοιες με αυτές που αναφέρονται για απότομο πρανές, κλίσεως = 1(ύψος) : 2(πλάτος), από τους Ohtsuki & Harumi (1983), για προσπίπτον αρμονικό κύμα SV μήκους κύματος  $\lambda = 2H$  και  $\lambda = 4H$ . Στην περίπτωση μας, για τις κεντρικές συχνότητες του Ricker  $f \approx f_0 \div 3f_0$  (όπου  $f_0$  είναι η χαρακτηριστική συχνότητα), τα δεσπόζοντα μήκη κύματος κυμαίνονται μεταξύ  $\lambda \approx H \div 5H$ , παρόμοια δηλαδή με όσα περικλείει το εύρος των Ohtsuki & Harumi, γεγονός που υποδεικνύει μίαν επιτυχημένη σύγκριση. Αξίζει επίσης να αναφερθούν τα ευρήματα των Wong & Jennings (1975), σύμφωνα με τα οποία η επίδραση της τοπογραφίας (κυλινδρική χαράδρα) είναι εντονότερη για αρμονικές μόνιμες (steady-state) διεγέρσεις για μήκη κύματος  $\lambda$  συγκρίσιμα με το πλάτος της χαράδρας  $B$  (που ισούται με  $2H$ ). Οι εν-χρόνω επιλύσεις δεν παρουσιάζουν ιδιαιτέρως έντονη τοπογραφική ενίσχυση, ενώ τα ελαστικά φάσματα απόκρισης εμφανίζουν την μικρότερη ενίσχυση, και μόνον σε υψηλές συχνότητες (Aki 1988). Οπότε, για να επιβεβαιώσουμε ότι τα συμπεράσματά μας δεν θα υπερβάλλουν ως προς τις τοπογραφικές επιδράσεις, παρουσιάζουμε αρκετά αποτελέσματα χρονοϊστοριών και συγκρίνουμε κυρίως ελαστικά φάσματα απόκρισης.

Χρονοϊστορίες επιταχύνσεως για δύο επιφανειακά σημεία, σε  $x = 10$  m και  $x = 250$  m από την παρειά του πρανούς, συγκρίνονται με την σεισμική διέγερση στην βάση στα Σχήματα 7.12 – 7.17. Οι τρεις περιπτώσεις διαφέρουν μόνον ως προς την δυσμησία και τις διαστάσεις των οριζοντίων εδαφικών στρωμάτων: αντιστοιχούν στις προαναφερθείσες κατατομές (προφίλ) των Θέσεων 1, 2, και 3, αντιστοίχως. Οπότε δεν λαμβάνεται άμεσα υπόψη η οριζόντια εδαφική ανομοιογένεια — μία απλοποίηση της πραγματικότητας που δικαιολογείται από τις σχετικώς μικρές διαφορές που παρατηρούνται στα διάφορα προφίλ της περιοχής Αδαμών. Πάντως, ως προς την

κατακόρυφο, η στρωματογραφία και η ανομοιογένεια προσομοιώνονται με ακρίβεια. Στα τρία σχήματα, *καί* οι δύο επιφανειακές χρονοϊστορίες<sup>\*\*</sup> φέρουν τις συνέπειες τής εδαφικής ευκαμψίας (κατά την μονοδιάστατη έννοια): πολλαπλές ανακλάσεις ή μεταδόσεις κατακορύφων  $S$  κυμάτων *επί ή διαμέσου* τών διεπιφανειών τών οριζοντίων στρωμάτων έχουν οδηγήσει σε ενίσχυση τής δόνησης. Επιπροσθέτως όμως, το πλησίον-τού-πρανούς ( $x = 10$  m) επιταχυνσιογράφημα έχει ενισχυθεί και από μή-κατακορύφως διαδιδόμενα κύματα, προερχόμενα από διαθλάσεις στο κεκλιμένο σύνορο. Τέτοιου είδους διδιάστατα κύματα εξασθενούν ταχύτατα μακριά από το πρανές και δεν επηρεάζουν την δόνηση στην Θέση 2 ( $x = 250$  m). Αυτό επιβεβαιώθηκε και μέσω συγκρίσεων τών επιταχυνσιογραφημάτων τής θέσης  $x = 250$  m με αυτά που υπολογίσθηκαν μονοδιάστατα για την συγκεκριμένη κατατομή και διέγερση. Τα τρία σχήματα επιβεβαιώνουν το προηγούμενο εύρημά μας: ότι το προφίλ στην Θέση 2 ενισχύει *επιπλέον* την ήδη έντονη μονοδιάστατη απόκριση (ακόμη και οριακώς). Επιπλέον, η διδιάστατη τοπογραφική ενίσχυση, μετρούμενη ως ο λόγος τών μεγίστων τιμών έχει ως εξής:

Κατατομή	$\max A_{(x = 10 \text{ m})} / \max A_{(x = 250 \text{ m})}$
1	$0.79 / 0.61 \approx 1.3$
2	$1.00 / 0.68 \approx 1.5$
3	$0.69 / 0.49 \approx 1.4$

Οι λόγοι αυτοί εμφανίζουν κάποιου είδους ευαισθησία στις διαφορές τών πραγματικών εδαφικών κατατομών.

<sup>\*\*</sup> (τα *συνθετικά επιταχυνσιογραφήματα*, όπως θα μπορούσε να τις αποκαλέσει κανείς εάν δεν υπήρχε κίνδυνος συγχύσεως με τις επίπλαστες χρονοϊστορίες τών μεθόδων “φασματικής προσαρμογής”)

Ως ένα πιο χρήσιμο μέτρο τής τοπογραφικής φασματικής ενίσχυσης ορίζεται ο λόγος τού φάσματος Fourier στα  $x = 10 \text{ m}$  ( $\approx$  στην παρειά τού πρανούς) προς το αντίστοιχο φάσμα στα  $x \approx 250 \text{ m}$  (στην ελεύθερη επιφάνεια). Επονομασθείς *Συντελεστής Τοπογραφικής Επιδείνωσης* ο λόγος αυτός (που συμβολίζεται ως TAF - Topographic Aggravation Factor) σχεδιάζεται στο Σχήμα 7.15 ως συνάρτηση τής συχνότητας,  $f$ , για τα τρία προφίλ. Είναι εμφανές ότι, ο λόγος TAF κυμαίνεται περί την τιμή 1.5 και παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες από 1.3 για το εύρος συχνοτήτων  $f \approx 3 - 6 \text{ Hz}$  ( $T \approx 0.15 - 0.30 \text{ sec}$ ). Τα χαρακτηριστικά αυτά τού φάσματος TAF παρουσιάζονται μάλλον σταθερά ως προς το φασματικό περιεχόμενο, εάν χρησιμοποιήσουμε ως διέγερση βάσης τον παλμό Ricker (με  $f_0 = 5 \text{ Hz}$ ) και τα έξι επιταχυνσιογραφήματα.

Για να κατανοηθεί καλύτερα η κυματική διάδοση στο πρανές, τα Σχήματα 7.16 και 7.17 παρουσιάζουν δύο σειρές στιγμιοτύπων. Μία για το ομοιογενές και μία για το πολύστρωτο έδαφος (για το οποίο ήδη παρουσιάστηκαν στα Σχήματα 7.10 και 7.11, αντιστοίχως).

Το κυματικό πεδίο που επηρεάζει τις επιφανειακές δονήσεις συνίσταται: (i) σε κατακορύφως διαδιδόμενα προσπίπτοντα SV κύματα, (ii) σε κύματα που ανακλώνται στην οριζόντια και στην κεκλιμένη επιφάνεια τού πρανούς, (iii) σε κύματα που διέρχονται μέσω, ή ανακλώνται σε, διεπιφάνειες στρωμάτων, και (iv) στα *διαθλώμενα* κύματα. Τα τελευταία περιλαμβάνουν:

- (α) κύματα SP που δημιουργούνται στο επίπεδο τού πρανούς λόγω τής κρίσιμης (ή σχεδόν κρίσιμης) προσπτώσεως κατακόρυφων SV κυμάτων (η γωνία  $\theta$  τού πρανούς είναι  $\theta \approx \theta_{cr} = \arcsin(V_s/V_p)$ , για την ρεαλιστική τιμή τού λόγου Poisson  $\nu \approx 0.35$  αμμωδών/αργιλικών εδαφών πάνω από την στάθμη τού υπογείου ορίζοντα). Τα κύματα αυτά διαδίδονται προς τα πάνω κατά μήκος τής κεκλιμένης επιφάνειας.

(β) Rayleigh κύματα που δημιουργούνται στην άκρη τού πρανούς, και τα οποία εξασθενίζουν ταχύτητα με την απόσταση.

Η συμβολή μεταξύ αυτών των διαφόρων τύπων πρωτογενών (άμεσων) ή παραγομένων (διαθλωμένων) κυμάτων συνεπάγεται ενίσχυση τής δόνησης κοντά στο άκρο και μείωση τής δόνησης (σε μέγεθος και σε φάση) κατά μήκος τής επιφάνειας του εδάφους .

Μερικές από αυτές τις κυματικές μορφές μπορούν να διακριθούν στα στιγμιότυπα. Συγκεκριμένα, σημειώνουμε την εμφάνιση στο Σχήμα 7.17 στα  $t = 0.44 \text{ sec}$  των συνεπειών ενός διαθλώμενου κύματος στην κάτω γωνία τού πρανούς, το οποίο ανέρχεται κατά μήκος τού πρανούς. Κύματα Rayleigh είναι ορατά σε μεταγενέστερο χρόνο ( $t = 0.88 \text{ sec}$ ) κοντά στο άκρο τού πρανούς, που διαχέονται με μετρήσιμη ταχύτητα περί τα  $600 \text{ m/s}$ . Το πεδίο μετακινήσεων για το ομοιογενές μέσον είναι απλούστερο από το αντίστοιχο πολύστρωτο (συνέπεια μίας λιγότερο περίπλοκης παρεμβολής κυμάτων), και κατ' επέκταση συνεπάγεται μικρότερη ένταση τοπογραφικής ενίσχυσης.

Συμπερασματικά, οι τοπογραφικές επιδράσεις αναμένεται να έχουν επηρεάσει την σεισμική δόνηση στην Θέση 3 των Αδαμών.

## **7.5 Δυναμική εν-χρόνω Ανάλυση – Συμπεράσματα Μελέτης**

Τελικώς, τα έξι υποψήφια rock-outcrop επιταχυνσιογραφήματα που περιγράφησαν στο Εδάφιο 3 χρησιμοποιούνται ως διεγέρσεις βάσης. Αποτελέσματα παρουσιάζονται μόνον για την Θέση 3, για την οποία η διδιάστατη επίδραση από το πρανές διαφαίνεται ότι είναι σημαντική. Τα Σχήματα 7.18 (α, β) παρουσιάζουν μερικά από τα αποτελέσματα αναλύσεων, με την μορφή ελαστικών φασμάτων αποκρίσεως για τέσσερις από τις προαναφερθείσες διεγέρσεις.

Τα τρία φάσματα που συγκρίνονται σε κάθε γράφημα αντιστοιχούν:

- στην διέγερση (εφαρμοζόμενη σε επιφανειακή εκδήλωση του υποβάθρου – rockoutcrop)
- στην *μονοδιάστατα* υπολογισθείσα δόνηση, η οποία λαμβάνει υπόψη μόνον την επίδραση τής ευκαμψίας τού εδάφους, και
- στην *διδιάστατα* υπολογισθείσα δόνηση, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο την επίδραση τής ευκαμψίας τού εδάφους όσο και την επίδραση τής τοπογραφίας τού πρανούς.

Προφανώς δε, ο λόγος μεταξύ τών καμπυλών 2-Δ και 1-Δ από κάθε γράφημα θα προσέφερε ένα μέτρο τής τοπογραφικής επιδείνωσης. Ουσιαστικώς, ως αδρή προσέγγιση, ο λόγος αυτός θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ο προαναφερθείς *Συντελεστής Τοπογραφικής Επιδείνωσης*.

Οπότε, γίνεται σαφές ότι σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας τόσο το έδαφος όσο και η τοπογραφία έχουν διαδραματίσει έναν ρόλο στην ενίσχυση τής έντασης τής εδαφικής δόνησης. Σημαντικότερος είναι ο ρόλος του εδάφους. Για το εύρος περιόδων  $T \approx 0.20$  έως  $0.60$  sec, όπου πρακτικώς υπάγονται όλα τα κατεστραμένα κτίρια (τουλάχιστον στην Θέση 3), η υπολογισμένη αύξηση στις φασματικές επιταχύνσεις είναι τής τάξεως τού 1.50.

Επιπλέον, μία απλή οπτική σύγκριση τών υπολογισθέντων φασμάτων με αυτά τών πραγματικών καταγραφών στο κέντρο τής Αθήνας θα ήταν αναγκαία για να συσχετισθούν τα αποτελέσματα τών αναλύσεων με τις παρατηρηθείσες βλάβες στις Αδάμες. Πράγματι, μία τέτοια σύγκριση αποκαλύπτει ότι οι δονήσεις που υπολογίσθηκαν για την Θέση 3 τών Αδαμών είναι αδιαμφισβήτητα καταστρεπτικές. Για παράδειγμα, η καταγραφή ΚΕΔΕ στις περιόδους  $T \approx 0.30 - 0.40$  sec παρουσιάζει τιμές  $SA_H$  γύρω στα  $0.70 g - 0.30$



g, αντιστοίχως. Η αντίστοιχη δόνηση στην Θέση 3 των Αδαμών (υποβαλλόμενη σε διέγερση στην συμβατή με την καταγραφή τού ΚΕΔΕ) οδήγησε σε τιμές  $SA_H$  περί τα 0.90 g – 0.70 g, δηλαδή περίπου διπλάσιες. (Σημειώνεται ότι ο δείκτης  $H$  έχει προστεθεί στο συμπερασματικό αυτό σχήμα για να τονίσει την παρουσία μίας συνοδευτικής ("παρασιτικής") κατακόρυφης συνιστώσας της δόνησης --- προερχομένης όχι μόνον από άμεσα κύματα  $P$  και μή-κατακόρυφα κύματα  $SV$ , όπως συνήθως συμβαίνει, αλλά και από κύματα που περιθλώνται και διαθλώνται στο πρανές, όπως δείχνεται στο Σχήμα 7.11.)

Τέτοιου είδους συγκρίσεις ενθαρρύνουν την απόδοση της παρατηρηθείσης συγκεντρώσεως βλαβών στην Θέση 3 σε συνδυασμό εδαφική και τοπογραφική επίδραση. Απεναντίας, η Θέση 2 εμφανίζεται να έχει επηρεαστεί αποκλειστικώς από μονοδιάστατη εδαφική ενίσχυση. Πάντως, παρόλο τον αρνητικό ρόλο τής ευκαμψίας τού εδάφους, τα αποτελέσματά μας δεν καταλήγουν σε καθοριστικό συμπέρασμα για την Θέση 1, τουλάχιστον προς το παρόν.

Άλλες ενδεχομένως καταστρεπτικές επιδράσεις τής διδιάστατης κυματικής διάδοσης (όπως η ύπαρξη κατακόρυφης συνιστώσας τής δόνησης, η επίδραση τής αύξησης των σημαντικών κύκλων φόρτισης, ο αβέβαιος διδιάστατος ρόλος τού γεωλογικού υποβάθρου σε βάθη μερικών εκατοντάδων μέτρων, και η αύξηση τής διδιάστατης επιδείνωσης όταν τα κύματα προσπίπτουν υπό γωνίες διαφορετικές από την κατακόρυφη) δεν έχουν εξεταστεί σε ικανοποιητικό βαθμό ώστε να δικαιολογηθεί η αναφορά τους στην σημερινή φάση τού προγράμματος.

## **7.6 Επαλήθευση μέσω Καταγραφών από Μετασεισμούς**

Οι μέχρι τώρα αναλύσεις μας έχουν δύο πηγές σημαντικής αβεβαιότητας :

(i) ως προς την ένταση και το φασματικό περιεχόμενο του διεγείροντος κραδασμού, και (ii) ως προς την προσομοίωση της γεωμετρίας, τον προσδιορισμό των εδαφικών ιδιοτήτων, και (iii) ως προς το είδος και την σύνθεση των προσπιπτόντων σεισμικών κυμάτων και τον ρεαλισμό των κυματικών αναλύσεων. Η τοποθέτηση 3 σειсмоγραφικών οργάνων στην περιοχή των Αδαμών προσέφερε την δυνατότητα ενός πειραματικού ελέγχου των θεωρητικών ευρημάτων του παρόντος κεφαλαίου.

Τα τρία όργανα τοποθετήθηκαν σε θέσεις με  $x \approx 10 \text{ m}$  και  $x \approx 250 \text{ m}$ . Συγκεκριμένα, ένα όργανο του ΙΤΣΑΚ τοποθετήθηκε δίπλα στο καταρρεύσαν κτίριο της Φαράν (Ν. Θεοδουλίδης, βλ. Παράρτημα), ενώ τα δύο όργανα του Σεισμολογικού Εργαστηρίου του Πανεπιστημίου Αθηνών (Κ. Μακρόπουλος, προσωπική επικοινωνία) τοποθετήθηκαν το ένα μεν δίπλα στην καταρρεύσασα πολυκατοικία της οδού Μεγαλουπόλεως ( $x \approx 10 \text{ m}$ ), το δε άλλο επίσης δίπλα στο κτίριο της ΦΑΡΑΝ ( $x \approx 250 \text{ m}$ ). Για τις δύο ισχυρότερες μετασεισμικές δονήσεις οι ενλόγω επιταχυνσιογράφοι έδωσαν (μετά από επεξεργασία των επιμέρους καταγραφών) 4 εμπειρικές συναρτήσεις "μεταφοράς" κατά συχνότητα από την θέση  $x \approx 250 \text{ m}$  στην  $x \approx 10 \text{ m}$ , για την διεύθυνση EW. Οι συναρτήσεις αυτές, οριζόμενες ως οι λόγοι των πλατών των αντιστοίχων φασμάτων Fourier, θεωρούνται σε πρώτη προσέγγιση ως τα "καταγραφέντα" φάσματα TAF, του συντελεστή δηλαδή τοπογραφικής επιδείνωσης. (Διόρθωση σ' αυτήν την προσέγγιση, οφειλομένη στα ελαφρώς διαφορετικά εδαφικά προφίλ των δύο θέσεων, γίνεται αργότερα.)

Η σύγκριση των τεσσάρων αυτών φασμάτων με τα θεωρητικώς υπολογισθέντα φάσματα του Σχήματος 7.15 δείχνει ότι η συμφωνία τους είναι άκρως ικανοποιητική, ποιοτικά και ποσοτικά :

- περί την συχνότητα  $f \approx 5 \text{ Hz}$  ( $T \approx 0.2 \text{ sec}$ ) οι θεωρητικές καμπύλες έχουν σχεδόν την μέγιστη τιμή ίση με 1.40 περίπου. Οι

εμπειρικές έχουν επίσης μέγιστη τιμή, η οποία κυμαίνεται από 1.30 έως 2.0, με μέση τιμή περί το 1.50 : με την διόρθωση λόγω διαφορετικών εδαφικών προφίλ στις θέσεις 2 και 3 (η οποία συζητείται παρακάτω) η μέση αυτή τιμή διπλασιάζεται

- οι θεωρητικές τιμές TAF παραμένουν μεγαλύτερες του 1.25 για σχετικώς μεγάλο εύρος συχνοτήτων (από  $f \approx 4$  Hz έως  $f \approx 6.5$  Hz, ή περιόδους  $T \approx 0.15 - 0.25$  sec). Η μορφή και οι τιμές του εμπειρικού φάσματος είναι κατά μέσον όρο όμοιες με τις θεωρητικές
- περί τα 2.5 Hz – 3.5 Hz η συνάρτηση TAF παρουσιάζει ελαχίστη τιμή περί την μονάδα, τόσο στο θεωρητικό όσο και στο εμπειρικό γράφημα.
- η συνάρτηση TAF παρουσιάζει ένα ακόμη μέγιστο (μικροτέρου όμως εύρους) για  $f \approx 2$  Hz ( $T \approx 0.5$  sec). Θεωρία και καταγραφές και πάλι συμφωνούν, με διαφορές όμως ως προς το σχετικό μέγεθος του μεγίστου (ιδίως μετά την διόρθωση που συζητείται παρακάτω).

Ενδιαφέρον έχει και η πιθανή ερμηνεία των συχνοτήτων (περιοδών) και τιμών των δύο κορυφών του φάσματος TAF . Στο σημείο αυτό απαιτείται μία διόρθωση : το εμπειρικό φάσμα του **Σχήματος 7.15** εμπεριέχει και μίαν άλλη συνιστώσα, η οποία δεν υπάρχει στο θεωρητικό φάσμα TAF. Η συνιστώσα αυτή προκύπτει απ' την διαφορετική 1-Διάστατη εδαφική ενίσχυση στις θέσεις  $x = 10$  m και  $x = 250$  m, όπως είναι εμφανές από την σύγκριση των **Σχημάτων 7.7** και **7.8**. Απο τις συναρτήσεις μονοδιάστατης ενίσχυσης των δύο αυτών σχημάτων προκύπτουν οι εξής λόγοι :

- $f = 2$  Hz ( $T = 0.50$  sec) :

$$\frac{A_{x=10}}{A_{x=250}} \approx \frac{2.18}{1.72} \approx 1.27$$

- $f = 5 \text{ Hz}$  ( $T = 0.20 \text{ sec}$ ) :

$$\frac{A_{x=10}}{A_{x=250}} \approx \frac{1.05}{1.75} \approx 0.60$$

Για να ξεχωρίσουμε λοιπόν την αμιγώς-τοπογραφική "επιδείνωση" στα φάσματα του Σχήματος 7.15 πρέπει να τα διαιρέσουμε με τον λόγο της μονοδιάστατης ενίσχυσης  $A_{x=10} / A_{x=250}$ , για κάθε τιμή της συχνότητας ή περιόδου. Έτσι, για τις κορυφαίες τιμές θα προέκυπταν οι εμπειρικές τιμές του TAF :

- $f = 2 \text{ Hz}$  :  $\text{TAF} \approx 1.50 / 1.27 \approx 1.2$
- $f = 5 \text{ Hz}$  :  $\text{TAF} \approx 1.80 / 0.60 \approx 3.0$

Παρατηρούμε ότι η εμπειρική τιμή  $\text{TAF} \approx 3$  (με διακύμανση από 2–4) είναι περίπου διπλάσια από την θεωρητική, όπως και θα αναμέναμε. Η συχνότητα  $f = 5\text{Hz}$  αντιστοιχεί σε μήκος κύματος

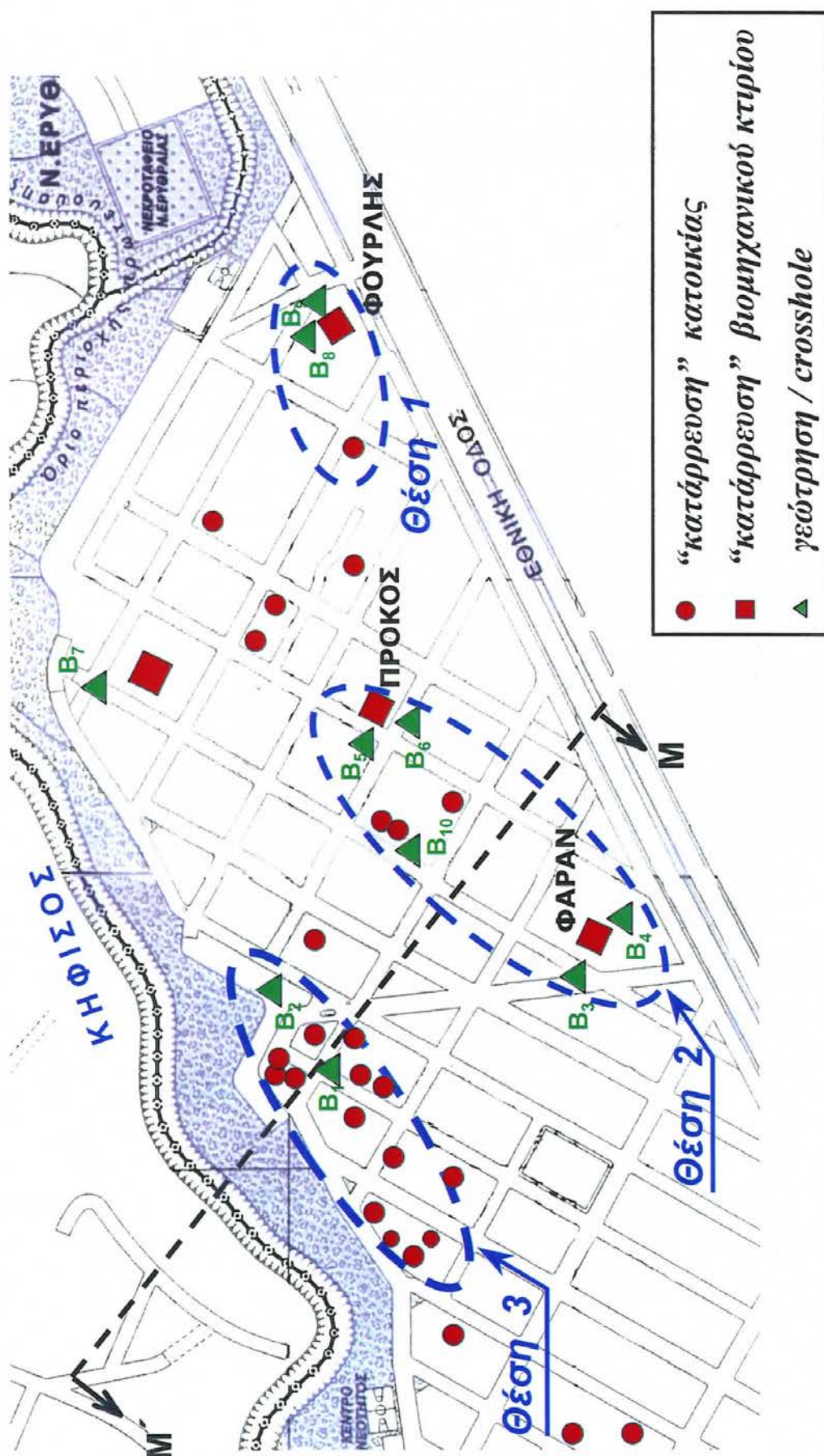
$$\lambda_s \approx \bar{V}_s / f \approx 390 / 5 \approx 78 \text{ m}$$

το οποίο είναι ίσον περίπου με  $2H$ , σε ομοφωνία με τα ευρήματα των Ohtsuki & Harami (1983).

Συμπερασματικά, οι καταγραφές των μετασεισμών προσφέρουν μία πρόσθετη επιβεβαίωση των θεωρητικών αναλύσεων και αποδεικνύουν ότι οι 2-διδιάστατος ρόλος του τοπογραφικού αναβαθμού ήταν υπαρκτός και δυσμενής. Όμως ήταν λιγότερο σημαντικός από όσο ο 1-διάστατος ρόλος του φιλτραρίσματος των

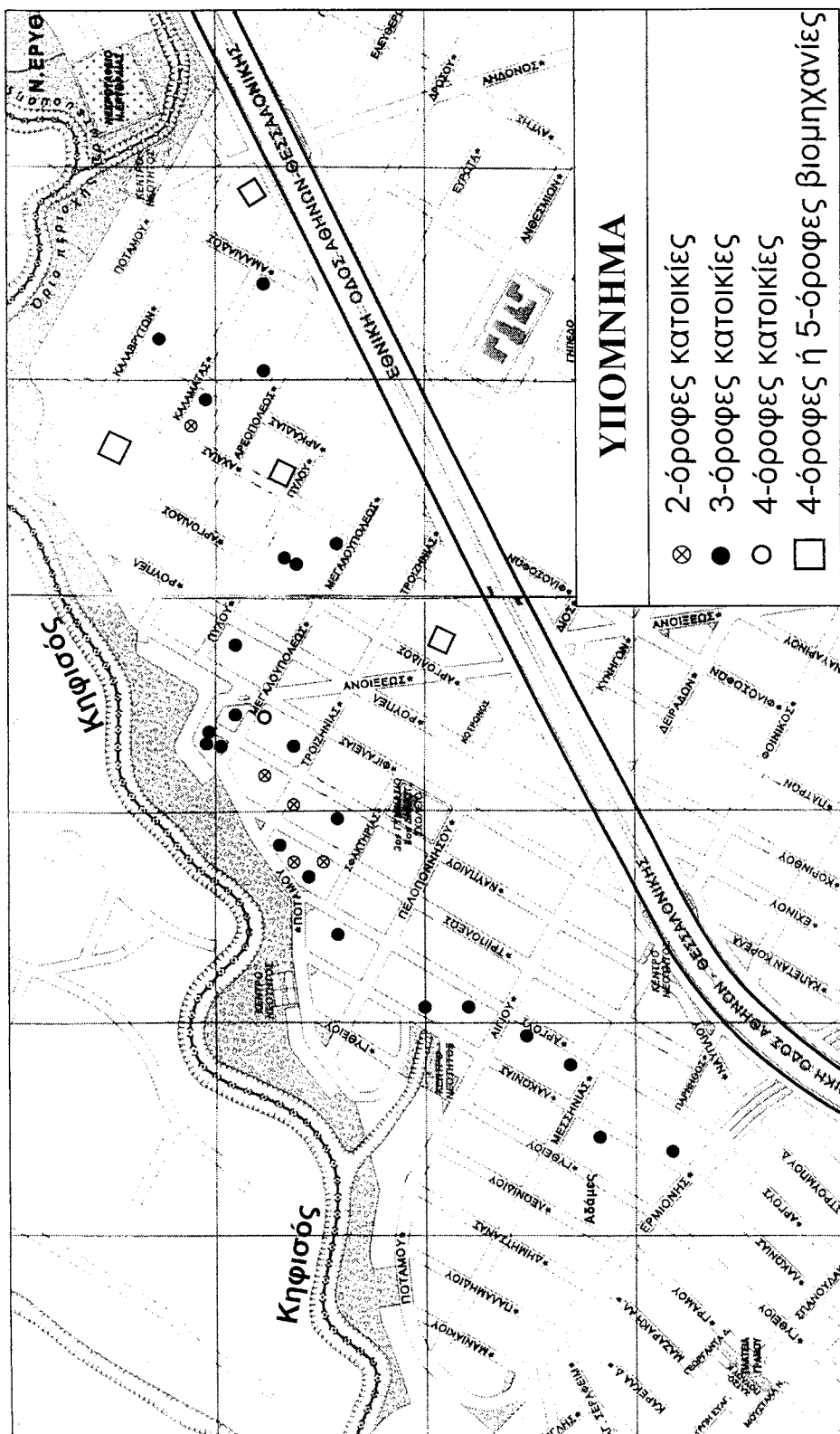
κατακορύφων κυμάτων  $S$  κατά την διέλευση τους διαμέσου των εδαφικών στρώσεων. Επίσης σημαντική ήταν όμως, κατά τους υπολογισμούς, και η αύξηση της έντασης των κατακορύφων ταλαντώσεων στην περιοχή 3 ( $x \approx 10 \text{ m}$ ) . Ολα αυτά δικαιολογούν πλήρως το απροσδόκητα μεγάλο πλήθος των καταρρεύσεων δυορόφων και τριορόφων κτιρίων στην περιοχή αυτή.

ΣΧΗΜΑΤΑ  
ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 7



Σχήμα 7.1

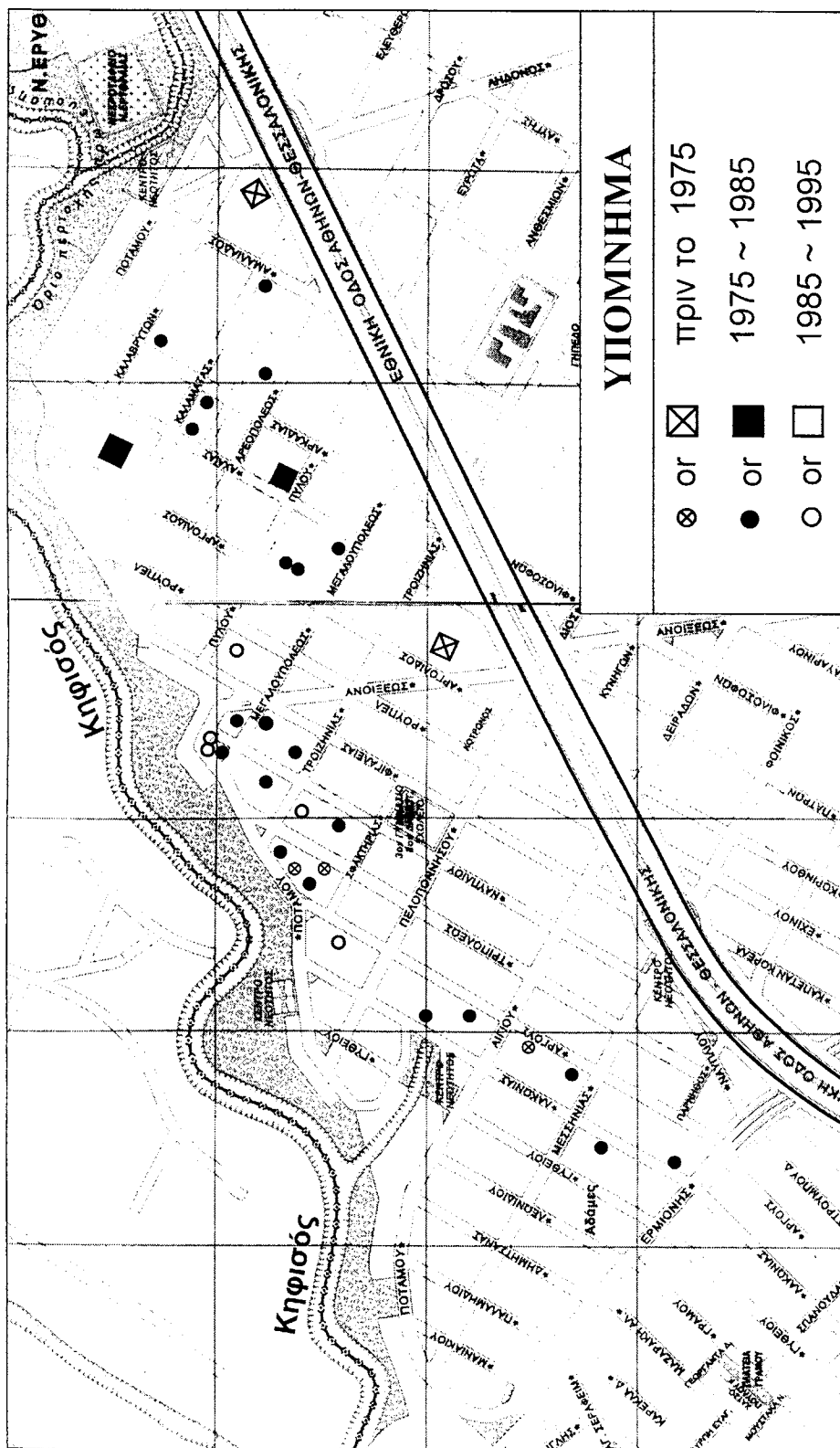
Χάρτης των Αδαμίων που απεικονίζει τα κτίρια που κατέρρευσαν ή παρουσίασαν μεγάλες βλάβες. Επίσης δείχνονται οι θέσεις των δέκα γεωτρήσεων ( $B_1 - B_{10}$ ) και της τοπογραφικής τομής  $M-M'$ .



Σχήμα 7.1 (β)

Αριθμός ορόφων (συμπεριλαμβανομένων του υπογείου και του ισόγειου ορόφου) των εντόνως βλαμμένων ή καταρρευσάντων κτιρίων που δείχνονται στο Σχήμα (α).





Σχήμα 7.1 (γ)  
Ετος κατασκευής των εντόνως βλαμμένων ή καταρρευσάντων κτιρίων που δείχνονται στο Σχήμα (α)

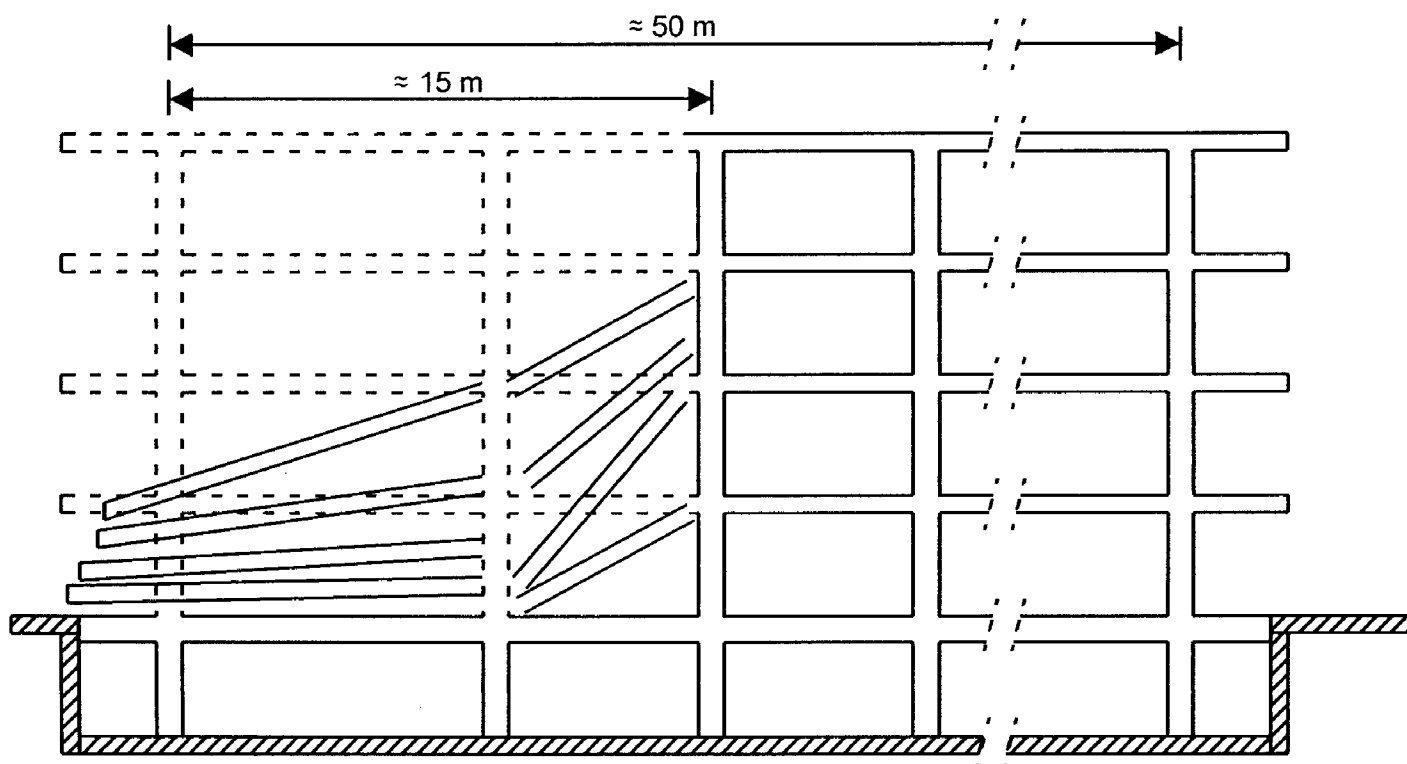


**Φωτογραφία 1**  
*Τυπική Αστοχία στην Θέση των Αδαμών*

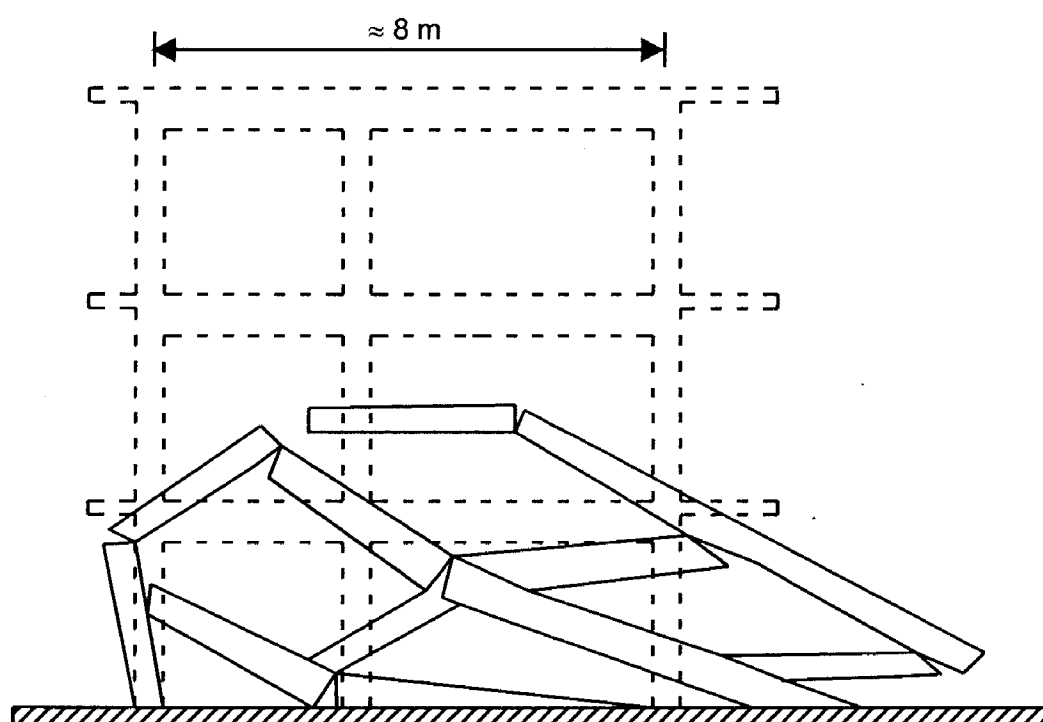


**Φωτογραφία 2**  
*Πανοραμική όψη του πρανούς του Κηφισού*

Μερική κατάρρευση του εργοστασίου FARAN στην θέση 2

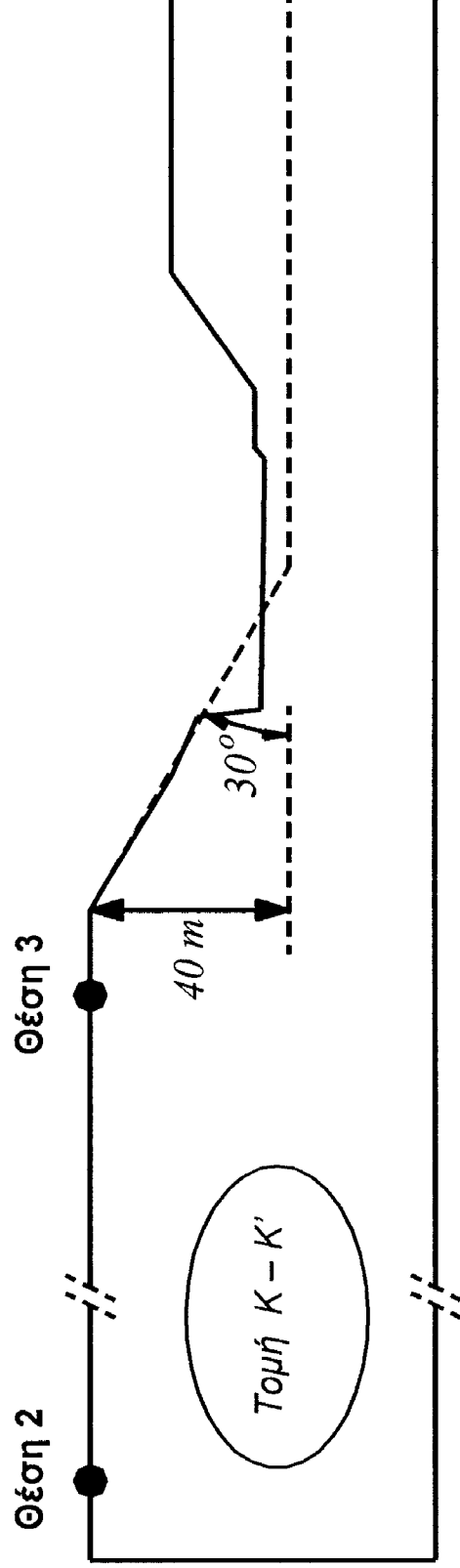
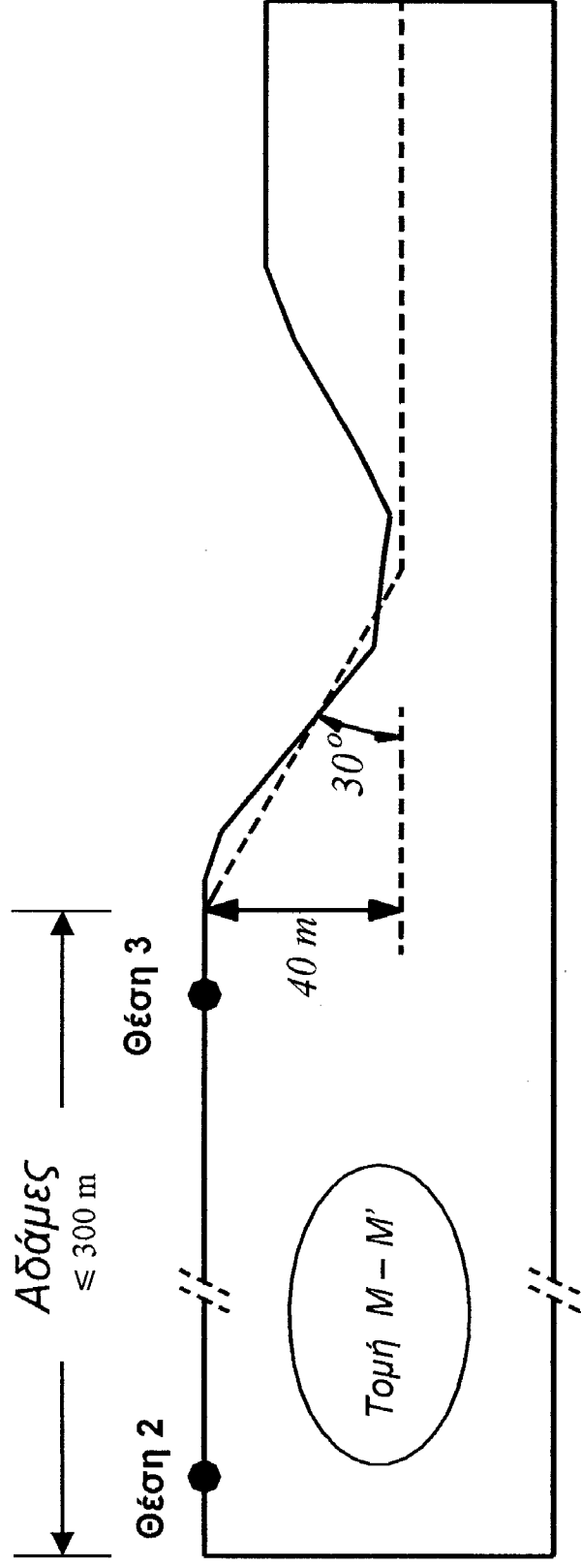


Κατάρρευση κατοικίας στην θέση 3



Σχήμα 7.2

Κατάρρευση του εργοστασίου FARAN στην θέση 2 και κατοικίας στην θέση 3



**Σχήμα 7.3**

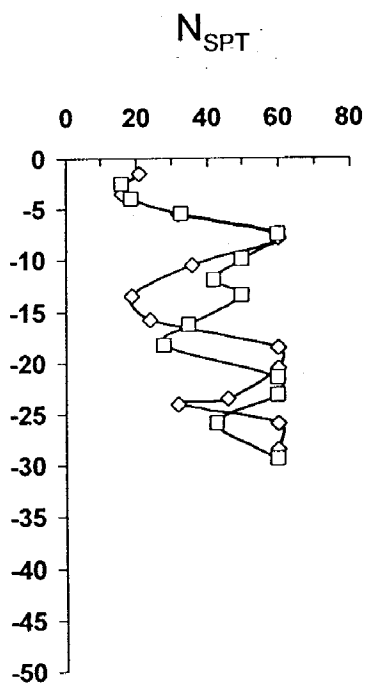
Τυπικές τομές του τοπογραφικού αναγλύφου του Κηφισού και η περιοχή των Αδαμίων.

Η Θέση 3 βρίσκεται 10 με 50 m από την άκρη του πρανούς, ενώ η Θέση 2 περί τα 250 m.

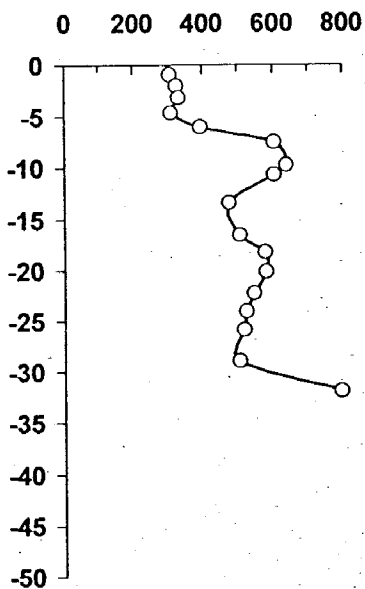
Επίσης δείχνεται (με διακεκομμένη γραμμή) η εξιδανικευμένη γεωμετρία που εθεωρήθη κατά τις αναλύσεις μας.

### Θέση 1

Γεωτρήσεις B<sub>8</sub> και B<sub>9</sub>

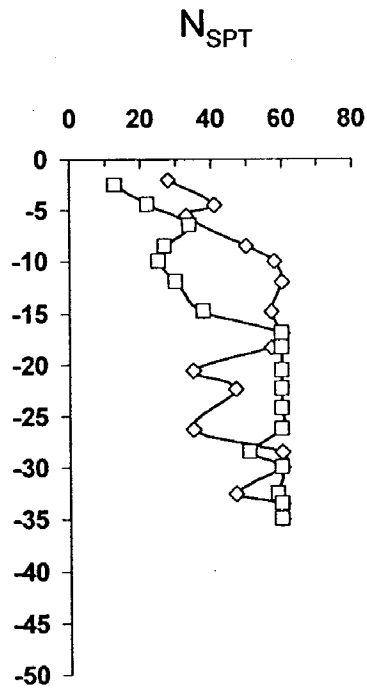


$V_S$  (m/s)

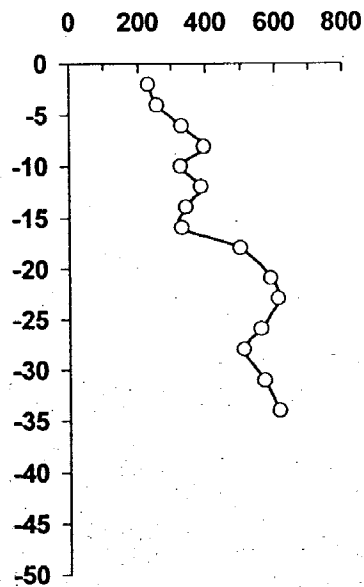


### Θέση 2

Γεωτρήσεις B<sub>3</sub> και B<sub>4</sub>

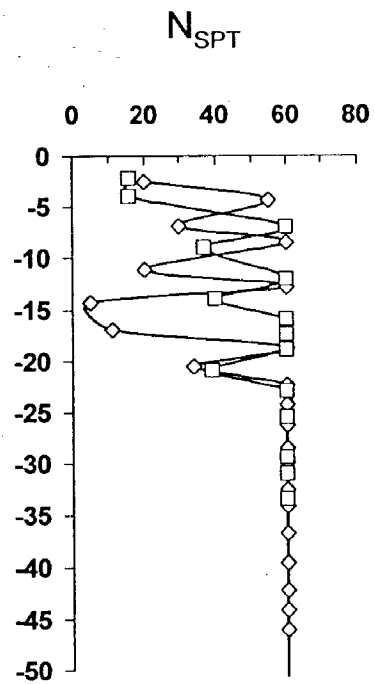


$V_S$  (m/s)

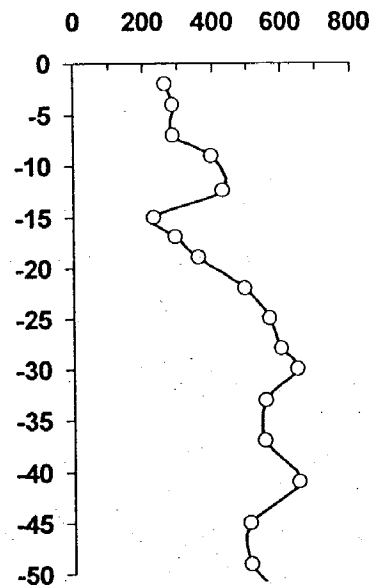


### Θέση 3

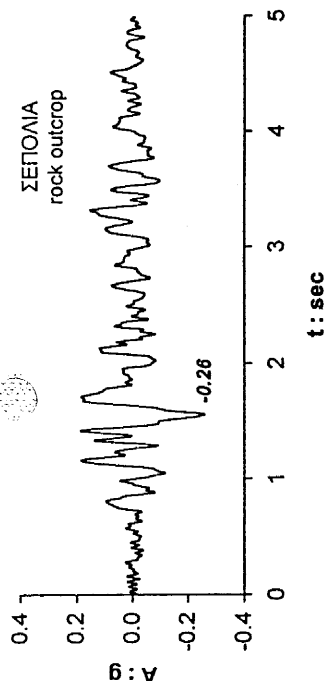
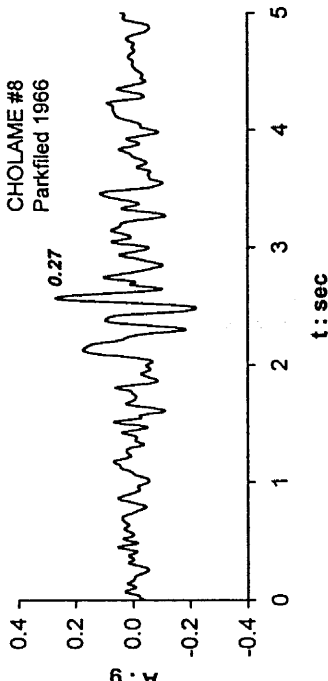
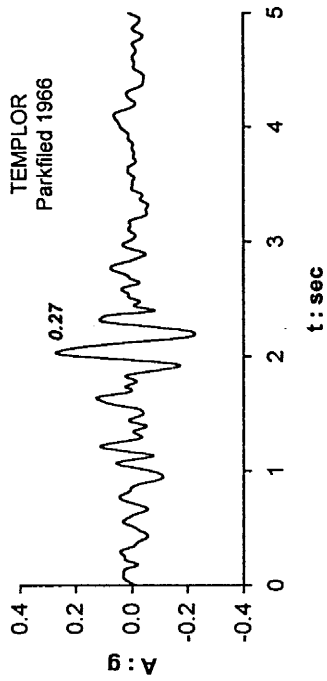
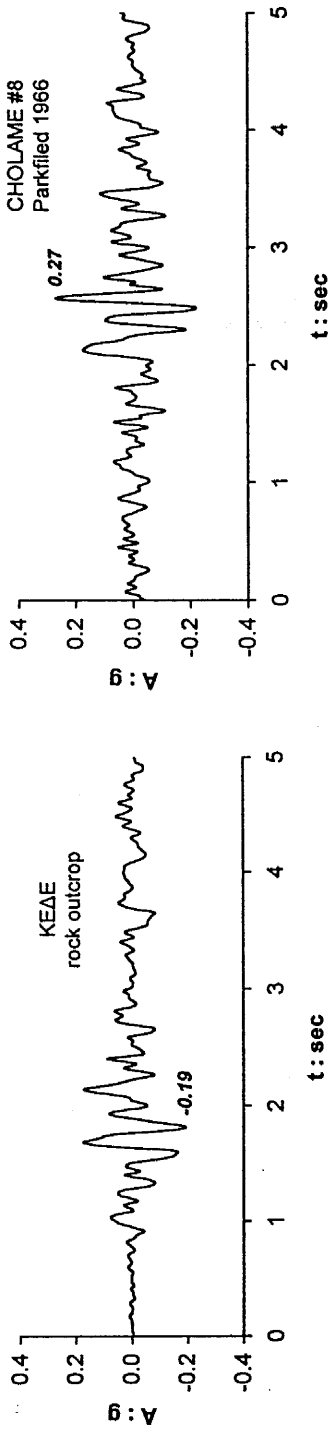
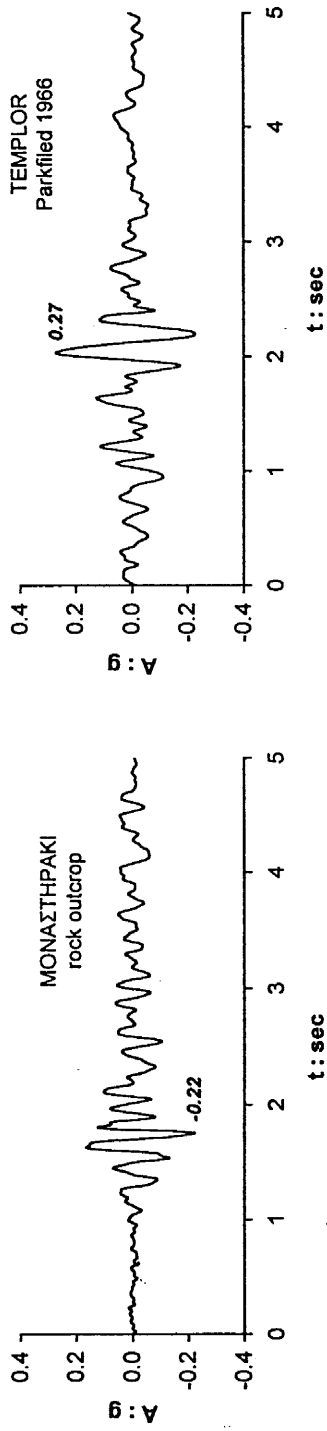
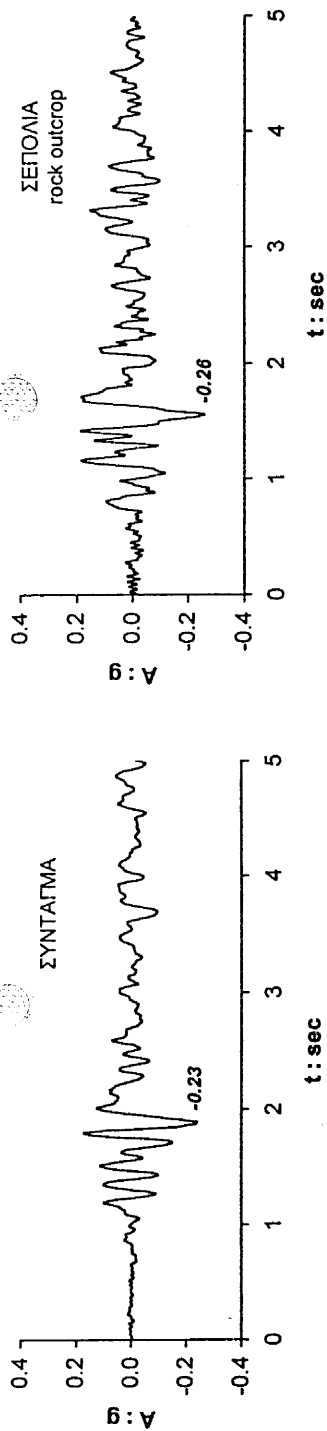
Γεωτρήσεις B<sub>1</sub> και B<sub>2</sub>



$V_S$  (m/s)

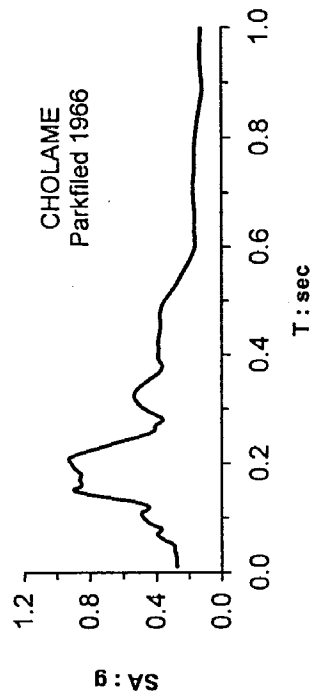
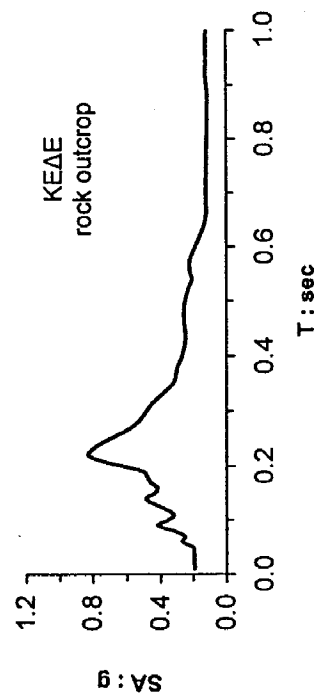
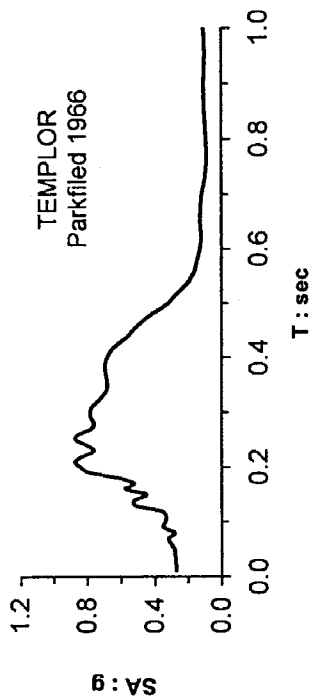
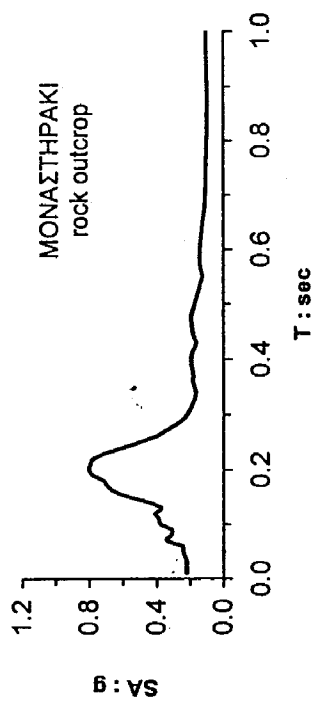
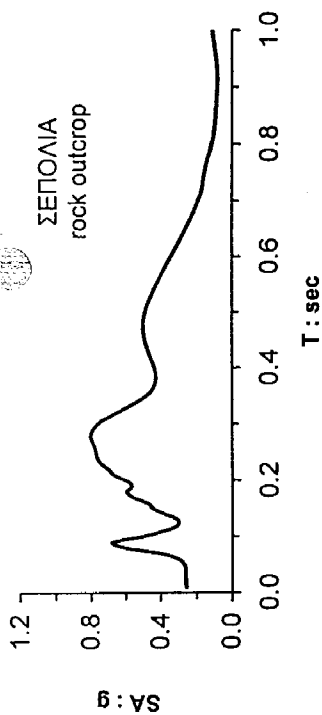
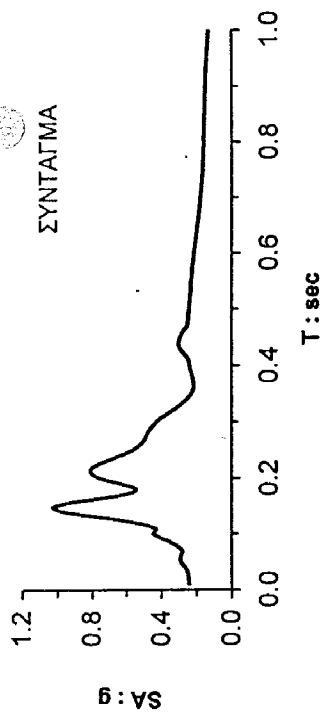


Σχήμα 7.4



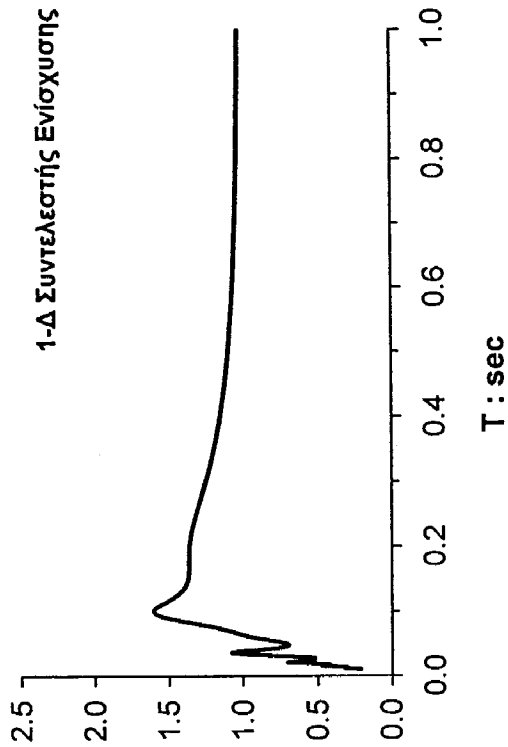
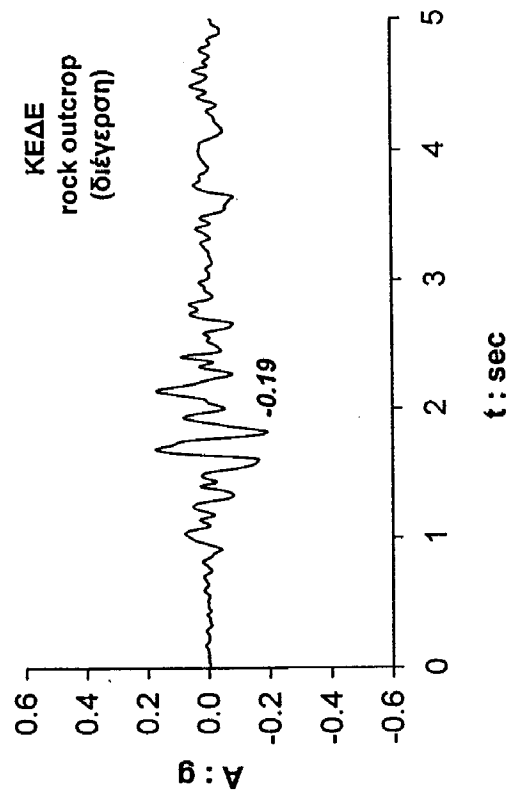
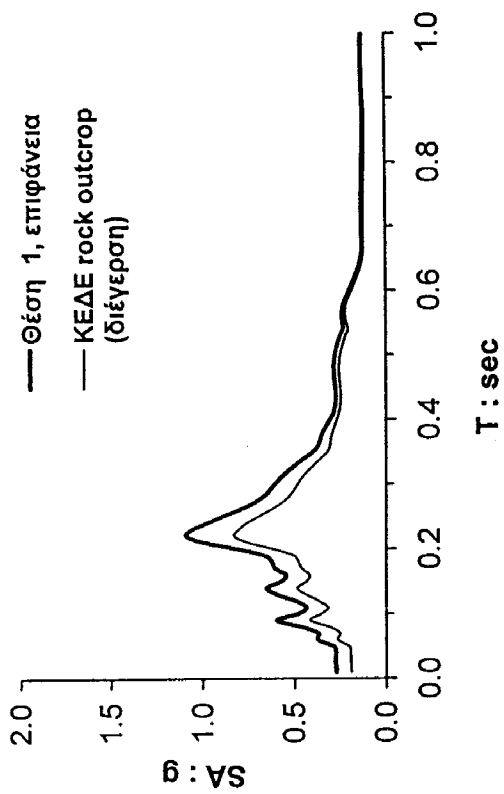
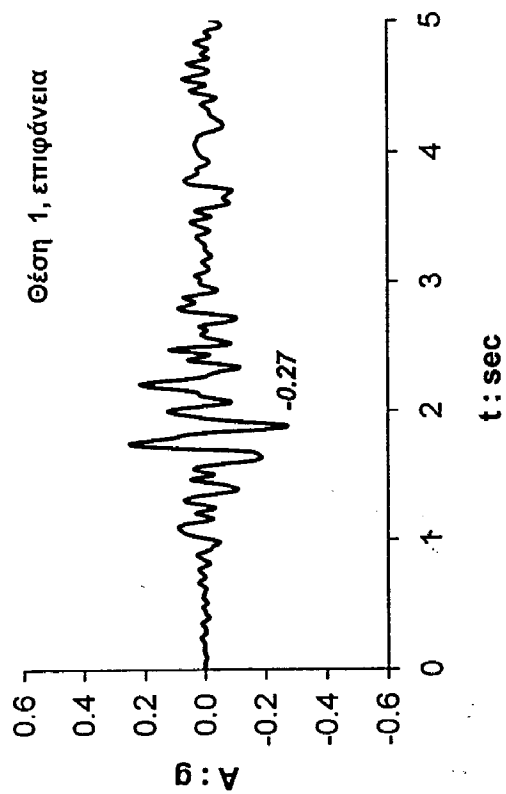
Σχήμα 7.5 (α)

Η συγκέντρωση έξι εδαφικών δονήσεων υπολογισμένες (με βάση τέσσερις πραγματικές καταγραφές) ή επιλεγμένες (από την διεθνή τράπεζα ισχυρών σεισμικών δονήσεων) για να περιγράψουν την rock-outcrop δόνηση σε απόσταση περίπου 10 km από την σεισμική πηγή. Χρονοϊστορίες επιτάχυνσης.



Σχήμα 7.5 (β)

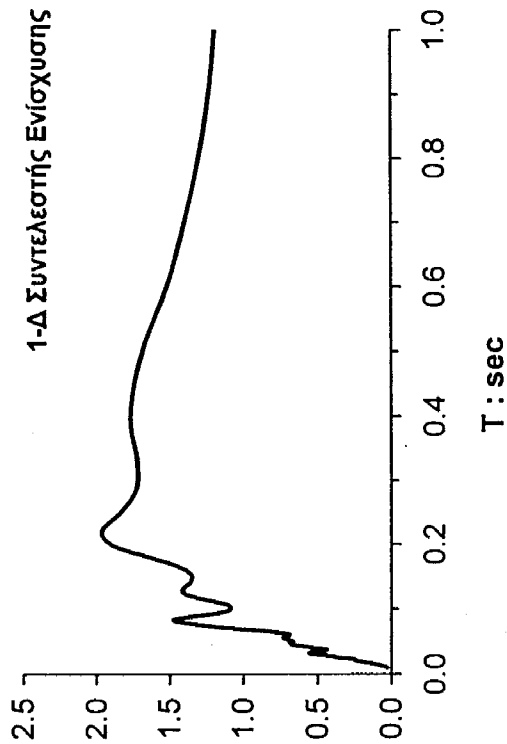
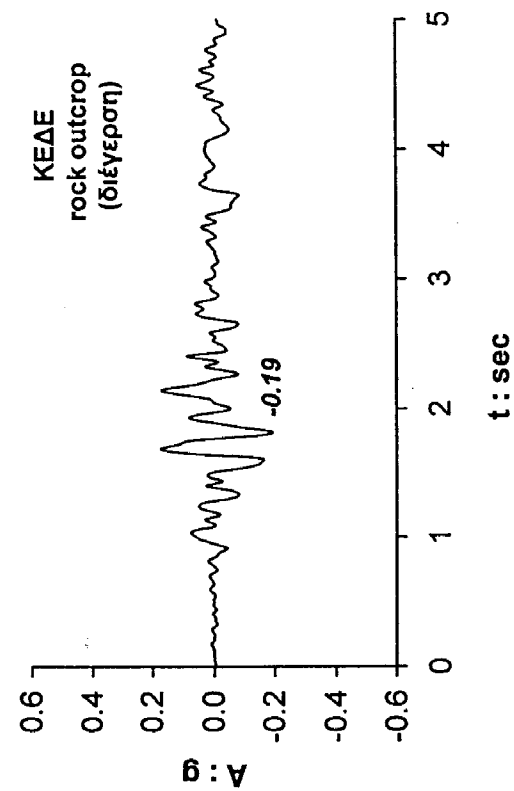
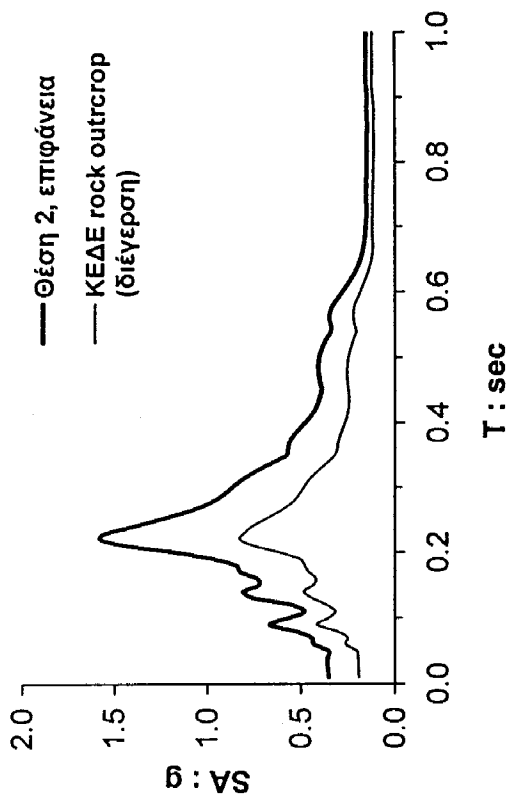
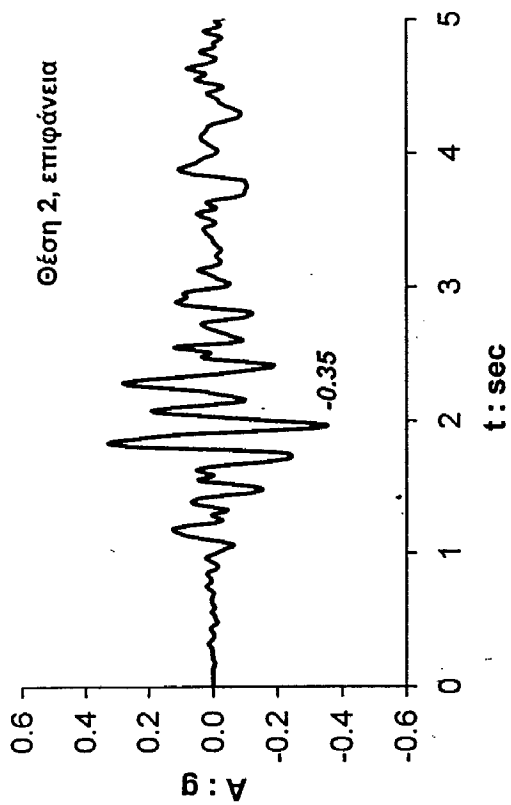
Η συγκέντρωση έξι εδαφικών δονήσεων υπολογισμένες (με βάση τέσσερις πραγματικές καταγραφές) ή επιλεγμένες (από την διεθνή τράπεζα ισχυρών σεισμικών δονήσεων) για να περιγράψουν την rock-outcrop δόνηση σε απόσταση περίπου 10 km από την σεισμική πηγή. Ελαστικά φάσματα απόκρισης.



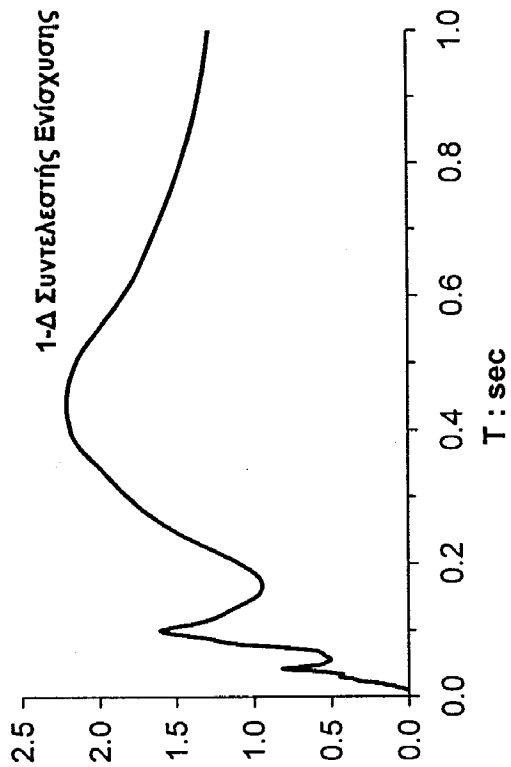
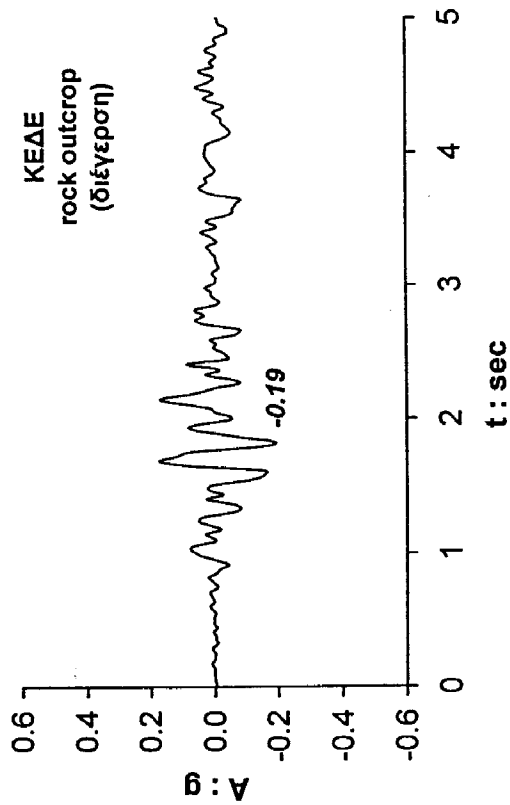
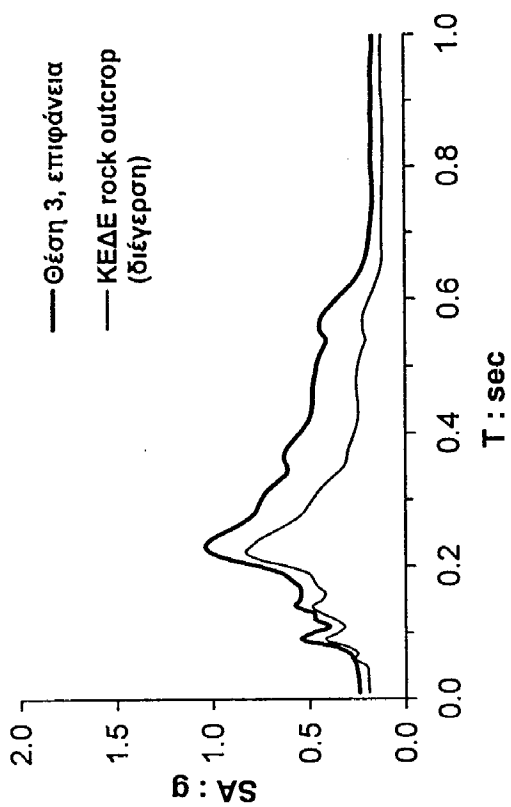
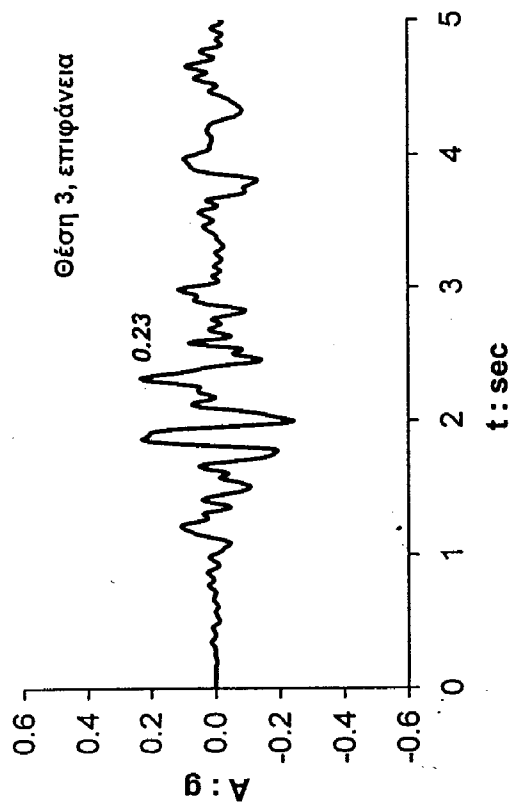
Σχήμα 7.6

Τυπικά αποτελέσματα των μονοδιάστατων αναλύσεων για τη Θέση 1

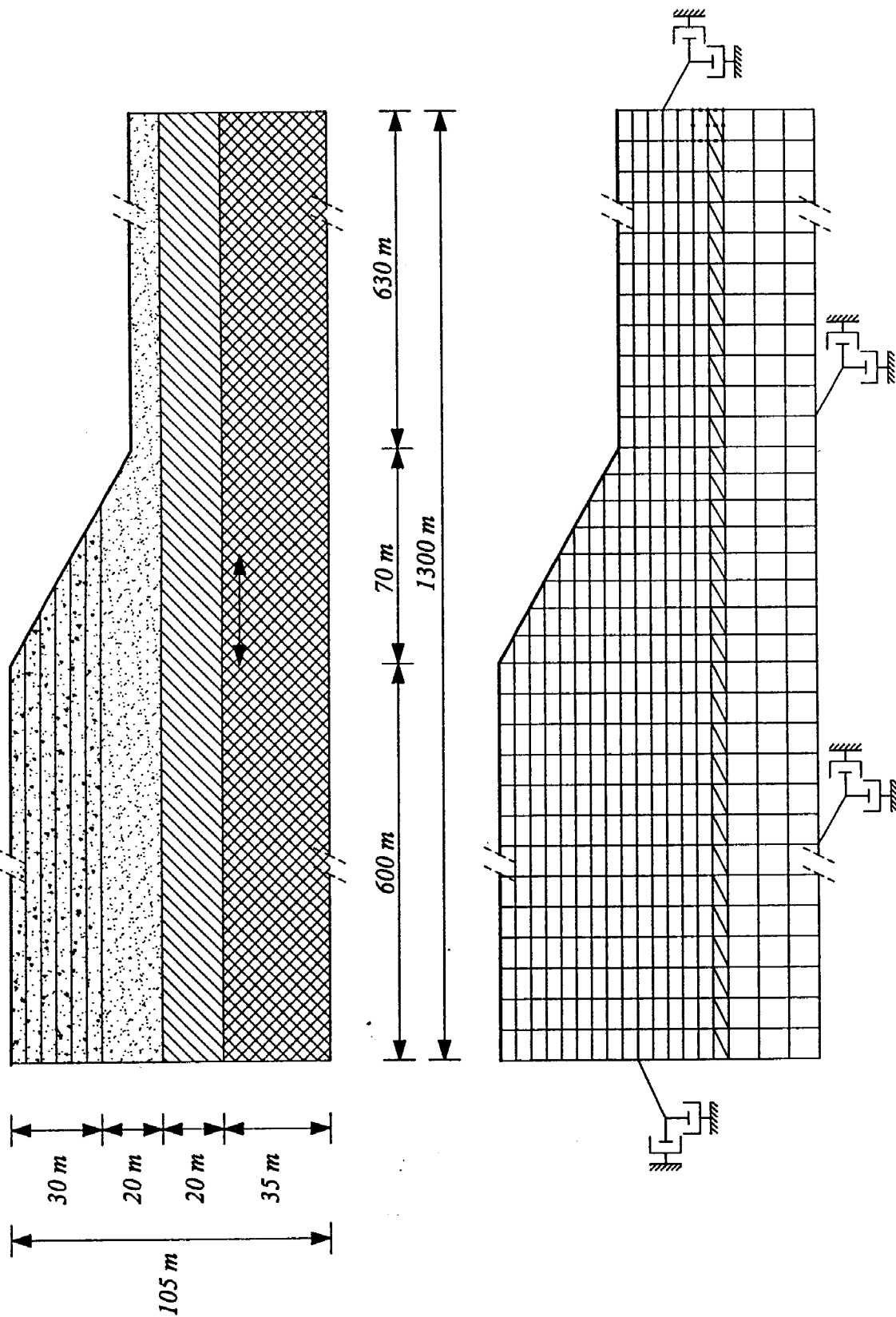




Σχήμα 7.7  
Τυπικά αποτελέσματα των μονοδιάστατων αναλύσεων για τη Θέση 2

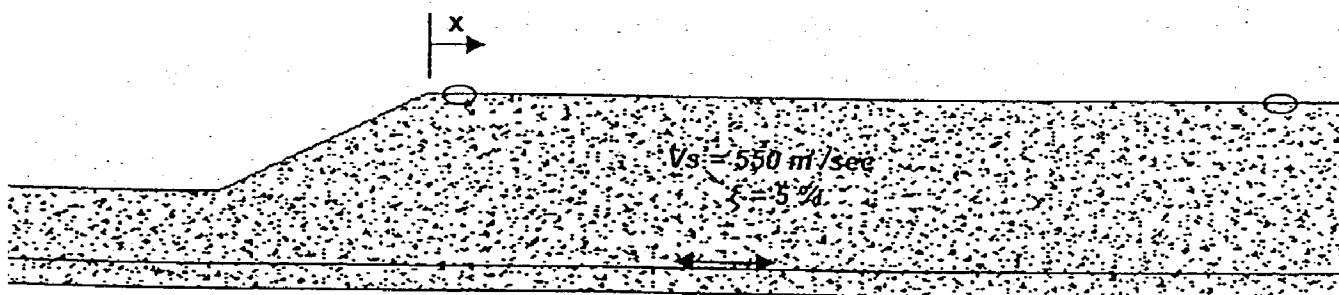
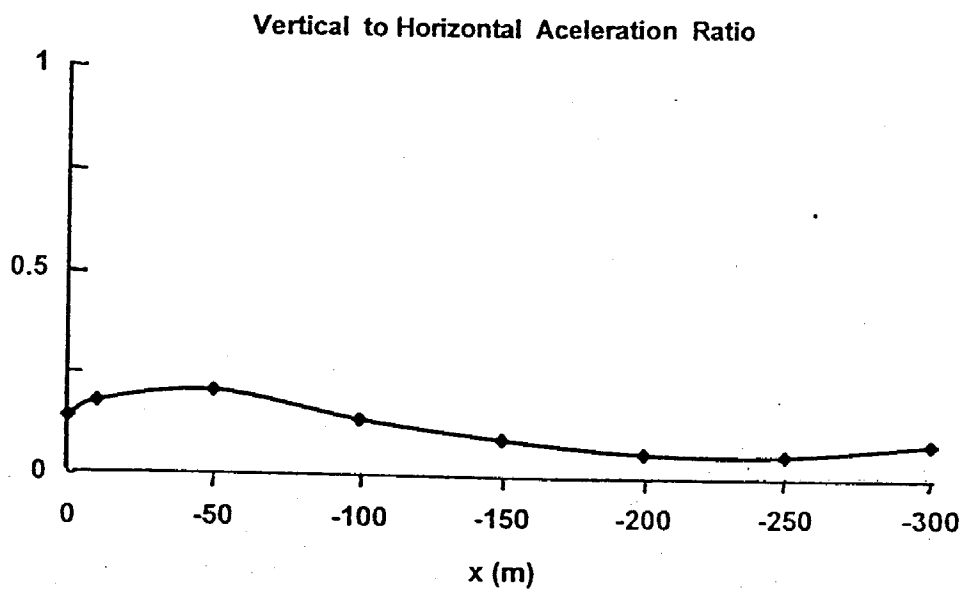
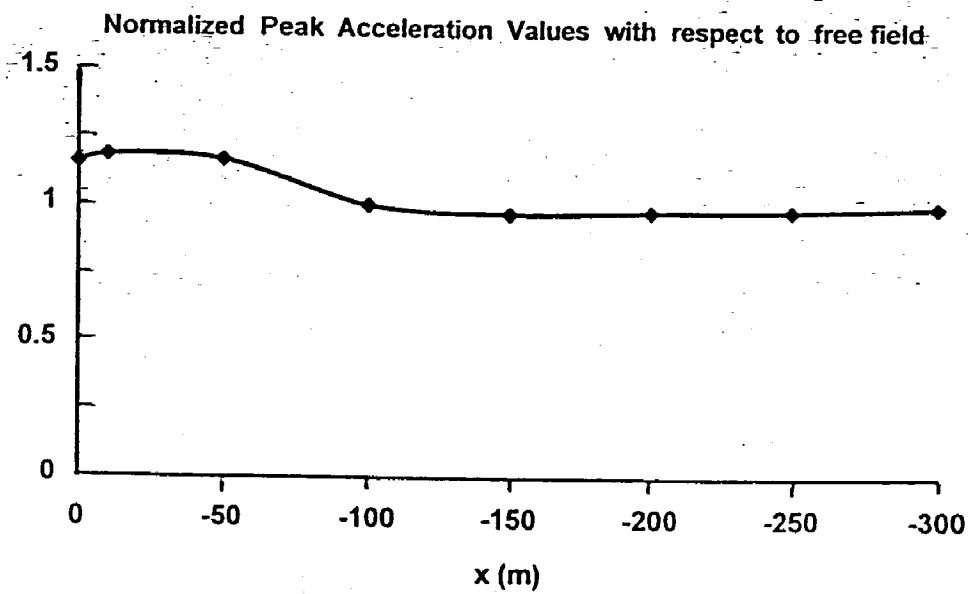


Σχήμα 7.8  
Τυπικά αποτελέσματα των μονοδιάστατων αναλύσεων για τη θέση 3

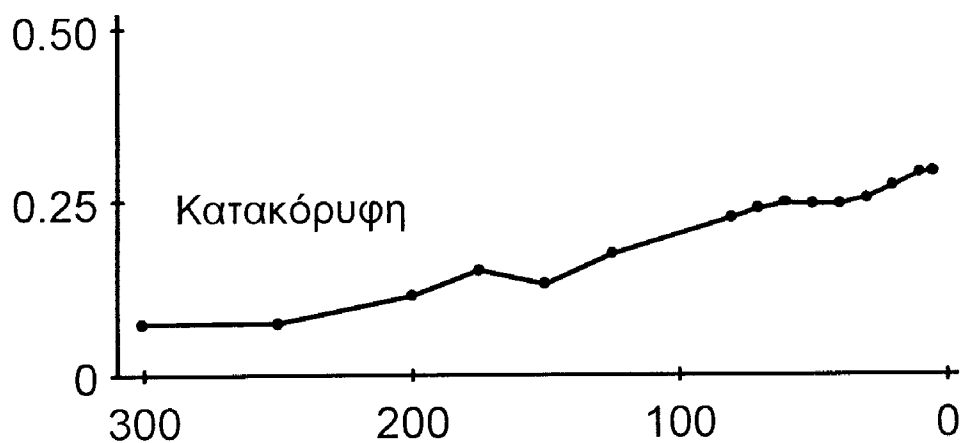


Σχήμα 7.9

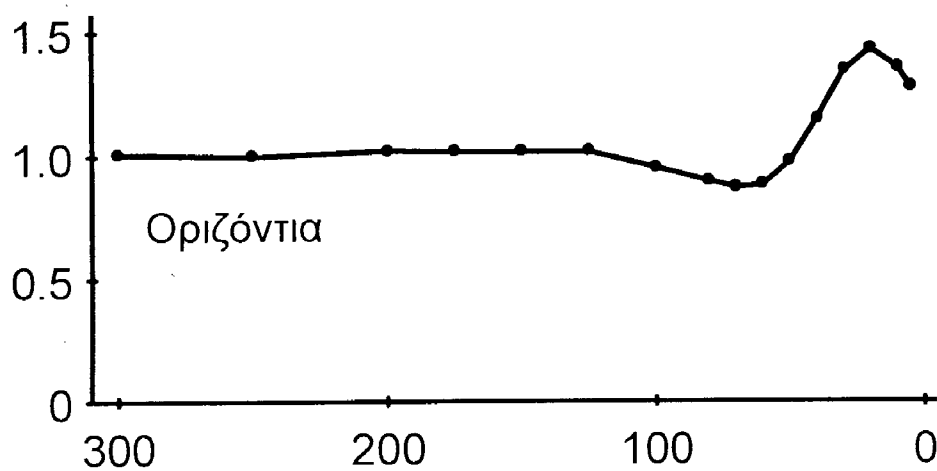
Το διδίδαστο προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων του πρανούς και του εδάφους.



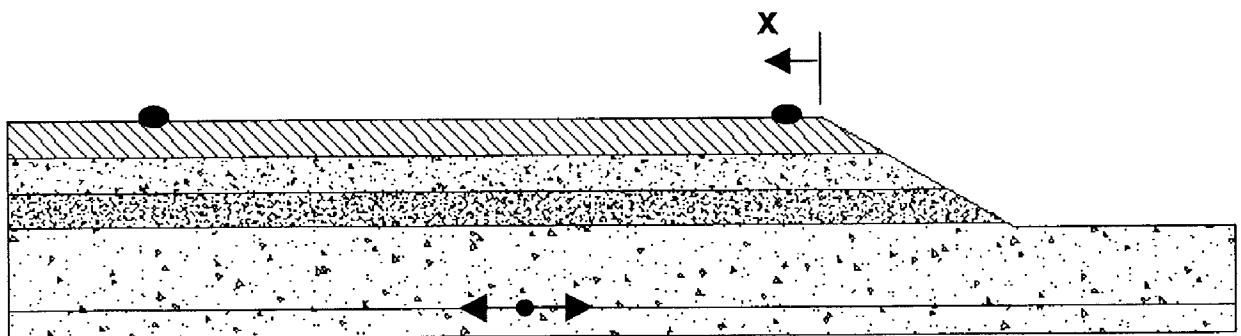
Σχήμα 7.10



$$\frac{a_{κατ.}^{2-\Delta}}{a_{οριζ.}^{2-\Delta}}$$

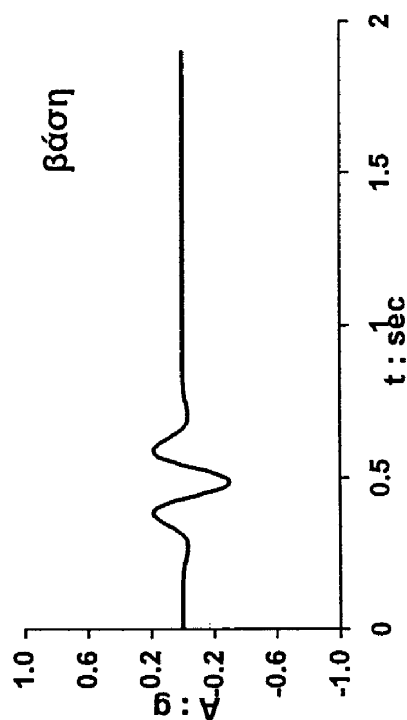
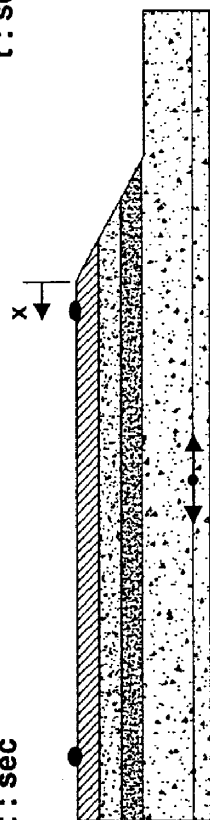
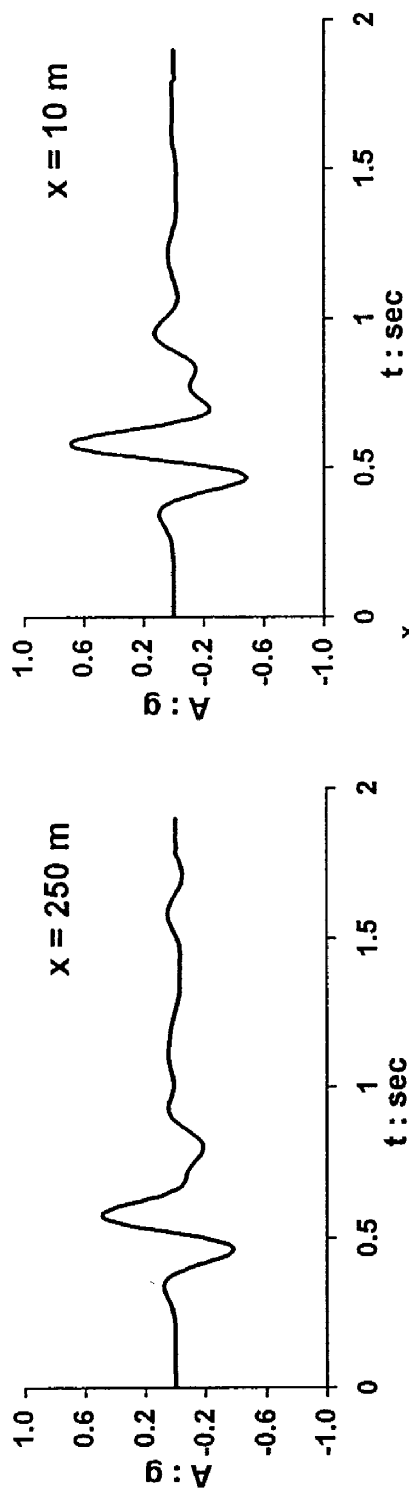


$$\frac{a_{οριζ.}^{2-\Delta}}{a_{οριζ.}^{1-\Delta}}$$



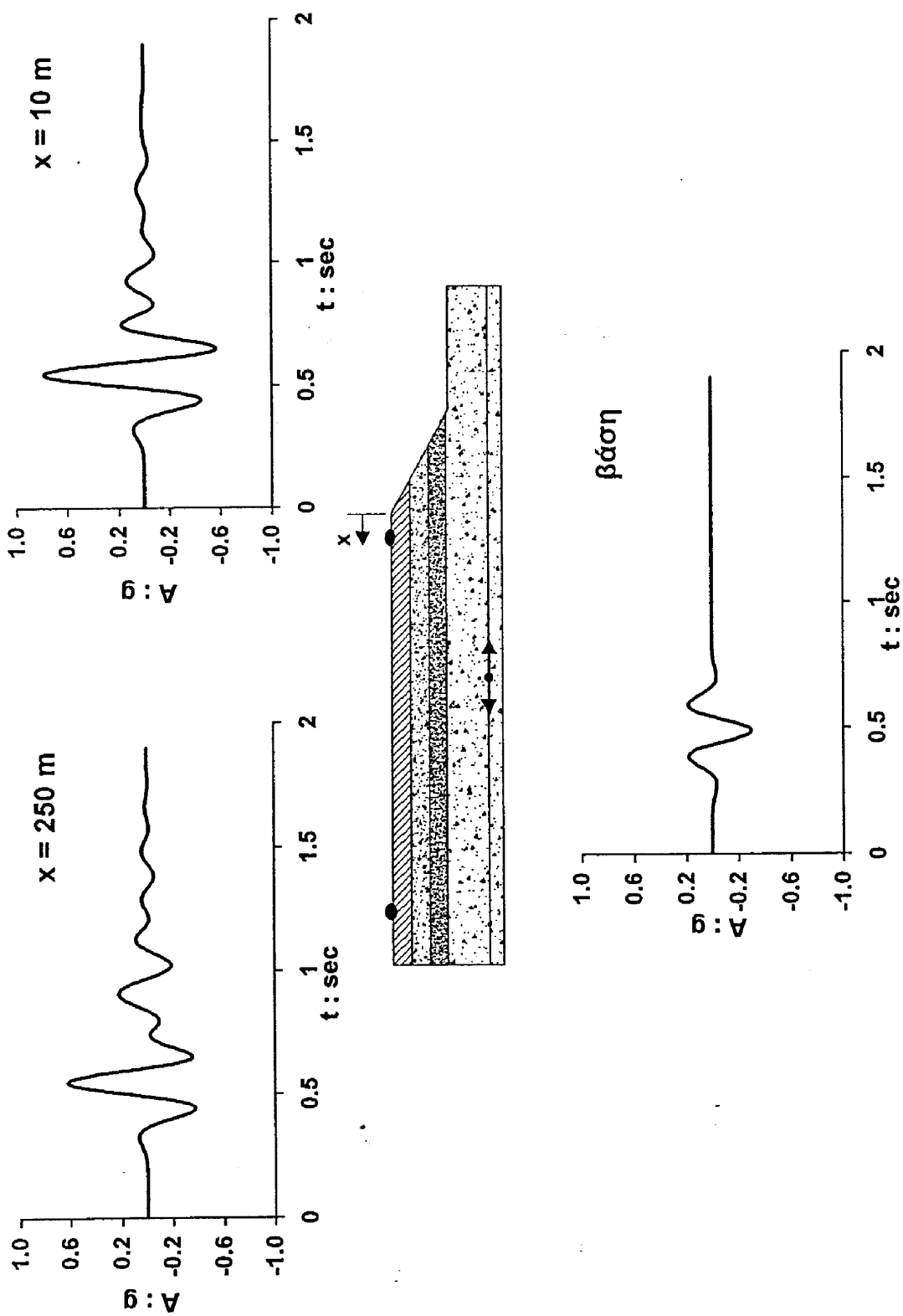
**Σχήμα 7.11**

Κατανομή κανονικοποιημένης οριζόντιας και κατακόρυφης μέγιστης επιτάχυνσης, με παλμική διέγερση τύπου Ricker ( $f_0 = 3 \text{ Hz}$ )



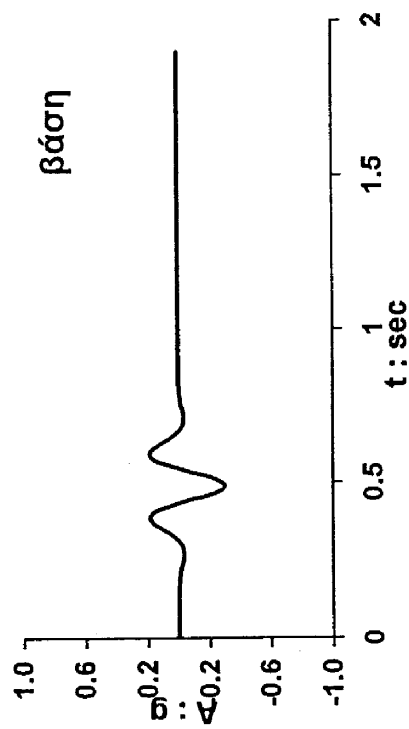
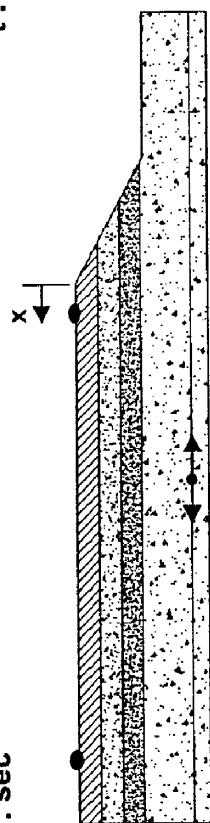
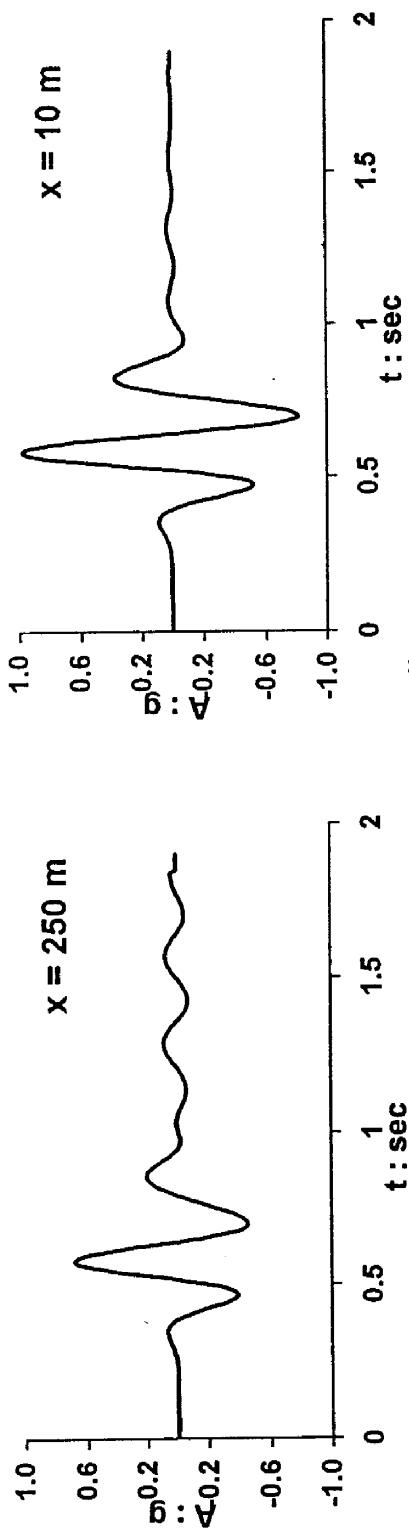
Σχήμα 7.12

Το πραινές των Αδαμών με την εδαφική κατατομή της Θέσης 3 : υπολογισμένες χρονοϊστορίες οριζοντίων επιταχύνσεων στα  $x=10\text{m}$  (Θέση 3) και  $x=250\text{m}$  (Θέση 2). Χρησιμοποιήθηκε παλμός Ricker με  $f_0=3\text{Hz}$  ως SV διέγερση.



Σχήμα 7.13

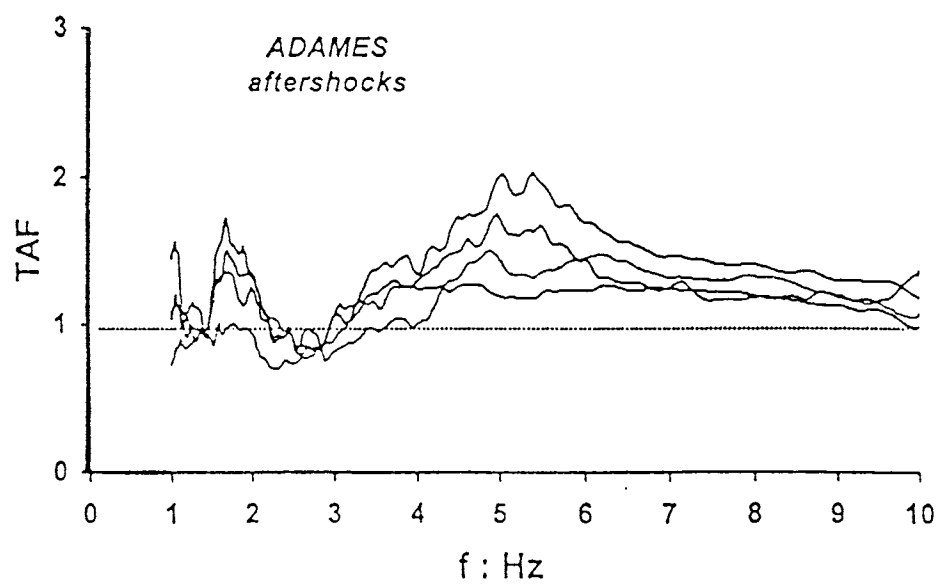
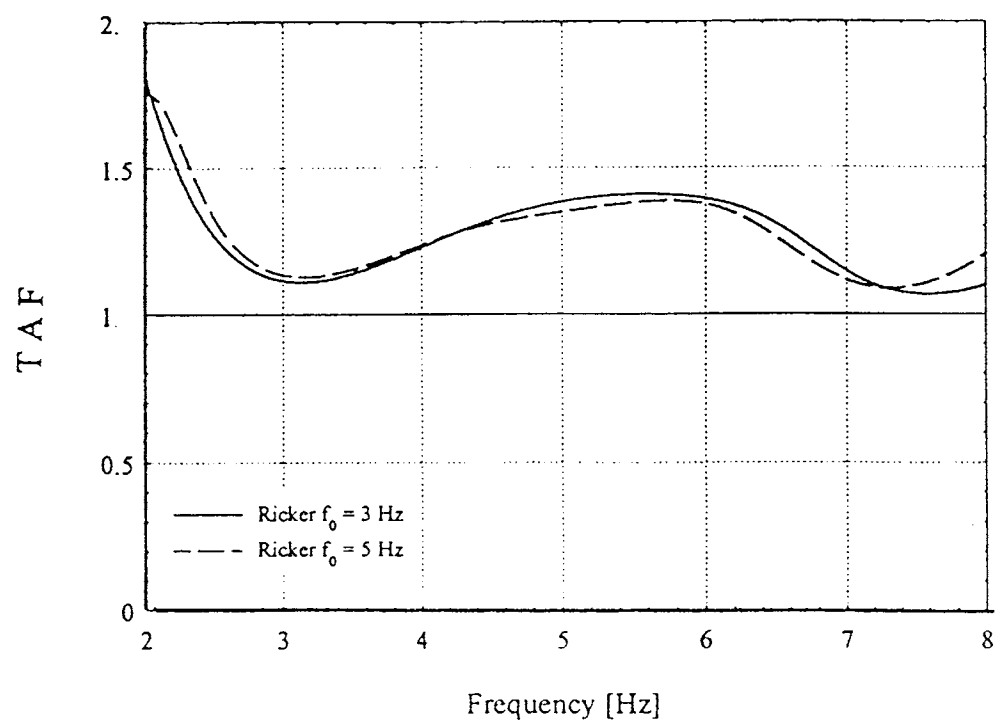
Το πραινές των Αδαμών με την εδαφική κατατομή της Θέσης 1 : υπολογισμένες χρονοιστορίες οριζοντίων επιταχύνσεων στα  $x=10\text{m}$  (Θέση 3) και  $x=250\text{m}$  (Θέση 2). Χρησιμοποιήθηκε παλμός Ricker με  $f_0=3\text{Hz}$  ως SV διέγερση.



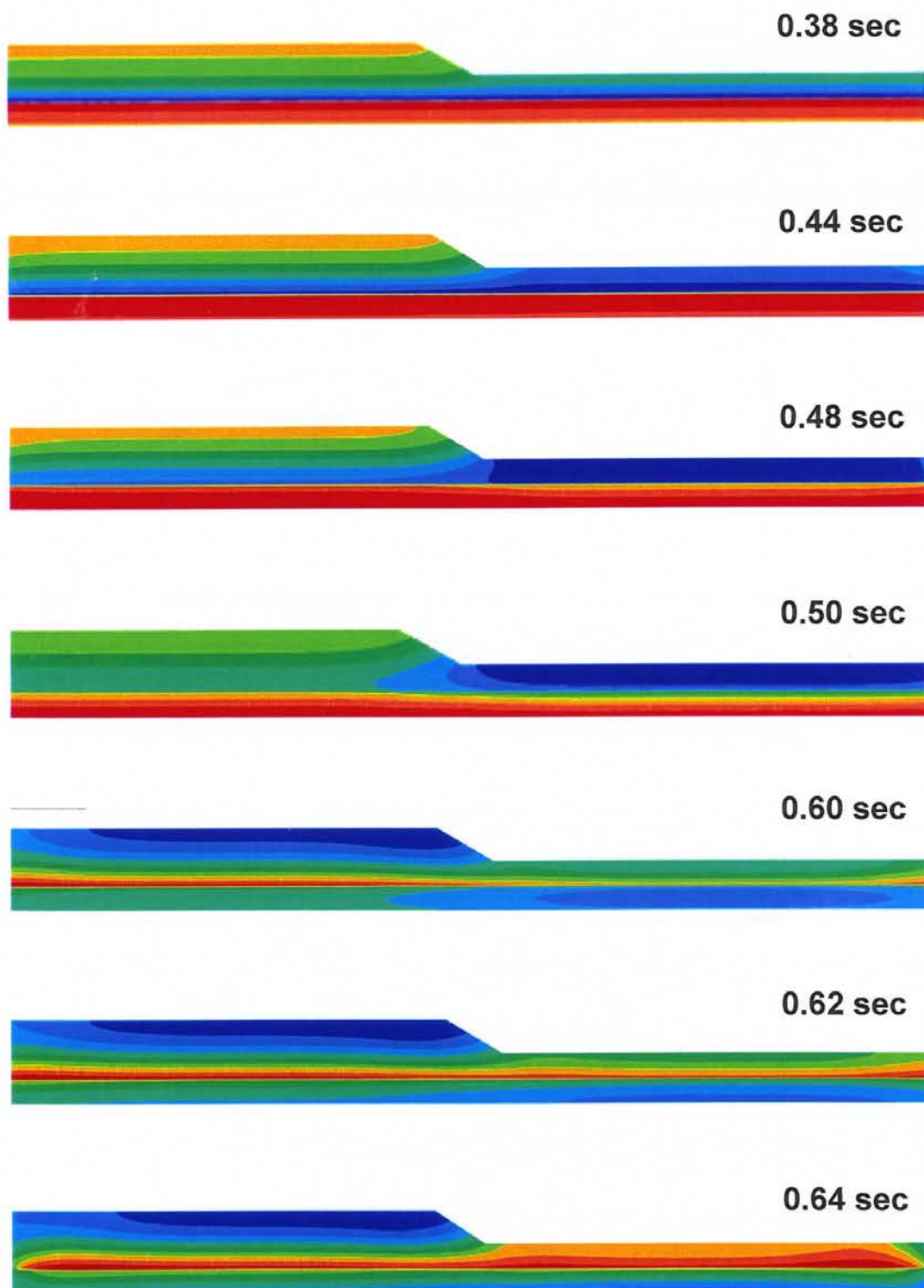
Σχήμα 7.14

Το πραινές των Αδαμίων με την εδαφική κατατομή της Θέσης 2 : υπολογισμένες χρονοϊστορίες οριζοντίων επιταχύνσεων στα  $x=10\text{m}$  (Θέση 3) και  $x=250\text{m}$  (Θέση 2). Χρησιμοποιήθηκε παλμός Ricker με  $f_0=3\text{Hz}$  ως SV δέγερση.



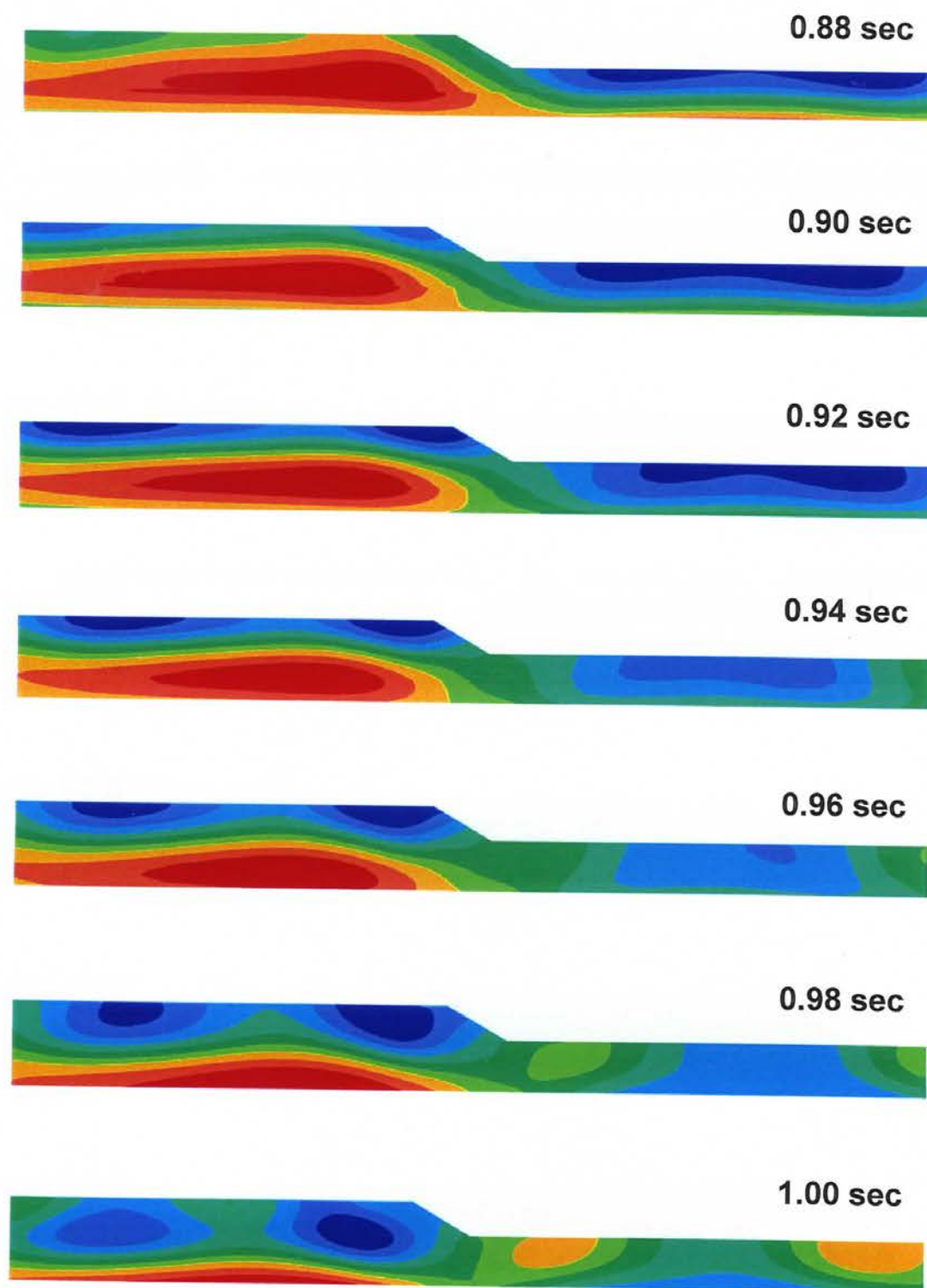


**Σχήμα 7.15**

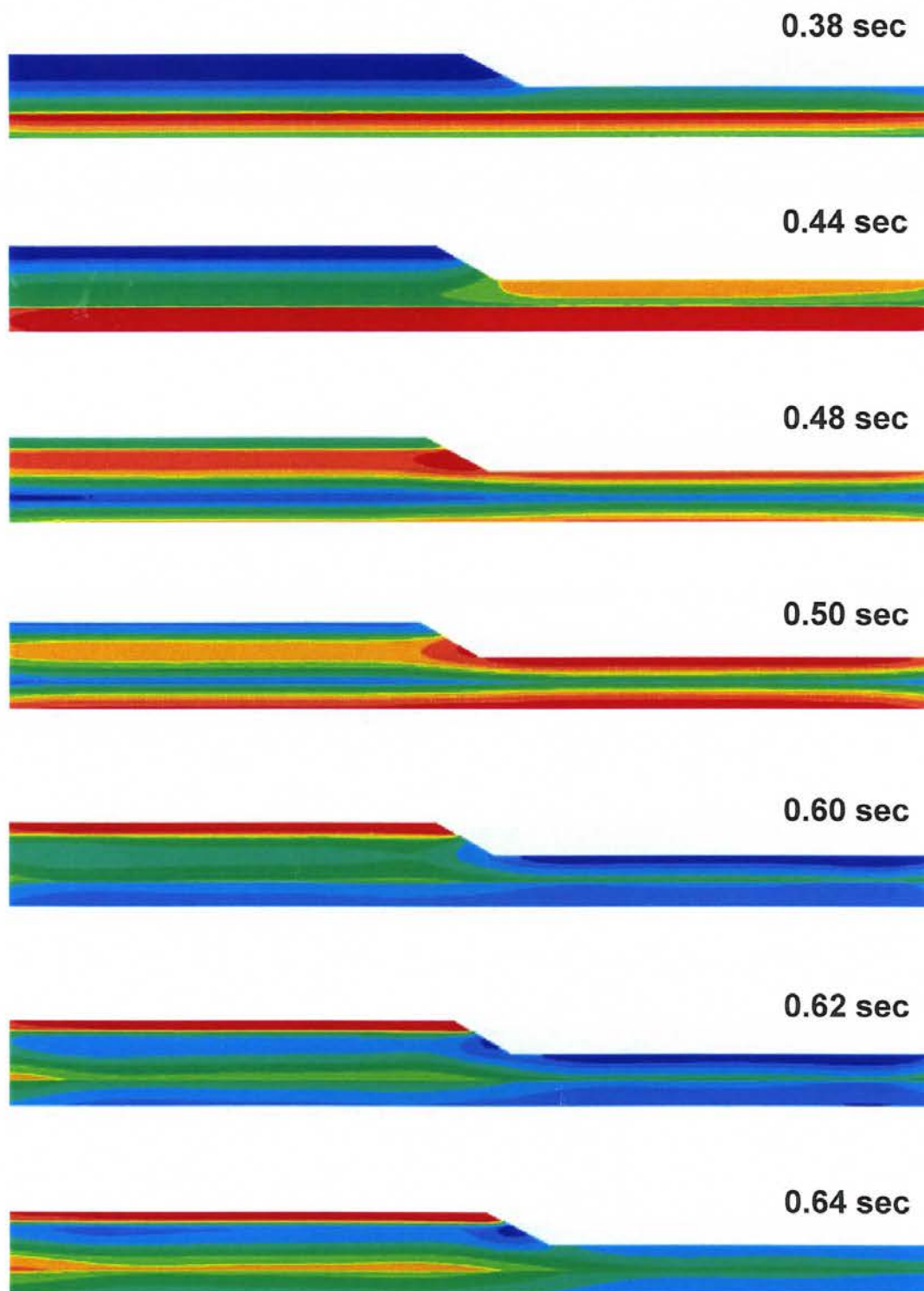


**Σχήμα 7.16**

*Το πρανές των Αδαμών με ομοιογενή ημίχωρο υποκείμενο σε SV παλμική διέγερση Ricker ( $f_0 = 3$  Hz): στιγμιότυπα μετακινήσεων (συνεχίζεται)*

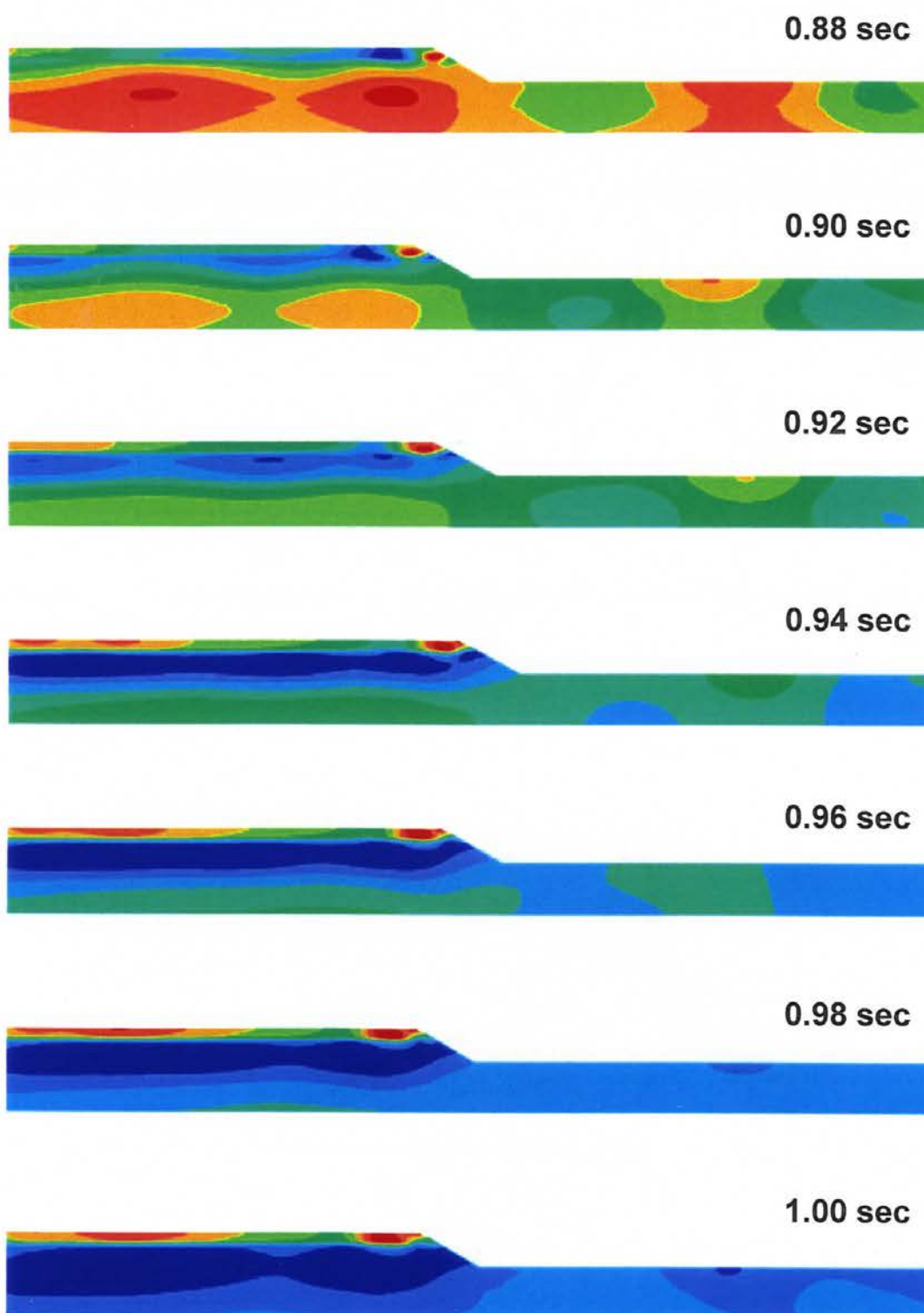


*Σχήμα 7.16 (συνέχεια)*



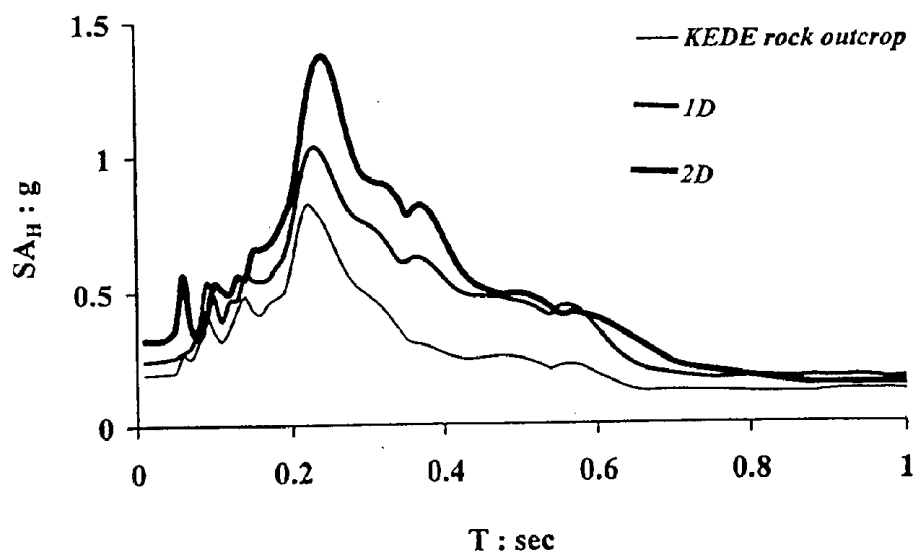
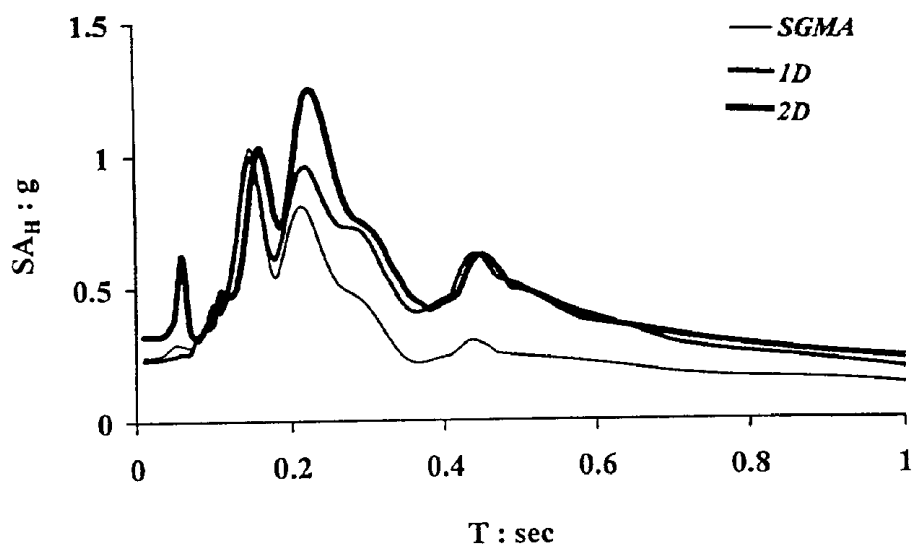
**Σχήμα 7.17**

*Το πραινές των Αδαμών με πολύστρωτο ημίχωρο (κατατομή της θέσης 3)  
υποκείμενο σε SV παλμική διέγερση Ricker ( $f_0 = 3$  Hz): στιγμιότυπα  
μετακινήσεων (συνεχίζεται)*



Σχήμα 7.17 (συνέχεια)

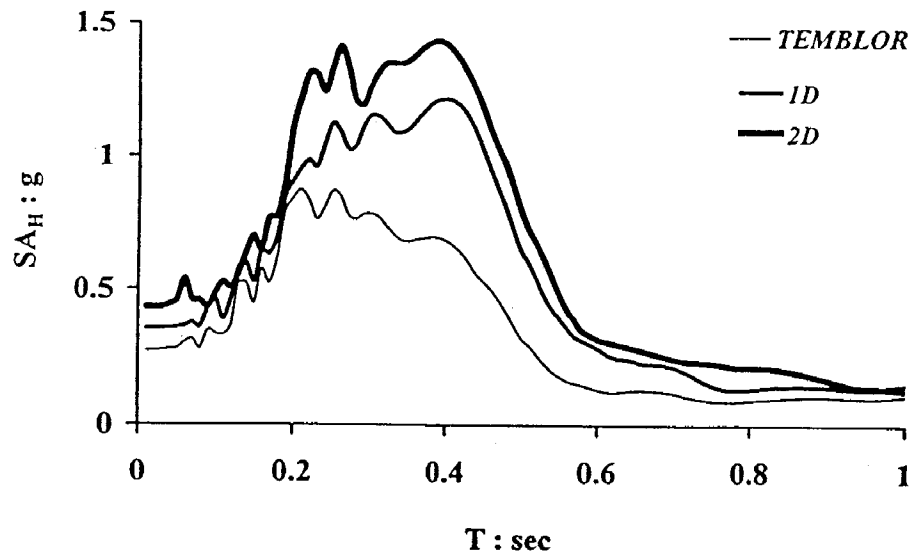
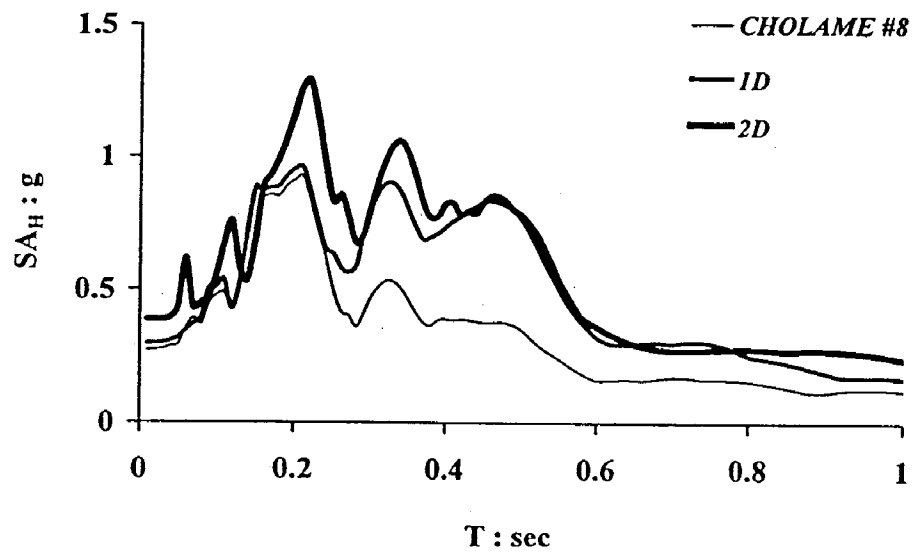
Adames : Site 3 ( $x = 10\text{ m}$ )



Σχήμα 7.18(a)

Σύγκριση των ελαστικών φασμάτων απόκρισης: (i) της rock-outcrop διέγερσης, (ii) της πρόβλεψης της μονοδιάστατης ανάλυσης που λαμβάνει υπόψη μόνον τις εδαφικές συνθήκες, και (iii) της πλήρους διδιάστατης ανάλυσης που λαμβάνει υπόψη τις εδαφικές και τις τοπογραφικές συνθήκες

*Adames : Site 3 (x = 10 m)*



*Σχήμα 7.18(β)*