

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

(Αρ. Πρωτ. 2381 / 29.12.86)

ΤΕΛΙΚΗ
ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
του Ο. Α. Σ. Π.

" ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ "

(27.10.1986 - 27.12.1986)

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1986

34/a

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>Σελίδα</u>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	3
2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ - ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΙΤΣΑΚ	8
3. ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ	23
4. ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	39
4.1 Γενικά	39
4.2 Φάσματα σχεδιασμού των οριζοντίων συνιστω- σών κατά Newmark-Hall για την Καλαμάτα	40
4.3 Συγκρίσεις με ανάλογα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης - Προτεινόμενα φάσματα σχεδιασμού	41
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	47
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Δελτία καταγραφής ισχυρής σεισμικής δόνησης	52
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Φάσματα απόκρισης S_v , S_a και S_d σε τριλογαριθμικές κλίμακες, του κύριου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασει- σμού (Επεξεργασία του ΕΝΕΑ)	59

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόγραμμα "Ανάλυση επιτ/μάτων των σεισμών της Καλαμάτας" ανατέθηκε στο ΙΤΣΑΚ στα πλαίσια μιας γενικότερης μελέτης της μικροζωνικής της ίδιας περιοχής, από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ). Η συγκεκριμένη μελέτη εκπονήθηκε το δίμηνο 27 Οκτώβρη έως 27 Δεκέμβρη 1986.

Κύριος σκοπός της μελέτης αυτής, σύμφωνα με τους όρους της σχετικής σύμβασης, είναι η επεξεργασία και η ανάλυση των καταγραφών ισχυρών εδαφικών κινήσεων των σεισμών της Καλαμάτας. Επίσης γίνεται προσπάθεια σύγκρισης των αποτελεσμάτων αυτών, με άλλα προηγούμενα και δίνονται τα τελικά αποτελέσματα ώστε να χρησιμοποιηθούν στις επόμενες φάσεις του προγράμματος της μικροζωνικής.

Βασικοί στόχοι που έπρεπε να εκπληρωθούν ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη του παρόντος προγράμματος ήταν οι εξής:

α. Εγκατάσταση και πύκνωση του ήδη υπάρχοντος δικτύου επιταχ/ων του ΙΤΣΑΚ με κύριο σκοπό να συλλεγούν όσο το δυνατόν περισσότερες καταγραφές.

β. Συλλογή και επεξεργασία σε δύο φάσεις των επιταχυν/μάτων των σεισμών της Καλαμάτας. Στη πρώτη φάση δόθηκαν μερικά πρώτα αποτελέσματα για γενικές εκτιμήσεις της ισχυρής σεισμικής κίνησης, ενώ στη δεύτερη φάση έγινε συστηματική επεξεργασία και διόρθωση των καταγραφών. Στην φάση αυτή δόθηκαν οι τελικές διορθωμένες τιμές των γήινων παραμέτρων.

γ. Μία πρώτη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της επεξεργασίας πραγματοποιήθηκε συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της παρούσης μελέτης με άλλες που έγιναν κατά το παρελθόν στον Ελληνικό χώρο για επίσης ισχυρούς σεισμούς.

δ. Η ανταλλαγή απόψεων και συσχέτιση των αποτελεσμάτων της μελέτης αυτής με άλλες σεισμολογικές που πραγματοποιούνται από άλλους φορείς για την σεισμική ακολουθία της Καλαμάτας, έδωσαν πολύ εποικοδομητικά συμπεράσματα.

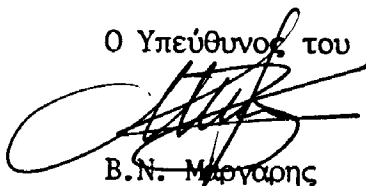
ε. Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι ο επιταχ/φος του μονίμου δικτύου του ΙΤΣΑΚ που κατέγραψε τον κύριο σεισμό και είναι εγκατεστημένος στο κτίριο της Νομαρχίας, καθώς και τα λοιπά όργανα της μετασεισμικής ακολουθίας λειτούργησαν τέλεια παρέχοντας έναν ικανοποιητικό αριθμό καταγραφών. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη σωστή συντήρηση των επιταχ/ων από το τεχνικό προσωπικό του ΙΤΣΑΚ.

Η εργασία αυτή μπορεί να θεωρηθεί ένα βασικό βήμα για τις μεταγενέστερες μελέτες τόσο στα πλαίσια της μικροζωνικής όσο και γενικότερα για τα προβλήματα αντισεισμικής θωράκισης της πόλης της Καλαμάτας. Συνεπώς τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλά τόσο για χρήσεις τεχνικής σεισμολογίας όσο και για χρήσεις αντισεισμικής μηχανικής. Ήδη για την άμεση ενημέρωση των σχετικών φορέων μια πρώτη δημοσίευση κρίθηκε σκόπιμη με κύριο στόχο να διευκρινισθούν οι παράμετροι των ισχυρών σεισμικών κινήσεων που επικράτησαν στην Καλαμάτα⁽¹⁾.

Στο πρόγραμμα αυτό μετείχαν οι Ν.Θεοδοουλίδης, Ν.Σωτηριάδης, Σ.Αναγνωστόπουλος, Δ.Παπασταματίου, Λ.Βορριάς, Α.Μαρίνος, Α.Ακριτίδης, Σ.Αντωνιάδου και Π.Αμπατζίδου.

Ειδικά πρέπει να μνημονευθεί το ENEA (Ιταλία-Ρώμη) διότι συνέβαλε ουσιαστικά στην ταχύτατη υφιοποίηση των επιτ/μάτων του ΙΤΣΑΚ με τον τελειότερου τύπου αυτόματο ψηφιοποιητή παρέχοντας τη μέγιστη αναμενόμενη ακρίβεια στην επεξεργασία των καταγραφών, προτιμήθηκε δε η λύση αυτή για λόγους που θα παρουσιασθούν στο κυρίως κείμενο. Η επεξεργασία των καταγραφών του ΙΤΣΑΚ από το ENEA πραγματοποιήθηκε δωρεάν στα πλαίσια επιστημονικής συνεργασίας των δύο Ινστιτούτων που ξεκίνησε από το 1985. Ευχαριστούμε θερμά τέλος όσους συνέβαλαν στην επιτυχή περάτωση του προγράμματος αυτού και ιδιαίτερα τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας για τη χρηματοδότηση του προγράμματος.

Ο Υπεύθυνος του προγράμματος

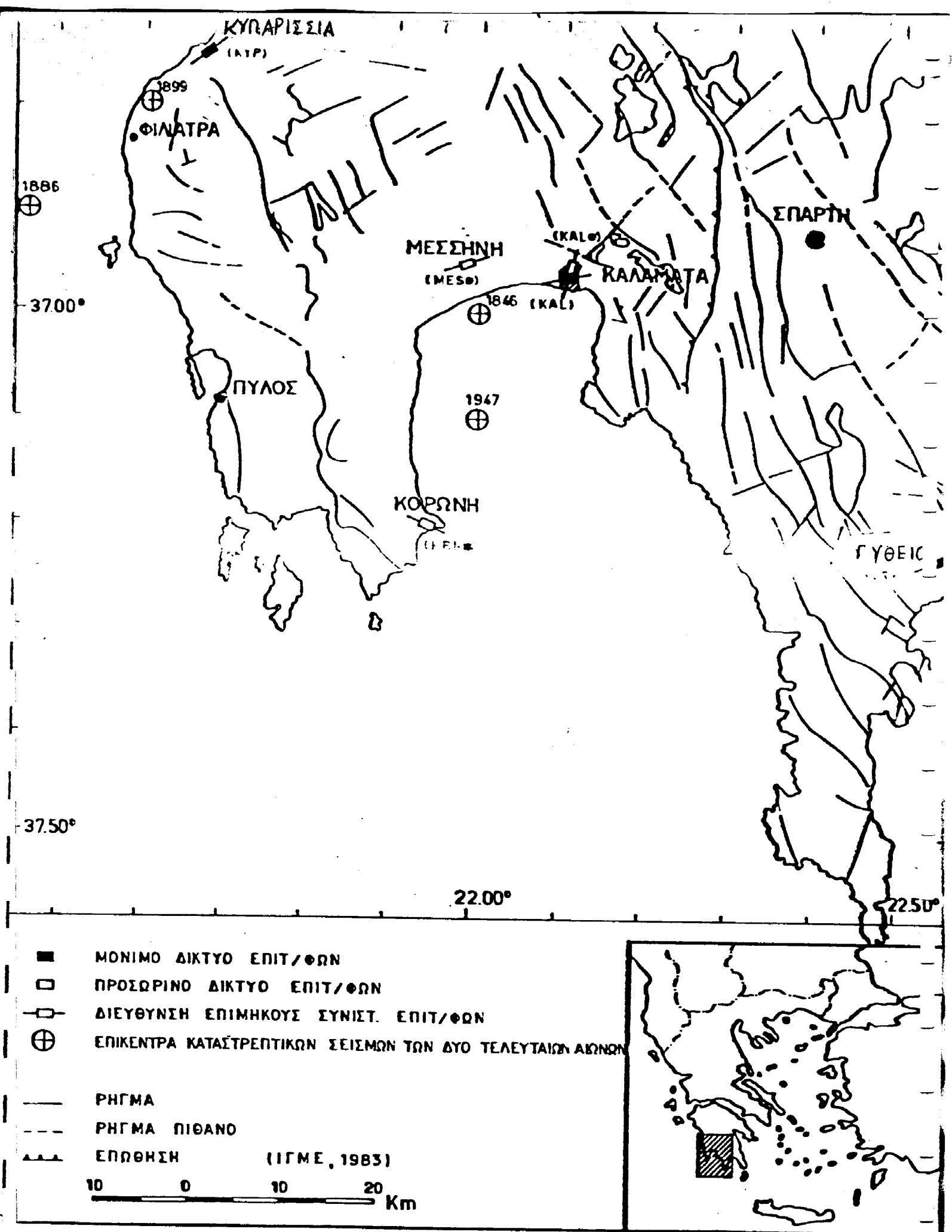


B.N. Μαραγκός

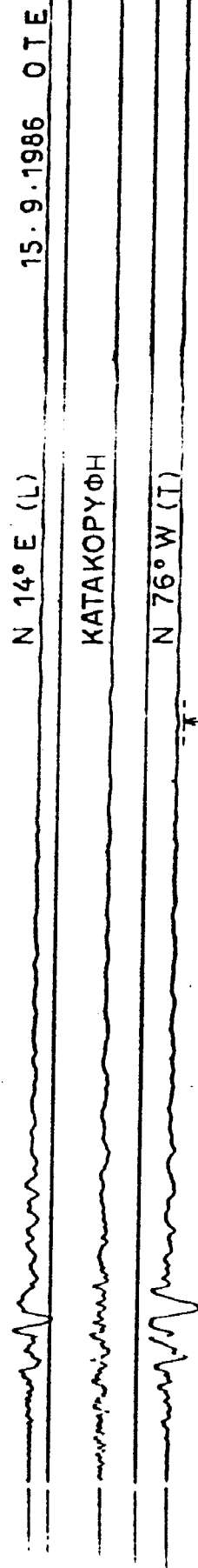
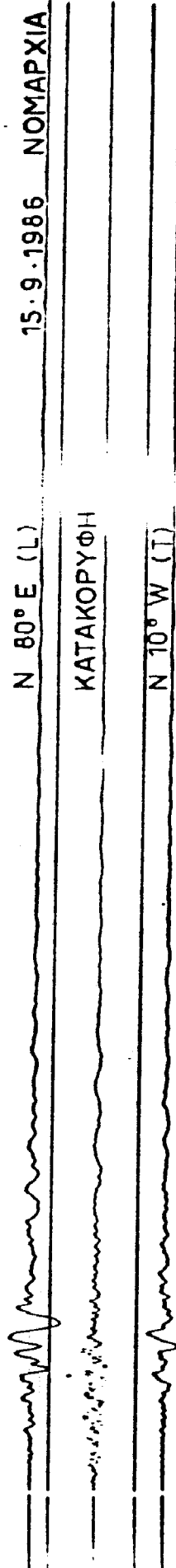
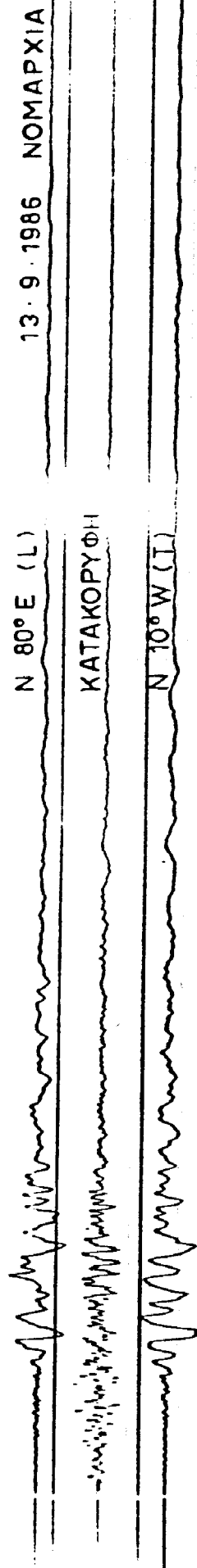
1. Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Τη 13 Σεπτ. 1986, και 20:35 ώρα Ελλάδος ισχυρός σεισμός συγκλόνισε την ΝΔ Πελοπόννησο με επίκεντρο την Καλαμάτα. Σύμφωνα με τις πρώτες ανακοινώσεις του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού ήταν 6.2. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός ακολούθησε δύο μέρες μετά τον κύριο σεισμό, στις 15 Σεπτ. 1986 και είχε επιφανειακό μέγεθος 5.4. Το ΙΤΣΑΚ προκειμένου να μελετήσει τη μετασεισμική ακολουθία και να συγκεντρώσει όσο το δυνατόν περισσότερες καταγραφές οργάνωσε κλιμάκια που μετέβησαν στην Καλαμάτα με κύριο στόχο την πύκνωση με νέα όργανα, του ήδη υπάρχοντος μόνιμου δικτύου επιταχ/φων.

Το δίκτυο οργάνων καταγραφής ισχυρής εδαφικής δόνησης του ΙΤΣΑΚ περιλαμβάνει τρεις επιταχυνσιογράφους τύπου SMA-1 στη Νότια Πελοπόννησο, εγκατεστημένους στην Καλαμάτα, στην Κυπαρισσία και στο Γύθειο (Σχ.1). Με όριο διέγερσης των οργάνων κατακόρυφη επιτάχυνση εδάφους ίση προς 0.005 g όπου g = επιτάχυνση βαρύτητας, ο σεισμός της 13-9-1986 διέγειρε τους επιταχυνσιογράφους στην Καλαμάτα και στο Γύθειο. Στις 14 Σεπτ. 1986 το ΙΤΣΑΚ εγκατέστησε στην περιοχή τρεις ακόμα επιταχυνσιογράφους, έναν στην Καλαμάτα, έναν στη Μεσσήνη και έναν στην Κορώνη (Σχ.1). Αντίγραφα των καταγραφών περιλαμβάνονται στα Δελτία Καταγραφής Ισχυρής Σεισμικής Δόνησης που εκδίδει το ΙΤΣΑΚ και τα οποία δημοσιεύθηκαν στο τεύχος 1436 (13-10-86) Ενημερωτικού Δελτίου του ΤΕΕ. Τα δελτία αυτά έχουν περιληφθεί στο Παράρτημα Α. Οι σημαντικότερες καταγραφές είναι τρεις: του κύριου σεισμού στην Καλαμάτα και του μετασεισμού της 15-9-1986 από τους επιταχ/φους πάλι στην Καλαμάτα. Οι τρεις αυτές καταγραφές, αντίγραφα του φίλμ, φαίνονται στο Σχ.2. Οι τρεις συνιστώσες κάθε καταγραφής δύο οριζόντιες και μία κατακόρυφη συμβολίζονται αντίστοιχα με τα γράμματα L (Longitudinal= επιμήκης), T (Transverse= εγκάρσια) και V (Vertical= κατακόρυφη). Αξίζει να σημειωθεί ότι ο επιταχ/φος που κατέγραψε τον κύριο σεισμό και τον κύριο μετασεισμό είναι εγκατεστημένος στο υπόγειο του 7ωρόφου κτιρίου της Νομαρχίας, ενώ ο δεύτερος επιταχ/φος που κατέγραψε τον μετασεισμό είναι εγκατεστημένος στο υπόγειο του νέου 4ωρόφου κτιρίου του ΟΤΕ. Τα όργανα απέχουν μεταξύ τους περί τα 250 m σε ευθεία γραμμή. Περισσότερες πληροφορίες για τα όργανα δίνονται



Σχ. 1: Χάρτης Τεκτονικός της ΝΑ Πελοποννήσου με το δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ και με τα επίκεντρα των ισχυρότερων σεισμών των δύο τελευταίων αιώνων.



1 sec
1 g

Σχ. 2: Οι τρεις σημαντικότερες καταγραφές (αντίγραφο φύλλο) του κύματος σεισμού 13/9/86 και του μετασεισμού 15/9/86 από τους δύο επιταχυνσιογράφους στην Καλιφίττα.

στα Δελτία του Παραρτήματος Α. Εκτός από τις κύριες καταγραφές, μέσα στο Παραρτήμα Α περιέχονται και τα Δελτία των υπόλοιπων καταγραφών της σεισμικής ακολουθίας της Καλαμάτας.

Σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να εξαχθούν από το φίλμ των καταγραφών είναι οι μέγιστες επιταχύνσεις, η διάρκεια της ισχυρής δόνησης, η δεσπόζουσα περίοδος και η απόσταση της καταγραφής από την εστία. Τέτοιες πληροφορίες παρέχονται στα Δελτία του Παραρτήματος Α ενώ από μετρήσεις στα επιταχυνσιογράμματα του ΙΤΣΑΚ προκύπτει ότι η απόσταση της εστίας του κύριου σεισμού από την πόλη της Καλαμάτας είναι 15 km και του κύριου μετασεισμού περί τα 11 km, στοιχεία που βρίσκονται σε καλή συμφωνία με τα αποτελέσματα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του ΑΠΘ⁽²⁾.

Στο Σχ.1 απεικονίζεται το μόνιμο δίκτυο επιταχυν/ων του ΙΤΣΑΚ με τα μαύρα παραλληλόγραμμα ενώ τα λευκά απεικονίζουν το προσωρινό δίκτυο που εγκαταστήθηκε μετά το σεισμό της 13-9-1986. Η διακεκομμένη γραμμή πάνω στα παραλληλόγραμμα δηλώνει την επίμηκη συνιστώσα του επιταχυνσιογράφου. Όπως φαίνεται στο Σχ.1 οι δύο επιταχυνσιογράφοι στην Καλαμάτα είναι εγκατεστημένοι σχεδόν κάθετα ο ένας προς τον άλλο, με αποτέλεσμα η επίμηκης συνιστώσα της καταγραφής του ενός να αντιστοιχεί προς την εγκάρσια συνιστώσα του άλλου. Αυτό δηλώνεται ώστε να επισημανθεί η πολύ μεγάλη ομοιότητα που παρουσιάζουν οι δύο καταγραφές (Σχ.2). Αυτό καθιστά τις καταγραφές πλήρως αξιόπιστες παρά την απόσταση των 250 μέτρων που χωρίζει τα αντίστοιχα όργανα.

Για να δοθεί τέλος, μία καλύτερη εικόνα της εδαφικής κίνησης και των συνεπειών του σεισμού της Καλαμάτας, συγκρίνονται στον Πίνακα 1 διάφορα στοιχεία του σεισμού με τα αντίστοιχα στοιχεία από τους σεισμούς των Αλκυονίδων (Καταγραφή στη Κόρινθο)⁽³⁾, Θεσσαλονίκης⁽⁴⁾ και El Centro⁽⁵⁾. Παρόλο που ο σεισμός της Καλαμάτας είναι μικρότερος απ'όλους, η δόνηση ήταν πολύ έντονη, της ίδιας περίπου έντασης με την δόνηση της Κορίνθου από τον σεισμό των Αλκυονίδων, οπωσδήποτε ισχυρότερη από την δόνηση της Θεσσαλονίκης και λιγότερο ισχυρή από τη γνωστή δόνηση του σεισμού του El Centro του 1940. Θα πρέπει να θεωρηθεί ευτύχημα ότι η διάρκεια της ισχυρής δόνησης (με επιταχύνσεις $\geq 0.1g$) ήταν μικρή διότι διαφορετικά οι βλάβες στις οικοδομές θα ήταν πιο εκτεταμένες και οι καταρρεύσεις περισσότερες. Η μικρή διάρκεια της ισχυρής δόνησης οφείλεται, κατά κύριο λόγο στο μικρό μέγεθος του σεισμού ενώ η υψηλή σχετικά, ένταση οφείλεται στη μικρή απόσταση από την εστία.

Πίνακας 1: Συγκρίσεις του σεισμού της Καλαμάτας με άλλους γνωστούς σεισμούς

ΜΕΤΕΘΕΣ	ΚΑΛΑΜΑΤΑ 1986			ΑΛΚΥΟΝΙΔΕΣ 1981 (ΚΟΡΙΝΘΟΣ-ΛΟΥΤΡΑΚΙ)			ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1978			EL CENTRO 1940 CALIFORNIA		
	ΣΥΝΙΣΤΗΣΑ			ΣΥΝΙΣΤΗΣΑ			ΣΥΝΙΣΤΗΣΑ			ΣΥΝΙΣΤΗΣΑ		
	N10W	N80E	ΚΑΤΑΚ.	N55W	N35E	ΚΑΤΑΚ.	N60W	N30E	ΚΑΤΑΚ.	N00S	N90W	ΚΑΤΑΚ.
$\max \ddot{u}_{εδ} \text{ (g)}$	0.27	0.24	0.18	0.29	0.24	0.10	0.15	0.14	0.14	0.35	0.21	0.21
$\max \dot{u}_{εδ} \text{ (cm/sec)}$	23.7	32.3	9.0	24.6	22.5	8.01	16.7	12.7	7.6	33.5	36.9	10.8
$\max u_{εδ} \text{ (cm)}$	5.3	7.2	1.4	6.4	6.7	2.6	3.4	3.0	1.0	10.87	19.8	5.6
$\max \ddot{u}_{εδ} / \max \dot{u}_{εδ}$	87.8	134.8	49.6	85.9	94.6	83.8	108.1	89.2	56.0	96.0	172.3	51.5
Μέγεθος Σεισμού (Ms)		6.2			6.7			6.5			7.1	
Απόσταση από επίκεντρο (km)		15			20			30			11	
Διάρκεια ισχυρής δόνησης (1)		2.5			6.0			5.0			20.0	
Αριθμός σημαντικών καταρρέσεων (κτίρια από σπλ. ακυρότητα)		7			9			1				
Ποσοστά οικοδομών χωρίς αξιόλογες βλάβες (2)		33%			91%			69%				
Χρόνος Σεισμού		13/9/86			24/2/81			20/6/78				
		20:35			22:54			23:03				
Αριθμός Νεκρών (3)		20			20			48				

(1) Επιταχύνσεις μεγαλύτερες του 0.1 g

(2) Από στοιχεία του ΟΑΣΠ και του ΥΠΕΧΩΔΕ

(3) Περιλαμβάνει και νεκρούς από τους μετασεισμούς

2. ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ - ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧ/ΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΙΤΣΑΚ

Για την παραπέρα λεπτομερή μελέτη της σεισμικής δόνησης χρειάζεται να μετατραπούν οι αναλογικές καταγραφές (φωτογραφικό φιλμ) σε ψηφιακές, διορθώνοντας ταυτόχρονα και τα σφάλματα που υπεισέρχονται τόσο κατά την καταγραφή της δόνησης όσο και κατά την επεξεργασία της. Η όλη διαδικασία αποτελεί την ψηφιοποίηση-διόρθωση των καταγραφών ισχυρών σεισμικών κινήσεων. Η ψηφιοποίηση των καταγραφών των σεισμών της Καλαμάτας έγινε στο Ιταλικό Ερευνητικό Κέντρο ENEA όπου εφαρμόζεται μία από τις τελειότερες επεξεργασίες επιταχ/μάτων. Το ΙΤΣΑΚ ακολούθησε αυτή την επιλογή με κύριο στόχο την ακριβέστερη και γρηγορότερη επεξεργασία των δεδομένων ώστε σε σχετικά σύντομο διάστημα να έχει τα πλέον αξιόπιστα αποτελέσματα για την παραπέρα χρήση τους.

Η επεξεργασία της ψηφιοποίησης των επιταχ/μάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε ημιαυτόματο (χειροκίνητη επεξεργασία) όσο και σε αυτόματο ψηφιοποιητή. Οι δύο διαδικασίες διαφέρουν κυρίως ως προς τον απαιτούμενο χρόνο επεξεργασίας αλλά και ως προς το σύνολο των σφαλμάτων που υπεισέρχονται από κάθε μία χωριστά. Με την ημιαυτόματη ψηφιοποίηση εισάγουμε ένα μεγάλο αριθμό σφαλμάτων που οφείλονται στον χειριστή. Η παρέμβαση του χειριστή στο τελικό αποτέλεσμα της ημιαυτόματης ψηφιοποίησης παρουσιάζεται σε πειράματα που έγιναν στο CALTECH⁽⁶⁾⁽⁷⁾. Το ENEA για την ψηφιοποίηση των καταγραφών του χρησιμοποιεί αυτόματο ψηφιοποιητή μεγάλης ακρίβειας με resolution (400-500 σημεία/sec) και ταχύτητα επεξεργασίας (0.5÷100 mm/sec)⁽⁸⁾. Η ψηφιοποίηση των καταγραφών σ' αυτόν τον ψηφιοποιητή ολοκληρώνεται στο 1/10 του χρόνου της ημιαυτόματης ψηφιοποίησης, περιορίζοντας στο ελάχιστο τις αστοχίες που οφείλονται στο χειριστή και αποτελούν μια ουσιαστική πηγή λαθών κατά την επεξεργασία.

Η κύρια επεξεργασία των ψηφιοποιημένων καταγραφών για την απομάκρυνση των σφαλμάτων τόσο κατά τη διάρκεια της καταγραφής όσο και κατά την ψηφιοποίηση αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του '70 στο CALTECH⁽⁹⁾. Από τότε μια σειρά από Αμερικάνικα και Ευρωπαϊκά Ινστιτούτα βοήθησαν στη συστηματική τελειοποίηση της ψηφιοποίησης-διόρθωσης των επιταχ/μάτων⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽¹⁰⁾. Ο βασικός σκελετός όμως όλων των μεθοδολογιών είναι η διαδικασία που εφαρμόστηκε στο CALTECH. Σ' αυτήν τη διαδικασία γίνεται προσπάθεια απομάκρυνσης από την ψηφιο-

ποιημένη καταγραφή όλων των συχνοτήτων μικρότερων των 0.05 Hz και μεγαλύτερων των 25 Hz με αποτέλεσμα το φάσμα των συχνοτήτων που παραμένει να μας παρέχει με την καλύτερη προσέγγιση την πραγματική γήινη επιτάχυνση. Οι εισερχόμενες υψηλές και χαμηλές συχνότητες που οφείλονται σε αίτια ανεξάρτητα της αναγραφόμενης κίνησης είναι η κύρια πηγή των υψηλής και χαμηλής συχνότητας σφαλμάτων που επιθυμούμε να εξαλείψουμε κατά την επεξεργασία της διόρθωσης της καταγραφής. Για το σκοπό αυτό στην επεξεργασία εισάγουμε μια σειρά από ψηφιακά φίλτρα που πραγματοποιούν τη διαδικασία απομάκρυνσης των πολύ χαμηλών και πολύ υψηλών συχνοτήτων που διεθνώς χαρακτηρίζονται σαν θόρυβος (noise). Σημαντικές έρευνες στον καθορισμό του εύρους του χρησιμοποιούμενου φίλτρου κατά την ψηφιοποίηση και ειδικά ο υπολογισμός του (low-pass) φίλτρου προκειμένου να απομακρύνουμε το θόρυβο με χαμηλές συχνότητες πραγματοποιήθηκαν από τους Basili και Brady (1978)⁽¹¹⁾.

Η εισαγωγή του FFT⁽¹²⁾ (Fast Fourier Transform) αλγόριθμου στους υπολογισμούς της διόρθωσης των σφαλμάτων της ψηφιοποίησης βοήθησε σημαντικά στην ταχύτητα της εφαρμοζόμενης επεξεργασίας. Κατά την εφαρμογή της γνωστής διαδικασίας διόρθωσης επιταχ/ων του CALTECH⁽⁹⁾ το χρησιμοποιούμενο (low-pass) φίλτρο του Ormsby⁽¹³⁾ μπορεί να εκφραστεί σαν μια σειρά από διακεκριμένες συνελίξεις

$$y(n) = x(n) * h(n) = \sum_{K=1}^{N-1} h(k) \cdot x(n-k) \quad (2.1)$$

όπου

$x(n)$: ακολουθία ίσων διαστημάτων στον χρόνο που θα φιλτραρισθεί

(τα ίσα διαστήματα του επιτ/ματος στον χρόνο)

$y(n)$: το εφαρμοζόμενο φίλτρο της $x(n)$

$h(n)$: η ακολουθία των βαρών του φίλτρου του Ormsby.

Η χρησιμοποίηση του FFT⁽¹²⁾ (Fast Fourier Transform) κατά τη διόρθωση των επιτ/μάτων σε τροποποιημένη διαδικασία του CALTECH δίνει μία ταχύτερη συνέλιξη στον υπολογισμό του (low-pass) φίλτρου του Ormsby. Όπως καθορίστηκε από την σχέση (2.1), η διακεκριμένη συνέλιξη $x(n)$ και $h(n)$ είναι ισοδύναμη πράξη σε μετασχηματιζόμενο πεδίο συχνοτήτων με το πολλαπλασιασμό των DFT⁽¹²⁾ (Discrete Fourier Transform) των δύο σημάτων $X(f)$ και $H(f)$

$$x(n) * h(n) \Leftrightarrow X(f) \cdot H(f) \quad (2.2)$$

Υπάρχουν ουσιαστικά 3 βήματα υπολογισμού της ταχείας αυτής συνέλιξης χρησιμοποιώντας DFT (Discrete Fourier Transform):

1. Υπολογίζεται το DFT των δύο σημάτων χρησιμοποιώντας ένα FFT αλγόριθμο

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} [x(n) \exp(-2\pi i n f / N)] \quad (2.3)$$

$$H(f) = \sum_{n=0}^{N-1} [h(n) \exp(-2\pi i n f / N)] \quad (2.4)$$

2. Οι μετασχηματισμοί των σημάτων πολλαπλασιάζονται μαζί σ' όλες τις συχνότητες

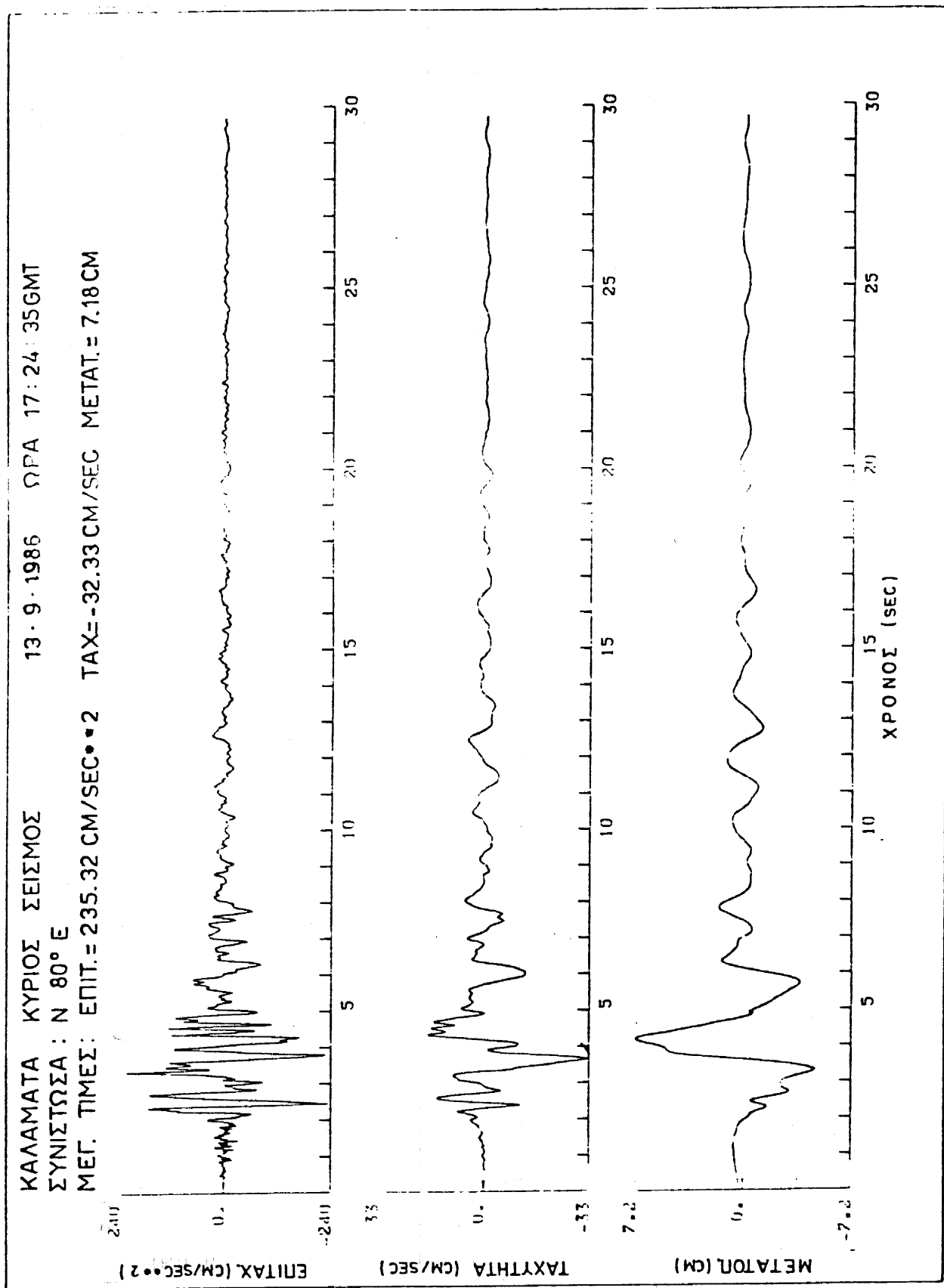
$$Y(f) = X(f) \cdot H(f) \quad (2.5)$$

3. Υπολογίζεται ο αντίστροφος μετασχηματισμός του γινομένου (2.5) με έναν FFT αλγόριθμο

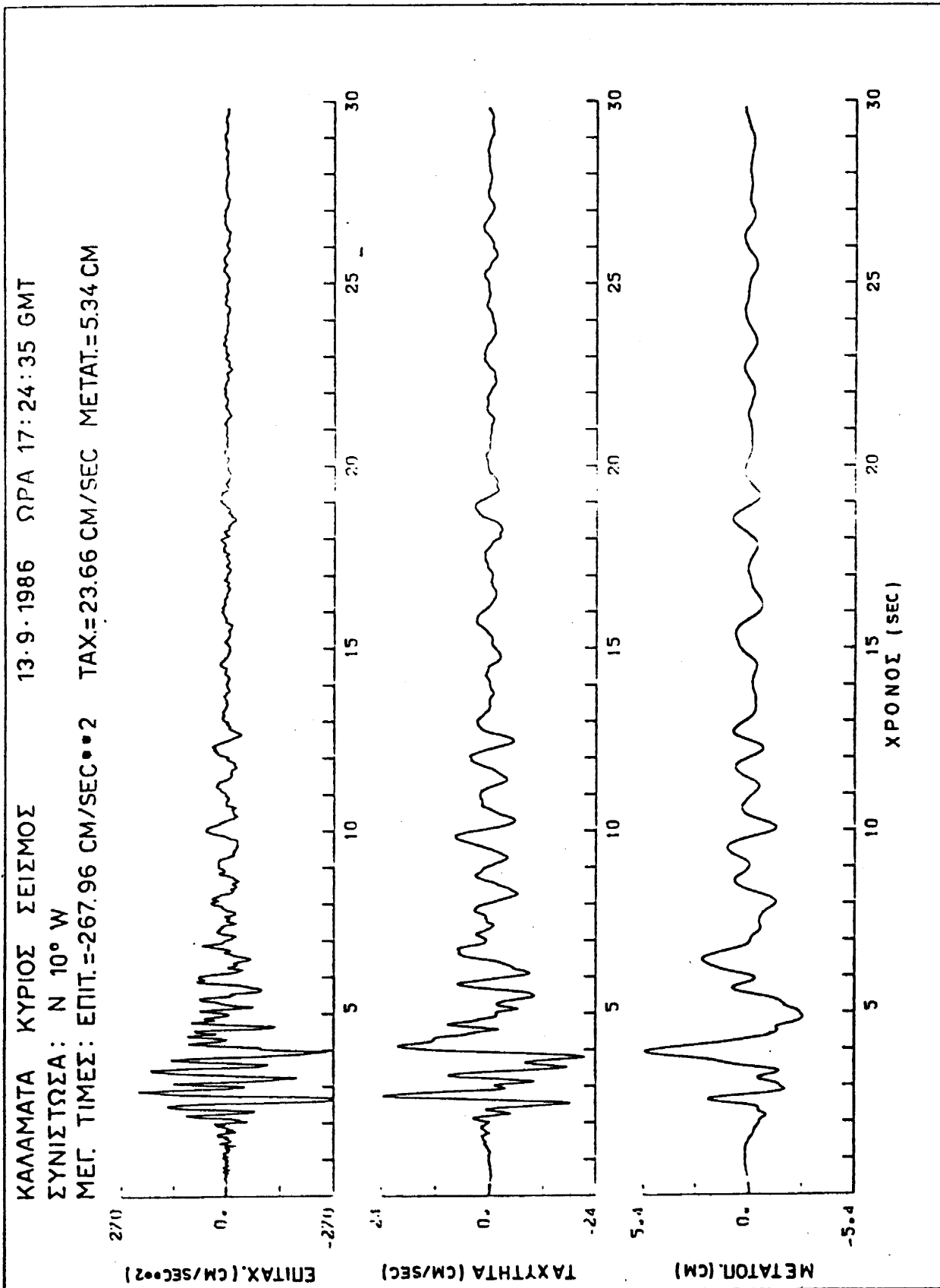
$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{f=0}^{N-1} [Y(f) \exp(2\pi i n f / N)] \quad (2.6)$$

Έτσι η διακεκριμένη συνέλιξη της εξίσωσης (2.1) αντικαθίσταται από τις εξισώσεις (2.3), (2.4), (2.5) και (2.6). Λόγω της χρήσης του FFT αλγόριθμου έχει δειχθεί⁽¹⁴⁾ ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία διόρθωσης επιταχ/των είναι πολύ ταχύτερη σε σχέση με την κλασική διαδικασία του CALTECH.

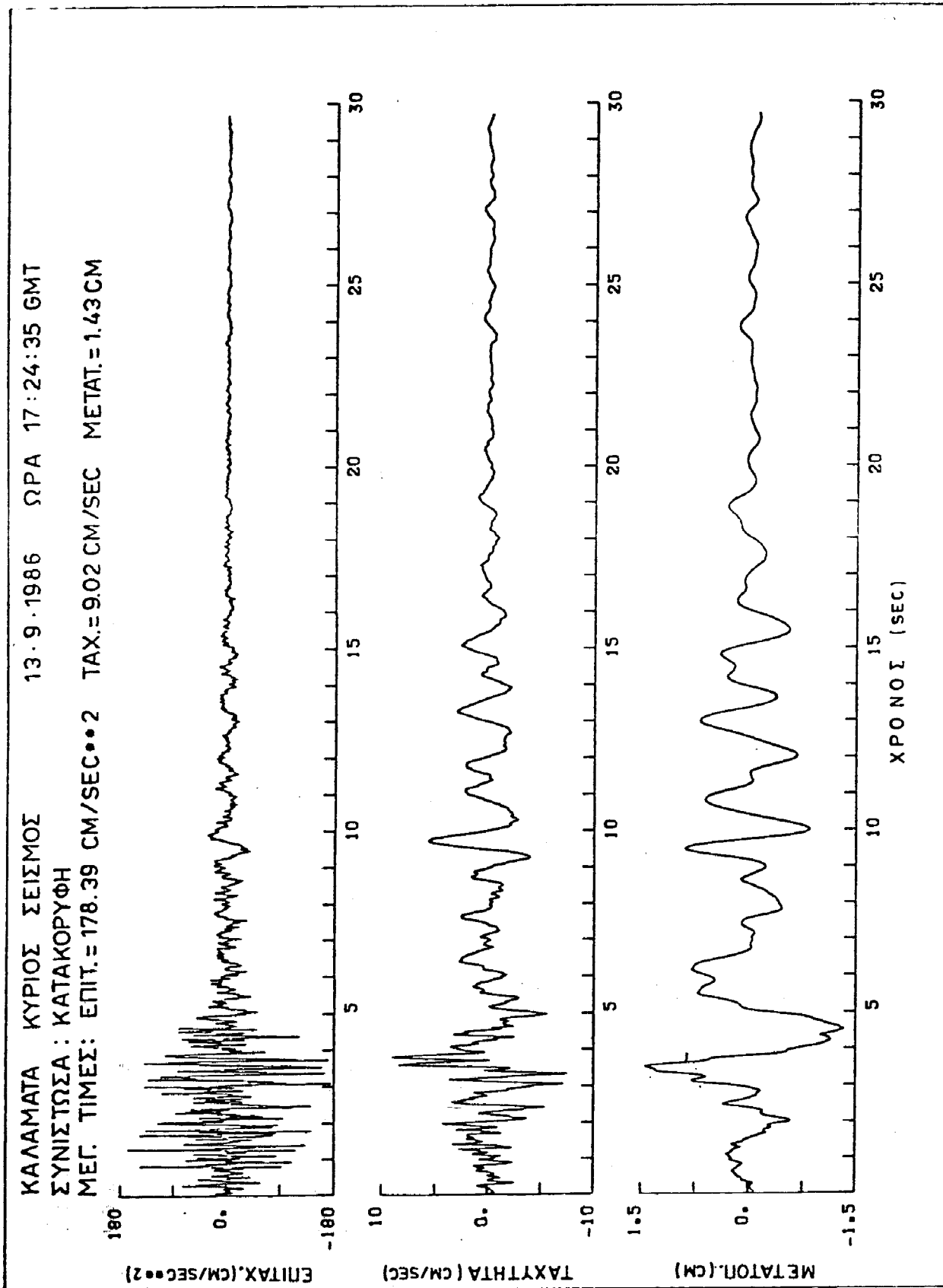
Στην προσπάθεια να ψηφιοποιηθούν τα επιταχ/τα από τους σεισμούς της Καλαμάτας με την ταχύτερη και πλέον αξιόπιστη μεθοδολογία, παίρνοντας υπόψη και τα παραπάνω πλεονεκτήματα των νέων μεθοδολογιών επεξεργασίας-διόρθωσης των καταγραφών ισχυρής εδαφικής κίνησης, οι καταγραφές στάλθηκαν στο ENEA και σε μικρό χρονικό διάστημα αποκτήθηκαν οι διορθωμένες τιμές (επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις) των επιτ/μάτων της Καλαμάτας Σχ. 3-11. Τα Σχ. 3-5 απεικονίζουν τις διορθωμένες τιμές των 3 συνιστωσών επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετατόπισης του κύριου σεισμού της 13ης Σεπτ. 1986. Τα Σχ. 6-8 και 9-11 δίνουν τις διορθωμένες τιμές του μετασεισμού της 15ης Σεπτ. 1986 από τους δύο επιτ/φους που είναι εγκατεστημένοι στο κτίριο της Νομαρχίας και στο νέο κτίριο του ΟΤΕ της Καλαμάτας αντίστοιχα. Οι διορθωμένες τιμές του επιτ/τος του μεγαλύτερου μετασεισμού (15 Σεπτ. 1986) που καταγράφηκε στην Μεσσήνη παρουσιάζεται στα Σχ. 12-14.



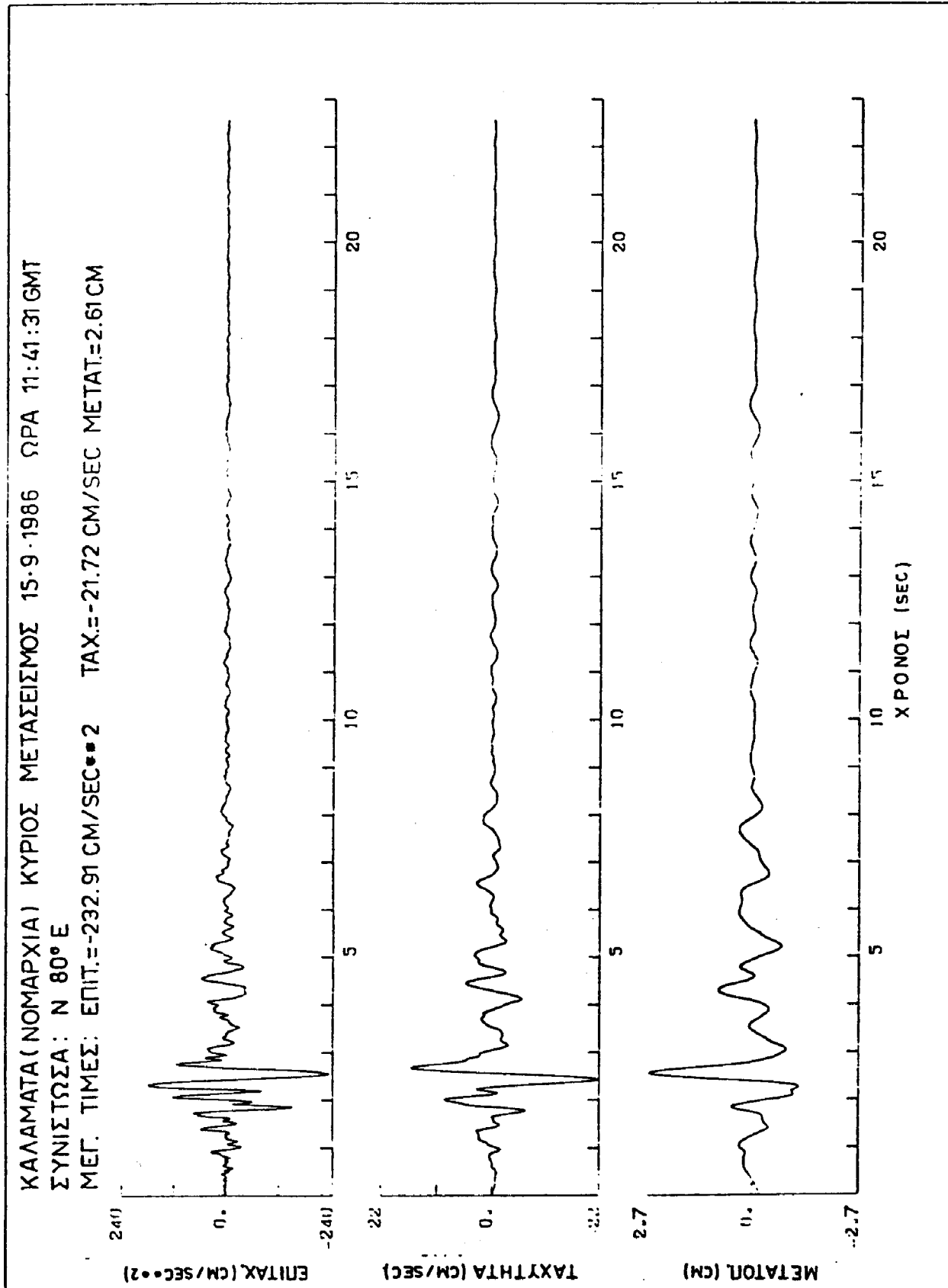
ΣΧ. 3: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της επιμήκους συνιστώσας (L) του κυρίου σεισμού.



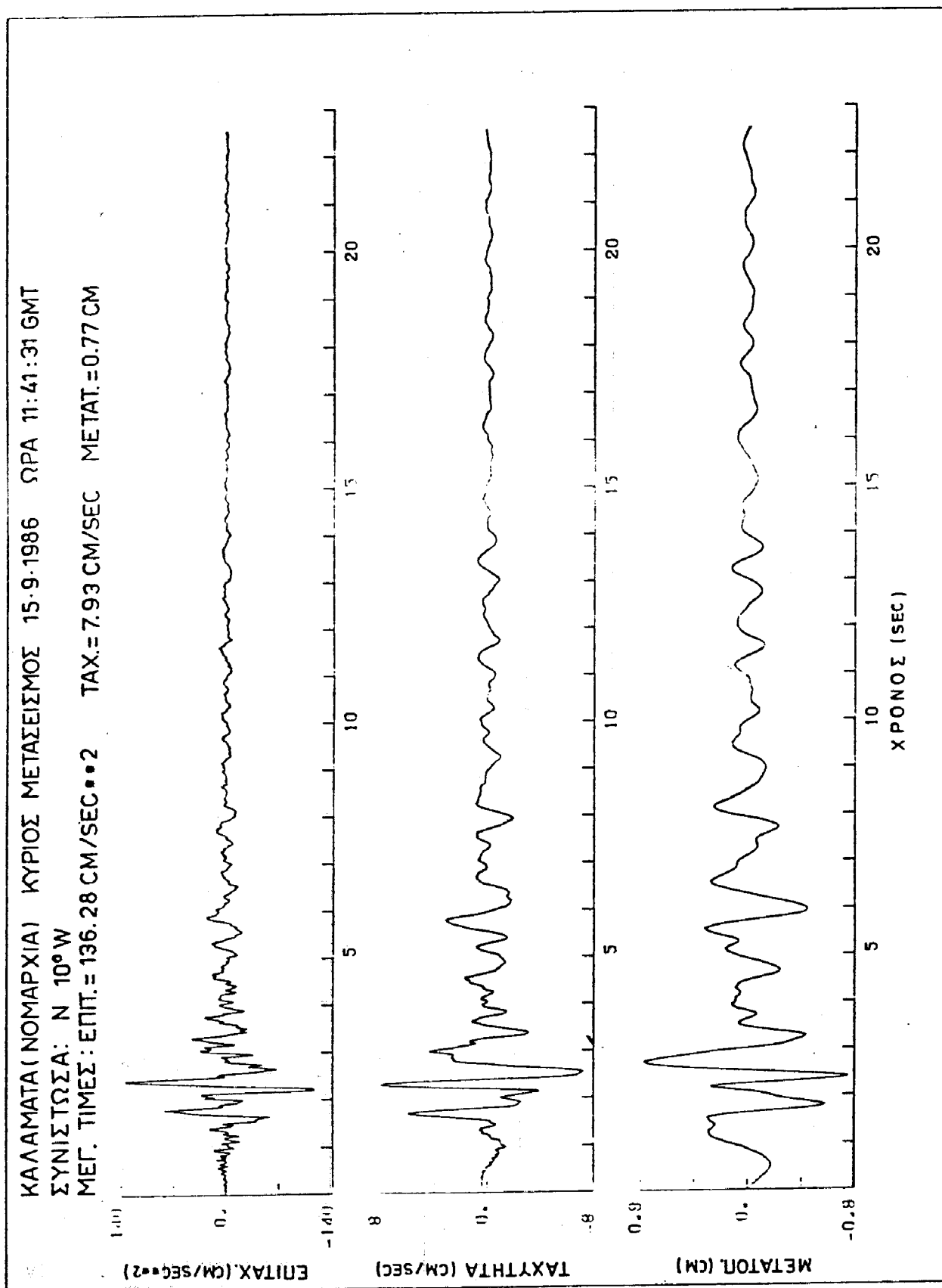
Σχ. 4: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της γήινης επιφάνειας (Τ) του κυρίου σεισμού.



ΣΧ. 5: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της κατακόρυφης συνιστώσας (N) του κυρίου σεισμού.

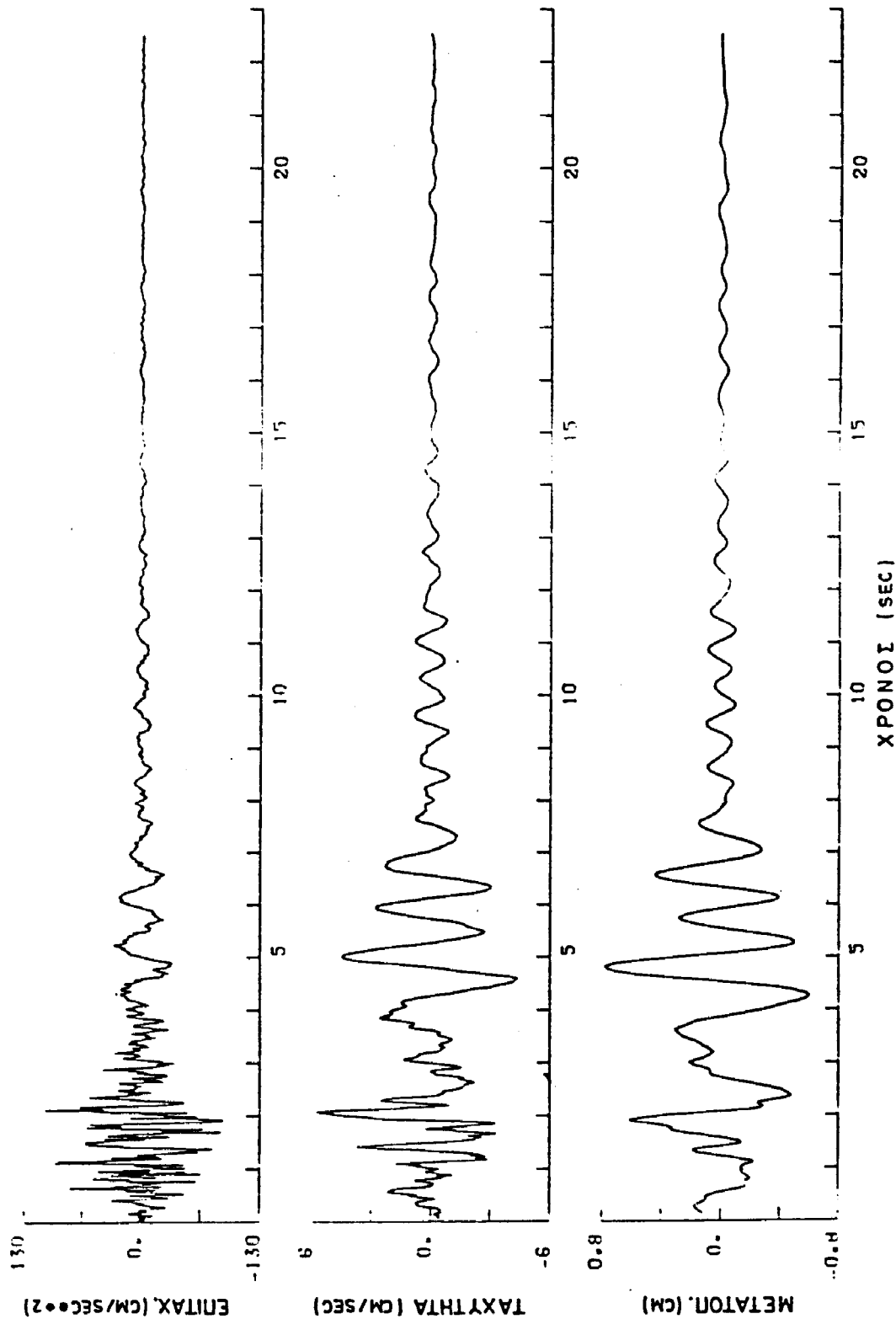


ΣΧ. 6: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της επιμήρους συνιστώσας (L) του μετασεισμού της 15/9/86 (Καταγραφή Νομοχίας).



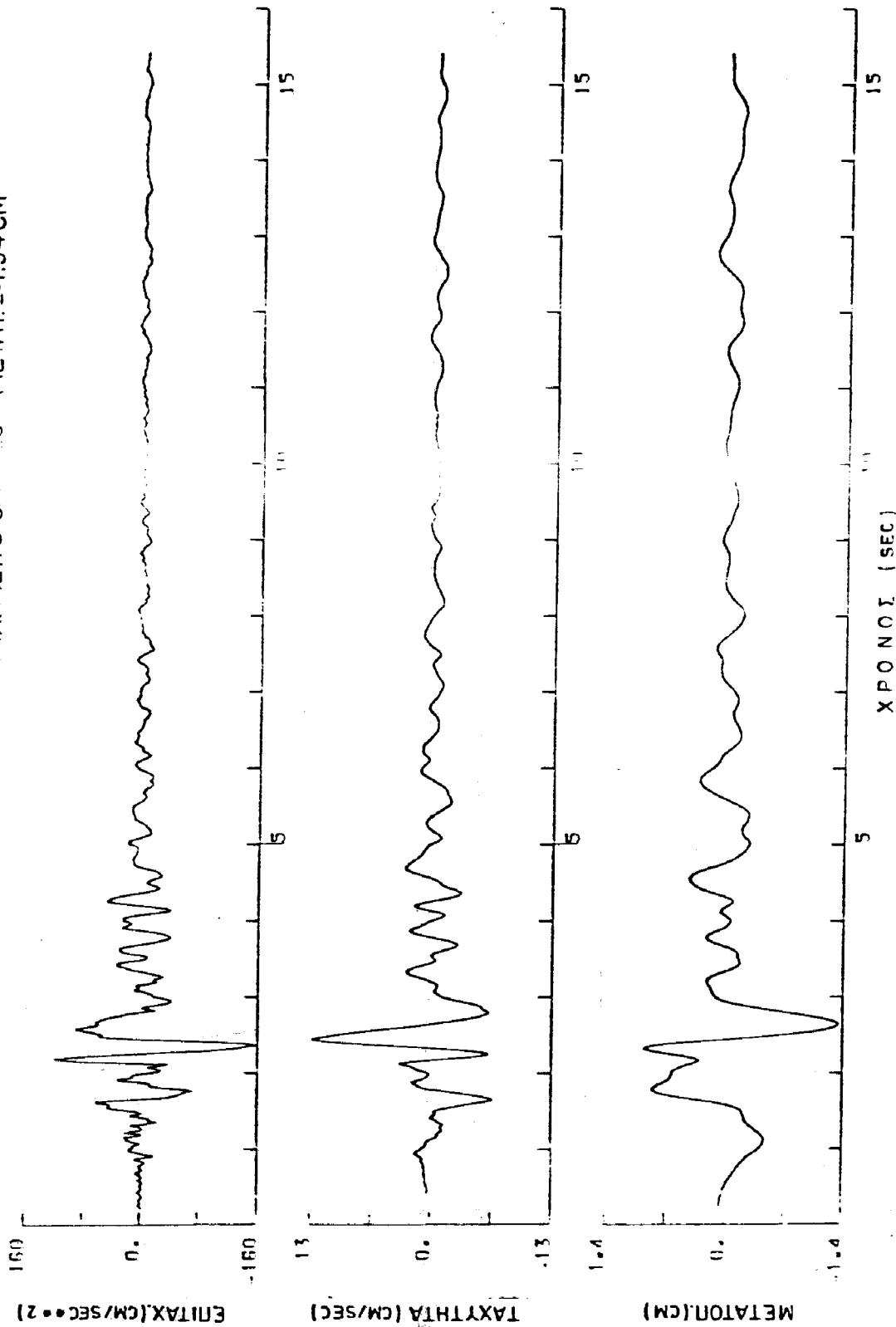
ΣΧ. 7: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της εστιακής συνιστώσας (T) του μετασεισμού της 15/9/86 (Καταγραφή Νομαρχίας).

ΚΑΛΑΜΑΤΑ(ΝΟΜΑΡΧΙΑ) ΚΥΡΙΟΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΟΣ 15.9.1986 ΩΡΑ 11:41:31GMT
 ΣΥΝΙΣΤΩΑ: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ
 ΜΕΓ. ΤΙΜΕΣ: ΕΠΙΤ.=125.81 CM/SEC**2 TAX.= 5.98 CM/SEC ΜΕΤΑΤ.= 0.78 CM



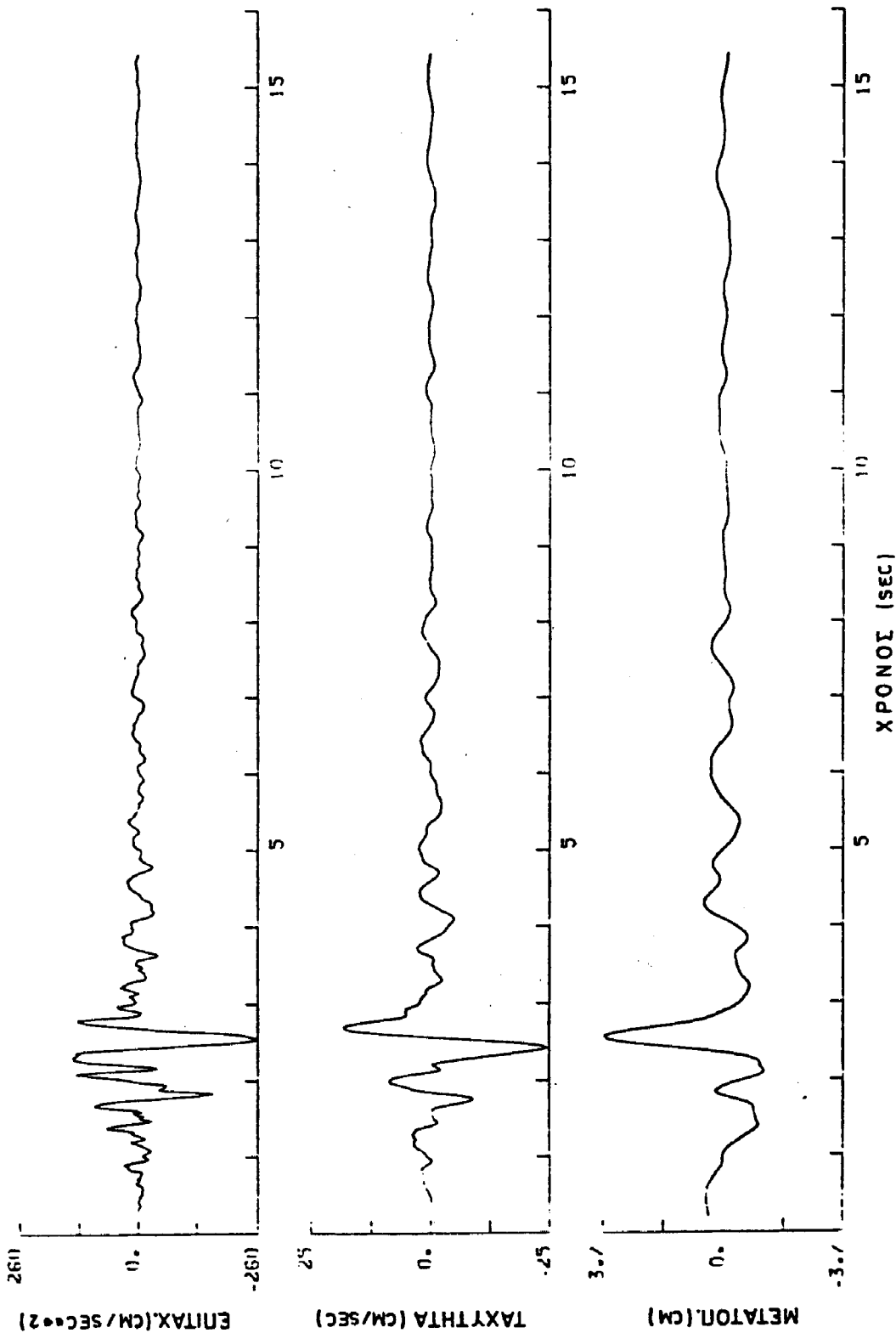
ΣΧ. 8: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της κατακόρυφης συνιστώσας (V) του μετασεισμού της 15/9/86 (Καταγραφή Νομαρχίας).

ΚΑΛΑΜΑΤΑ (ΟΤΕ) ΚΥΡΙΟΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΟΣ 15.9.1986 ΟΡΑ 11:41:31 GMT
ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ: N 14° E
ΜΕΓ. ΤΙΜΕΣ : ΕΠΙΤ.=-157.7 CM/SEC•• 2 TAX.=12.75 CM/SEC ΜΕΤΑΤ.=-1.34 CM



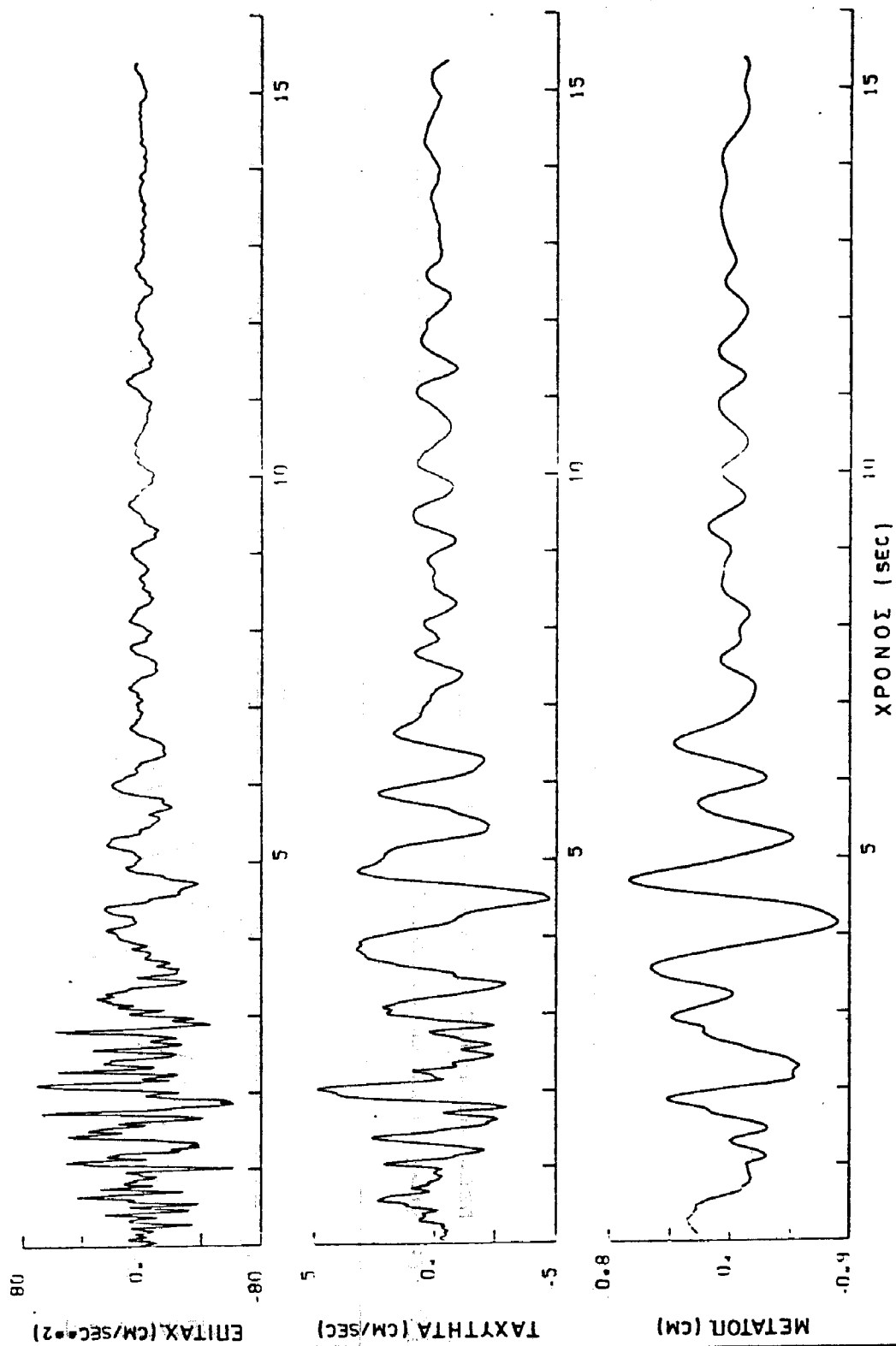
ΣΧ. 9: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις των επιμήκους συνιστώσας (L) του μετασεισμού της 15/9/86 (Καταγραφή ΟΤΕ).

ΚΑΛΑΜΑΤΑ (ΟΤΕ) ΚΥΡΙΟΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΟΣ 15.9.1986 ΩΡΑ 11:41:31 GMT
 ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ: N 76° W
 ΜΕΓ. ΤΙΜΕΣ: ΕΠΙΤ.: -258.02 CM/SEC •• 2 TAX.: -24.42 CM/SEC ΜΕΤΑΤ. = 3.66 CM

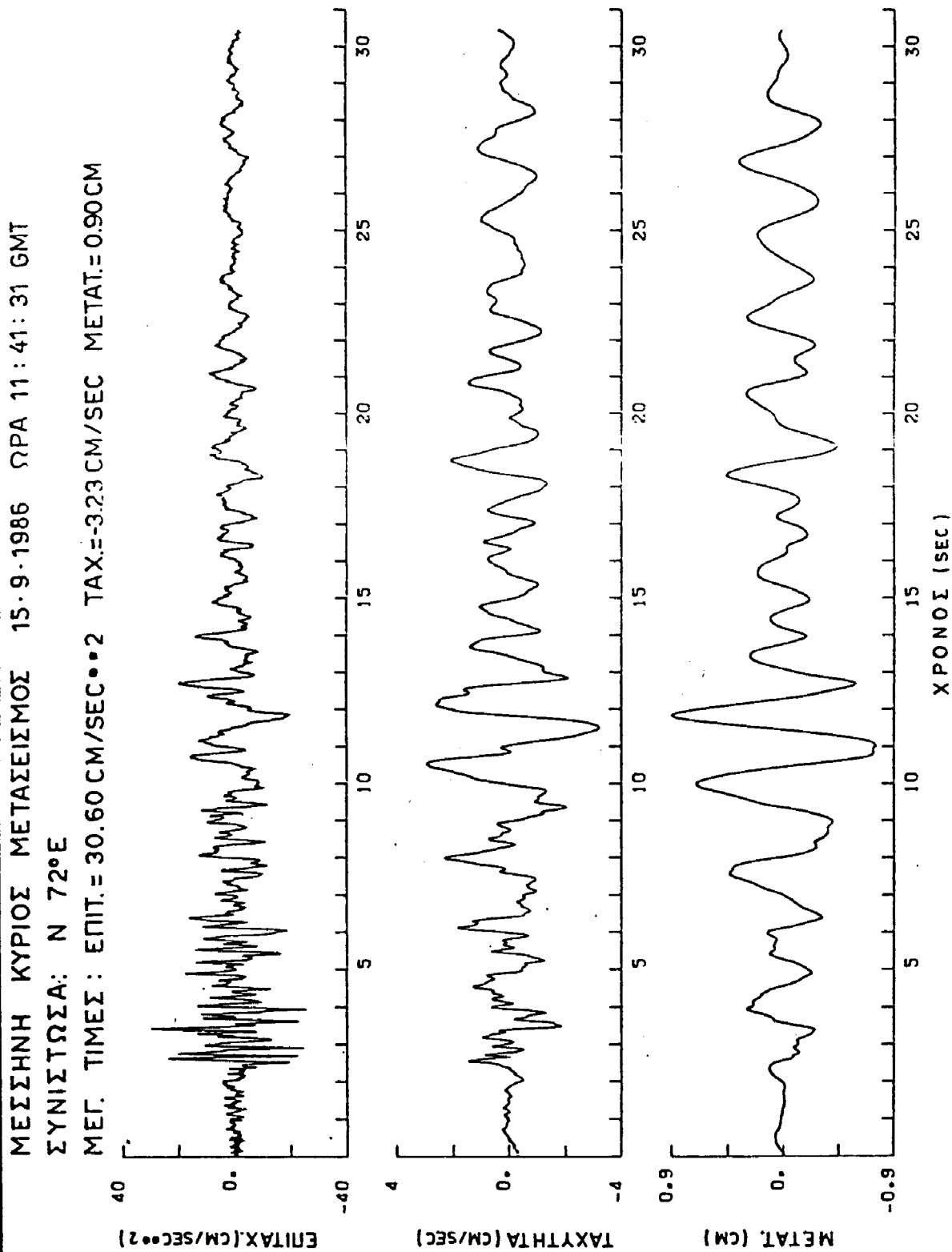


Σχ. 10: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της εγέρσεως συνιστώσας (T) του μετασεισμού της 15/9/86 (Καταγραφή ΟΤΕ).

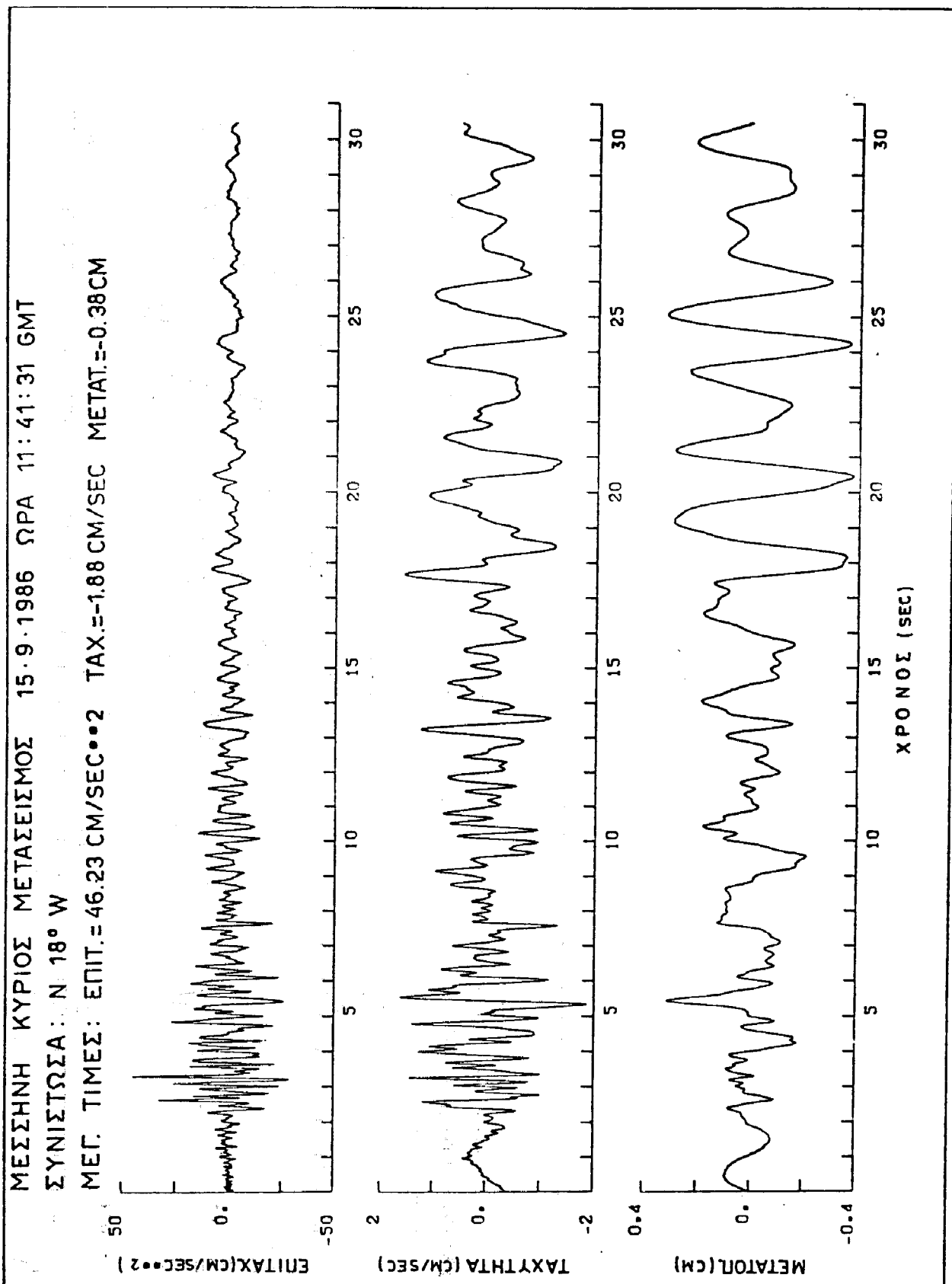
ΚΑΛΑΜΑΤΑ (ΟΤΕ) ΚΥΡΙΟΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΟΣ 15.9.1986 ΩΡΑ 11:41:31 GMT
 ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ: ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ
 ΜΕΓ. ΤΙΜΕΣ: ΕΠΙΤ.= 74.77 CM/SEC •• 2 TAX.= 4.89 CM/SEC ΜΕΤΑΤ.= -0.72 CM



ΣΧ. 11: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της κατακόρυφης συνιστώσας (V) του μετασεισμίου της 15/9/86 (Καταγραφή ΟΤΕ) .

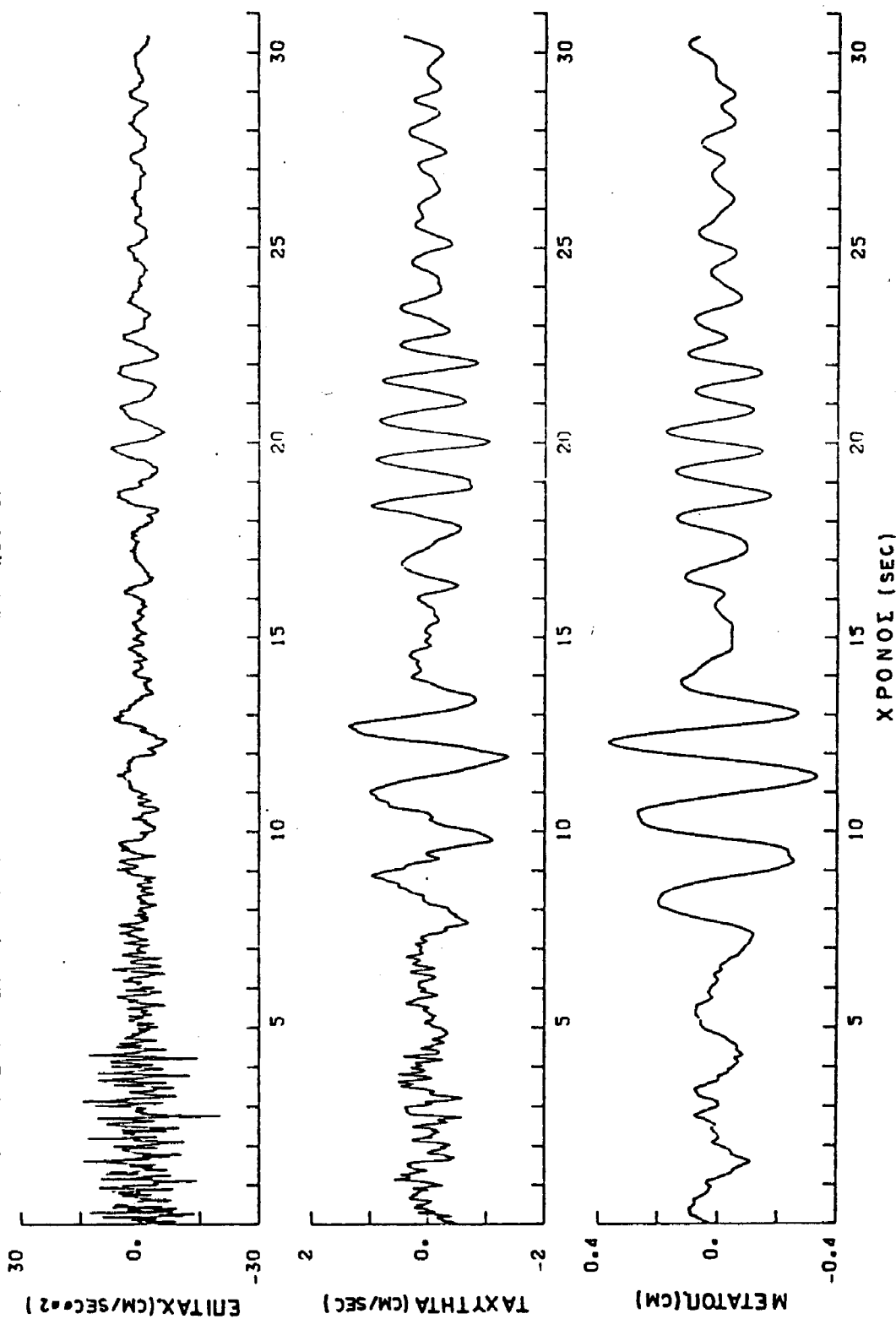


ΣΧ.12: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της επιμήκους συνιστώσας (L) του μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή Μεσσήνης)



ΣΧ. 13: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της εγδάσειας συνιστώσας (T) του μετασεισμού της 15/9/ 1986 (καταγραφή Μεσσήνης)

ΜΕΣΣΗΝΗ ΚΥΡΙΟΣ ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΟΣ 15.9.1986 ΩΡΑ 11:41:31 GMT
 ΣΥΝΙΣΤΩΑ : ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ
 ΜΕΓ. ΤΙΜΕΣ : ΕΠΙΤ.=-20.13 CM/SEC**2 TAX=-1.37 CM/SEC ΜΕΤΑΤ.=0.36 CM



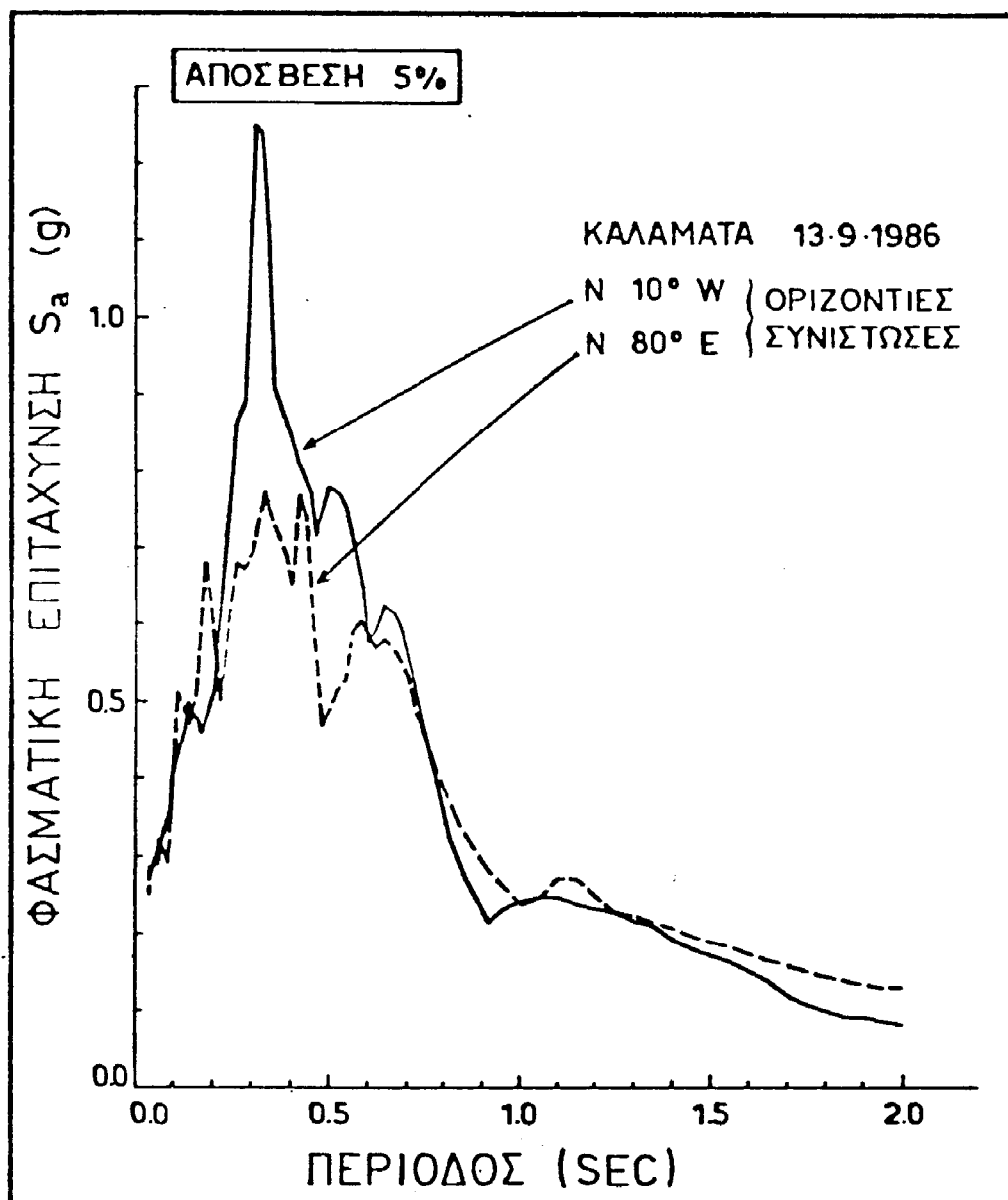
ΣΧ. 14: Διορθωμένες επιταχύνσεις, ταχύτητες και μετατοπίσεις της κατακόρυφης συνιστώσας (N) του μετασεισμού της 15/9/86 (καταγραφή Μεσσήνης)

3. ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

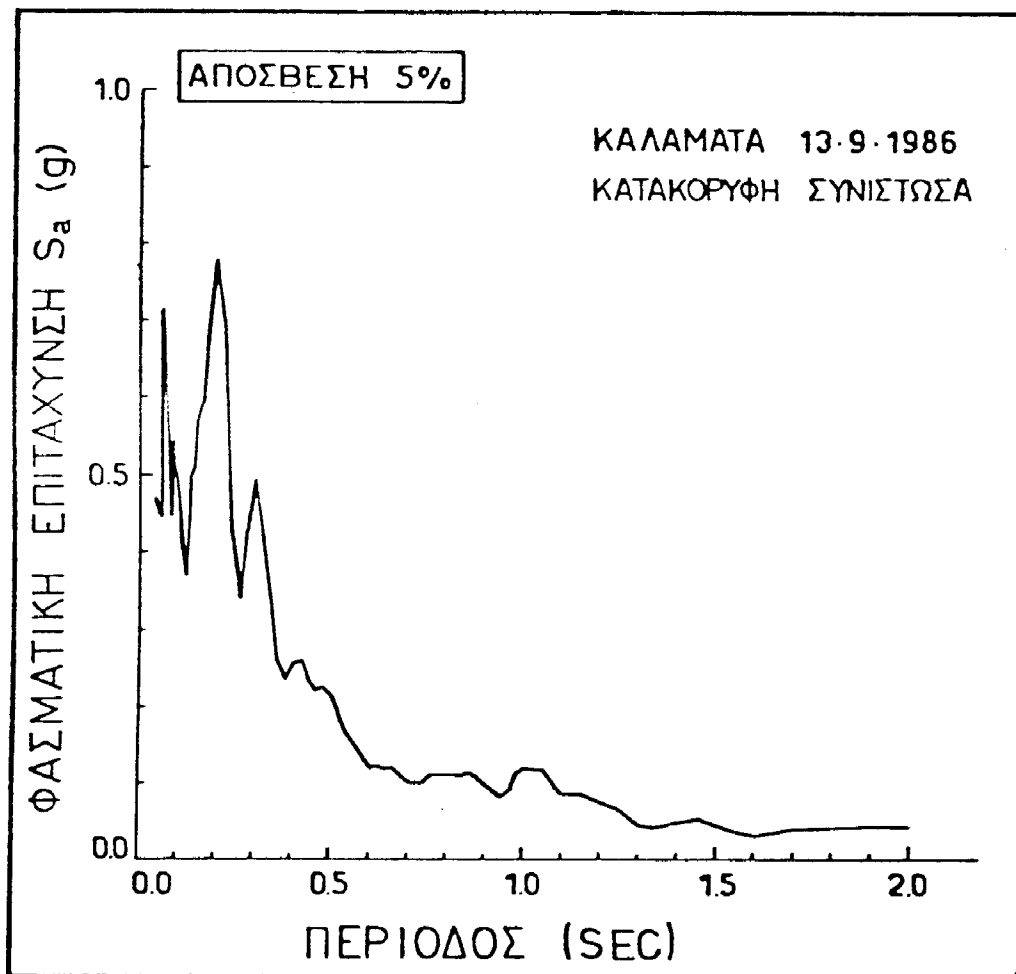
Μετά την ψηφιοποίηση και διόρθωση των καταγραφών, ένα χρήσιμο εργαλείο για τους παραπέρα υπολογισμούς είναι ο υπολογισμός των φασμάτων απόκρισης. Η έννοια των φασμάτων απόκρισης στη σεισμική μηχανική εισήχθη από τον Benioff το 1934 και αργότερα από τους Biot και Housner το 1941. Η χρησιμοποίηση των φασματικών τιμών των γιγνών παραμέτρων στη μηχανική έγινε από πολλούς ερευνητές (Alford, Housner, Hudson κ.α.) και τα φάσματα απόκρισης χρησιμοποιήθηκαν σαν βάση για την τελειοποίηση κωδίκων αντισεισμικού σχεδιασμού.

Ο υπολογισμός των φασμάτων απόκρισης είναι απλούστατος και συνίσταται στον επαναληπτικό υπολογισμό του ολοκληρώματος (Duhamel) που μπορεί να γίνει είτε με αριθμητικές μεθόδους (π.χ. μέθοδος Simpson) είτε με διαδοχική εφαρμογή αναλυτικής λύσης για διέγερση που έχει μορφή τραπεζίου⁽¹⁵⁾. Το πρόγραμμα H/Y που γράφτηκε στο ΙΤΣΑΚ για το σκοπό αυτό και με το οποίο υπολογίσθηκαν τα φάσματα απόκρισης των δονήσεων της Καλαμάτας που παρουσιάζονται παρακάτω, χρησιμοποιεί τη δεύτερη μέθοδο. Τα φάσματα αυτά δίνονται στα Σχ. 15-19 για απόσβεση $\xi = 5\%$. Αναλυτικά τα Σχ. 15-16 απεικονίζουν τα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων του κύριου σεισμού ενώ τα Σχ. 17-18 τα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων των οριζοντίων συνιστωσών των καταγραφών του μετασεισμού της 15 Σεπτ. 86 στα κτίρια της Νομαρχίας και ΟΤΕ αντίστοιχα και το Σχ. 19 δίνει τα φάσματα των ψευδοεπιταχύνσεων των κατακόρυφων συνιστωσών των δύο καταγραφών του μετασεισμού. Τα φάσματα απόκρισης S_a , S_v και S_d των τριών αυτών καταγραφών δίνονται επίσης σε τριλογαριθμικές κλίμακες για αποσβέσεις 0%, 2%, 5%, 10% και 20%, όπως υπολογίσθηκαν από το ΙΤΣΑΚ και απεικονίζονται στα Σχ. 20-27. Το Παράρτημα Β περιέχει όλα τα φάσματα του κύριου σεισμού και του μεγαλύτερου μετασεισμού όπως υπολογίσθηκαν στο ENEA (συμπεριλαμβανομένου και της καταγραφής της Μεσσήνης).

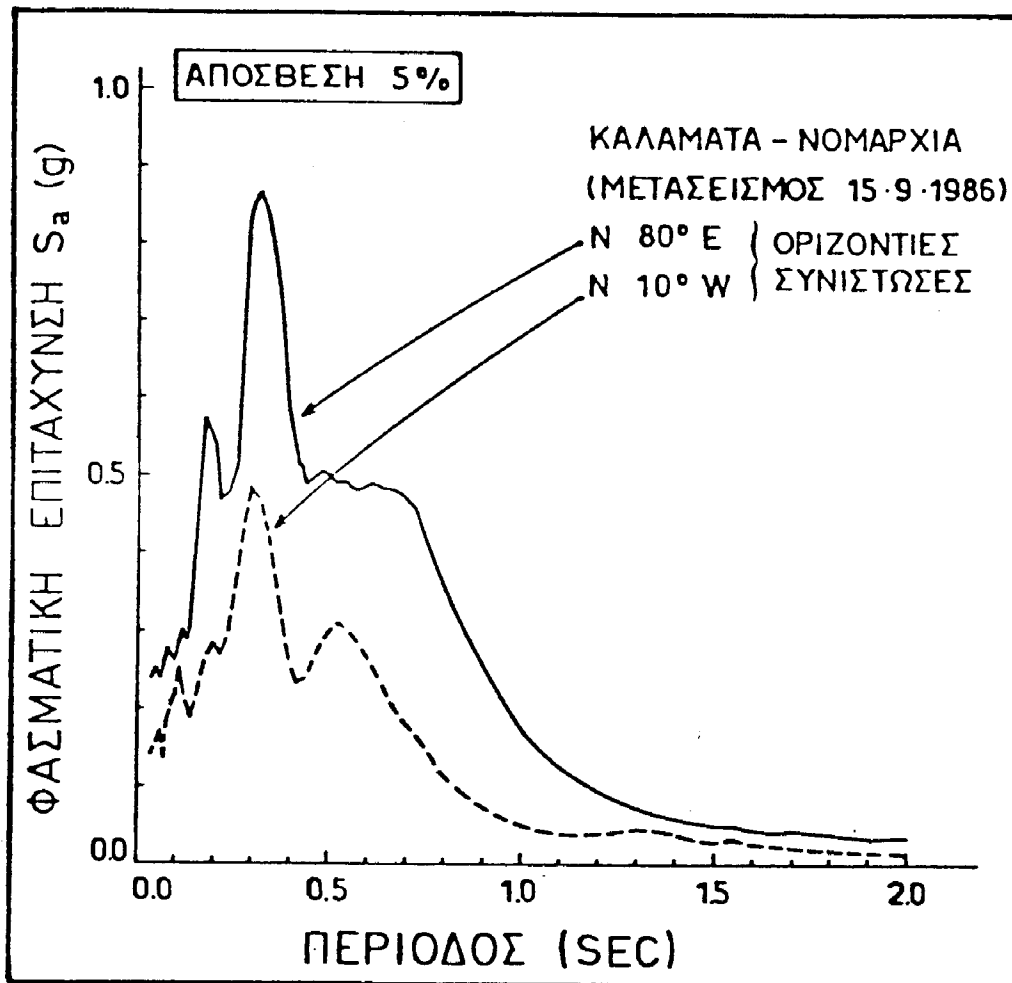
Παρατηρώντας τα φάσματα απόκρισης των Σχ. 15-19 είναι δυνατόν να γίνουν ορισμένες διαπιστώσεις πολύ χρήσιμες για τις παραπέρα φάσεις του προγράμματος. Το πρώτο που παρατηρούμε στο Σχ. 15 είναι η πολύ υψηλή αιχμή του φάσματος της συνιστώσας N10W. Η αιχμή αυτή δίνει μέγιστη φασματική επιτάχυνση 1.25g σε ιδιοπερίοδο = 0.32 sec, ενώ για το διάστημα ιδιοπεριόδων 0.25 sec - 0.55 sec είναι $S_a > 0.75g$. Στο διάστημα αυτό των ιδιοπε-



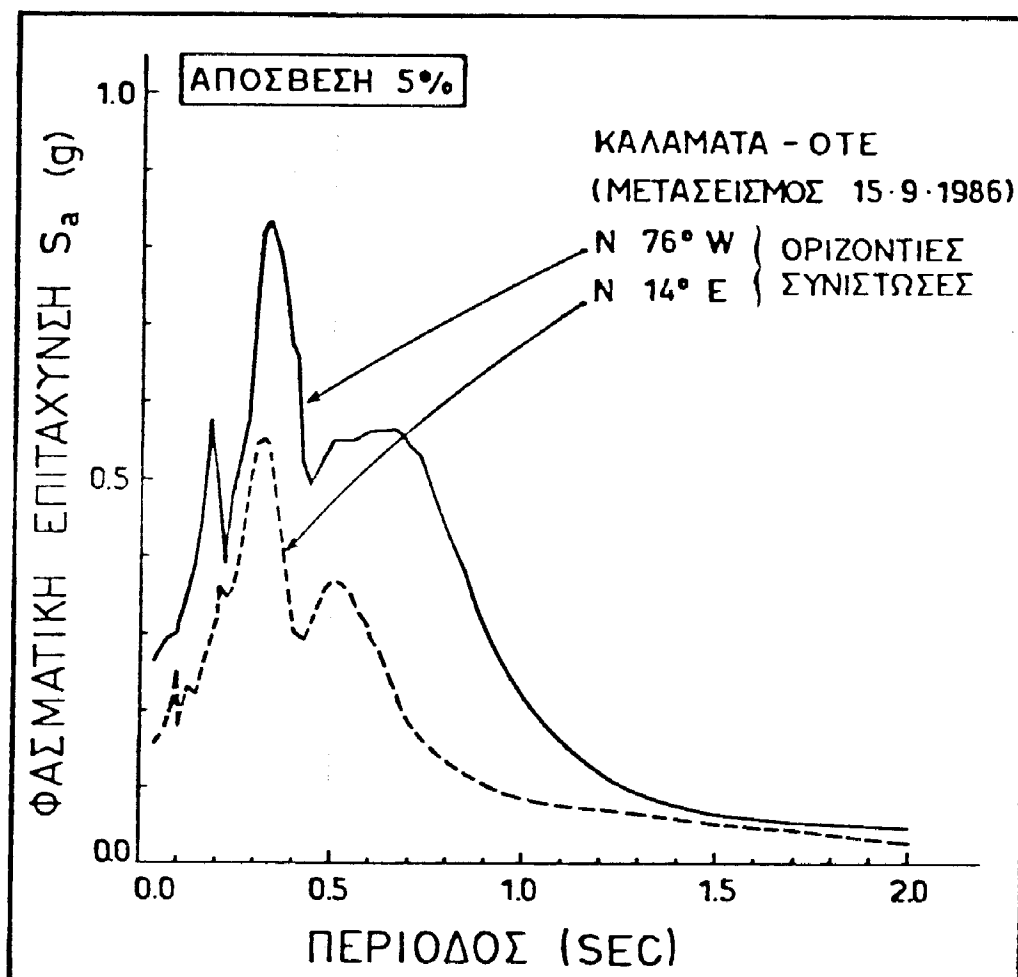
Σχ. 15: Φάσματα απόκρισης του κύριου σεισμού της Καλαμάτας - Οριζόντιες συνιστώσες.



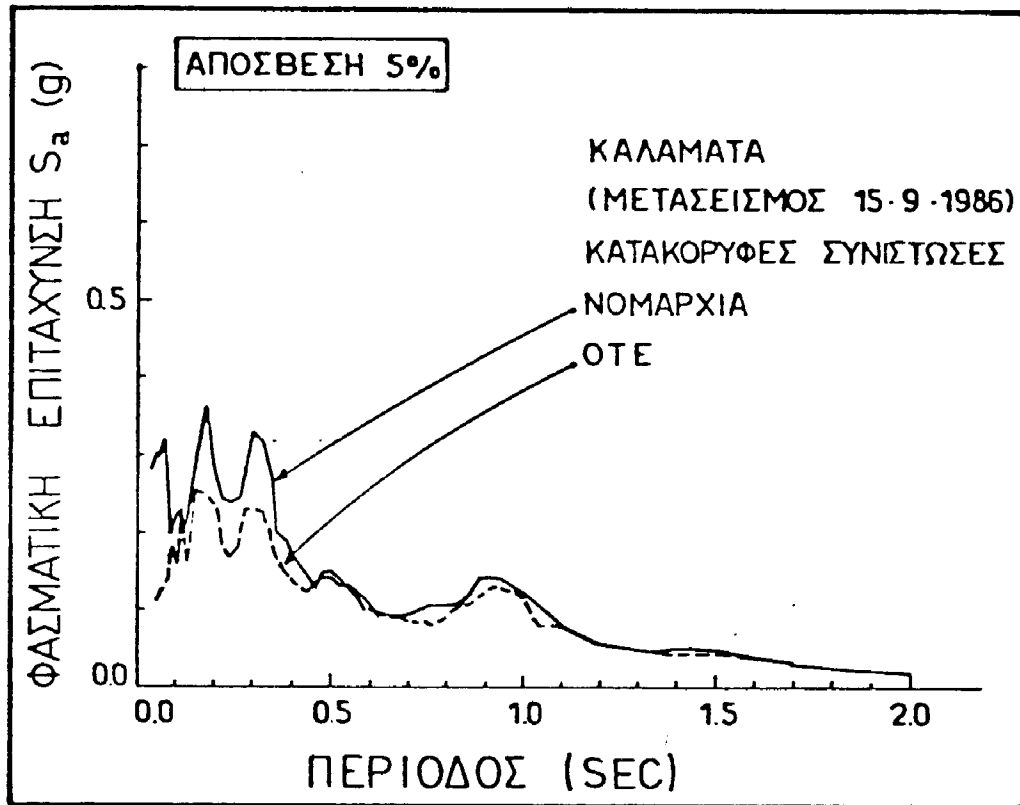
Σχ. 16: Φάσμα απόκρισης του κύριου σεισμού της Καλαμάτας
- Κατακόρυφη συνιστώσα.



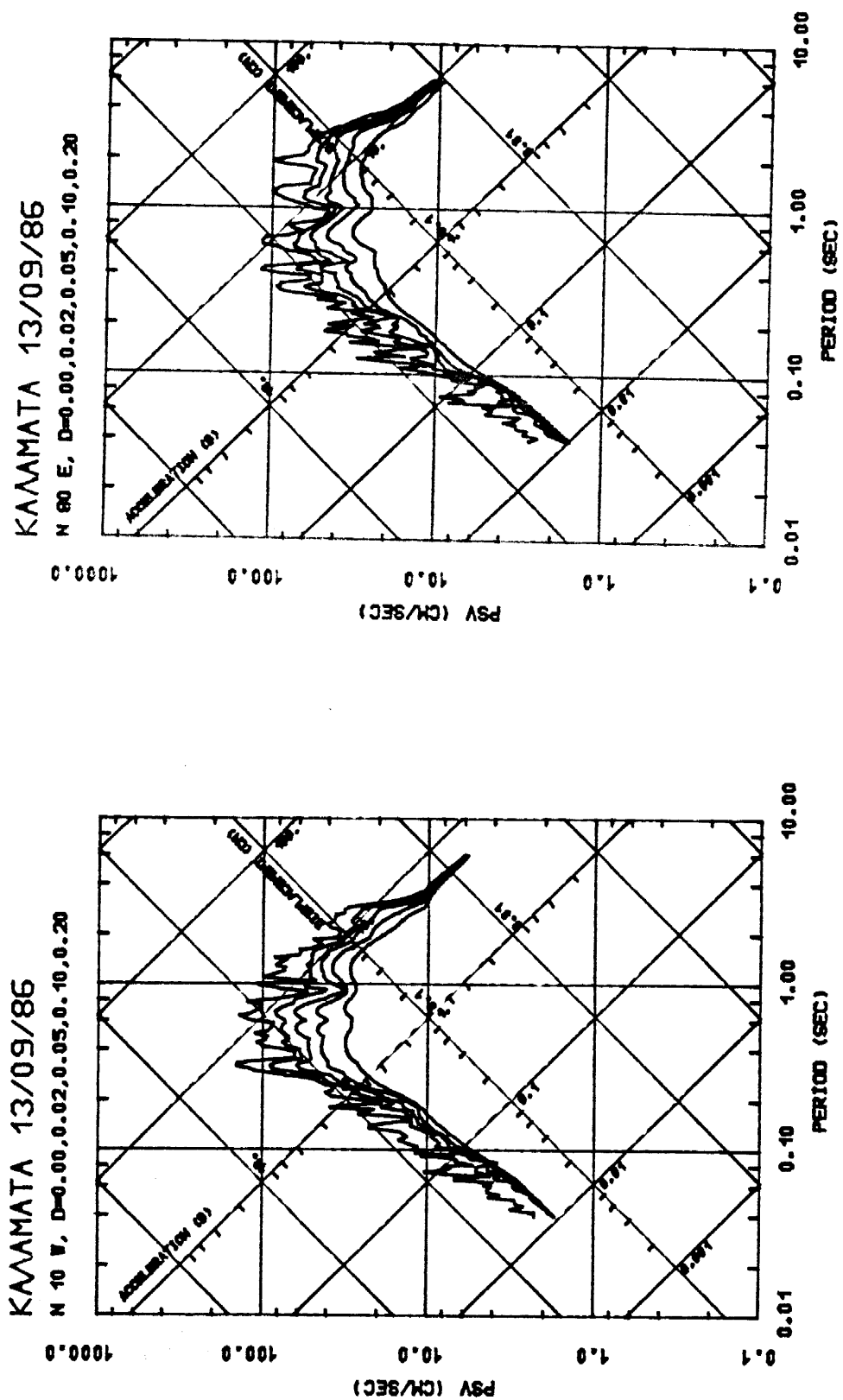
Σχ. 17: Φάσματα απόκρισης του ισχυρότερου μετασεισμού της Καλαμάτας. Καταγραφή στη Νομαρχία - Οριζόντιες συνιστώσες.



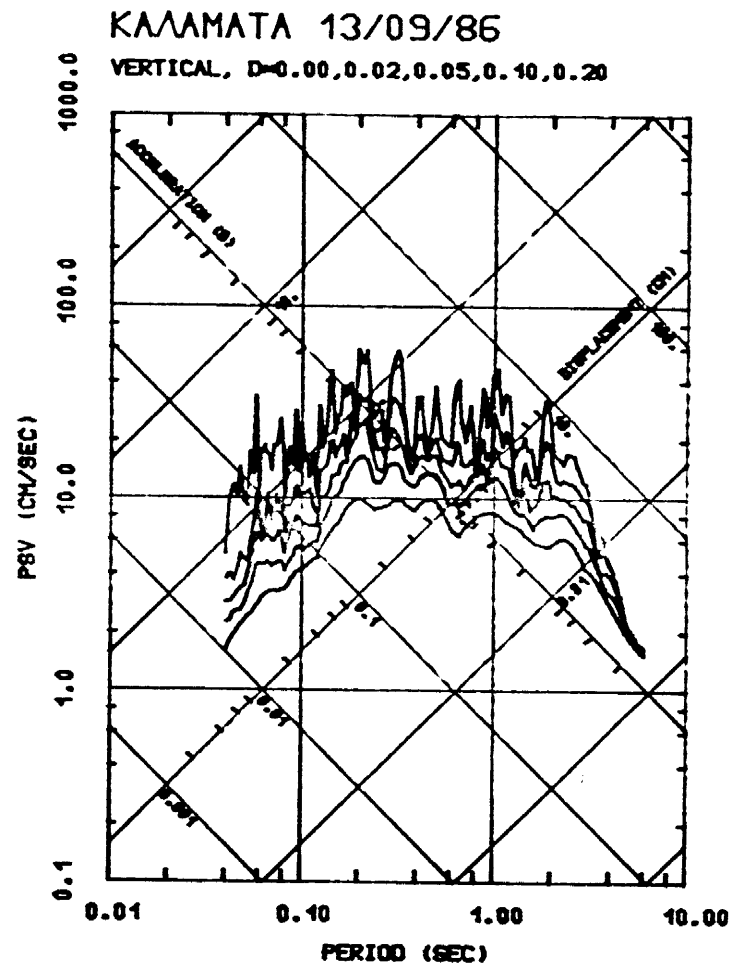
Σχ. 18: Φάσματα απόκρισης του ισχυρότερου μετασεισμού της Καλαμάτας. Καταγραφή στον ΟΤΕ - Οριζόντιες συνιστώσες.



Σχ. 19: Φάσματα απόκρισης του κυριότερου μετασεισμού της Καλαμάτας. Καταγραφές Νομαρχίας και ΟΤΕ - Κατακόρυφες συνιστώσες.



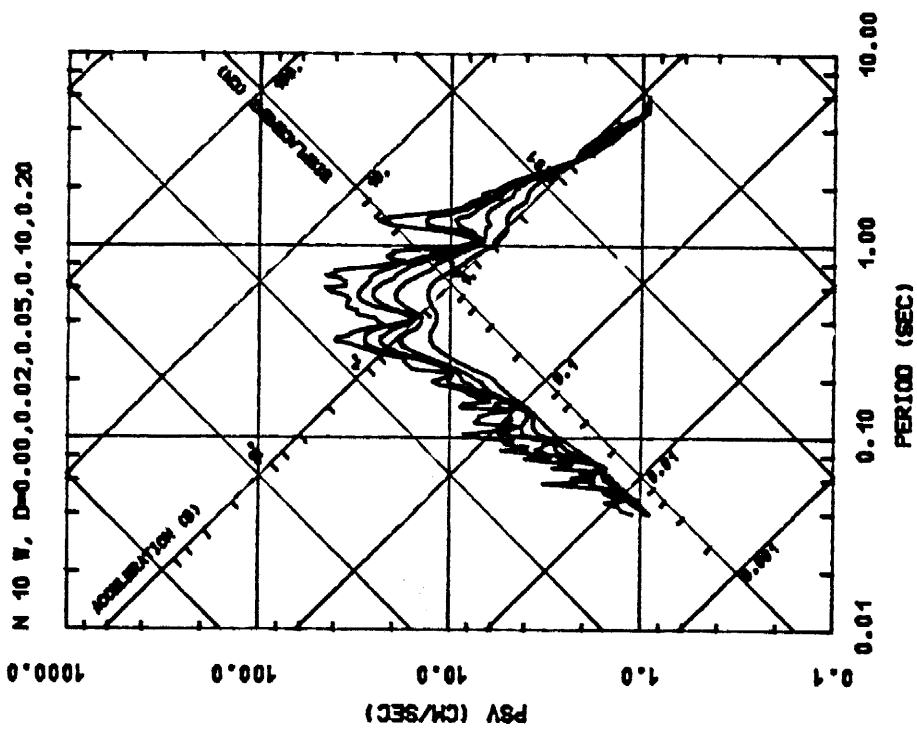
Σχ. 20: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του κύριου σεισμού της 13/9/1986



Σχ. 21: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυξης συνιστώσας του κύριου σεισμού της 13/9/1986

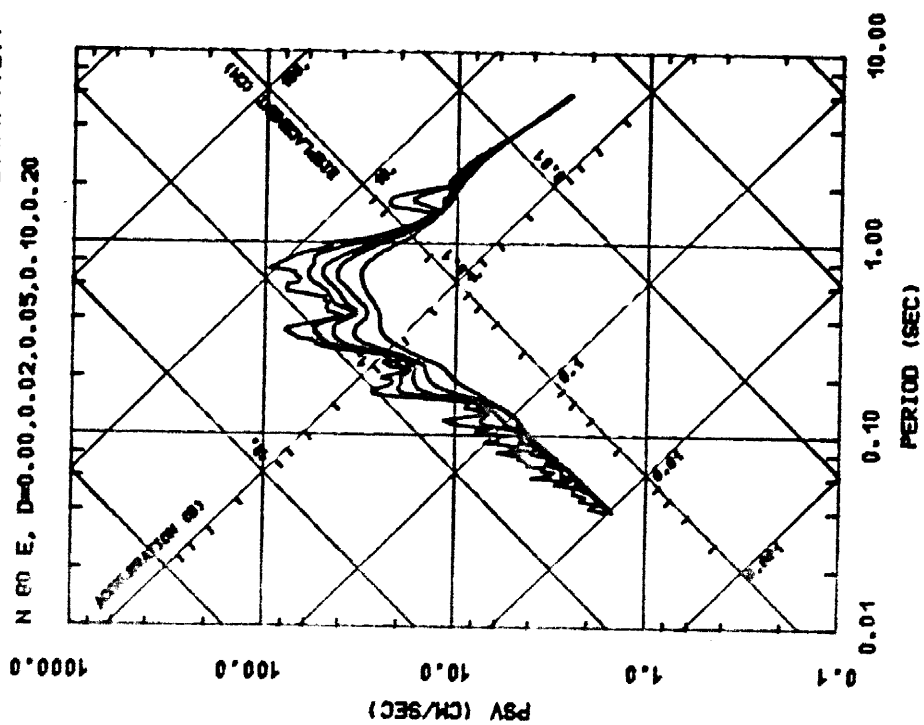
ΚΑΛΑΜΑΤΑ 15/09/86-NOMAPXIA

N 10 W, D=0.00,0.02,0.05,0.10,0.20

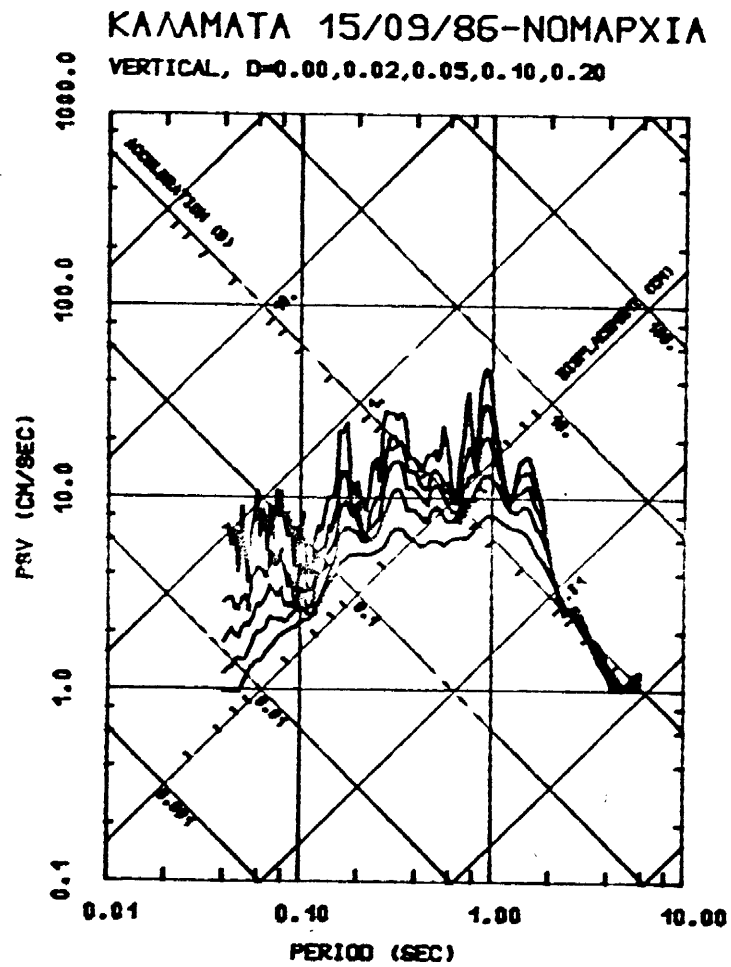


ΚΑΛΑΜΑΤΑ 15/09/86-NOMAPXIA

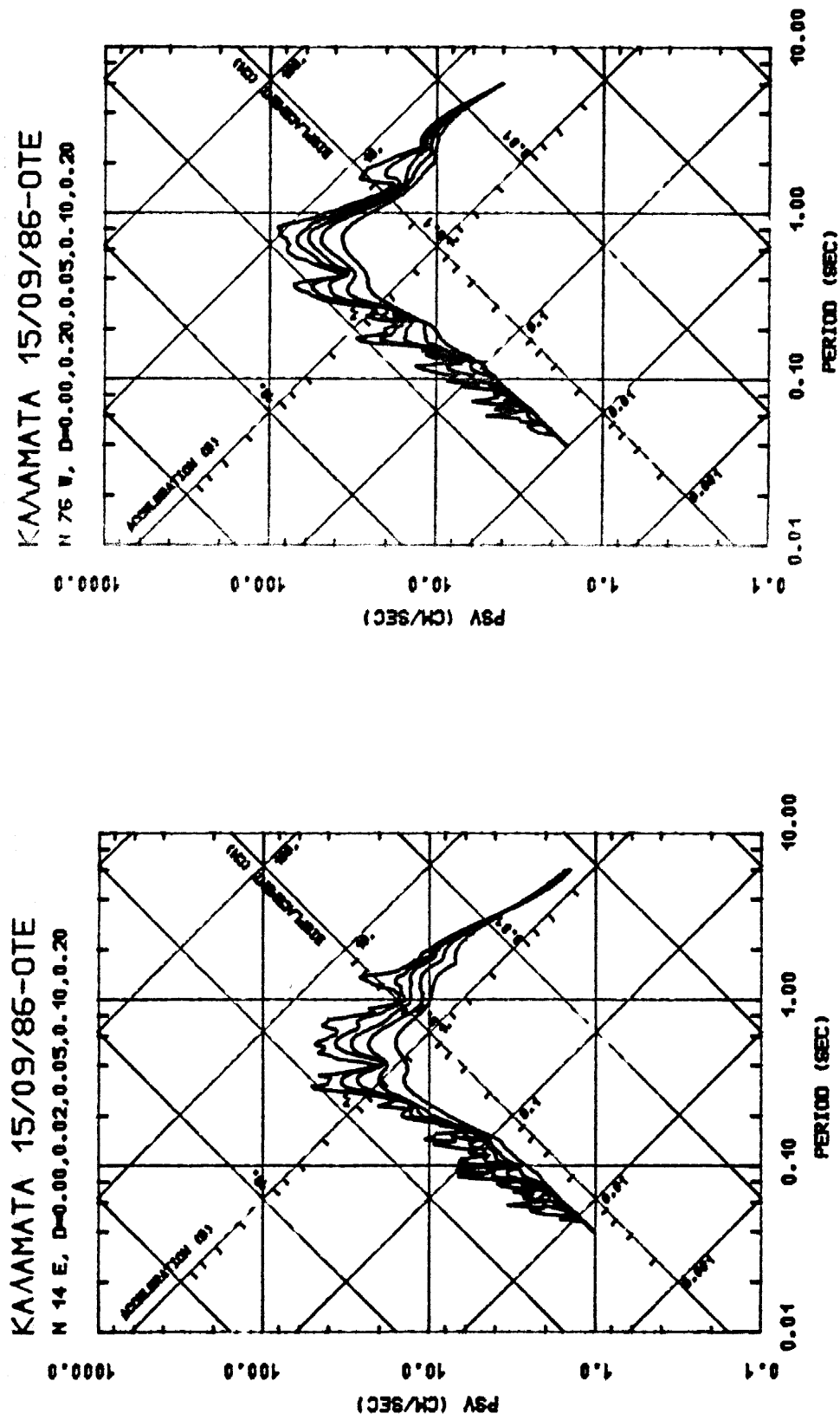
N 00 E, D=0.00,0.02,0.05,0.10,0.20



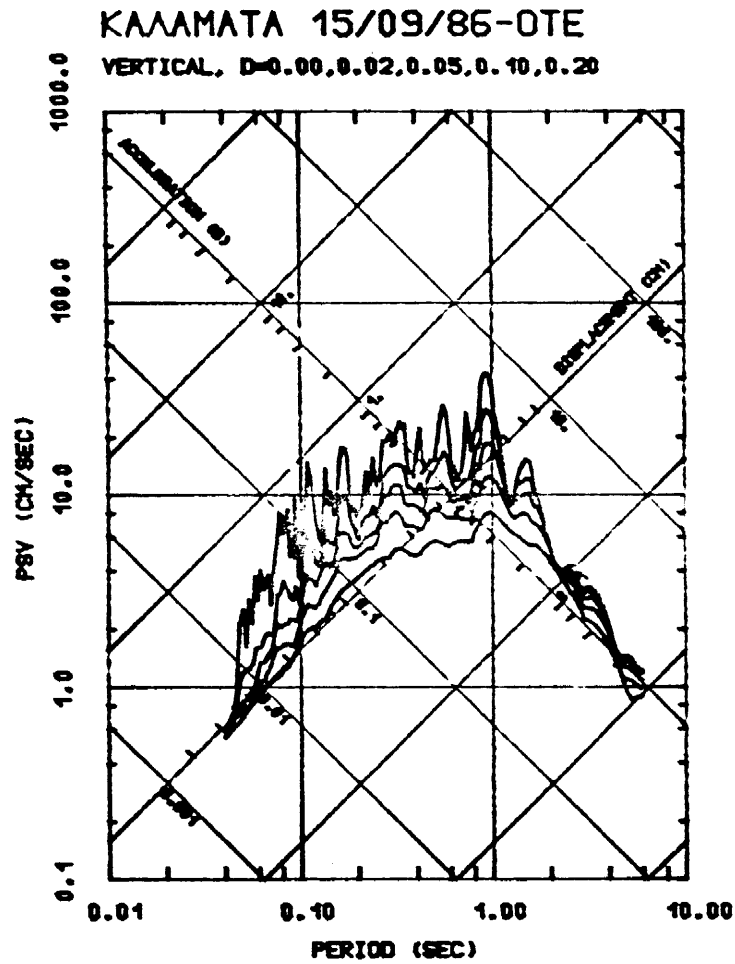
ΣΧ. 22: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή Νομορχίας)



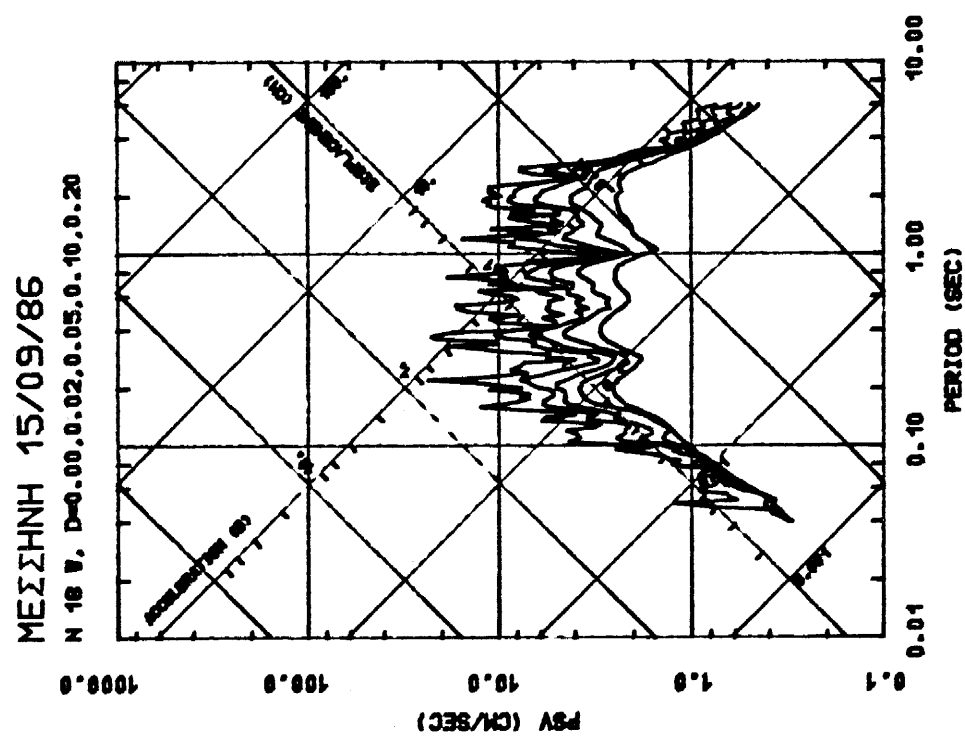
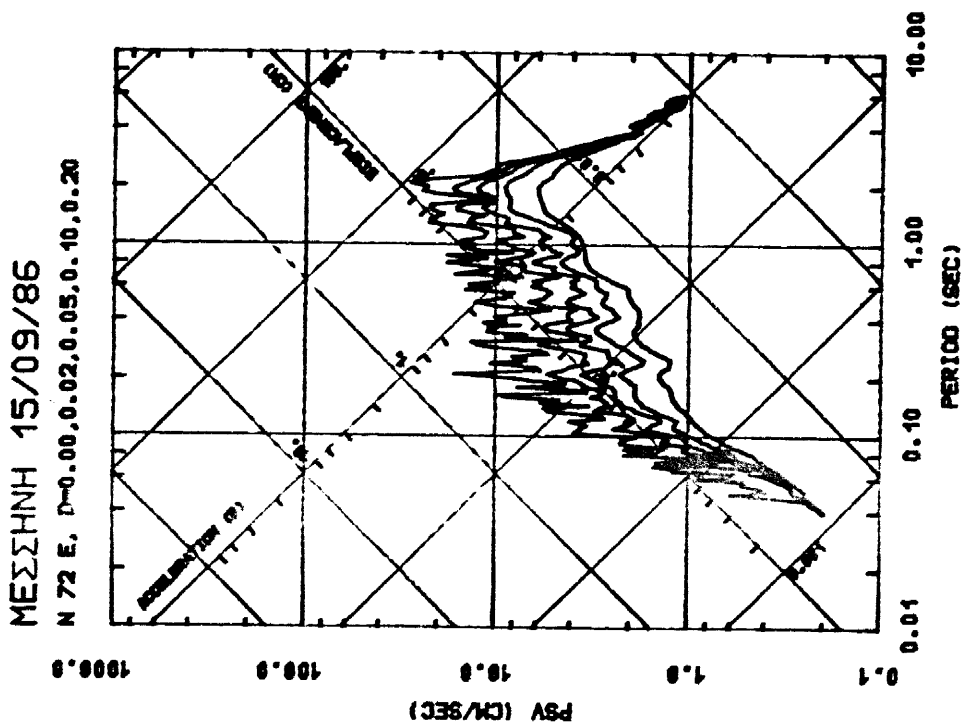
Σχ. 23: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυφης συνιστώσας του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή Νομαρχίας)



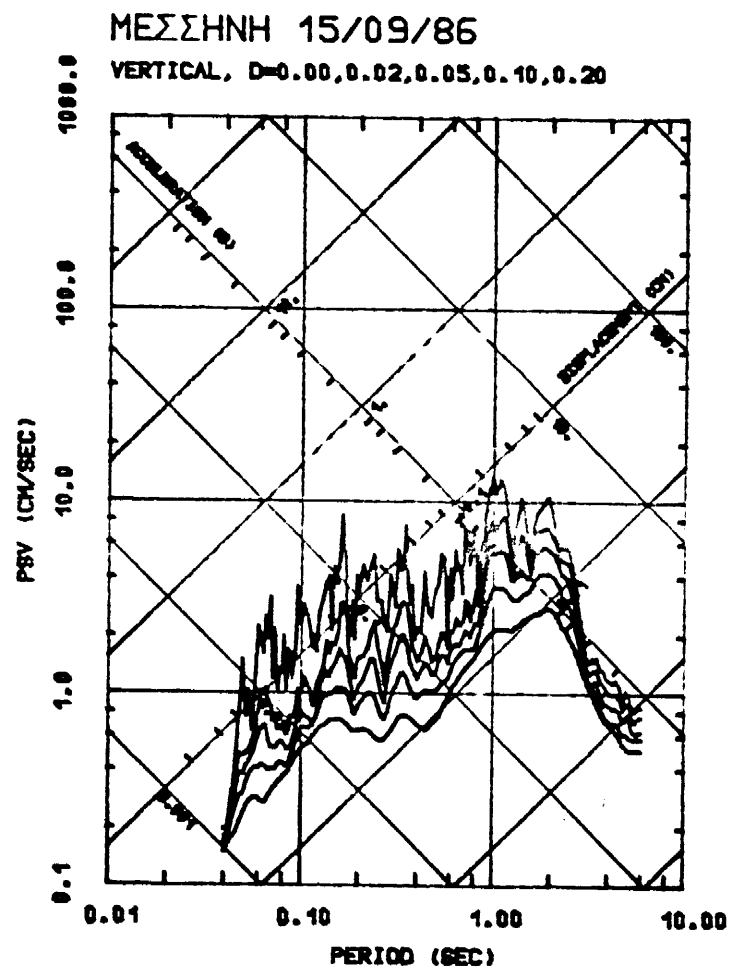
Σχ. 24: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή 0TE)



Σχ. 25: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυφης συνιστώσας του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή ΟΤΕ)



ΣΧ. 26: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή Μεσσήνης)

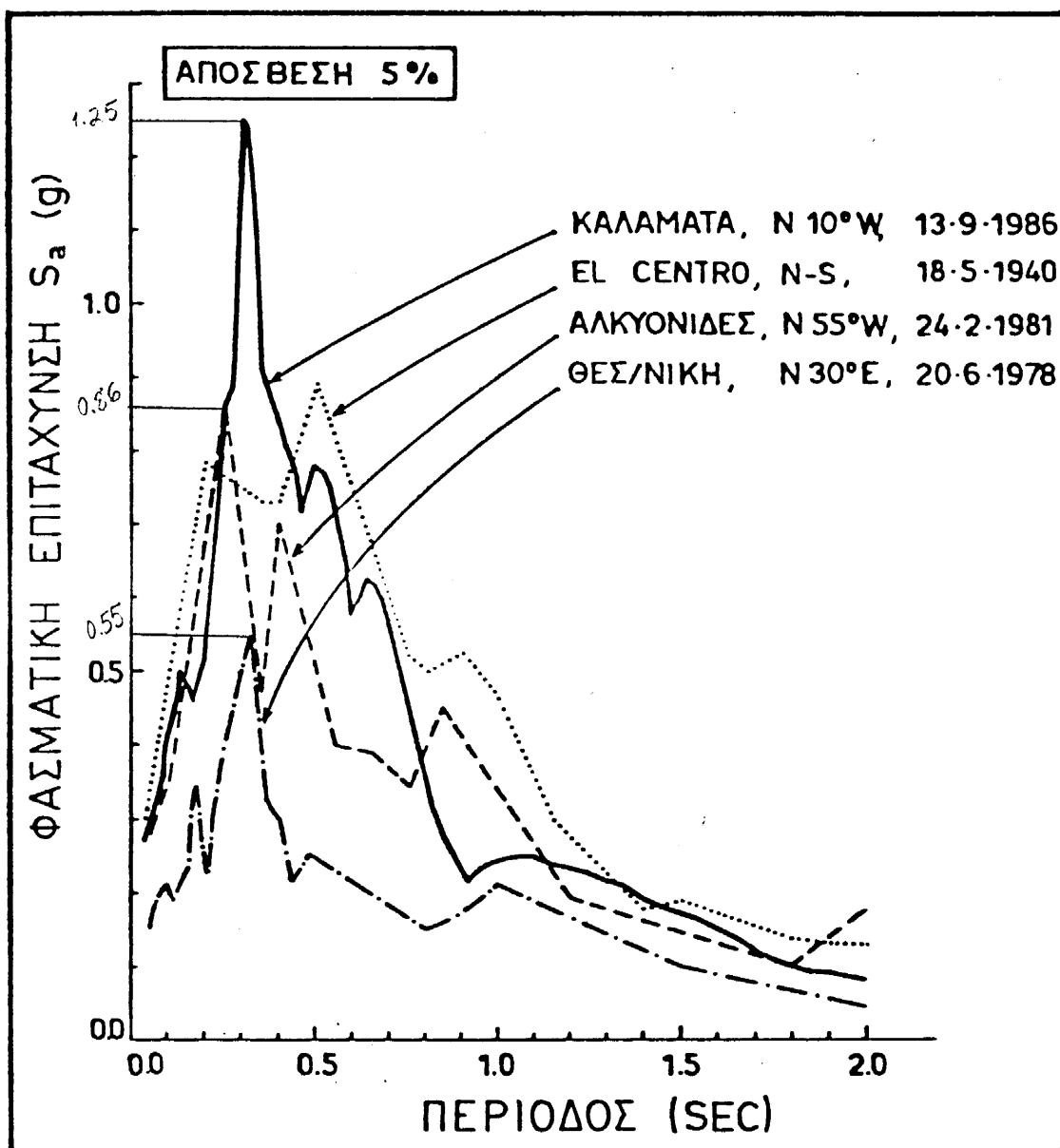


Σχ. 27: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυξης συνιστώσας του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή Μεσσήνης)

ριόδων βρίσκονται ως γνωστόν οι ιδιοπερίοδοι κτιρίων με 3 έως 6 ορόφους, δηλαδή σχεδόν όλες οι πολυκατοικίες της Καλαμάτας⁽¹⁾. Για ιδιοπεριόδους από 0.1 sec έως 0.25 sec, οι οποίες αντιστοιχούν σε διώροφα έως και τριώροφα κτίρια, οι φασματικές τεταγμένες είτε από τη μία είτε από την άλλη οριζόντια συνιστώσα (Σχ. 15) κυμαίνονται από 0.5g έως 0.8g. Τέλος, στις χαμηλές ιδιοπεριόδους με $T < 0.1$ sec οι φασματικές επιταχύνσεις κυμαίνονται από 0.27g έως 0.5g (στις πολύ χαμηλές ιδιοπεριόδους οι φασματικές επιταχύνσεις γίνονται ίσες προς τη μέγιστη επιτάχυνση του εδάφους).

Η κατακόρυφη συνιστώσα του σεισμού έδωσε μέγιστη φασματική επιτάχυνση 0.77g σε ιδιοπερίοδο $T = 0.2$ sec. Ως γνωστόν, οι κατακόρυφες συνιστώσες σεισμικών εδαφικών κινήσεων έχουν πάντοτε υψηλότερες συχνότητες από τις αντίστοιχες οριζόντιες συνιστώσες (50% περίπου περισσότερες αλλαγές προ-σήμεν κατά δευτερόλεπτο) και για το λόγο αυτό τα μέγιστα των φασματικών τους επιταχύνσεων αντιστοιχούν σε χαμηλότερες περιόδους. Οι καταγραφές του μετασεισμού της 15/9/86 έδωσαν μέγιστη φασματική επιτάχυνση της οριζόντιας κίνησης ίση προς $\approx 0.87g$ (Σχ. 17, 18) και της κατακόρυφης κίνησης ίση προς $\approx 0.37g$ (Σχ. 19). Είναι εξαιρετικά ενδιαφέροντα η πολύ μεγάλη ομοιότητα των φασμάτων των δύο καταγραφών του μετασεισμού (απόσταση των δύο σταθμών περί τα 250 m) τόσο ως προς το σχήμα όσο και ως προς τις τιμές, γεγονός το οποίο, όπως έχει ήδη επισημανθεί, κάνει τις καταγραφές πλήρως αξιόπιστες. Ένα άλλο αξιοσημείωτο στοιχείο είναι η σύμπτωση των φασματικών αιχμών της καταγραφής του κύριου σεισμού και των δύο καταγραφών του μετασεισμού στην ιδιοπερίοδο $T \approx 0.32$ sec. Η σύμπτωση αυτή, σε συνδυασμό με το μέγεθος και το εύρος της φασματικής αιχμής, αποτελεί ισχυρή ένδειξη μίας σημαντικής επίδρασης του εδαφικού υποστρώματος στη διαμόρφωση των χαρακτηριστικών της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους. Η ένδειξη αυτή γίνεται ισχυρότερη, αν ληφθεί υπόψη η διαφορά στα μεγέθη των δύο σεισμών, κυρίου και μετασεισμού (κύριος σεισμός: $M_s = 6.2$, μετασεισμός της 15/9/86, $M_s = 5.4$).

Η εντυπωσιακά έντονη δόνηση στο διάστημα ιδιοπεριόδων 0.25 sec - 0.55 sec, στο οποίο, όπως προαναφέρθηκε, περιέχονται οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι των πολυκατοικιών της Καλαμάτας, μπορεί να εκτιμηθεί από το Σχ. 28, όπου συγκρίνονται τα φάσματα απόκρισης από τους σεισμούς της



Σχ. 28: Συγκρίσεις φασμάτων απόκρισης σεισμών: Καλαμάτας (1986)
 Αλκυονίδων (1981), Θεσ/νίκης (1978) και El Centro (1940).

Καλαμάτας⁽¹⁾, Αλκυονίδων⁽³⁾, Θεσ/νίκης⁽⁴⁾, και El Centro⁽⁵⁾. Καθένα από τα φάσματα αυτά αντιστοιχεί στη συνιστώσα εκείνη η οποία δίνει τις μεγαλύτερες τεταγμένες. Από το Σχήμα 2β προκύπτει ότι συγκριτικά με τη δόνηση της Θεσ/νίκης του 1978, και στο βαθμό που αυτή αντιπροσωπεύεται από την υπάρχουσα μοναδική καταγραφή σε ένα μόνο σημείο της πόλης, η δόνηση της Καλαμάτας ήταν 2 έως 3 φορές ισχυρότερη ως προς την ένταση της επιβάρυνσης σε κτίρια με ιδιοπεριόδους μικρότερες των 0.8 sec, δηλ. σε όλα σχεδόν τα κτίρια των δύο πόλεων. Ήταν επίσης σημαντικά ισχυρότερη για ένα ευρύ φάσμα περιόδων και από τη δόνηση που προξένησε ο σεισμός των Αλκυονίδων του 1981 στην Κόρινθο. Στις κρίσιμες για τις πολυκατοικίες της πόλης ιδιοπεριόδους, δηλ. από $T = 0.25 \text{ sec} - 0.45 \text{ sec}$, η δόνηση της Καλαμάτας ήταν ισχυρότερη και από τη δόνηση του El Centro. Αξίζει πάλι να σημειωθεί πως αν η διάρκεια του ισχυρού τμήματος της δόνησης ήταν μεγαλύτερη, τότε οι συνέπειες του καταστρεπτικού αυτού σεισμού θα ήταν εξαιρετικά δυσμενέστερες.

Τέλος, σχετικά με τις παραπάνω συγκρίσεις και για την αποφυγή εσφαλμένων συμπερασμάτων ως προς κάποια τυχόν ιδιαιτερότητα της δόνησης της Καλαμάτας, θα πρέπει να υπομνησθούν οι διαφορές στις αποστάσεις από τα επίκεντρα (Πίνακας 1). Έτσι, κατά πάσα πιθανότητα, η κύρια διαφορά της δόνησης της Καλαμάτας από αυτές της Κορίνθου (Αλκυονίδες) ή της Θεσσαλονίκης οφείλεται στο ότι η Καλαμάτα βρέθηκε πολύ κοντά στην εστία του σεισμού που την έπληξε.

4. ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

4.1 Γενικά

Το φάσμα σχεδιασμού περιγράφει σεισμικά φορτία υπολογισμού και έχει σαν σκοπό τη μείωση της εξάρτησης του αντισεισμικού σχεδιασμού από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης ισχυρής σεισμικής δόνησης. Τα φάσματα σχεδιασμού προέρχονται από την επεξεργασία φασμάτων απόκρισης σεισμών οι οποίοι έχουν συμβεί κατά το παρελθόν και καταγράφηκαν από όργανα μέτρησης της σεισμικής εδαφικής κίνησης. Το πρώτο φάσμα σχεδιασμού εισήχθη το 1959 από τον G. Housner και βασίσθηκε στους τέσσερις ισχυρότερους σεισμούς που είχαν καταγραφεί μέχρι τότε στις ΗΠΑ.

Η σπουδαιότητα του φάσματος σχεδιασμού έχει από καιρό αναγνωρισθεί τόσο στην έρευνα όσο και στις εφαρμογές στη σεισμική μηχανική. Τα φάσματα σχεδιασμού αποτελούν το βασικό στοιχείο καθορισμού των σύγχρονων (15)(16)(17) αντισεισμικών κανονισμών. Γνωστά φάσματα σχεδιασμού είναι εκείνα που προτάθηκαν από τους Seed, Ugas και Lysmer (1976) και τους Newmark και Hall (1982). Το τελευταίο προέκυψε με τρόπο παρόμοιο με εκείνο των Seed, Ugas και Lysmer, χωρίς όμως να λάβει υπόψη του τη διάκριση των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε διάφορες κατηγορίες. Στην παρούσα μελέτη προτιμήθηκε η εκτίμηση των φασμάτων σχεδιασμού κατά Newmark-Hall λόγω έλλειψης ικανοποιητικών δεδομένων για τις εδαφικές συνθήκες στην πόλη της Καλαμάτας.

4.2 Φάσματα σχεδιασμού των οριζοντιών συνιστωσών κατά Newmark-Hall για την Καλαμάτα

Το φάσμα σχεδιασμού κατά Newmark-Hall βασίζεται στην περιβάλλουσα της εδαφικής κίνησης (18), η οποία κατασκευάζεται από τις αναμενόμενες μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης, a , ταχύτητας, v , και μετάθεσης, d . Το φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από την περιβάλλουσα της εδαφικής κίνησης με πολλαπλασιασμό με κατάλληλους συντελεστές ενίσχυσης οι οποίοι είναι συνάρτηση αφ' ενός μεν του κρίσιμου ποσοστού απόσβεσης, D , αφ' ετέρου δε της επιθυμητής πιθανότητας μη υπέρβασης. Για εξαιρετικά μικρές ή μεγάλες περιόδους η φασματική καμπύλη τείνει αντίστοιχα στη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ή στη μέγιστη εδαφική μετάθεση.

Μεταξύ των μεγίστων εδαφικών παραμέτρων έχουν βρεθεί σταθερές σχέσεις αναλογίας που έχουν προκύψει ως μέσες τιμές από 14 σεισμούς που καταγράφηκαν στις ΗΠΑ (19). Οι τιμές των σταθερών σχέσεων αναλογίας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, για τις οριζόντιες συνιστώσες της κίνησης και ισχύουν για θέσεις με αλλουβιακές αποθέσεις και μητρικό πέτρωμα είναι:

$$\frac{ad}{v^2} = 6, \quad \frac{v}{a} = 122 \text{ cm/sec/g} \quad (4.1)$$

Στον Πίνακα (2) δίνονται οι συντελεστές ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της φασματικής περιβάλλουσας κατά Newmark-Hall, για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης, $D = 0.05$ και δύο πιθανότητες μη υπέρβασης, 50% και 84,1% (μέσο φάσμα και μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση).

Η σπουδαιότητα του φάσματος σχεδιασμού έχει από καιρό αναγνωρισθεί τόσο στην έρευνα όσο και στις εφαρμογές στη σεισμική μηχανική. Τα φάσματα σχεδιασμού αποτελούν το βασικό στοιχείο καθορισμού των σύγχρονων ⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ αντισεισμικών κανονισμών. Γνωστά φάσματα σχεδιασμού είναι εκείνα που προτάθηκαν από τους Seed, Ugas και Lysmer (1976) και τους Newmark και Hall (1982). Το τελευταίο προέκυψε με τρόπο παρόμοιο με εκείνο των Seed, Ugas και Lysmer, χωρίς όμως να λάβει υπόψη του τη διάκριση των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε διάφορες κατηγορίες. Στην παρούσα μελέτη προτιμήθηκε η εκτίμηση των φασμάτων σχεδιασμού κατά Newmark-Hall λόγω έλλειψης ικανοποιητικών δεδομένων για τις εδαφικές συνθήκες στην πόλη της Καλαμάτας.

4.2 Φάσματα σχεδιασμού των οριζοντίων συνιστωσών κατά Newmark-Hall για την Καλαμάτα

Το φάσμα σχεδιασμού κατά Newmark-Hall βασίζεται στην περιβάλλουσα της εδαφικής κίνησης ⁽¹⁸⁾, η οποία κατασκευάζεται από τις αναμενόμενες μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης, a , ταχύτητας, v , και μετάθεσης, d . Το φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από την περιβάλλουσα της εδαφικής κίνησης με πολλαπλασιασμό με κατάλληλους συντελεστές ενίσχυσης οι οποίοι είναι συνάρτηση αφ' ενός μεν του κρίσιμου ποσοστού απόσβεσης, D , αφ' ετέρου δε της επιθυμητής πιθανότητας μη υπέρβασης. Για εξαιρετικά μικρές ή μεγάλες περιόδους η φασματική καμπύλη τείνει αντίστοιχα στη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ή στη μέγιστη εδαφική μετάθεση.

Μεταξύ των μεγίστων εδαφικών παραμέτρων έχουν βρεθεί σταθερές σχέσεις αναλογίας που έχουν προκύψει ως μέσες τιμές από 14 σεισμούς που καταγράφηκαν στις ΗΠΑ ⁽¹⁹⁾. Οι τιμές των σταθερών σχέσεων αναλογίας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, για τις οριζόντιες συνιστώσες της κίνησης και ισχύουν για θέσεις με αλλουβιακές αποθέσεις και μητρικό πέτρωμα είναι:

$$\frac{ad}{v^2} = 6, \quad \frac{v}{a} = 122 \text{ cm/sec/g} \quad (4.1)$$

Στον Πίνακα (2) δίνονται οι συντελεστές ενίσχυσης που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της φασματικής περιβάλλουσας κατά Newmark-Hall, για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης, $D = 0.05$ και δύο πιθανότητες μη υπέρβασης, 50% και 84,1% (μέσο φάσμα και μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση).

Πίνακας 2. Τιμές των συντελεστών ενίσχυσης κατά Newmark-Hall για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης, $D = 0.05$

Πιθανότητα μη υπέρβασης (%)	Συντελεστές ενίσχυσης		
	Επιτάχυνση	Ταχύτητα	Μετάθεση
50	2.11	1.66	1.40
84.1 (1σ)	2.67	2.32	2.04

Στον πίνακα (3) δίνονται οι μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις με βάση τις οποίες κατασκευάστηκαν τα φάσματα σχεδιασμού κατά Newmark-Hall. Οι τιμές αυτές λήφθηκαν από μελέτη για τη σεισμική επικινδυνότητα της Καλαμάτας⁽²⁰⁾, ανηγμένες σε μέσες αναμενόμενες τιμές.

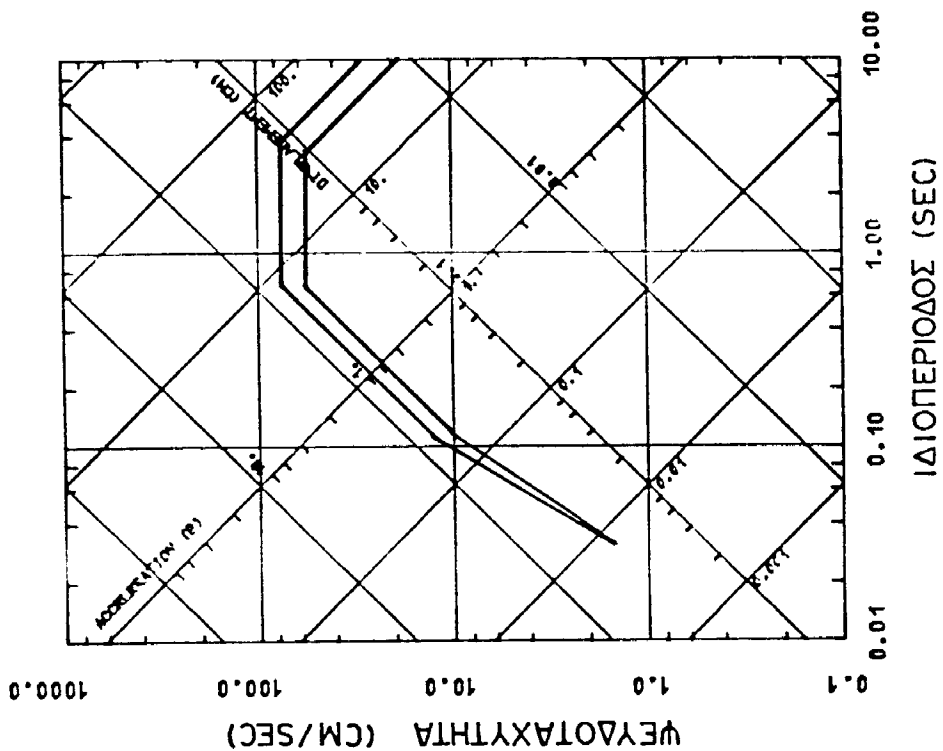
Πίνακας 3. Τιμές μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων $a(\text{cm/sec}^2)$ για χρόνους θεώρησης $T=50, 100$ έτη και πιθανότητες υπέρβασης $PT=0.30, 0.10$.

$T \backslash PT$	0.30	0.10
50	181	264
100	221	314

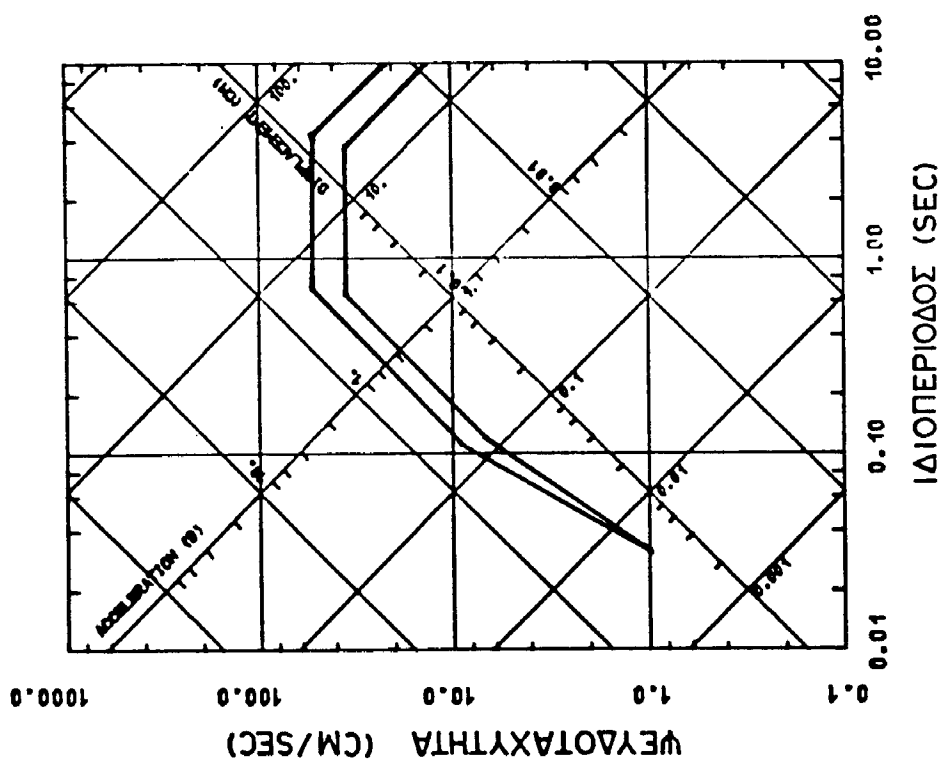
Στα σχήματα (29), (30), (31) και (32) δίνονται τα φάσματα σχεδιασμού οριζοντίων συνιστωσών κατά Newmark-Hall για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης, $D = 0.05$, για χρόνους θεώρησης, $T=50, 100$ έτη και πιθανότητες υπέρβασης $PT=0.30, 0.10$. Στα παραπάνω σχήματα σχεδιάζονται ταυτόχρονα το μέσο φάσμα και το μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση (1σ).

4.3. Συγκρίσεις με ανάλογα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης-Προτεινόμενα φάσματα σχεδιασμού

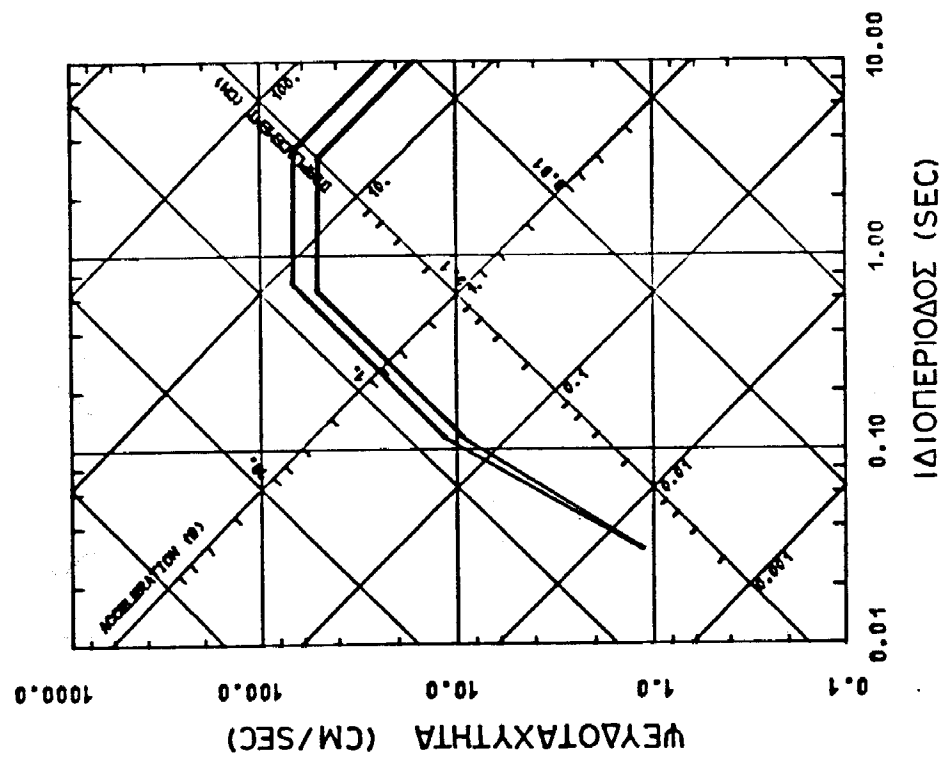
Σε μελέτη σχετική με τη σεισμική επικινδυνότητα της Καλαμάτας⁽²⁰⁾ δίνονται πιθανολογικά φάσματα απόκρισης για χρόνους θεώρησης, $T=50, 100$ έτη, με πιθανότη-



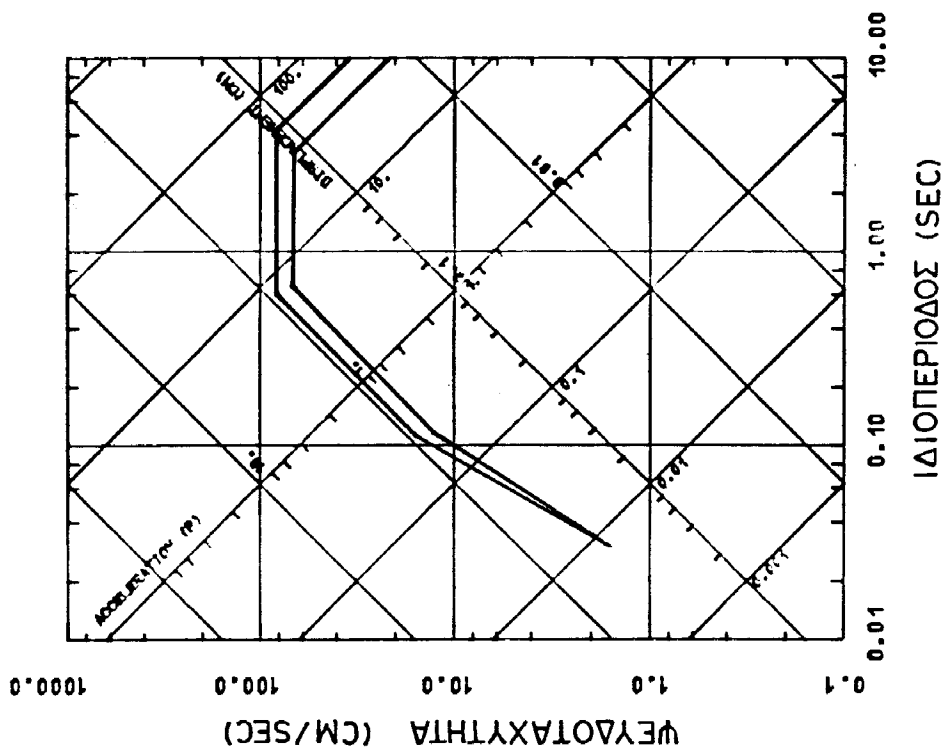
Σχ. 30: Φάσματα σχεδιασμού (μέσο φάσμα και μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση) κατά Newmark-Hall για την Κολαμάτα, για χρόνο θεώρησης, $T=50$ έτη και πιθανότητα υπέρβασης, $PT=0.10$



Σχ. 29: Φάσματα σχεδιασμού (μέσο φάσμα και μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση) κατά Newmark-Hall για την Κολαμάτα, για χρόνο θεώρησης, $T=50$ έτη και πιθανότητα υπέρβασης, $PT=0.30$



Σχ. 31: Φάσματα σχεδιασμού (μέσο φάσμα και μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση) κατά Newmark-Hall για την Καλαμάτα, για χρόνο θέρωσης, $T=100$ έτη και πιθανότητα υπέρβασης, $PT=0.30$



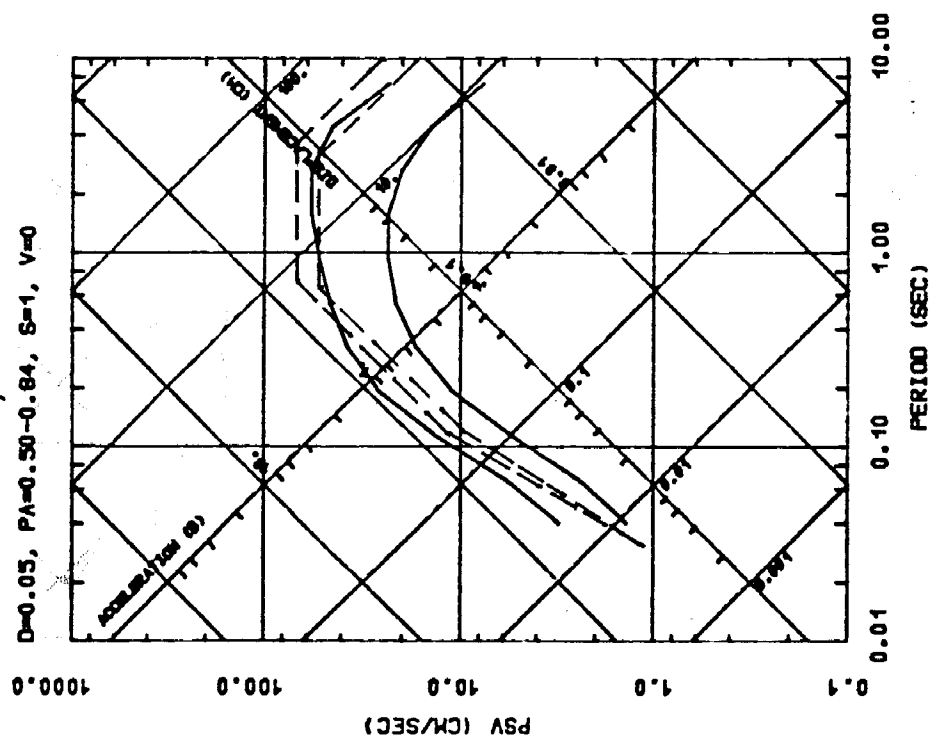
Σχ. 32: Φάσματα σχεδιασμού (μέσο φάσμα και μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση) κατά Newmark-Hall για την Καλαμάτα, για χρόνο θέρωσης, $T=100$ έτη και πιθανότητα υπέρβασης, $PT=0.10$

τες υπέρβασης, $PT = 0.30, 0.10$. Έγινε σύγκριση των παραπάνω φασμάτων με τα ανάλογα φάσματα σχεδιασμού που εκτιμήθηκαν στην παρούσα μελέτη η οποία φαίνεται στα σχήματα (33), (34), (35) και (36). Η σύγκριση αυτή έδειξε ότι το μέσο φάσμα κατά Newmark-Hall είναι συντηρητικότερο από το μέσο φάσμα που προέκυψε με βάση το εμπειρικό μοντέλο αναγωγής (scaling) φασματικών τιμών των Trifunac και Anderson⁽²¹⁾ για όλες τις περιόδους. Τουναντίον το φάσμα σχεδιασμού κατά Newmark-Hall με πιθανότητα μή υπέρβασης 84,1%, έχει χαμηλότερες φασματικές τιμές για τις μικρές περιόδους μέχρι περίπου 0.4 sec από το αντίστοιχό του φάσματος κατά Trifunac-Anderson, ενώ για μεγαλύτερες περιόδους είναι γενικά συντηρητικότερο.

Στα παραπάνω αποτελέσματα υπεισέρχονται αρκετές αβεβαιότητες. Η μείωση των αβεβαιοτήτων αυτών που θα προκύψει από παρατέρα μελέτη και έρευνα προφανώς θα οδηγήσει σε πιο αξιόπιστα φάσματα σχεδιασμού για την πόλη της Καλαμάτας. Για την πρόταση συγκεκριμένου φάσματος σχεδιασμού είναι αναγκαίο να γνωρίζει ο συντάκτης της σχετικής πρότασης τη χρήση για την οποία προορίζεται το εν λόγω φάσμα. Επειδή η χρήση αυτή δεν είναι γνωστή στους συντάκτες του παρόντος και λαμβανομένου υπόψη ότι οι χρονικοί περιορισμοί της μελέτης δεν επιτρέπουν παρατέρα διερευνήσεις, προτείνεται το μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση του φάσματος σχεδιασμού κατά Newmark-Hall ως ένα συντηρητικό φάσμα σχεδιασμού γενικής χρήσης.

T=100 ETH, PT=0.30

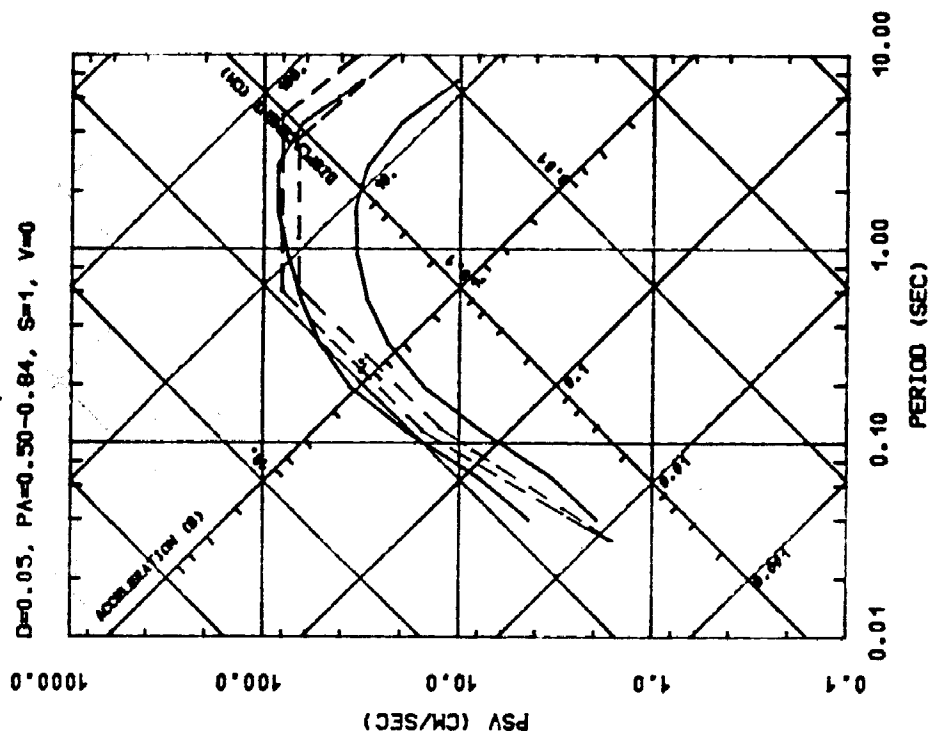
D=0.05, PA=0.50-0.84, S=1, V=0



Σχ. 35: Κοινή απεικόνιση των φασμάτων σχεδιασμού κατά Newmark-Hall με ανάλογα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης κατά Trifunac-Anderson⁽²⁰⁾

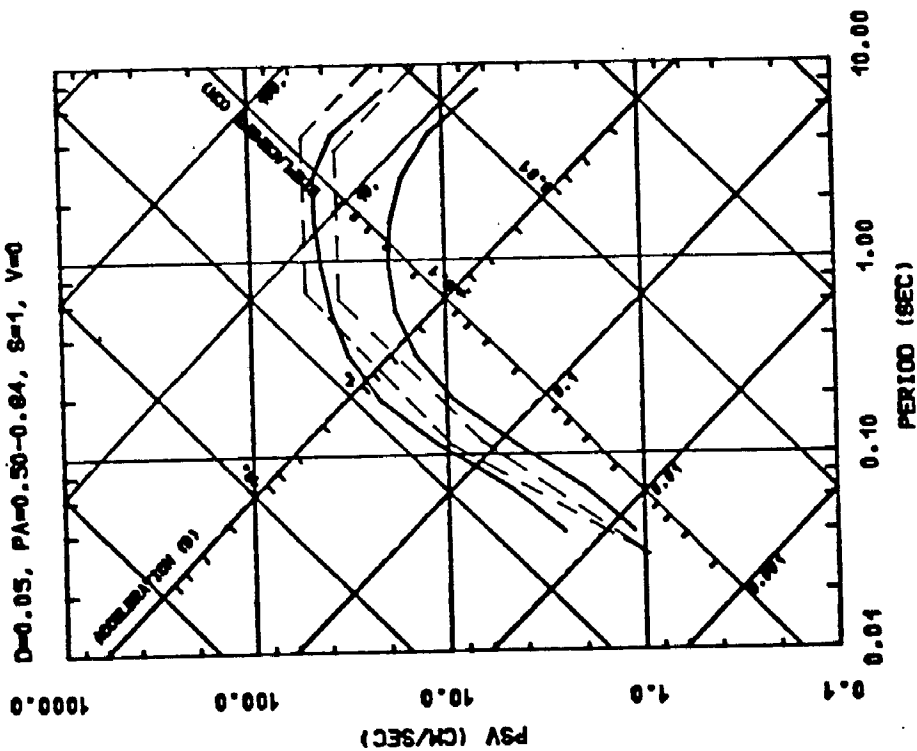
T=100 ETH, PT=0.10

D=0.05, PA=0.50-0.84, S=1, V=0



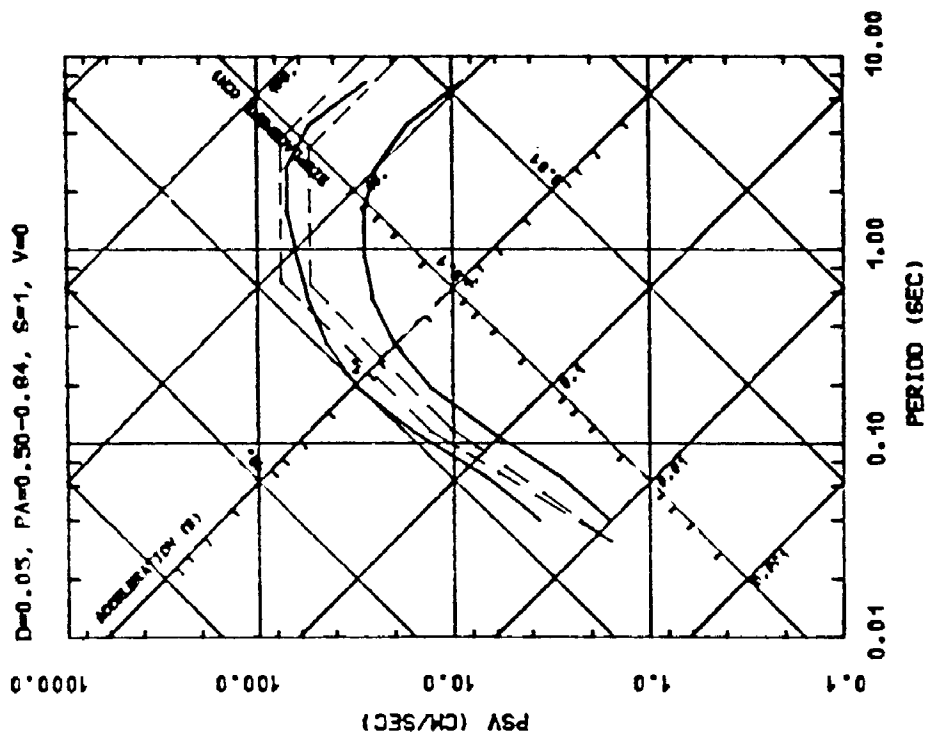
Σχ. 36: Κοινή απεικόνιση των φασμάτων σχεδιασμού κατά Newmark-Hall με ανάλογα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης κατά Trifunac-Anderson⁽²⁰⁾

T=50 ETH, PT=0.30
D=0.05, PA=0.50-0.84, S=1, V=0



Σχ. 33: Κοινή απεικόνιση των φασμάτων σχεδιασμού κατά Newmark-Hall με ανάλογα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης κατά Trifunac-Anderson (20)

T=50 ETH, PT=0.10
D=0.05, PA=0.50-0.84, S=1, V=0



Σχ. 34: Κοινή απεικόνιση των φασμάτων σχεδιασμού κατά Newmark-Hall με ανάλογα πιθανολογικά φάσματα απόκρισης κατά Trifunac-Anderson (20)

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Ο σεισμός της 13ης Σεπτ., 1986 της Καλαμάτας, αν και μικρότερος σε μέγεθος από τους σεισμούς της Θεσ/νίκης (1978) και της Κορίνθου - Αλκυονίδων (1981), προκάλεσε σημαντικά εντονότερες σεισμικές επιβαρύνσεις σε ορισμένες περιοχές της πόλης απ'ό,τι προκάλεσαν στη Θεσ/νίκη και Κόρινθο, αντίστοιχα, οι δύο προαναφερθέντες σεισμοί. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μικρή απόσταση της Καλαμάτας από την εστία του κύριου σεισμού - περίπου 15 km - και την ακόμα μικρότερη απόστασή της από την εστία του μεγαλύτερου μετασεισμού - περίπου 11 km. Συγκριτικά με το σεισμό της Θεσ/νίκης, η φασματική ένταση της δόνησης στην Καλαμάτα, όπως προκύπτει από την καταγραφή του ΙΤΣΑΚ, ήταν 2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από τη φασματική ένταση της δόνησης που καταγράφηκε στη Θεσ/νίκη για ιδιοπεριόδους μικρότερες των 0.8sec. Στο διάστημα αυτό περιέχονται οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι σχεδόν όλων των κτιρίων των δύο πόλεων.
2. Η βραχεία διάρκεια του ισχυρού τμήματος της εδαφικής κίνησης - 2.5 sec περίπου - αντιστάθμισε τη μεγάλη φασματική ένταση και σε συνδυασμό με τη συμβολή των τοιχοπληρώσεων σε κτίρια οπλ. σκυροδέματος, οι οποίες αν και κατά κανόνα αγνοούνται στον αντισεισμικό υπολογισμό εν τούτοις συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στη δυσκαμψία της οικοδομής και στην απορρόφηση σεισμικής ενέργειας, ήταν οι κύριοι λόγοι για τους οποίους η καταστροφή δεν ήταν πολύ μεγαλύτερη. Η σημασία της διάρκειας (ή του αριθμού των κύκλων της εναλλασσόμενης φόρτισης) στην καταστρεπτικότητα ενός σεισμού προκύπτει και από το γεγονός ότι πολλές καταρρεύσεις έγιναν κατά τους δύο μεγαλύτερους και σημαντικά ασθενέστερους, συγκριτικά προς τον κύριο σεισμό, μετασεισμούς.
3. Τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης της Καλαμάτας - ένταση, διάρκεια και περιεχόμενο συχνοτήτων - αντανακλούν το μέγεθος του σεισμού, την κοντινή απόσταση της πόλης από την εστία και τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, οι οποίες μαζί με το μηχανισμό

γένεσης και το μήκος διάρρηξης του ρήγματος αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες της κατανομής των σεισμικών εντάσεων στις διάφορες περιοχές της πόλης ή γύρω από αυτή.

4. Η σύμπτωση των περιόδων στις οποίες παρατηρείται μια μεγάλη αιχμή των φασμάτων απόκρισης των συνιστωσών του κύριου σεισμού και του κύριου μετασεισμού (0.32 sec), είναι ενδεικτική μιάς έντονης επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών.
5. Η οργάνωση και χρηματοδότηση ενός δικτύου επιταχυνσιογράφων σε εθνική κλίμακα το οποίο θα καλύπτει ακραίες συνθήκες θεμελίωσης (έδαφος-βράχος), θα επιταχύνει τον εμπλουτισμό της τράπεζας δεδομένων ισχυρών εδαφικών κινήσεων στον Ελληνικό χώρο και θα συμβάλλει σε ικανοποιητικό βαθμό στη γνώση της διαμόρφωσης της εδαφικής κίνησης στις διάφορες κατηγορίες εδαφών. Σχετική μελέτη για το σχεδιασμό εθνικού δικτύου επιτ/ων έχει ήδη εκπονηθεί στο ΙΤΣΑΚ⁽²²⁾.
6. Το προτεινόμενο φάσμα σχεδιασμού κατά Newmark-Hall στην παρούσα μελέτη (μέσο φάσμα συν μια τυπική απόκλιση) είναι γενικής χρήσης. Η πιθανή σχεδίαση περισσότερο προοδευτικών φασμάτων σχεδιασμού απαιτεί παραπέρα διερευνήσεις και μελέτη όλων εκείνων των παραμέτρων που καθορίζουν τις μελλοντικές εδαφικές κινήσεις στην πόλη της Καλαμάτας (νεοτεκτονικά ενεργά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή, σχέσεις απόσβεσης εδαφικών παραμέτρων, τοπικές εδαφικές συνθήκες κ.λ.π.).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Θεοδουλίδης, Ν.Π., Λεκίδης, Β.Α. και Μάργαρης, Β.Ν. "Οι σεισμοί της Καλαμάτας του Σεπτεμβρίου 1986: Αποτελέσματα από την ανάλυση των επιταχυνσιογραφήματων, συσχετισμός με τον αντισεισμικό κανονισμό, επιθεώρηση βλαβών και συμπεράσματα", ΙΤΣΑΚ, Εργασία ΙΤΣΑΚ: 86-05, 1986.
2. Papazachos, B., Kiratzi, A., Karacostas, B., Panagiotopoulos, D. and E. Scordilis. "Surface fault traces, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of the September 13, 1986 earthquake of Kalamata (Southern Greece). (Υπό δημοσίευση).
3. Carydis, P.C., Drakopoulos, J.C. and Taflambas, I.M. "Evaluation of the Corinth Strong Motion Records of February 24 and 25, 1981". Proc. of the 7th Europ. Conf. on Earth. Engin., Vol.3, pp.119-131, Athens, 1982.
4. Carydis, P.C., Drakopoulos, I., Pantazopoulos, S. and Taflambas, I. "Evaluation of the June 20 and July 5, 1978, Thessaloniki Strong Motion Records", in "The Thessaloniki, Northern Greece, Earthquake of June 20, 1978 and its seismic Sequence" Technical Chamber of Greece, pp.231-256, Thessaloniki, 1983.
5. Trifunac, M.D. "Response Spectra", in Analyses of Strong Motion Earthquake Accelerograms, Vol.III, part A, Rep.N 72-80, Earthquake Engineering Research Lab. California Institute of Technology, Pasadena, August 1972.
6. Trifunac, M.D. "Low frequency digitization errors and a new method for zero baseline correction of Strong-Motion Accelerograms". EERL Report No. EERL 70-07, 1970.
7. Trifunac, M.D., Udawadia, F.E. and Brady, A.G. "High frequency errors and instrument corrections of strong-motion accelerograms". EERL, Report No. EERL 71-05, 1971.
8. Basili, M. "Data acquisition and processing in Strong Motion Seismology". Int. Sum.Sch.Ankara, 1985.

9. Margaris, B.N. "Digitizing errors and filters", ITSAC, Report ITSAC:86-03, 1986.
10. Petrovski, D. and Naumovski, N. "Processing of Strong Motion accelerograms Part I-Analytical Methods" IZIIS, Publication No.66, 1979.
11. Basili, M. and Brady, A.G. "Low frequency filtering and the selection of limits for Accelerogram corrections". Proc. of the Sixth European Conference on Earthquake Engineering, Yugoslavia, 1978.
12. Brigham, O.E. "The Fast Fourier Transform". Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs New Jersey, 1974.
13. Orsmy, J.F.A. "Design of numerical filters with application to missile data processing". Ass. for Comp. Machinery Jour., 8, 440-466, 1961.
14. Khemici, O. and Shah, H.C. "Frequency domain corrections of earthquake accelerograms with experimental verifications". J.A. Blume Earth.Eng.Center Report N:55, 1982.
15. Αναγνωστόπουλος, Σ.Α. "Στοιχεία αντισεισμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών με φάσματα απόκρισης-σχεδιασμού". ITSAC. Εργασία ITSAC:86-01, 1986.
16. Newmark, N.M., Degenkolb, H.J., Chorp, A.K., Veletsos, A.S., Rosenblueth, E. and Sharpe, R.L., "Seismic design and analysis provisions for the United States", 6th World Conf. Earthquake Eng., New Delhi, India, 1977.
17. Seed, H.B., Ugas, C. and Lysmer, J., "Site-dependent Spectra for earthquake-resistant design", Bull. Seism.Soc.Amer., 66, 221-243, 1976.
18. Newmark, N.M. and Hall, W.J., "Seismic design criteria for nuclear reactor facilities", 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 1969.
19. Newmark, N.M. Consulting Engineering Services, "A study of vertical and horizontal earthquake spectra", Directorate of Licencing United States A.E.C., 1973.

20. Θεοδουλίδης, Ν.Π., Χατζηδημητρίου, Π.Μ., Παπαϊωάννου, Χ.Α., Παπαζάχος, Β.Κ. και Παπασταματίου, Δ.Ι., "Σεισμική επικινδυνότητα και πιθανολογικά φάσματα απόκρισης για την Καλαμάτα": Δημοσίευση Εργαστηρίου Γεωφυσικής Πανεπιστημίου Θεσ/νίκης, 6, 1986.
21. Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., "Preliminary empirical models for scaling pseudo relative velocity spectra", Report No. 78-04, USC Dep. of Civil Eng., Jun., 1978.
22. Θεοδουλίδης, Ν.Π., Μάργαρης, Β.Ν. και Παπασταματίου, Δ.Ι. "Σχεδιασμός δικτύου επιταχυνσιογράφων", ΙΤΣΑΚ, Εργασία ΙΤΣΑΚ: 86-04, 1986.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Δελτία Καταγραφής Ισχυρής Σεισμικής Δόνησης

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: KAL 86-1

Σταθμός (Station): KAL

Συντεταγμένες (Coordinates): 37.01N, 22.10E

Τοποθεσία (Location): Καλαμάτα (Kalamata)

Θέση εγκατάστασης (Site): 7-όροφο κτίριο, Υπόγειο
(7-story bldg, Basement)

Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 90 gra

Επικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~17 km

Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1

Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4124

Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾

Μέγεθος (Magnitude): $M_L = 5.7$ ($M_s = 6.2$)

Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 13-9-1986, 17:24:35.6 GMT

Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 36.9N, 22.0E Χρόνος [S-t] (S-t interval time): 1.9 sec

Δεδομένα Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης (Strong Ground Motion Data)	Συνιστώσα Καταγραφής (Record Component)	Μεγίστη Επιτάχυνση (Maximum Acceleration) [g]	Χρόνος Επιτάχυνσης (Time of Maximum Acceleration) [sec]	Περίοδος Μέγιστης Επιτάχυνσης (Period of Maximum Acceleration) [sec]
	L	0.24	3.8	0.4
	T	0.27	2.5	0.4
	V	0.22	1.7	0.06

Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): 20.0 sec

Διάρκεια Ισχυρής Δόνησης (Strong Motion Duration)⁽⁴⁾: 5.8 sec

Χρόνος [S-t] (S-t interval time): 1.9 sec

L

V

(1) Προσανατολισμός της επιμήκους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.
(From preliminary data by the Seismological Institute of the National Observatory of Athens and the Geophysical Laboratory University of Thessaloniki)

(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $> 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $> 0.05g$)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: ΓΤΗ 86-1

Σταθμός (Station): ΓΤΗ

Συντεταγμένες (Coordinates): 36.74N, 22.54E

Τοποθεσία (Location): Γύθειο (Githio)

Θέση εγκατάστασης (Site): 2-όροφος κτίριο, Ισόγειο
(2-story bldg, Ground level)

Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 75 gra

Επικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~50 km

Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1

Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4092

Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾

Μέγεθος (Magnitude): $M_L = 5.7$ ($M_s = 6.2$)

Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 13⁵-9-1986, 17:24:35.6 GMT

Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 36.9N, 22.0E Χρόνος [S-t] (Interval time): 5.8 sec

Δεδομένα Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης (Strong Ground Motion Data)			
Συνιστώσα	Μέγιστη	Χρόνος Μέγιστης	Περίοδος Μέγιστης
Καταγραφής	Επιτάχυνση	Επιτάχυνσης	Επιτάχυνσης
(Record	(Maximum	(Time of Maximum	(Period of Maximum
Component)	Acceleration)	Acceleration)	Acceleration)
	[g]	[sec]	[sec]

L	(επίπεδο διέγερσης	0.005g)	-
T	0.01)	-	-
V	(επίπεδο διέγερσης	0.005g)	-

Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): 6.0 sec

Διάρκεια Ισχυρής Δόνησης (Strong Motion Duration)⁽⁴⁾: -

L

V

T

(1) Προσανατολισμός της επιμήκους συνιστώσας (Direction of longitudinal component (L))

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Γραφείο Γεωφυσικής του ΑΠΘ.

(From preliminary data by the Seismological Institute of the National Observatory of Athens and the Geophysical Laboratory University of Thessaloniki)

(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $\geq 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $\geq 0.05g$)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: KAL 86-7

Σταθμός (Station): KAL

Συντεταγμένες (Coordinates): 37.01N, 22.10E

Τοποθεσία (Location): Καλαμάτα (Kalamata)

Θέση εγκατάστασης (Site): 7-όροφο κτίριο, Υπόγειο
(7-story bldg, Basement)

Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 90 gra

Επικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~7 km

Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1

Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4124

Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾

Μέγεθος (Magnitude): $M_L = 4.9$ ($M = 5.4$)

Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 15-9-1986, 11:41:31.3 GMT

Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 37.0N, 22.1E Χρόνος [S-t] ([S-t] interval time): 1.4 sec

Δεδομένα Ισχύρξης Εδαφικής Κίνησης (Strong Ground Motion Data)		Περίοδος Μέγιστης Επιτάχυνσης (Period of Maximum Acceleration)	
Συνιστώσα	Μέγιστη	Χρόνος Μέγιστης Επιτάχυνσης (Time of Maximum Acceleration)	[sec]
Καταγραφής (Record Component)	Επιτάχυνση (Maximum Acceleration)		
L	0.23	2.6	0.45
T	0.15	~2.4	0.35
V	0.11	2.2	0.10
Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): 12.0 sec			
Διάρκεια Ισχύρξης Δόνησης (Strong Motion Duration) ⁽⁴⁾ : 3.0 sec			

L

V

T

(1) Προσανατολισμός της επιμήκους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ.

(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $\geq 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $\geq 0.05g$)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: KAL* 86-2

Σταθμός (Station): KAL*

Συντεταγμένες (Coordinates): 37.01N, 22.10E

Τοποθεσία (Location): Κάλαμπα (Kalamata)

Θέση εγκατάστασης (Site): 4-όροφο κτίριο, Υπόγειο
(4-story bldg, Basement)

Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 15 gra

Επικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~7 km

Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1

Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4122

Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾

Μέγεθος (Magnitude): $M_L = 4.9$ ($M = 5.4$)

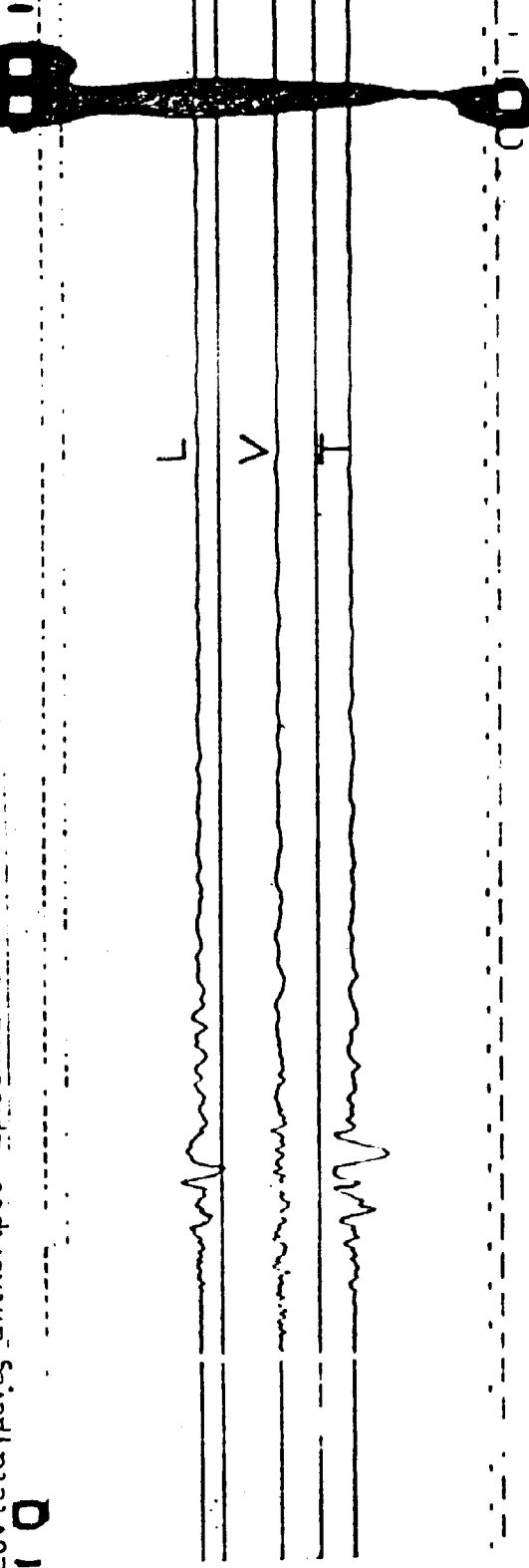
Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 15-9-1986, 11:41:31.3 GMT

Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 37.0N, 22.1E Χρόνος [S-t] (Interval time): 1.4 sec

Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): 12.0 sec

Διάρκεια Ισχυρής Δόνησης (Strong Motion Duration)⁽⁴⁾: 2.5 sec

Δεδομένα	Ισχυρής Δόνησης	Κίνησης (Strong Motion Data)
Συνιστώσα	Μέγιστη	Χρόνος Μέγιστης
Καταγραφής	Επιτάχυνση	Επιτάχυνσης
(Record Component)	(Maximum Acceleration)	(Period of Maximum Acceleration)
	[g]	[sec]
L	0.15	2.5
T	0.25	2.5
V	0.08	2.2
		0.30
		0.40
		0.15



(1) Προσανατολισμός της επιμήχους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ.
(From preliminary data by the Seismological Institute of the National Observatory of Athens and the Geophysical Laboratory University of Thessaloniki)

(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $> 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $> 0.05g$)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: KAL* 86-2

Σταθμός (Station): KAL*

Συντεταγμένες (Coordinates): 37.01N, 22.10E

Τοποθεσία (Location): Κάλαμάτα (Kalamata)

Θέση εγκατάστασης (Site): 4-όροφο κτίριο, Υπόγειο
(4-story bldg, Basement)Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 15 graΕπικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~7 km

Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1

Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4122

Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾Μέγεθος (Magnitude): $M_L = 4.9$ ($M_s = 5.4$)

Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 15-9-1986, 11:41:31.3 GMT

Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 37.0N, 22.1E Χρόνος [S-t] (Interval time): 1.4 sec

10

Δεδομένα Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης (Strong Ground Motion Data)			
Συνιστώσα	Μέγιστη	Χρόνος Μέγιστης	Περίοδος Μέγιστης
Καταγραφής	Επιτάχυνση	Επιτάχυνσης	Επιτάχυνσης
(Record	(Maximum	(Time of Maximum	(Period of Maximum
Component)	Acceleration)	Acceleration)	Acceleration)
	[g]	[sec]	[sec]
L	0.15	2.5	0.30
T	0.25	2.5	0.40
V	0.08	2.2	0.15

Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): 12.0 sec

Διάρκεια Ισχυρής Δόνησης (Strong Motion Duration)⁽⁴⁾: 2.5 sec

L

V

T

(1) Προσανατολισμός της επιμήκους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ.

(From preliminary data by the Seismological Institute of the National Observatory of Athens and the Geophysical Laboratory University of Thessaloniki)

(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $> 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $> 0.05g$)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: MES* 86-1

Σταθμός (Station): MES*

Συντεταγμένες (Coordinates): 37.02N, 22.0E

Τοποθεσία (Location): Μεσσήνη (Messini)

Θέση εγκατάστασης (Site): 1-όροσο κτίριο, Ισόγειο
(1-story bldg, Ground level)

Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 80 gra

Επικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~15 km

Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1

Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4112

Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾

Μεγεθος (Magnitude): $M_L = 4.9$ ($M = 5.4$)

Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 15-5-1986, 11:41:31.3 GMT

Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 37.0N, 22.1E Χρόνος [S-t] (Interval time): 2.5 sec

Συνιστώσα Καταγραφής (Record Component)	Μέγιστη Επιτάχυνση (Maximum Acceleration) [g]	Χρόνος Μέγιστης Επιτάχυνσης (Time of Maximum Acceleration) [sec]	Περίοδος Μέγιστης Επιτάχυνσης (Period of Maximum Acceleration) [sec]
L	0.027	2.7	0.15
T	0.038	3.3	0.20
V	0.016	2.8	0.15

Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): 21.0 sec

Διάρκεια Ισχυρής Δόνησης (Strong Motion Duration)⁽⁴⁾: -

L

V

T

(1) Προσανατολισμός της εκμήχους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ.
(From preliminary data by the Seismological Institute of the National Observatory of Athens and the Geophysical Laboratory University of Thessaloniki)

(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $\geq 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $\geq 0.05g$)

ΔΕΛΤΙΟ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ (STRONG-MOTION RECORD REPORT)

Καταγραφή (Recording) No: KRN* 86-1
 Σταθμός (Station): KRN*
 Συντεταγμένες (Coordinates): 36.98N, 21.95E
 Τοποθεσία (Location): Κορώνη (Koroni)
 Θέση εγκατάστασης (Site): 1-όροφο κτίριο, Ισόγειο
 (1-story bldg, Ground level)
 Προσανατολισμός οργάνου (Instrument orientation)⁽¹⁾: 125 gra
 Επικεντρική απόσταση (Epicentral distance)⁽²⁾: ~25 km
 Τύπος οργάνου (Instrument type): SMA-1
 Αριθμός οργάνου (Serial No.): 4116
 Παράμετροι Σεισμού (Earthquake Parameters)⁽³⁾
 Μέγεθος (Magnitude): $M_L = 4.9$ ($M_s = 5.4$)
 Χρόνος Γένεσης (Origin Time): 15-9-1986, 11:41:31.3 GMT
 Συντεταγμένες Επικέντρου (Epicentral Coordinates): 37.0N, 22.1E Χρόνος [S-t] (Interval time): -

Διάρκεια Καταγραφής (Record Duration): -
 Διάρκεια Ισχυρής Δόνησης (Strong Motion Duration)⁽⁴⁾: -

L	(επίπεδο διεγερσης ~0.005g)	-	Περίοδος Μεγίστης Επιτάχυνσης (Period of Maximum Acceleration)
T	"	-	
V	"	-	

Διεύθυνση της επιμήκους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(1) Προσανατολισμός της επιμήκους συνιστώσας (Direction of longitudinal component [L])

(2) Απόσταση του σταθμού από το επίκεντρο (Distance from station to epicenter)

(3) Στοιχεία από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Εργαστήριο Γεωφυσικής του ΑΠΘ.

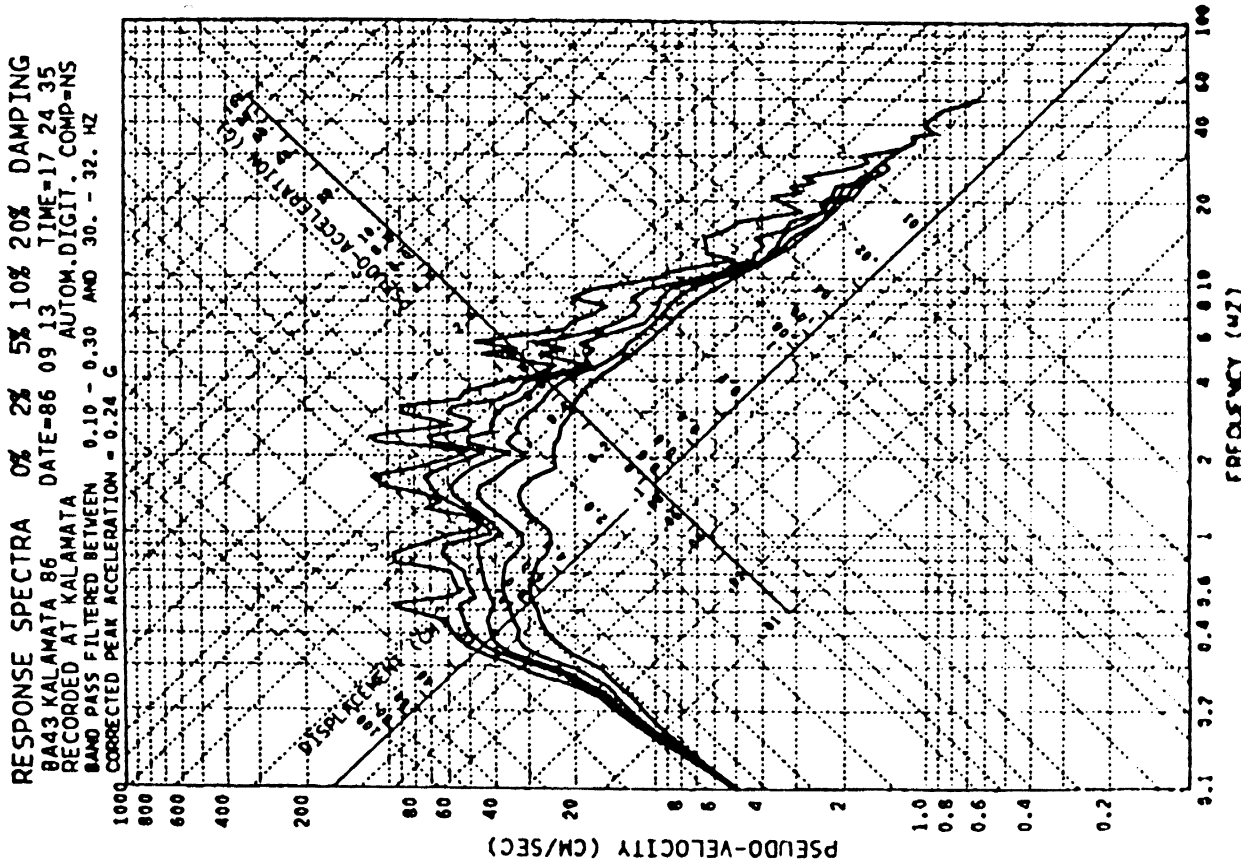
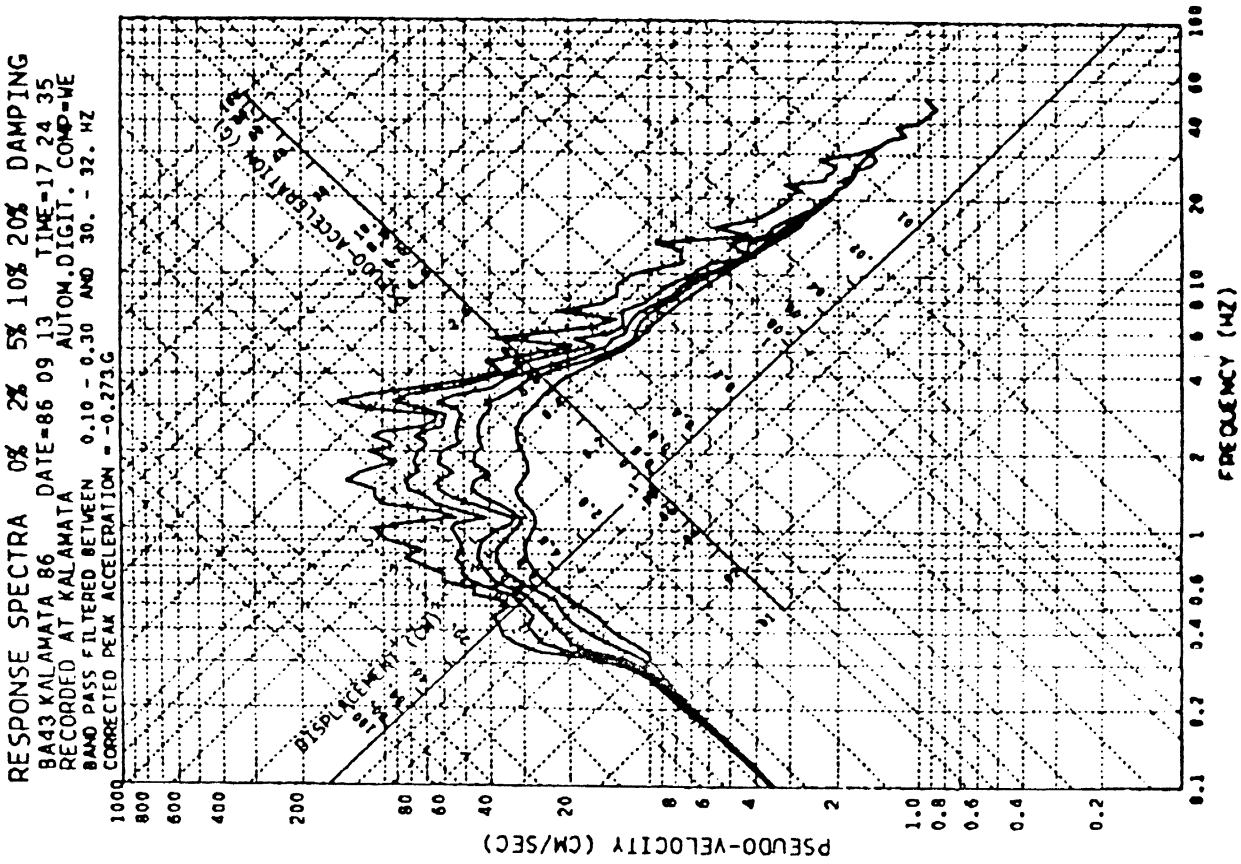
(4) Η χρονική διάρκεια της καταγραφής με επιτάχυνση $\geq 0.05g$ (Time span between the first and last peak with acceleration $\geq 0.05g$)

(From preliminary data by the Seismological Institute of the National Observatory of Athens and the Geophysical Laboratory University of Thessaloniki)

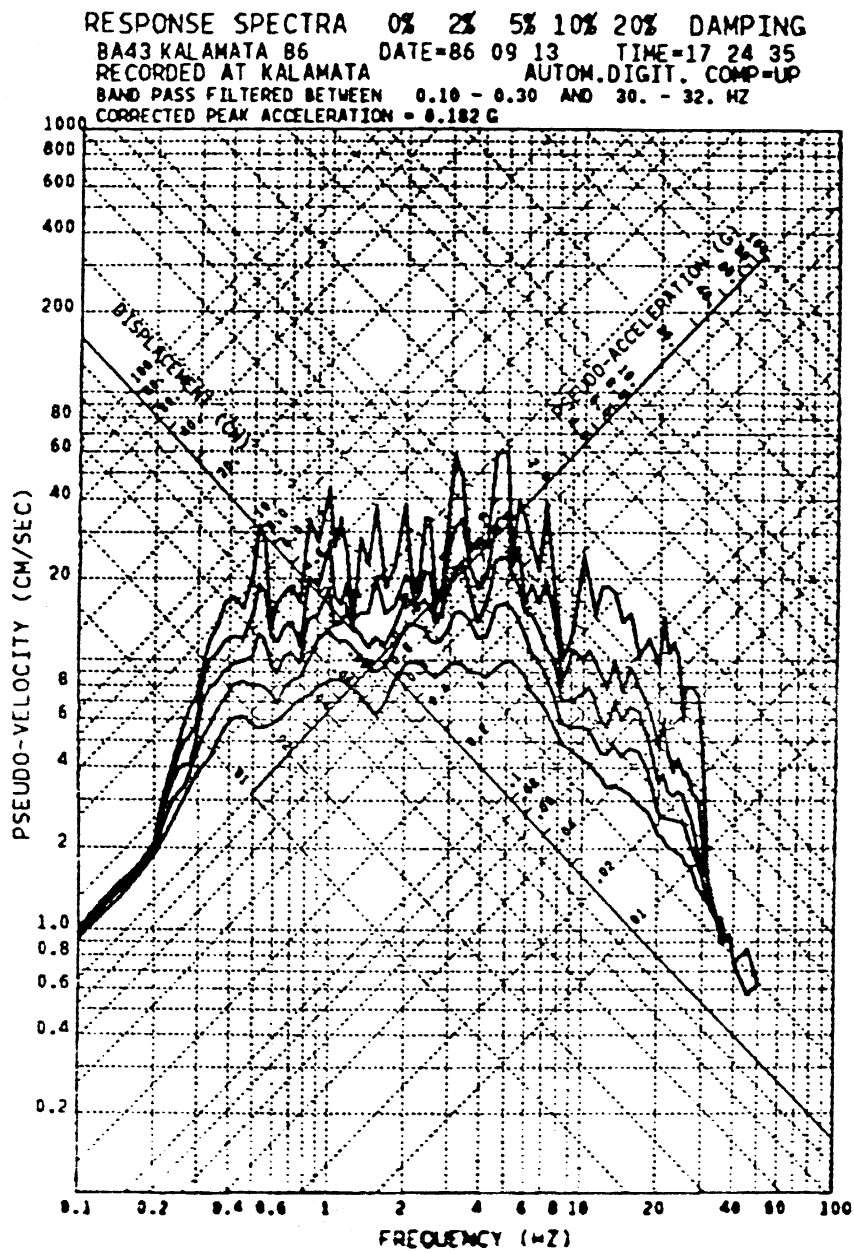
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Φάσματα Απόκρισης S_v , S_a και S_d σε Τριλογα-
ριθμικές Κλίμακες, του κύριου Σεισμού και
του μεγαλύτερου Μετασεισμού.

(Επεξεργασία του ENEA)

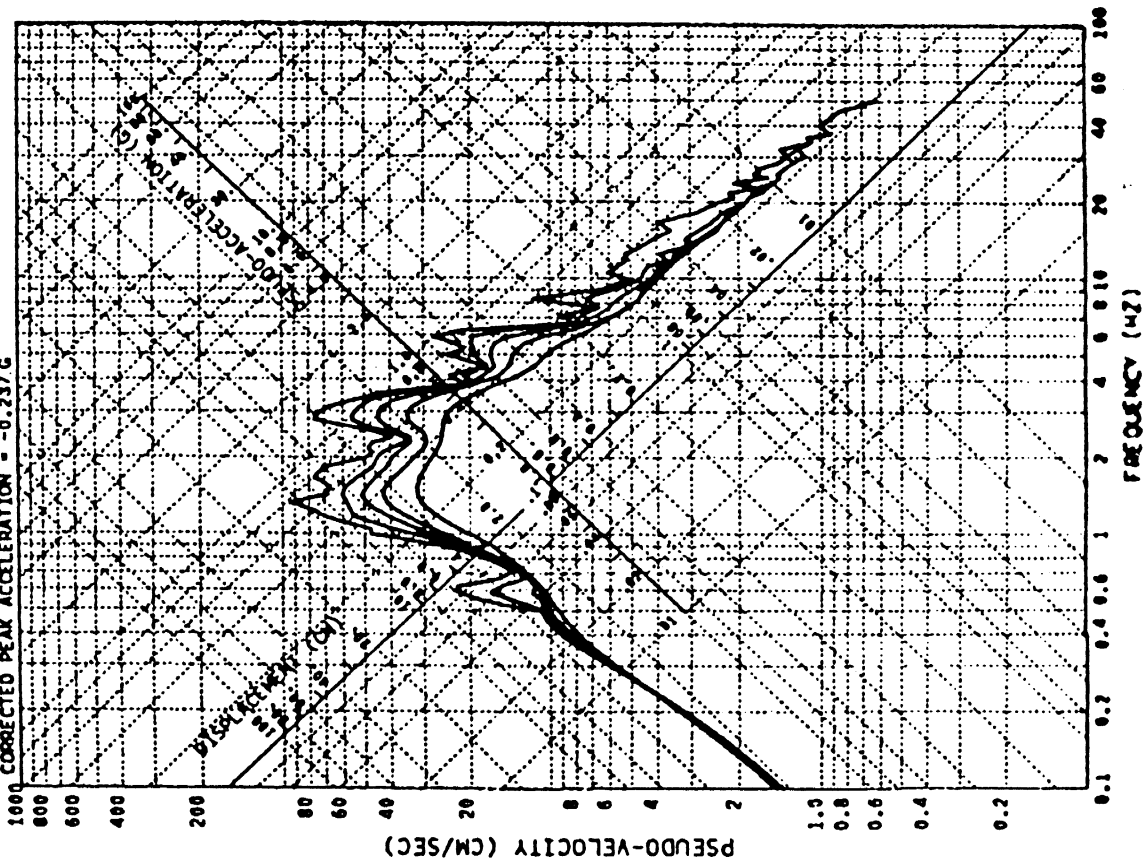


Σχ. Β1: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του κύριου κτύπου της 13/9/1986

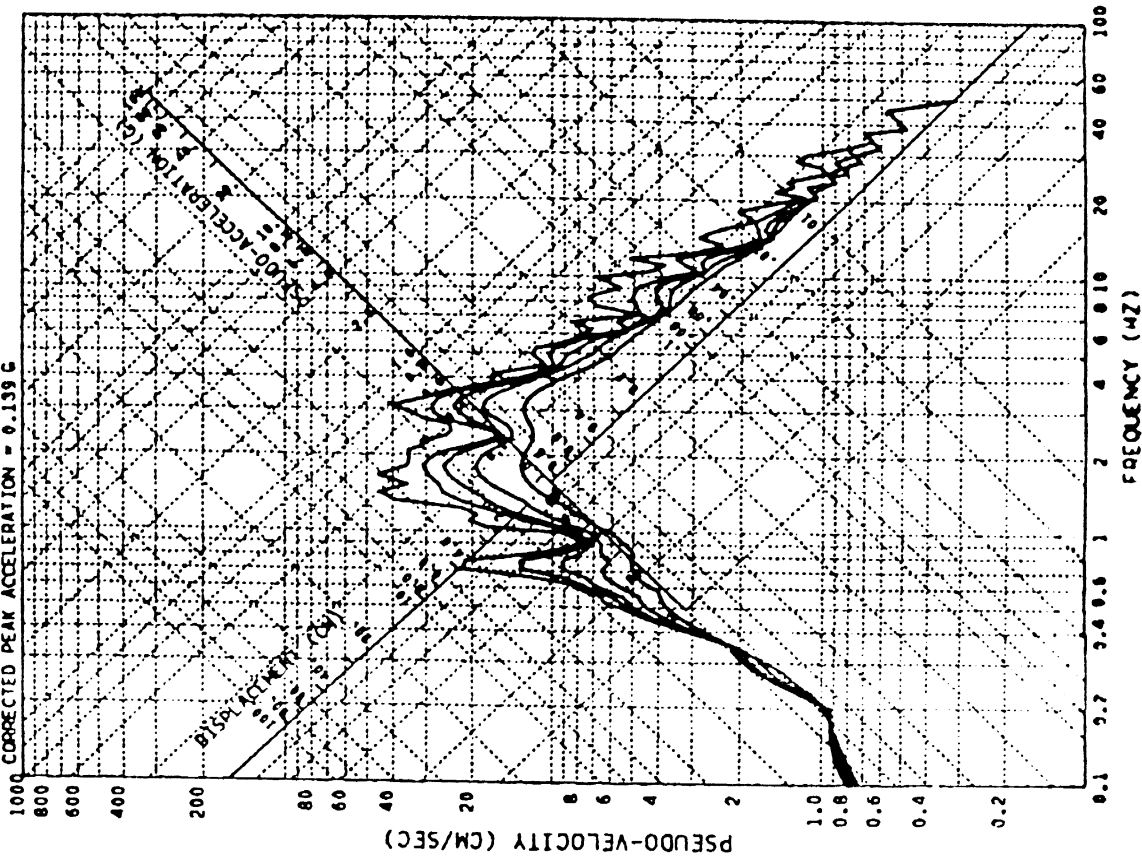


Σχ. Β2: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυφης συνιστώ-
 σας του κύριου σεισμού της 13/9/1986

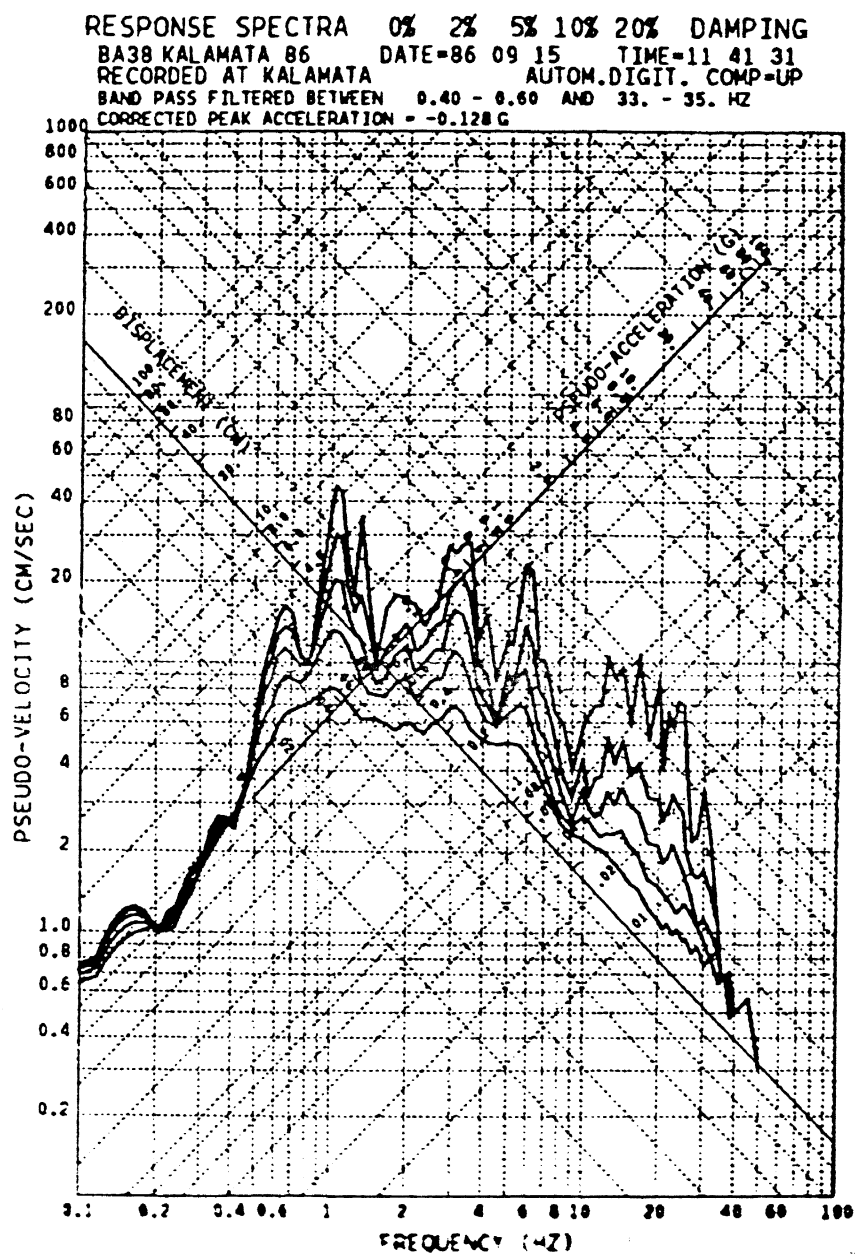
RESPONSE SPECTRA 0% 2% 5% 10% 20% DAMPING
BA38 KALAMATA 86 DATE=86 09 15 TIME=11 41 31
RECORDED AT KALAMATA AUTOM.DIGIT. COMP=NS
BAND PASS FILTERED BETWEEN 0.40 - 0.60 AND 33. - 35. HZ
CORRECTED PEAK ACCELERATION = -0.237 G



RESPONSE SPECTRA 0% 2% 5% 10% 20% DAMPING
BA38 KALAMATA 86 DATE=86 09 15 TIME=11 41 31
RECORDED AT KALAMATA AUTOM.DIGIT. COMP=WE
BAND PASS FILTERED BETWEEN 0.40 - 0.60 AND 33. - 35. HZ
CORRECTED PEAK ACCELERATION = 0.139 G

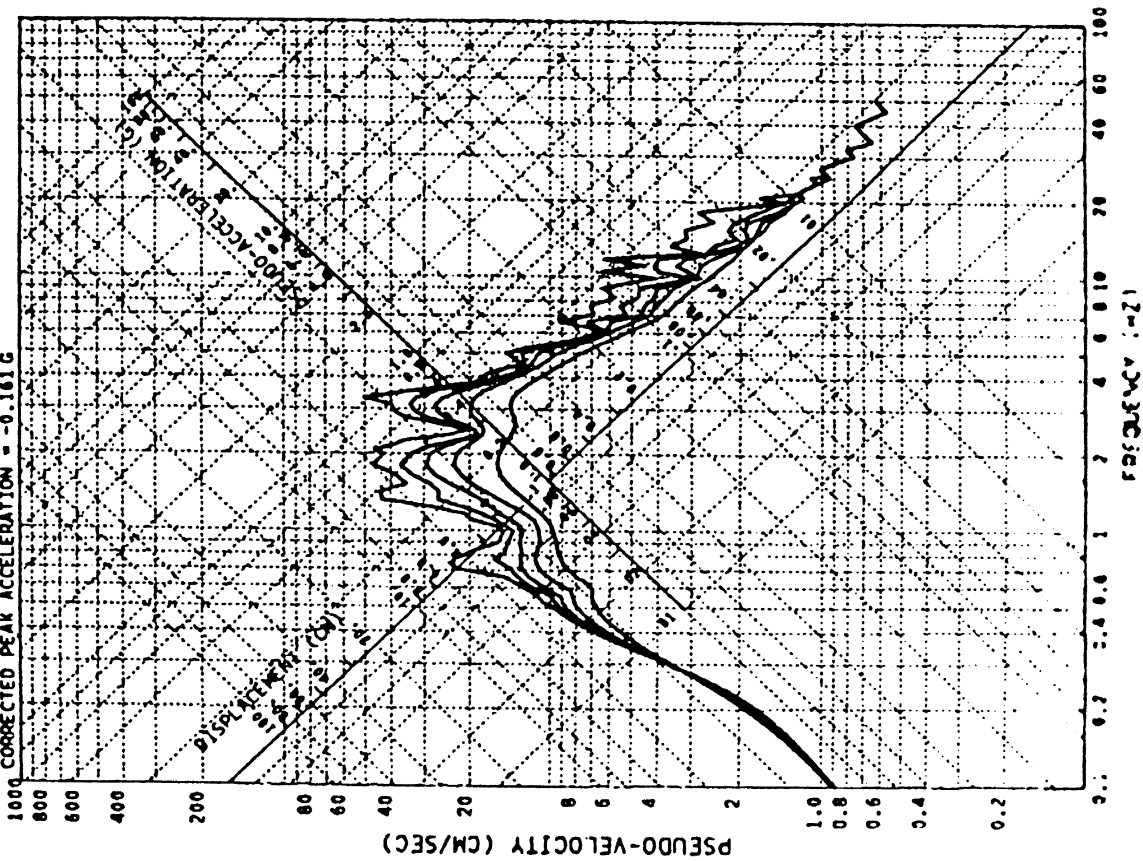


Σχ. Β3: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή Νομαρχίας)

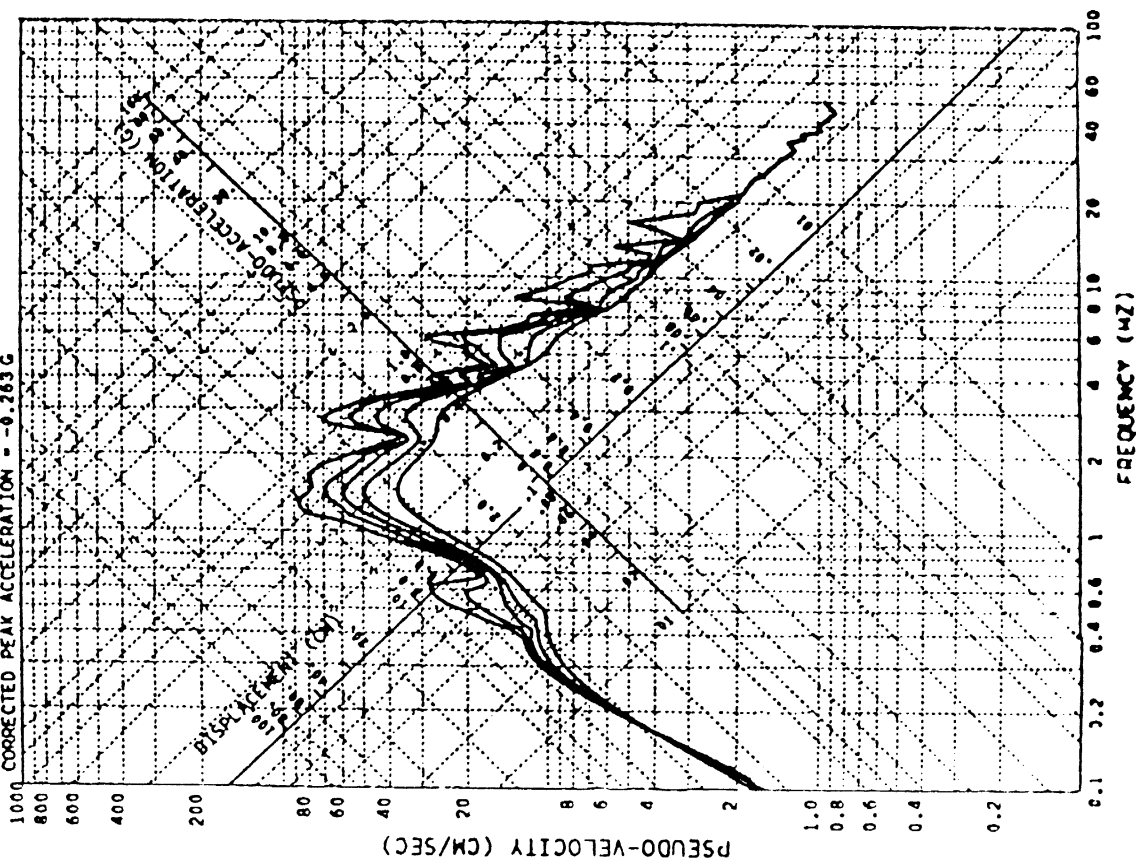


Σχ. Β4: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυξης συνιστώ-
 σας του μεγαλύτερου μετασεισμού της
 15/9/1986 (καταγραφή Νομαρχίας)

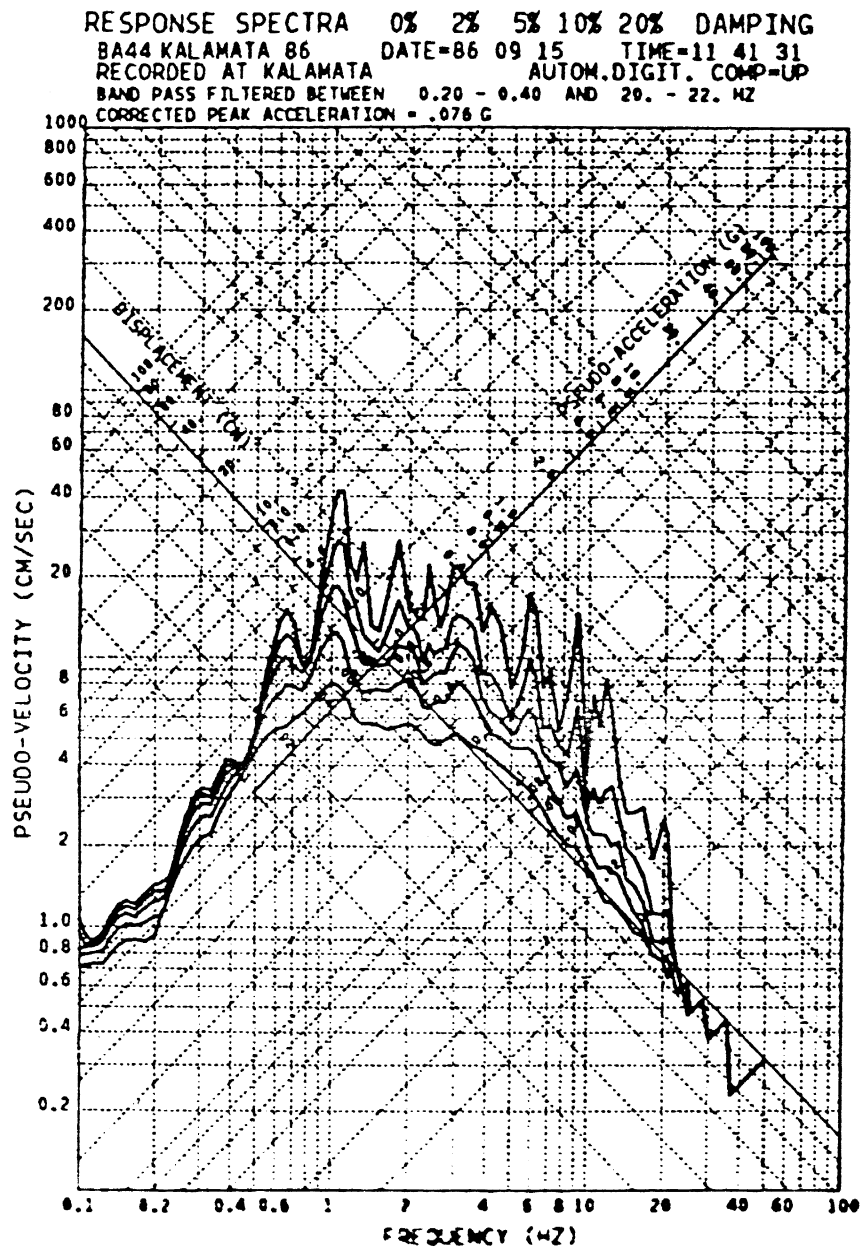
RESPONSE SPECTRA 0% 2% 5% 10% 20% DAMPING
 BA44 KALAMATA 86 DATE=86 09 15 TIME=11 41 31
 RECORDED AT KALAMATA AUTOM.DIGIT. COMP=NS
 BAND PASS FILTERED BETWEEN 0.20 - 0.40 AND 20. - 22. HZ
 CORRECTED PEAK ACCELERATION = -0.161G



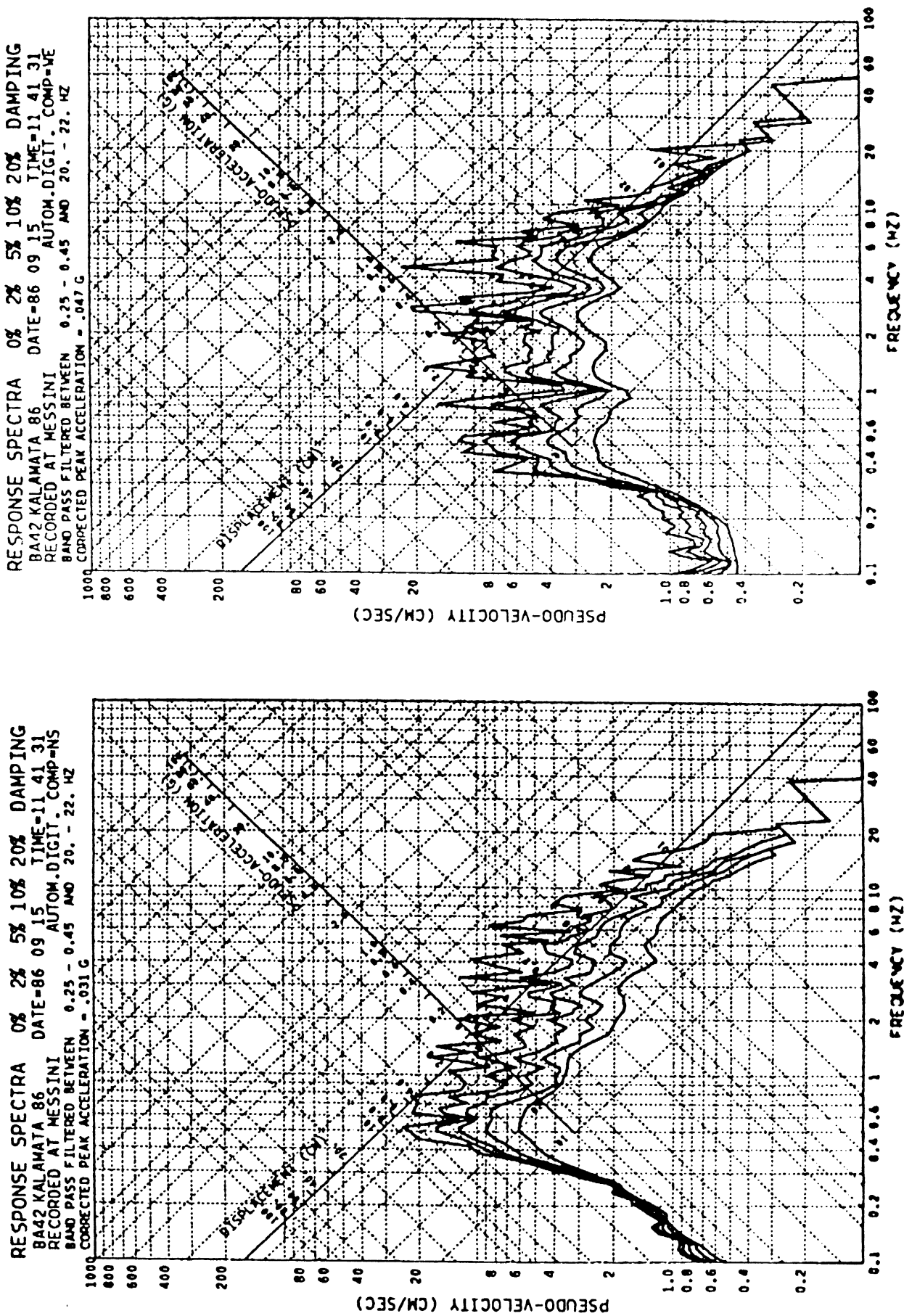
RESPONSE SPECTRA 0% 2% 5% 10% 20% DAMPING
 BA44 KALAMATA 86 DATE=86 09 15 TIME=11 41 31
 RECORDED AT KALAMATA AUTOM.DIGIT. COMP=VE
 BAND PASS FILTERED BETWEEN 0.20 - 0.40 AND 20. - 22. HZ
 CORRECTED PEAK ACCELERATION = -0.263G



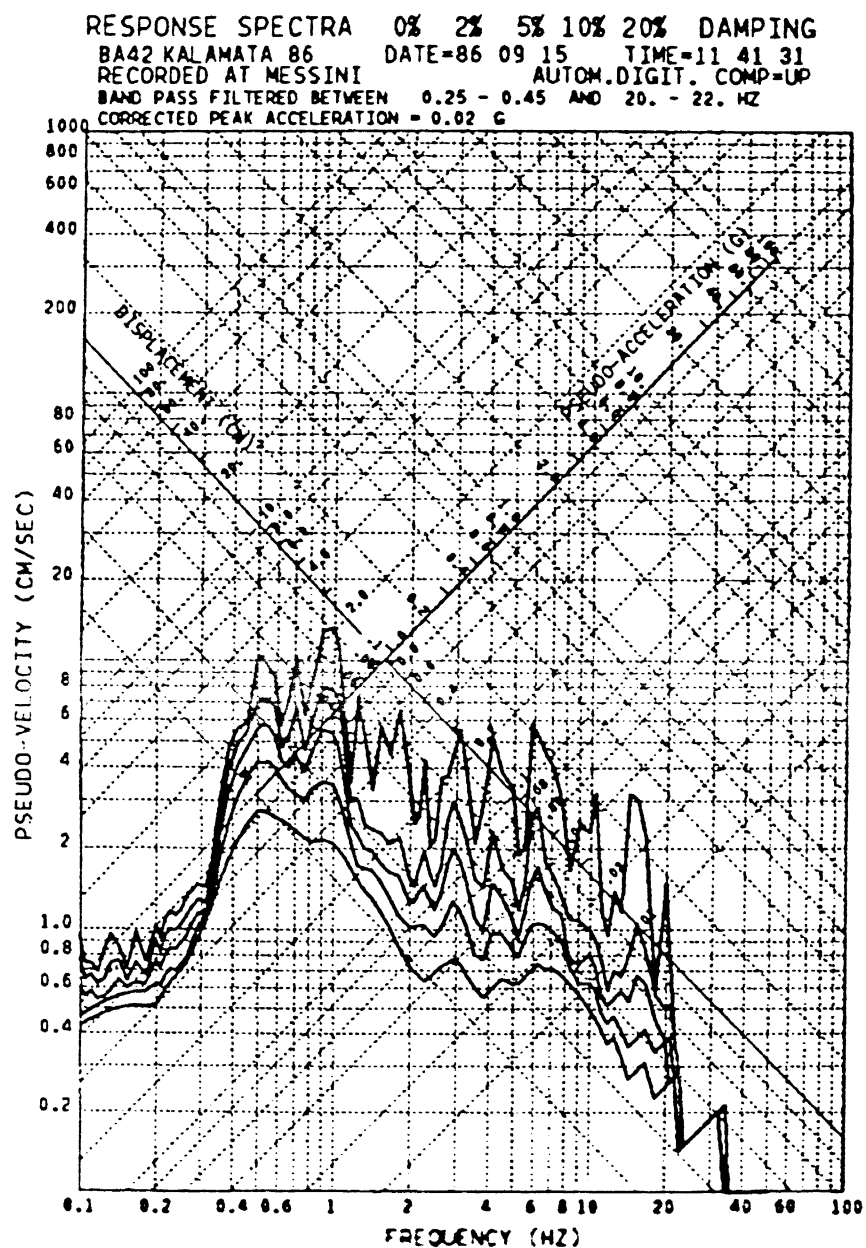
Σχ. Β5: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του μεγαλύτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφή ΟΤΕ)



Σχ. Β6: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυξης συνιστώ-
 σας του μεγαλύτερου μετασεισμού της
 15/9/1986 (καταγραφή ΟΤΕ)



Σχ. Β7: Φάσματα απόκρισης των οριζοντίων συνιστωσών του μεγάλιτερου μετασεισμού της 15/9/1986 (καταγραφική Μεσσήνης)



Σχ. Β8: Φάσμα απόκρισης της κατακόρυξης συνι-
 στώσας του μεγαλύτερου μετασεισμού
 της 15/9/1986 (καταγραφή Μεσσήνης)