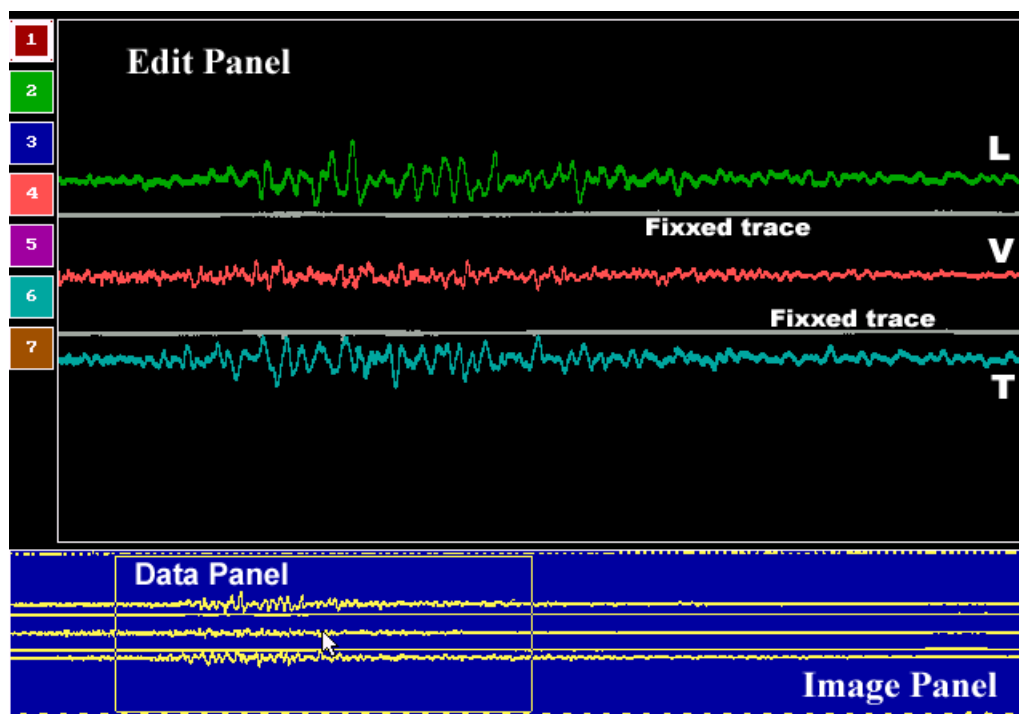


## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### *ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ*



**ΣΚΑΡΛΑΤΟΥΔΗΣ Α. ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΨΗ:**

Αναπλ. Καθηγητής ΑΠΘ Γ. Καρακαίσης  
Επικ. Ερευνητής ΙΤΣΑΚ Β. Μάργαρης  
Επικ. Ερευνητής ΙΤΣΑΚ Κ. Παπαζάχος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1999

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν αποτελεί διπλωματική εργασία του Τμήματος Γεωλογίας – Τομέας Γεωφυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι καθορισμός του επιπέδου του θορύβου στις διορθωμένες ισχυρές καταγραφές του Ελληνικού χώρου. Όλες οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή είναι καταγραμμένες από το πανελλήνιο δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ. Έγινε προσπάθεια, οι καταγραφές που επιλέχθηκαν για επεξεργασία στην εργασία αυτή να αποτελέσουν ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για την εφαρμογή των συμπερασμάτων της εργασίας αυτής για όλες τις περιοχές της Ελλάδας, οποιαδήποτε ιδιομορφία και αν παρουσιάζουν αυτές.

Το θέμα της παρούσας εργασίας μου ανατέθηκε από τον Αναπλ. Καθηγητή Γ.Καρακαίση και τους Επικ. Ερευνητές ΙΤΣΑΚ Β. Μάργαρη και Κ. Παπαζάχο τους οποίους ευχαριστώ θερμά για την επιστημονική και ηθική βοήθεια που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι εδαφικές κινήσεις που προκύπτουν από ισχυρούς σεισμούς, συνεισφέρουν σημαντικά στην απόκτηση γνώσης για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών σε σεισμικά ενεργές περιοχές και στη δημιουργία μοντέλων για την πρόβλεψη σεισμών, καθώς επίσης και στη μελέτη της θεωρίας των σεισμικών κυμάτων. Αυτές οι εδαφικές κινήσεις καταγράφονται τις περισσότερες φορές από επιταχυνσιογράφους, που στη μεγάλη τους πλειοψηφία, καταγράφουν αναλογικά τη σεισμική κίνηση σε συνάρτηση με το χρόνο. Για τη μετατροπή τους σε ψηφιακά σήματα οι καταγραφές αυτές ψηφιοποιούνται και διορθώνονται. Λόγω των μεθόδων που εφαρμόζονται για την καταγραφή, την ψηφιοποίηση και την επεξεργασία εισάγεται θόρυβος στο σήμα ο οποίος επηρεάζει σημαντικά την αξιοπιστία των συνιστωσών της καταγραφής, τόσο στις χαμηλές όσο και στις υψηλές συχνότητες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του εύρους τιμών συχνοτήτων από τις οποίες μπορούμε να εξάγουμε αξιόπιστες πληροφορίες.

Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα των προβλημάτων που δημιουργεί η εισαγωγή θορύβου στις καταγραφές των ισχυρών κινήσεων είναι αυτό της παρουσίας μεγενθυμένων χαμηλών συχνοτήτων. Οι συνιστώσες των χαμηλών συχνοτήτων που συμπεριλαμβάνουν την επιτάχυνση, την ταχύτητα και τη μετάθεση, είναι πολύ σημαντικές αφού η επιτάχυνση αντιπροσωπεύει τη σεισμική δύναμη ανά μονάδα μάζας, η ταχύτητα σχετίζεται άμεσα με την κινητική ενέργεια των σεισμικών κυμάτων, ενώ η μετατόπιση μας παρέχει πληροφορίες για την παραμόρφωση του εδάφους. Επίσης τα χαμηλής συχνότητας σεισμικά κύματα έχουν πολύ μεγάλη συνεισφορά στην απόκριση των πολυώροφων κτιρίων και μεγάλων κατασκευών, όπως τα φράγματα οι γέφυρες, και άλλα σε ένα σεισμικό γεγονός. Τα χαμηλής συχνότητας σήματα είναι και αυτά που επηρεάζονται περισσότερο από το θόρυβο Hudson (1979).

Λόγω της αυξανόμενης χρήσης των δεδομένων της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην έρευνα και στην αντισεισμικό σχεδιασμό και λόγω της ανεξαρτησίας των αποτελεσμάτων στα καταγραμμένα επίπεδα του θορύβου, δημιουργήθηκε η ανάγκη για τη μελέτη του επιπέδου του θορύβου σε διάφορα συστήματα καταγραφών καθώς και του ρόλου της επεξεργασίας των καταγραφών.

Διαδικασίες για την επεξεργασία των επιταχυνσιογραμμάτων έχουν αναπτυχθεί για να εξαλείψουν ή να μειώσουν τελικά την παρουσία συστηματικών λαθών στις καταγραφές της εδαφικής κίνησης. Τέτοιες διαδικασίες αναπτύχθηκαν αρχικά από τους Trifunac and Lee (1974), Lee and Trifunac (1984,1990), ενώ διάφορες τροποποιήσεις προτάθηκαν από τους Basili and Brady (1978), Taheri (1980), Sunder and Connor (1982), Crouse and Matuchka (1983).

Οι διαδικασίες διόρθωσης που πρέπει να εφαρμόσουμε στις καταγραφές για να εκμεταλλευτούμε τα δεδομένα απαιτούν τη γνώση αρκετών στοιχείων όπως τα ακόλουθα :

- 1) Τύπο του οργάνου καταγραφής.
- 2) Τεχνικές για τη μετατροπή των αναλογικών δεδομένων σε ψηφιακά (A/D conversion)
- 3) Τεχνικές για την προ-επεξεργασία των δεδομένων.
- 4) Τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της τοπικής γεωλογίας του σταθμού που είναι εγκατεστημένα τα όργανα καταγραφής.

## ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Οι δύο πιο διαδεδομένοι τύποι οργάνων καταγραφής δεδομένων ισχυρής σεισμικής κίνησης είναι ο αναλογικός επιταχυνσιογράφος SMA-1 και οι ψηφιακοί επιταχυνσιογράφοι τύπου SSA-1, SSA-2 και SSA-16 και Altus(ETNA, K2, κλπ). Ο SMA-1 αποτελείται από τρεις διατάξεις μετατροπής των τριών συνιστωσών της εδαφικής κίνησης, σε μεταβολές της θέσης του ίχνους μιας ειδικής λυχνίας. Οι μεταβολές αυτές καταγράφονται σε ένα φιλμ 70mm το οποίο είναι τυλιγμένο σε ένα τύμπανο που περιστρέφεται με ταχύτητα σταθερή και ίση με 1 cm/s. Οι ψηφιακοί επιταχυνσιογράφοι αποτελούνται από έναν μικροεπεξεργαστή, από έναν A/D μετατροπέα, από ένα μηχανισμό καταγραφής των ψηφιακών δεδομένων και τον απαραίτητο εξοπλισμό έτσι ώστε να μπορεί να προγραμματιστεί από έναν άλλο υπολογιστή. Αυτού του τύπου οι επιταχυνσιογράφοι αποτελούν και το βασικό κορμό του δικτύου επιταχυνσιογράφων του Ι.Τ.Σ.Α.Κ. και από τέτοιους προέρχονται όλες οι καταγραφές που θα χρησιμοποιηθούν στην εργασία αυτή.

Η βασική διαφορά των δύο τύπων οργάνων είναι ότι με τους ψηφιακούς επιταχυνσιογράφους δεν χρειάζονται ψηφιοποίηση τα δεδομένα αφού αυτά ψηφιοποιούνται αυτόματα από τον επιταχυνσιογράφο. Αντίθετα, με τον SMA-1 πρέπει να ψηφιοποιηθούν τα δεδομένα που έχουν καταγραφεί, με κάποιο ημιαυτόματο ή αυτόματο τρόπο Sabeta (1985), Basili (1987).

Συγκρίνοντας τα ψηφιοποιημένα δεδομένα από τα δύο όργανα παρατηρείται μεγάλη εισαγωγή θορύβου στα δεδομένα από τον SMA-1 στις υψηλές και στις χαμηλές συχνότητες του σήματος. Ο θόρυβος αυτός οφείλεται κυρίως στον αναλογικό τρόπο καταγραφής των δεδομένων και στον ανθρώπινο παράγοντα κατά τη διάρκεια της ψηφιοποίησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το διάστημα συχνοτήτων που μπορούμε να πάρουμε αξιόπιστες πληροφορίες να είναι πολύ μικρότερο από αυτό των δεδομένων που έχουν καταγραφεί με τον ψηφιακούς επιταχυνσιογράφους.

## ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η ψηφιοποίηση των δεδομένων αποτελεί το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας των επιταχυνσιογραμμάτων. Η ψηφιοποίηση μπορεί να γίνει είτε με ημιαυτόματο είτε με αυτόματο τρόπο, ανάλογα με τον εξοπλισμό που διαθέτουμε.

Η συσκευή που χρησιμοποιούμε για την ημιαυτόματη ψηφιοποίηση αποτελείται από ένα ψηφιοποιητή (digitizer), πάνω στο οποίο τοποθετείται η μεγεθυμένη καταγραφή που πρόκειται να ψηφιοποιηθεί. Με ένα δρομέα που τοποθετείται πάνω στο φιλμ ο χειριστής σαρώνει την καταγραφή και κάθε σημείο της μετατρέπεται σε κατάλληλο ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό σε σχέση με τους αρχικούς άξονες του ηλεκτρομαγνητικού πλέγματος μετατρέπεται σε συντεταγμένες κατά τους άξονες X (χρόνος) και Y (επιτάχυνση) Petrovski and Naumovski (1979), Μάργαρης κ.α., (1989).

Σοβαρό μειονέκτημα της ημιαυτόματης μεθόδου είναι η αδυναμία ακριβούς ψηφιοποίησης των αρχικών σημείων των συνιστωσών της εδαφικής κίνησης και του χρόνου στο επιταχυνσιογράφημα. Με τον ημιαυτόματο τρόπο έχουμε μεγάλη εισαγωγή σφαλμάτων χαμηλής και υψηλής συχνότητας (low and high frequency noise). Τα σφάλματα χαμηλών συχνοτήτων οφείλονται κυρίως στην αδυναμία ψηφιοποίησης των αρχικών σημείων των συνιστωσών και του χρόνου όπως και στην αδυναμία του χειριστή να διορθώσει ως προς τη βασική ευθεία της καταγραφής (baseline correction). Τα σφάλματα υψηλών συχνοτήτων οφείλονται κυρίως στα

τυχαία σφάλματα που προκύπτουν κατά την ψηφιοποίηση από τον χειριστή και στην ανεπαρκή διακριτική ικανότητα του ψηφιοποιητή.

Για τον αυτόματο τρόπο ψηφιοποίησης χρησιμοποιείται πλέον τεχνολογία βασισμένη στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και στα περιφερειακά τους όπως οι σαρωτές (scanners). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται όλα τα προηγούμενα σφάλματα και γίνεται πολύ ευκολότερη και πιο γρήγορη επεξεργασία των επιταχυνσιογραμμάτων.

Είναι ενδεικτικός ο χρόνος που απαιτείται κατά την ημιαυτόματη επεξεργασία μίας συνιστώσας του επιταχυνσιογραμματος, ο οποίος ανέρχεται σε 2–3 ώρες, και του αντίστοιχου χρόνου της αυτόματης ψηφιοποίησης ολόκληρου του επιταχυνσιογραμματος ο οποίος δεν υπερβαίνει τα 15 λεπτά.

## ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

### 1) ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΙΣΑΓΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ.

Πριν από την οποιαδήποτε διόρθωση που πρέπει να γίνει στα μη διορθωμένα δεδομένα που έχουμε καταγράψει, πρέπει να μελετήσουμε τα σφάλματα που υπάρχουν σ' αυτά και προέρχονται από την καταγραφή και την ψηφιοποίηση τους. Τα διάφορα σφάλματα που εμπεριέχονται στα μη διορθωμένα δεδομένα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες (Trifunac et al., 1971) :

#### ▪ Στα σφάλματα μεγάλων περιόδων (Long period) που είναι :

L1. Σφάλματα από την κατακόρυφη κίνηση του μηχανισμού διεύθυνσης του φιλμ καταγραφής.

L2. Σφάλματα που οφείλονται στην παραμόρφωση των αρχείων και στην επεξεργασία των αρνητικών εξ επαφής αντιγράφων (contact copies) των φιλμ.

L3. Σφάλματα που προέρχονται από τη μεγέθυνση των αρνητικών των φιλμ 70mm.

L4. Συστηματικά σφάλματα που οφείλονται στην ατελή κατακόρυφη κίνηση του μηχανισμού ψηφιοποίησης.

L5. Τυχαία σφάλματα που προκύπτουν κατά την ψηφιοποίηση.

#### ▪ Στα σφάλματα υψηλών συχνοτήτων (High Frequency) που είναι :

H1. Τροποποίηση από τα αρμονικά πλάτη και τη μεταβολή της φάσης, που οφείλεται στην πεπερασμένη ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή του οργάνου καταγραφής.

H2. Σφάλματα που απορρέουν από τον ατελή σχεδιασμό του ταλαντωτή του οργάνου.

H3. Τυχαία σφάλματα κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης.

H4. Σφάλματα που προκύπτουν από την ανεπαρκή διακριτική ικανότητα του ψηφιοποιητή που θα χρησιμοποιηθεί.

H5. Ύπαρξη φαινομένου χαμηλοπερατού (low pass) φίλτρου κατά την οπτικό-μηχανική ψηφιοποίηση.

Όλα τα προηγούμενα σφάλματα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σφάλματα L1, L2, L3 τα οποία είναι αρκετά εύκολο να ανιχνευτούν και να διορθωθούν με την παρουσία του σταθερού ίχνους (fixed trace) στην καταγραφή. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα σφάλματα H1 και H2 τα οποία είναι πάρα πολύ δύσκολο να διορθωθούν από την καταγραφή και ο μόνος τρόπος για να περιορίσουμε την επίδρασή τους στην καταγραφή είναι να περιοριστεί το άνω όριο του συχνοτικού περιεχομένου που θα ληφθεί υπ' όψιν στην παραπέρα επεξεργασία. Τέλος, στην τελευταία κατηγορία ανήκουν όλα τα υπόλοιπα σφάλματα L4, H3, H4, και H5 και αποτελούν τα πιο σύνθετα σφάλματα. Τα σφάλματα αυτά δεν μπορούν να διορθωθούν από τις καταγραφές και η μόνη προσπάθεια εστιάζεται στο να απαλειφθούν από αυτές.

## 2) ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER.

Αφού ψηφιοποιηθούν τα δεδομένα, υπόκεινται στο πρώτο στάδιο της αριθμητικής επεξεργασίας που είναι ο υπολογισμός του φάσματος συχνοτήτων τους. Για μια πιο ακριβή περιγραφή του περιεχομένου των συχνοτήτων της εδαφικής κίνησης χρειάζεται κάποια μορφή καμπύλης του φάσματος συχνοτήτων. Η πιο συνηθισμένη μορφή καμπύλης είναι το φάσμα πλάτους Fourier. Για να υπολογίσουμε το φάσμα πλάτους Fourier θα πρέπει να εφαρμόσουμε στα δεδομένα το μετασχηματισμό Fourier (Fourier Transformation, FT). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή μια φυσική ποσότητα μπορεί να παρασταθεί είτε στο πεδίο των χρόνων από τις τιμές μιας συνάρτησης  $f(t)$ , είτε στο πεδίο των συχνοτήτων όπου η ποσότητα αυτή μπορεί να παρασταθεί από το πλάτος της  $H(f)$ , που γενικά είναι ένας μιγαδικός αριθμός ο οποίος παριστάνει και τη φάση. Για διάφορους λόγους είναι χρήσιμο να θεωρούμε τις  $f(t)$  και  $H(f)$  σαν διαφορετικές παραστάσεις της ίδιας συνάρτησης. Οι δύο αυτές ισοδύναμες παραστάσεις δίνονται από τις εξισώσεις του μετασχηματισμού Fourier που είναι:

$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{2\pi ift} dt \quad (2.1)$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{-2\pi ift} df$$

Ψηφιοποιώντας τις καταγραφές δεν παίρνουμε συνεχείς συναρτήσεις αλλά διακριτά σημεία. Οι προηγούμενες σχέσεις (2.1) ισχύουν μόνο για μετασχηματισμό συνεχών συναρτήσεων. Για να μπορέσουν να μετασχηματιστούν τα διακριτά σημεία των ψηφιοποιημένων καταγραφών θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι αντίστοιχοι τύποι του μετασχηματισμού Fourier που είναι :

$$H_n \equiv \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{2\pi i k n / N} \quad (2.2)$$

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{-2\pi i k n / N}$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση των διακριτών συναρτήσεων θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψη και ένας ακόμα παράγοντας, αυτός της συχνότητας δειγματοληψίας των σημείων των καταγραφών. Από τη θεωρία του μετασχηματισμού, το διάστημα δειγματοληψίας  $\Delta$  των σημείων της καταγραφής, περιορίζει τη μέγιστη συχνότητα την οποία μπορούμε να ανακτήσουμε από τα δεδομένα της καταγραφής. Η μέγιστη συχνότητα που αναφέρθηκε προηγουμένως ονομάζεται συχνότητα Nyquist και δίνεται από τη σχέση,

$$f_c \equiv \frac{1}{2\Delta} \quad (2.3)$$

Αν συνυπολογιστεί το γεγονός του περιορισμού της ανώτατης συχνότητας που μπορεί να καταγράψει ο επιταχυνσιογράφος SMA-1 λόγω της κατασκευαστικής του απόκρισης και η οποία είναι ίση με 25 Hz γίνεται σαφές ότι εισάγεται ένας βασικός περιορισμός στη συχνότητα δειγματοληψίας που θα χρησιμοποιήσουμε στον ψηφιοποιητή. Στο σημείο αυτό γίνεται σαφές ότι η ημιαυτόματη επεξεργασία - ψηφιοποίηση υστερεί στο πεδίο των υψηλών συχνοτήτων με την αντίστοιχη αυτόματη επεξεργασία.

### 3) ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (BASELINE CORRECTION).

Η πρώτη διόρθωση που γίνεται συνήθως στις ψηφιοποιημένες καταγραφές είναι αυτή της βασικής γραμμής (baseline correction) Lee (1989). Το σφάλμα της βασικής γραμμής οφείλεται στην παραμόρφωση του φιλμ και άλλες παρόμοιες αιτίες και έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή θορύβου στις χαμηλές συχνότητες στο φάσμα πλάτους Fourier. Γενικά, μια μικρή μετατόπιση της βασικής γραμμής στην κυματομορφή της επιτάχυνσης δημιουργεί μια πλασματική γραμμική συμπεριφορά στη βασική γραμμή της ταχύτητας, ενώ η μετάθεση, που μας ενδιαφέρει περισσότερο, εμφανίζει μια πλασματική συμπεριφορά καμπύλης δευτέρου βαθμού. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διπλή ολοκλήρωση που γίνεται στην επιτάχυνση για υπολογιστεί η μετάθεση. Για να διορθωθεί το σφάλμα αυτό ένας απλός τρόπος είναι να «αφαιρεθεί» από τις κυματομορφές της επιτάχυνσης και της ταχύτητας μια ευθεία που θα έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Ένας πιο σύνθετος τρόπος της απάλειψης του σφάλματος αυτού είναι μια ρουτίνα που αποτελείται από τρία βήματα. Το πρώτο είναι η εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων στην κυματομορφή της επιτάχυνσης, το δεύτερο είναι η εφαρμογή ενός υψηλοπερατού φίλτρου στην επιτάχυνση και το τρίτο είναι η αφαίρεση της τιμής της αρχικής ταχύτητας από την κυματομορφή της (Hung, 1997).

### 4) ΨΗΦΙΑΚΑ ΦΙΛΤΡΑ.

Με σκοπό την απομάκρυνση όλων των σφαλμάτων που προαναφέρθηκαν και τον ακριβή καθορισμό των εδαφικών παραμέτρων (επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση) αναπτύχθηκαν διάφορες διαδικασίες διόρθωσης επιταχυνσιογραμμάτων. Το βασικό μέσο που χρησιμοποιείται σ' αυτές τις διαδικασίες διόρθωσης είναι τα ψηφιακά φίλτρα. Τα φίλτρα που συνήθως χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στα χαμηλοπερατά (low-pass), στα υψηλοπερατά (high-pass) και στα ζωνοπερατά (band-pass). Όπως γίνεται κατανοητό και από τις ονομασίες τους η λειτουργία τους έγκειται στο να αφήνουν να περνούν ή να κόβουν ορισμένες περιοχές συχνοτήτων. Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας των φίλτρων θα εξεταστεί ένα χαμηλοπερατό φίλτρο. Ένα ιδανικό χαμηλοπερατό φίλτρο στο πεδίο των συχνοτήτων αφήνει να περάσουν όλες οι χαμηλές συχνότητες χωρίς καμία αλλαγή, ενώ σταματάει όλες τις υψηλές συχνότητες. Δηλαδή ισχύει :

$$H(\omega) = 1 \quad |\omega| \leq \omega_L \quad \text{και} \quad H(\omega) = 0 \quad |\omega| > \omega_L \quad (4.1)$$

Παρόμοιες σχέσεις ισχύουν και για τα άλλα φίλτρα το υψηλοπερατό και το ζωνοπερατό. Παρ' όλη τη φαινομενική αποτελεσματικότητα της σχέσης (4.1), μπορεί να αποδειχθεί ό,τι η χρήση της εισάγει θόρυβο στις φιλτραρισμένες κυματομορφές. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται φίλτρα όχι με μία αλλά με δύο χαρακτηριστικές συχνότητες. Η μια είναι η συχνότητα αποκοπής (cut-off) κάτω ή πάνω από την οποία δεν περνάει καμία συχνότητα. Η άλλη είναι η συχνότητα κύλισης (roll-off) μέχρι την οποία περνάνε σταδιακά κάποιες συχνότητες σύμφωνα με κάποια συνάρτηση η οποία ξεχωρίζει και τα διάφορα φίλτρα μεταξύ τους. Έτσι μια απλή τροποποίηση της (4.1), σύμφωνα με τα παραπάνω είναι :

$$H(\omega) = 0 \quad |\omega| \geq \omega_{i_1}$$

$$H(\omega) = \frac{|\omega| - \omega_{i_2}}{\omega_{i_1} - \omega_{i_2}} \quad \omega_{i_1} > |\omega| > \omega_{i_2} \quad (4.2)$$

$$H(\omega) = 1 \quad |\omega| \leq \omega_{i_2}$$

Συγκρίνοντας το φάσμα Fourier μιας συνιστώσας καταγραφής και το αντίστοιχο φάσμα του θορύβου, βρίσκουμε την περιοχή συχνοτήτων που μας δίνει αξιόπιστα δεδομένα και εφαρμόζοντας κάποιο ζωνοπερατό φίλτρο γι' αυτές τις συχνότητες παίρνουμε τα διορθωμένα δεδομένα τα οποία είναι μερικώς απαλλαγμένα από το θόρυβο.

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ Ι.Τ.Σ.Α.Κ.

Οι καταγραφές που θα χρησιμοποιηθούν για το σκοπό της εργασίας, είναι αυτές που αναφέρονται στον πίνακα 1. Στην αριστερή στήλη του πίνακα βρίσκεται η κωδική ονομασία της κάθε καταγραφής. Τα χρονολογικά και τα γεωγραφικά στοιχεία του σεισμού που αντιστοιχεί η κάθε καταγραφή, το μέγεθος καθώς και η επικεντρική απόσταση του κάθε σεισμού παρουσιάζονται στις υπόλοιπες στήλες. Η κωδική ονομασία της κάθε καταγραφής αποτελείται από τρία γράμματα που παριστάνουν τη



συντομογραφία της θέσης που είναι εγκατεστημένο το όργανο καταγραφής και από έναν αριθμό του οποίου το πρώτο ή τα δύο πρώτα ψηφία μας δείχνουν τον αριθμό του οργάνου, τα δύο επόμενα ψηφία τη χρονολογία της καταγραφής και το τελευταίο ή τα δύο τελευταία ψηφία τον αύξοντα αριθμό του σεισμού που καταγράφηκε από το όργανο για μια συγκεκριμένη σεισμική ακολουθία.

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Κωδική ονομασία των καταγραφών και στοιχεία του σεισμού που ανήκει η κάθε καταγραφή

Accelerograms Code Name	DATE	TIME	Geographical Coordinates		M	Δ (Km)
			Longitude	Latitude		
Arg183-1	17/01/83	12:41:31	20.20	38.10	7.0	33
Kal186-1	13/09/86	17:24:35	22.09	37.13	6.0	9
Kal186-8	15/09/86	11:41:30	22.12	37.10	5.3	1
Kal286-2	15/09/86	11:41:30	22.12	37.10	5.3	1
Mes186-1	15/09/86	11:41:30	22.12	37.10	5.3	10
Aml188-6	15/09/86	11:41:30	22.12	37.10	5.3	16
Zak188-4	16/10/88	12:34:06	20.89	37.89	6.0	34
Ede190-1	21/12/90	06:57:43	22.36	40.91	6.0	31
Kil190-1	21/12/90	06:57:43	22.36	40.91	6.0	44
Pyr193-8	26/03/93	11:58:18	21.30	37.66	5.4	5
Pat193-2	14/07/93	12:31:49	21.77	38.17	5.5	5
Pat393-2	14/07/93	12:31:49	21.77	38.17	5.5	5
Han194-1	23/05/94	06:46:12	24.73	35.56	6.1	65
Hra194-1	23/05/94	06:46:12	24.73	35.56	6.1	49
Koz195-1	13/05/95	08:47:15	21.67	40.16	6.6	31

Όλες οι καταγραφές που αναφέρθηκαν προηγουμένως επεξεργάστηκαν με τον ίδιο τρόπο και σύμφωνα με τη σύγχρονη τεχνολογία Kinematics (1990) καθώς και κάθε βελτίωση. Στα παρακάτω στάδια επεξεργασίας των καταγραφών θα παρουσιαστεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα με σχήματα και διαγράμματα για κάθε στάδιό της, ενώ για όλες τις καταγραφές, για όλα τα στάδια της επεξεργασίας τα διαγράμματα βρίσκονται στο παράρτημα 1.

#### 1) ΨΗΦΙΟΠΟΙΗΣΗ.

Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας είναι το στάδιο της ψηφιοποίησης. Οι δεκαπέντε καταγραφές μετατράπηκαν, με τη χρήση ενός scanner A4 της HP, σε αρχεία εικόνας .tif με ανάλυση σάρωσης 300 dpi. Περνώντας στο δεύτερο στάδιο της ψηφιοποίησης τα .tif αρχεία μετατράπηκαν, από το πρόγραμμα Scanview της Kinematics (1990) που χρησιμοποιήθηκε, σε αρχεία .flm. Τα αρχεία αυτού του τύπου μπορούν να επεξεργαστούν από το συγκεκριμένο software που χρησιμοποιούμε με την εξής διαδικασία:

Κάθε καταγραφή αποτελείται από επτά ίχνη (traces), από τα οποία τρία είναι οι συνιστώσες της επιτάχυνσης, δύο είναι οι ευθείες χρόνου και δύο είναι οι σταθερές ευθείες (fixed-traces). Η διαδικασία επεξεργασίας των αρχείων .flm είναι η ακόλουθη:

- Η πρώτη εργασία που γίνεται είναι ο καθορισμός των ορίων της καταγραφής.
- Η επόμενη εργασία είναι να ορίσουμε τη βασική γραμμή (Baseline), που ορίζεται συνήθως επάνω σε κάποια σταθερή ευθεία.
- Κάθε συνιστώσα της καταγραφής, όπως και αυτές του χρόνου και των σταθερών ευθειών (fixed-traces), χρωματίζεται με διαφορετικό χρώμα. Χρωματίζοντας την κάθε συνιστώσα καταφέρνουμε να την ψηφιοποιήσουμε.
- Διορθώνουμε, τόσο τις συνιστώσες όσο και τις σταθερές ευθείες (fixed-traces), με τις ευθείες χρόνου.

Στο σχήμα (1.1) βλέπουμε το παράθυρο του προγράμματος στο οποίο πραγματοποιούνται τα προηγούμενα στάδια της επεξεργασίας.

Με τον τρόπο αυτό είναι φανερό ότι ελαχιστοποιήθηκαν τα σφάλματα που οφείλονται στον χειριστή και στη συσκευή του ημιαυτόματου τρόπου ψηφιοποίησης.

## **2) ΜΗ ΔΙΟΡΘΩΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.**

Το δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί η απόκτηση των μη διορθωμένων δεδομένων από την επεξεργασία των ψηφιοποιημένων καταγραφών. Κάθε ψηφιοποιημένη καταγραφή επεξεργάζεται με βάση τις παραμέτρους των οργάνων καταγραφής και τελικά παίρνουμε τα μη διορθωμένα δεδομένα. Τα αρχεία αυτά είναι με κατάληξη .V1 και περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων της καταγραφής. Αυτά μπορούν να σχεδιαστούν με κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα στον υπολογιστή. Οι τρεις συνιστώσες της καταγραφής Zak188-4 φαίνονται στα σχήματα (2.1, 2.2, 2.3) .

## **3) ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.**

Στο τμήμα της επεξεργασίας αυτής, στις μη διορθωμένες καταγραφές εφαρμόζουμε τον ταχύ μετασχηματισμό Fourier (Fast Fourier Transformation). Αυτό γίνεται με τη βοήθεια ενός προγράμματος, που γράφτηκε για τις ανάγκες της εργασίας αυτής, σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran (Παπαζάχος, Χατζηδημητρίου 1992, Μάργαρης, 1995) . Ο μετασχηματισμός αυτός εφαρμόζεται για κάθε καταγραφή για συχνότητες μέχρι 30 Hz και για ένα παράθυρο χρόνου από την αρχή έως και το τέλος της καταγραφής για κάθε μια από τις τρεις συνιστώσες. Το ίδιο γίνεται και για τις δύο ψηφιοποιημένες fixed-traces. Το τμήμα αυτό του FFT στις fixed-traces, παρουσιάζει και κάποιες ιδιαιτερότητες λόγω προβλημάτων σε δύο καταγραφές. Συγκεκριμένα στην καταγραφή της Αμαλιάδας (Aml188-6) δεν υπάρχουν οι fixed traces και ο υπολογισμός του θορύβου έγινε συγκρίνοντας τα επεξεργασμένα ίχνη των δύο χρόνων μεταξύ τους. Η δεύτερη καταγραφή στην οποία υπάρχει πρόβλημα είναι αυτή του Αργοστολίου (Arg183-1) στην οποία έχουμε στη διάθεση μας μόνο μια fixed-trace, αφού η άλλη επικαλύπτεται με μία συνιστώσα και ήταν αδύνατη η ψηφιοποίησή της.

Για τη μελέτη του θορύβου παρουσιάστηκαν στο ίδιο γράφημα το FAS (Fourier Amplitude Spectrum) των συνιστωσών των καταγραφών και των αντίστοιχων fixed-traces. Για την καταγραφή Zak188-4 το γράφημα αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα (3.1). Βλέποντας τα FAS των καταγραφών παρατηρούμε ότι παρουσιάζεται μια

έντονη τοπική μεταβλητότητα των φασμάτων σε κάθε περιοχή των συχνοτήτων. Αυτή η μεταβλητότητα είναι αποτέλεσμα του σφάλματος εκτέλεσης του μετασχηματισμού Fourier όταν χρησιμοποιούνται ψηφιοποιημένα δεδομένα συνεχών συναρτήσεων (Press et al., 1992).

Γι' αυτό το λόγο με τη βοήθεια ενός προγράμματος εξομαλύνθηκαν οι μετασχηματισμοί Fourier και στο σχήμα (3.2) φαίνεται ο μέσος όρος κάθε συνιστώσας της καταγραφής Zak188-4.

Για να υπολογίσουμε τις χαρακτηριστικές συχνότητες, cut-off και roll-off, των υψηλοπερατών φίλτρων που θα εφαρμόσουμε στα μη διορθωμένα δεδομένα βρίσκουμε στην αρχή των καταγραφών δύο χαρακτηριστικά σημεία. Το σημείο στο οποίο το πλάτος του σήματος για πρώτη φορά είναι μεγαλύτερο από το πλάτος του θορύβου και το σημείο εκείνο στο οποίο η αναλογία των πλατών του σήματος και του θορύβου είναι αυτή την οποία έχουμε θέσει σαν προϋπόθεση. Για τα χαμηλοπερατά φίλτρα χρησιμοποιήσαμε για όλες τις καταγραφές τις ίδιες χαρακτηριστικές συχνότητες 25 και 27 Hz που βρίσκονται σε συμφωνία με την απόκριση του οργάνου. Στο σχήμα (3.3) φαίνεται ο μέσος όρος των δύο εξομαλυνμένων συνιστωσών της καταγραφής και των fixed traces για την καταγραφή Zak188-4 που χρησιμοποιήθηκε σαν παράδειγμα και για τα προηγούμενα στάδια της επεξεργασίας. Επάνω στο σχήμα (3.3) φαίνονται χαραγμένες και οι ευθείες που καθορίζουν τις συχνότητες των φίλτρων που θα χρησιμοποιηθούν για τη συγκεκριμένη καταγραφή.

Εφαρμόζοντας τα προηγούμενα φίλτρα, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (Kinematics, 1990) στις καταγραφές, παίρνουμε τα διορθωμένα δεδομένα. Αυτά βρίσκονται υπό μορφή αρχείων τα οποία περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων των διορθωμένων καταγραφών και έχουν κατάληξη .V2. Η κάθε μια από τις τρεις συνιστώσες της διορθωμένης καταγραφής Zak188-4, που προέκυψε μετά την επεξεργασία που περιγράφηκε προηγουμένως, φαίνεται στα σχήματα (3.4, 3.5, 3.6).

#### 4) ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ.

Τα υψηλοπερατά φίλτρα που χρησιμοποιήσαμε για τη συγκεκριμένη εργασία επιλέχτηκαν με αναλογία σήματος προς θόρυβο 2:1 εκτός από ορισμένες καταγραφές στις οποίες έγινε αποδεκτή μεγαλύτερη αναλογία. Τα φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε καταγραφή φαίνονται στον πίνακα 4.1.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1**

Κωδικοί καταγραφών ισχυρής σεισμικής κίνησης και χαρακτηριστικές συχνότητες των υψηλοπερατών και χαμηλοπερατών φίλτρων

Κωδικός καταγραφών Ι.Σ.Κ.	LOW-PASS FILTERS		HIGH-PASS FILTERS	
	CUT-OFF FREQUENCY (Hz)	ROLL-OFF FREQUENCY (Hz)	ROLL-OFF FREQUENCY (Hz)	CUT-OFF FREQUENCY (Hz)
Arg183-1	0.20	0.50	25	27
Kal186-1	0.08	0.20	25	27
Kal186-8*	0.25	0.35	25	27
Kal286-2	0.25	0.35	25	27
Mes186-1	0.30	0.80	25	27
Aml188-6	0.40	0.60	25	27
Zak188-4*	0.28	0.40	25	27
Ede190-1	0.40	0.56	25	27

Kil190-1*	0.63	0.70	25	27
Pyr193-8	0.45	0.56	25	27
Pat193-2	0.32	0.50	25	27
Pat393-2	0.32	0.40	25	27
Han194-1	0.40	0.63	25	27
Hra194-1*	0.40	0.63	25	27
Koz195-1	0.30	0.50	25	27

Οι καταγραφές, οι οποίες είναι σημειωμένες στον πίνακα 4.1 με αστερίσκο, είναι αυτές που χρειάστηκε η αναλογία σήματος προς θόρυβο να είναι 3:1.

Σύμφωνα με τα στοιχεία που μέχρι τώρα έχουν συγκεντρωθεί, δεν προκύπτει κανένας λόγος ώστε το επίπεδο του καταγραμμένου θορύβου στις διάφορες καταγραφές να είναι διαφορετικό. Έτσι το επόμενο στάδιο της επεξεργασίας των διορθωμένων πλέον δεδομένων, είναι η εξαγωγή του μέσου όρου των θορύβων για κάθε καταγραφή, ώστε να υπάρχει ένα μέσο και σταθερό επίπεδο θορύβου για όλες τις καταγραφές (Amini et al., 1987). Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τα εξομαλυσμένα φάσματα των fix traces όλων των καταγραφών. Για να υπολογιστούν τα φάσματα, έχουν χρησιμοποιηθεί παράθυρα συχνοτήτων με σκοπό την ομαδοποίηση των πλατών του θορύβου σε καθένα από αυτά. Αυτός είναι και ο λόγος που έχουμε και διακριτά σημεία στο διάγραμμα του μέσου όρου του θορύβου.

Στο σχήμα (4.1) φαίνεται ο μέσος όρος του επιπέδου του θορύβου για κάθε παράθυρο συχνοτήτων, καθώς και η τυπική απόκλιση για κάθε σημείο. Επίσης στο σχήμα αυτό υπάρχει και η ευθεία που προκύπτει από την επεξεργασία των δεδομένων με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παρατηρώντας το σχήμα (4.1) διακρίνουμε κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στην καμπύλη του μέσου θορύβου. Στο διάγραμμα log-log που χρησιμοποιήθηκε το μέσο επίπεδο του θορύβου ακολουθεί ένα γραμμικό νόμο με αρνητική κλίση. Η επεξεργασία της καμπύλης του θορύβου με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων μας έδωσε τη σχέση (5.1) που αποδεικνύει την προηγούμενή μας εκτίμηση για τη γραμμικότητα της καμπύλης.

$$\log A^{\text{Noise}} = -0.73 * \log f + 0.15 \quad (5.1)$$

η οποία έχει συντελεστή γραμμικής συσχέτισης  $r=0.99$  και τυπική απόκλιση  $\sigma=0.074$ . Φαίνεται επίσης ότι οι τυπικές αποκλίσεις των σημείων του διαγράμματος μεγαλώνουν όσο πλησιάζουμε προς τα άκρα της καμπύλης, δηλαδή στις πολύ ψηλές και στις πολύ χαμηλές συχνότητες. Αν προσμετρήσουμε και τα σφάλματα υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων που εισάγονται κατά την ψηφιοποίηση των καταγραφών γίνεται κατανοητή η αύξηση αυτή των τυπικών αποκλίσεων στα άκρα της καμπύλης.

Η σπουδαιότητα του αποτελέσματος αυτού είναι φανερή, αν ληφθεί υπ' όψιν το γεγονός, ότι πολλά από τα επιταχυνσιόμετρα που χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή στον Ελληνικό χώρο δεν έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν τα επίπεδα του θορύβου ή δεν έχουν ίχνη για τον υπολογισμό του χρόνου.

Η σύγκριση του σταθερού επιπέδου του θορύβου, που είναι το ίδιο για κάθε καταγραφή του δικτύου καταγραφής ισχυρής σεισμικής κίνησης του Ι.Τ.Σ.Α.Κ.,

διευκολύνει τη διαδικασία καθορισμού των συχνοτήτων για το φιλτράρισμα των μη διορθωμένων δεδομένων.

Παρόμοια εργασία έχει γίνει, για τον χώρο των Η.Π.Α, από τους Lee and Trifunac (1990). Στο σχήμα (5.1) υπάρχει η καμπύλη που έχει παραχθεί με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην εργασία αυτή, δηλαδή, η ευθεία που βρίσκεται αν στα δεδομένα εφαρμόσουμε τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, καθώς και η καμπύλη που είχε παραχθεί από τους Trifunac και Lee (1990). Συγκρίνοντας τις δύο αυτές καμπύλες βλέπουμε ότι για το ίδιο παράθυρο συχνοτήτων η μεγαλύτερη απόκλιση παρατηρείται στις μικρές και στις μεγάλες τιμές των συχνοτήτων, ενώ φαίνεται επίσης ότι η καμπύλη που έχει παραχθεί από τους Trifunac και Lee, σχεδόν σε όλο το παράθυρο των συχνοτήτων, δεν απομακρύνεται από το εύρος της περιοχής που ορίζει η καμπύλη της εργασίας αυτής και η τυπική απόκλιση για κάθε σημείο της. Από τη σύγκριση των δύο αυτών καμπυλών φαίνεται ότι υπάρχει καλή συμφωνία των αποτελεσμάτων που έχουν παραχθεί με διαφορετικές μεθοδολογίες. Το στοιχείο αυτό τεκμηριώνει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που βρέθηκαν από την επεξεργασία που έγινε στην εργασία αυτή.

Ένα ακόμη πολύ σημαντικό στοιχείο, που θα πρέπει να ερευνηθεί η επίδρασή του στο αποτέλεσμα της επεξεργασίας των καταγραφών, είναι η ανάλυση της σάρωσης που χρησιμοποιήθηκε στις καταγραφές της παρούσας εργασίας.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί όλες οι καταγραφές έχουν σαρωθεί με ανάλυση σάρωσης 300 dpi. Το πρόγραμμα μετατροπής των καταγραφών σε αρχεία .flm έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει και αρχεία που έχουν σαρωθεί με μεγαλύτερη ανάλυση από αυτή που έχει χρησιμοποιηθεί. Για να μελετηθεί η επίδραση του φαινομένου αυτού σαρώσαμε την καταγραφή της Ζακύνθου, Zak188-4, με τρεις διαφορετικές αναλύσεις, με 300, 600, και 1200 dpi. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν τα ίδια στάδια της επεξεργασίας και συγκρίναμε τα εξομαλυσμένα FAS των αντίστοιχων συνιστωσών της καταγραφής για τις τρεις διαφορετικές αναλύσεις. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων αυτών βρίσκονται στα σχήματα (5.2, 5.3, 5.4).

Παρατηρώντας προσεκτικότερα τα προηγούμενα σχήματα φαίνεται ότι μέχρι τη συχνότητα των 25 Hz δεν υπάρχει καμιά επίδραση της ανάλυσης σάρωσης στο FAS της καταγραφής. Μετά τα 25 και μέχρι τα 50 Hz είναι εμφανής η διαφορά στο θόρυβο που εμφανίζεται στις μικρότερες αναλύσεις σάρωσης. Το φαινόμενο αυτό δεν επηρεάζει την μέχρι τώρα επεξεργασία όλων των καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία αυτή μιας και η φυσική συχνότητα αποκοπής των οργάνων καταγραφής των επιταχυνσιογραμμάτων είναι τα 25 Hz, ενώ και το δικό μας ενδιαφέρον για τα δεδομένα που περιέχονται στα επιταχυνσιογράμματα φτάνει μέχρι περίπου αυτές τις συχνότητες.

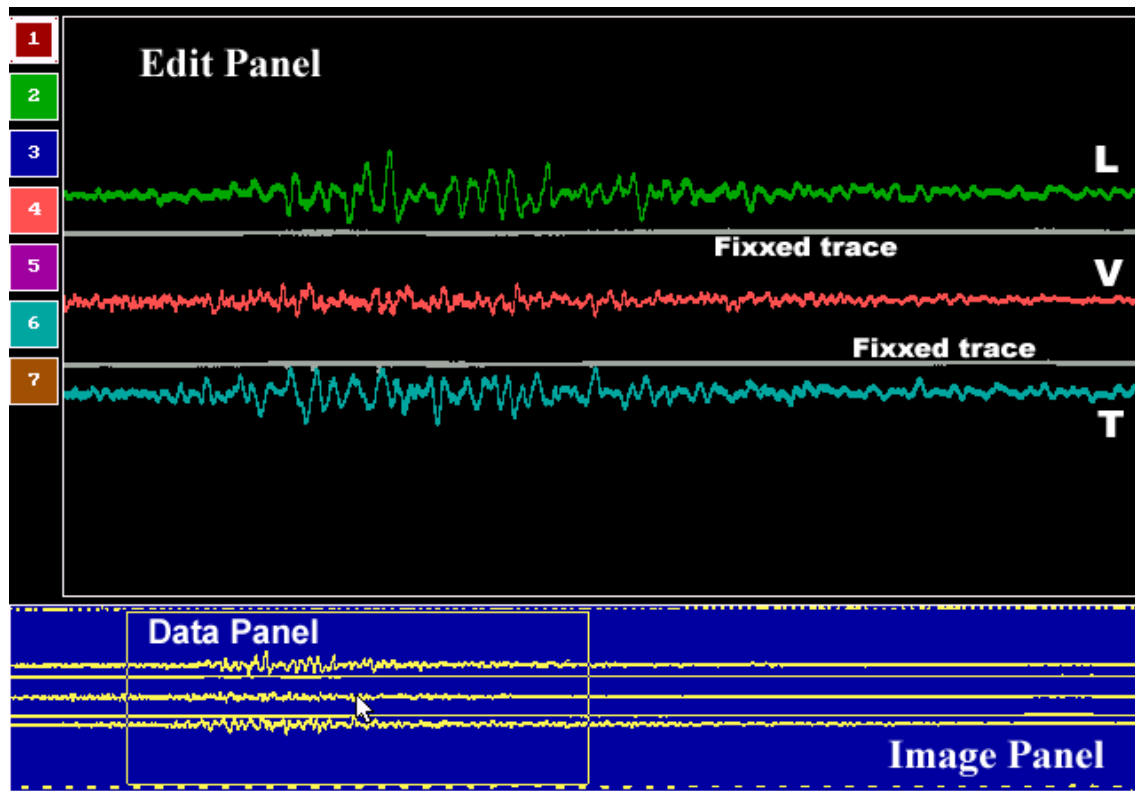
Ένα τελευταίο στοιχείο που θα πρέπει να εξεταστεί είναι η συσχέτιση που μπορεί να υπάρχει μεταξύ του επιπέδου του θορύβου των καταγραφών, της επικεντρικής απόστασης και του μεγέθους των σεισμών. Η εξάρτηση αυτή αποτυπώνεται στην τιμή της συχνότητας αποκοπής της κάθε καταγραφής. Για να μελετηθεί η εξάρτηση των μεγεθών αυτών σχεδιάστηκαν στο ίδιο διάγραμμα, στο σχήμα (5.5), οι συχνότητες αποκοπής των καταγραφών, το μέγεθος  $M$  και η επικεντρική απόσταση  $\Delta$  των σεισμών. Με στατιστική επεξεργασία των δεδομένων καταλήξαμε στην σχέση 5.2, που είναι της μορφής  $z=ax+by+c$ , και υπολογίζει την cut-off frequency δοσμένων της επικεντρικής απόστασης και του μεγέθους.

$$f = 1.165 + 0.054\Delta - 0.164M \quad (5.2)$$

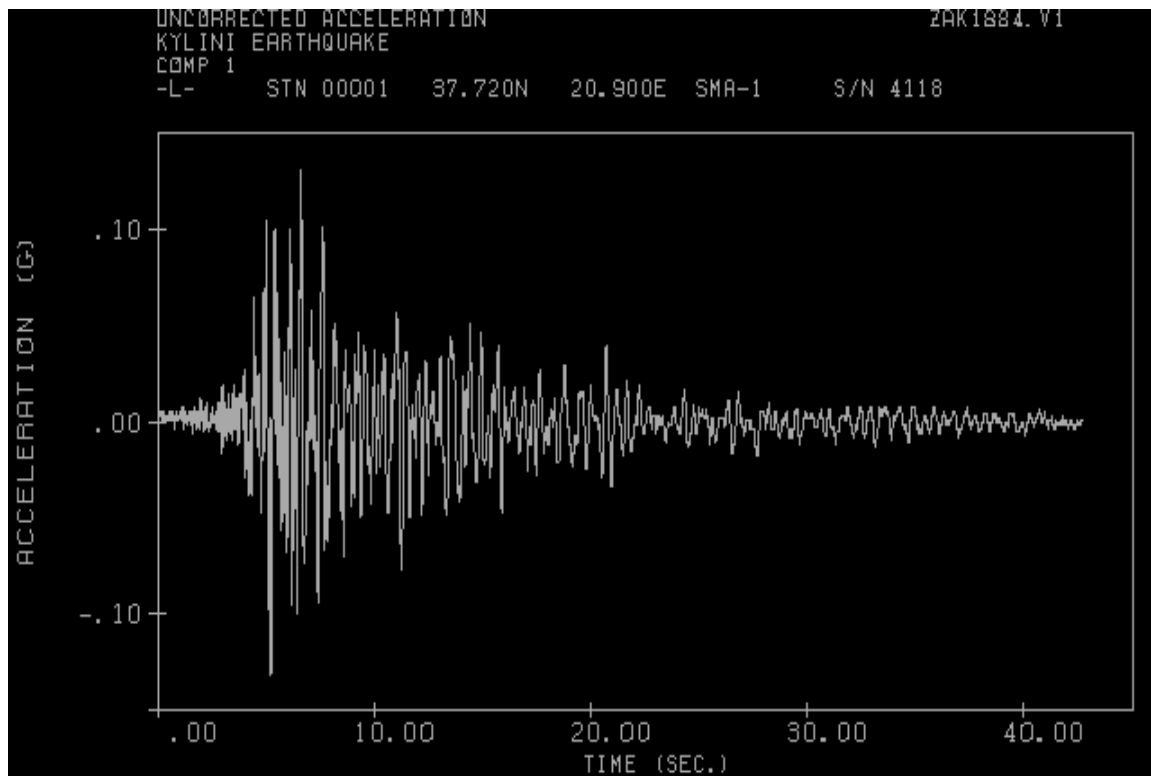
Το μέσο σφάλμα στον υπολογισμό της τιμής της συχνότητας από τη σχέση (5.2) έχει τιμή  $\sigma = 0.102$ , ενώ ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι ίσος με  $\tau = 0.66$ . Τέλος το μέσο σφάλμα του κάθε συντελεστή της σχέσης (5.2) είναι  $a = 0.054 \pm 0.0018$ ,  $b = -0.164 \pm 0.069$  και  $c = 1.165 \pm 0.38$ .

Εξαιτίας του γεγονότος ότι τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της σχέσης είναι λίγα, λόγω του μικρού αριθμού των καταγραφών που υπάρχουν στην εργασία αυτή, δεν μπορεί η σχέση να αποτελέσει μέθοδο υπολογισμού της συχνότητας, αλλά αποτελεί μια ένδειξη για την τιμή της. Επομένως η χρήση της σχέσης (5.2) θα πρέπει να μην αποτελεί πανάκεια και η χρήση της για υπολογισμούς σε άλλες εργασίες να γίνεται για επιβεβαίωση ήδη υπαρχόντων αποτελεσμάτων.

Παρατηρώντας το σχήμα (5.5) πιο προσεκτικά μπορούμε να διακρίνουμε επιμέρους στοιχεία που αυξάνουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που βρέθηκαν από την επεξεργασία που έγινε προηγουμένως. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η σχέση που φαίνεται να υπάρχει μεταξύ της συχνότητας και του μεγέθους. Είναι γνωστό ότι η συχνότητα ελαττώνεται με την αύξηση του μεγέθους, κάτι που γίνεται εμφανές στο σχήμα (5.5) βλέποντας την προβολή της τρισδιάστατης καμπύλης στο επίπεδο που ορίζουν οι άξονες του μεγέθους και της συχνότητας. Η προβολή είναι μια ευθεία που η κλίση της φανερώνει τη γνωστή σχέση που υπάρχει μεταξύ της συχνότητας και του μεγέθους.

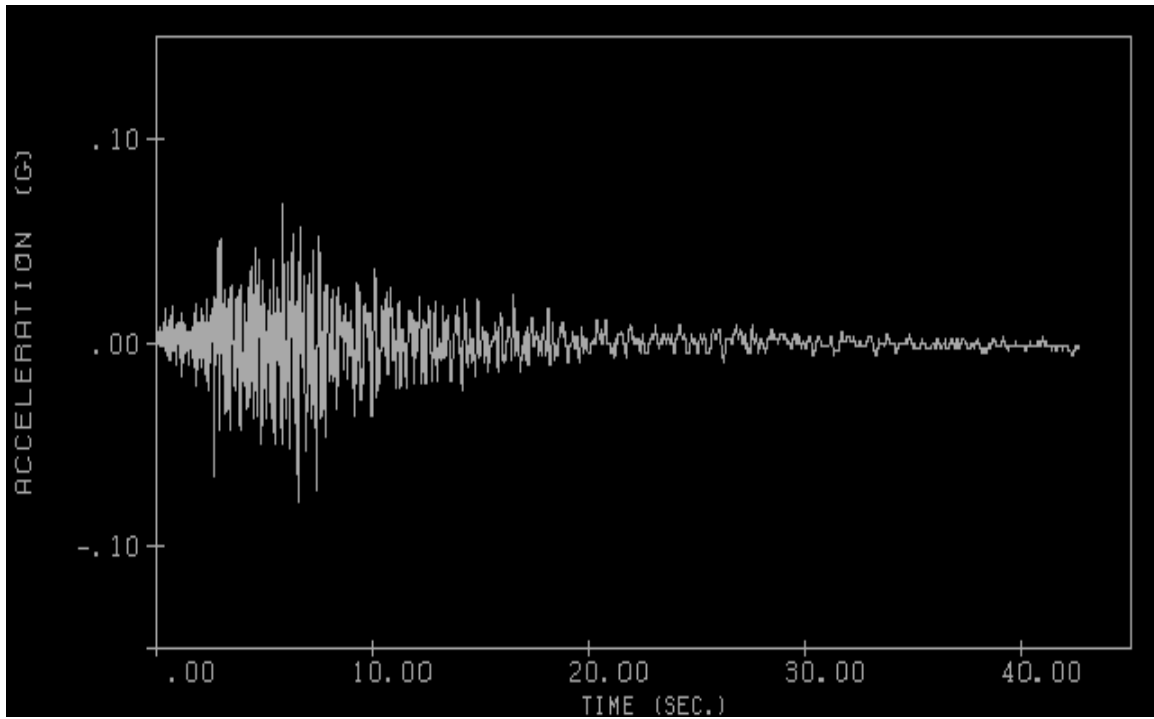


Σχήμα 1.1.

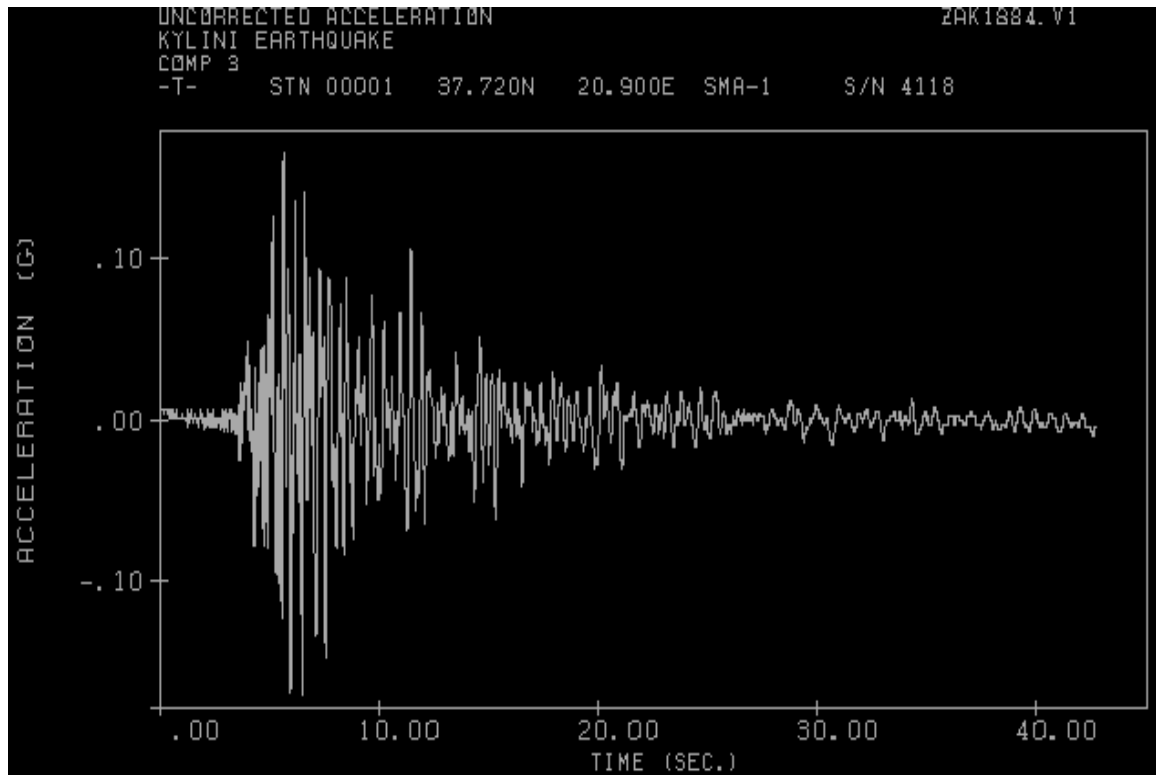


**Σχήμα 2.1.**

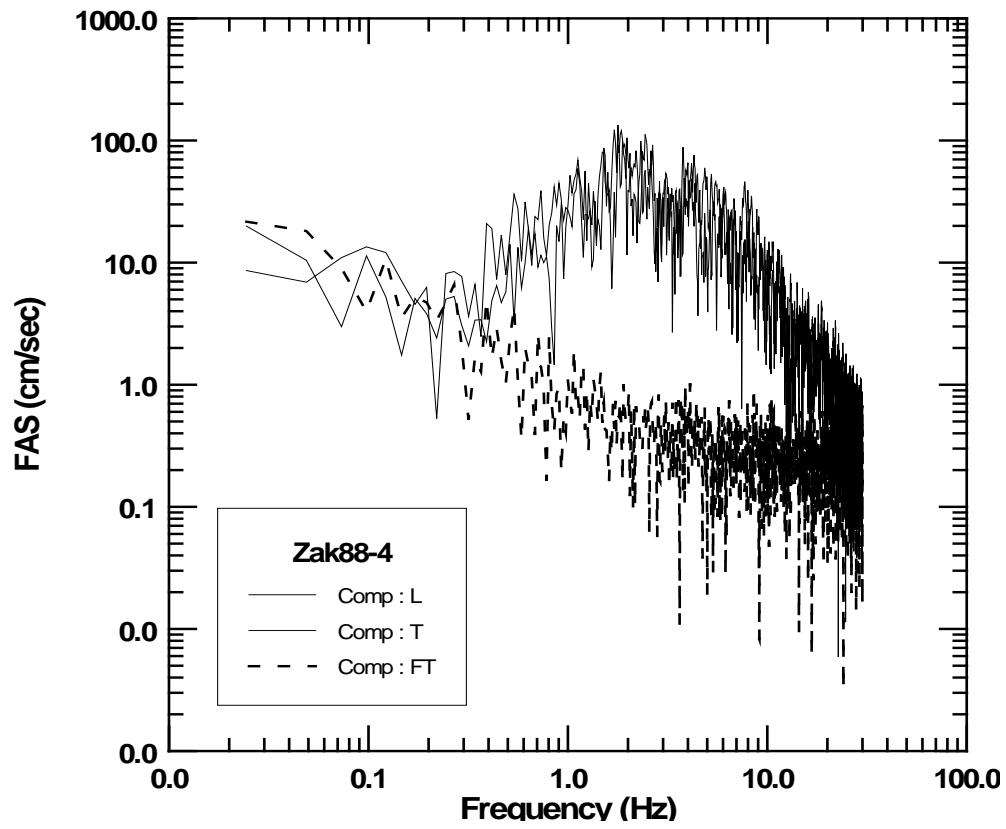




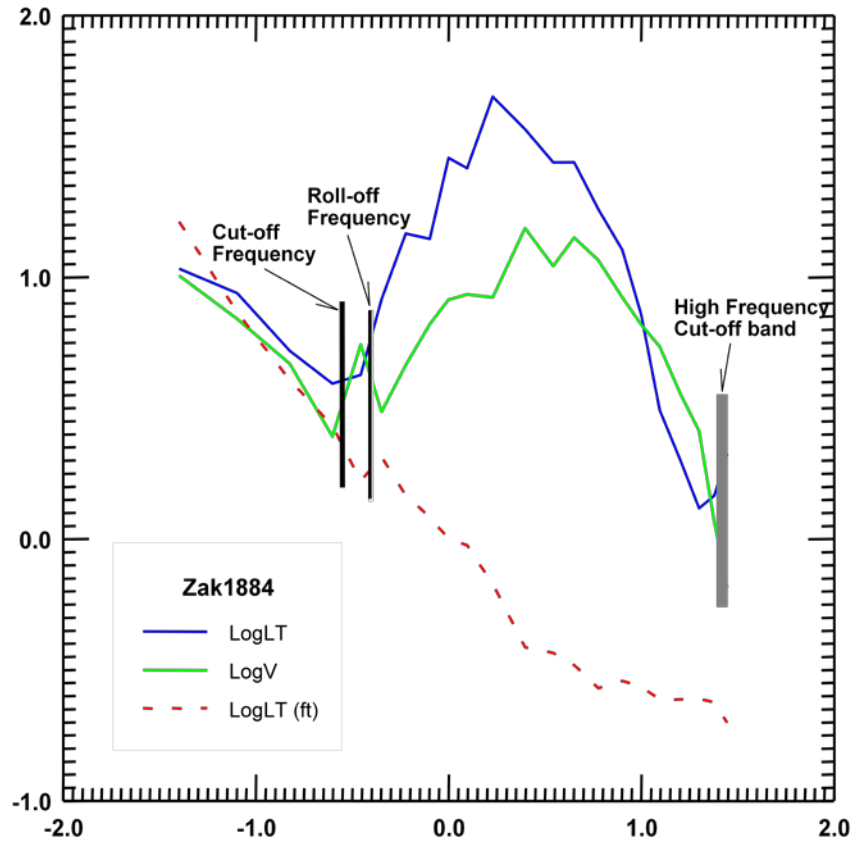
Σχήμα 2.2.



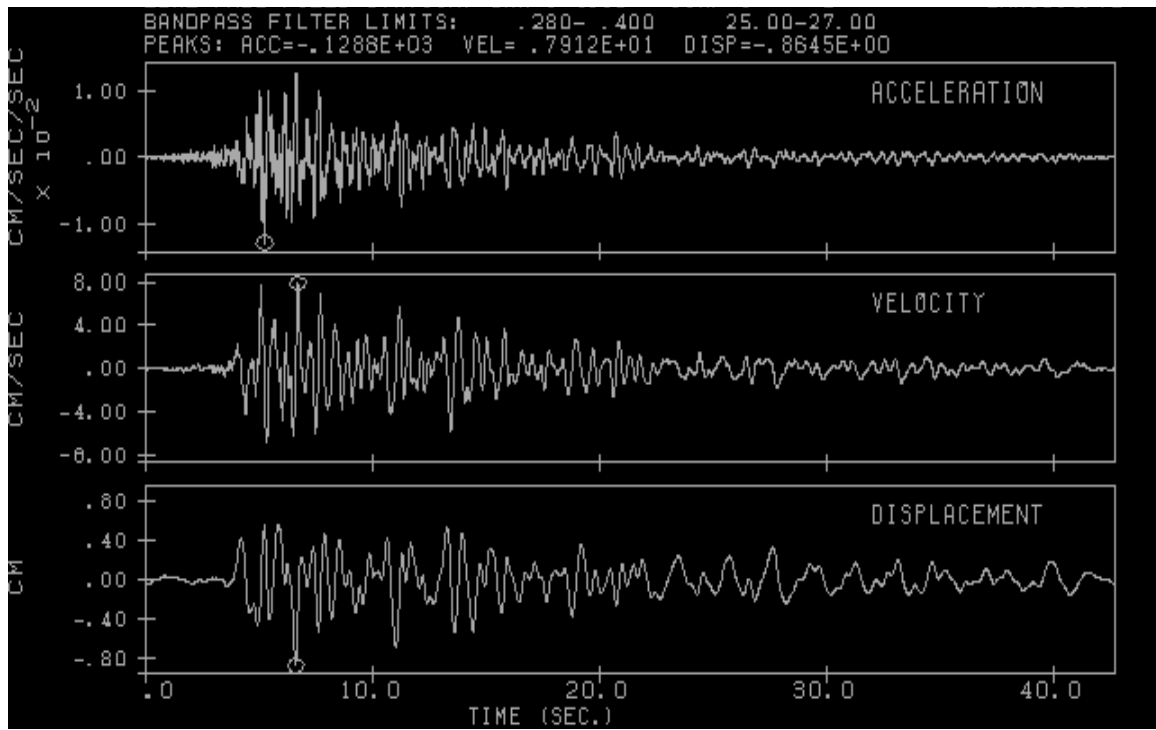
Σχήμα 2.3.



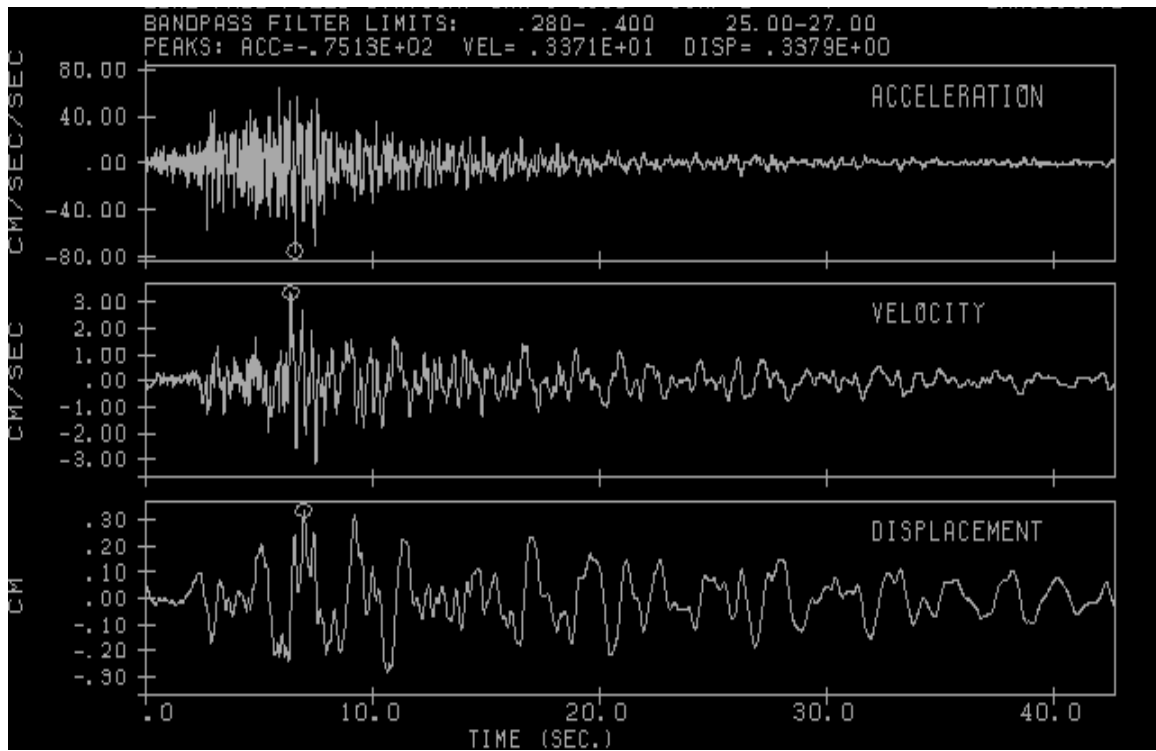
Σχήμα 3.1.



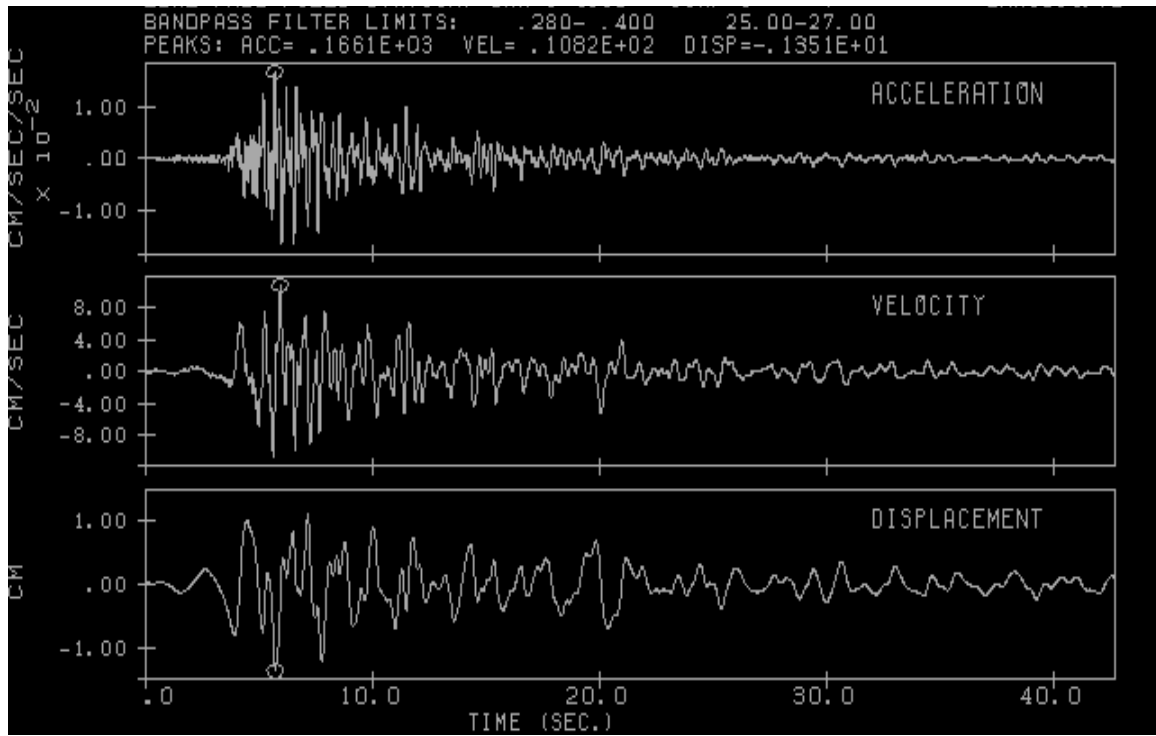
Σχήμα 3.3.



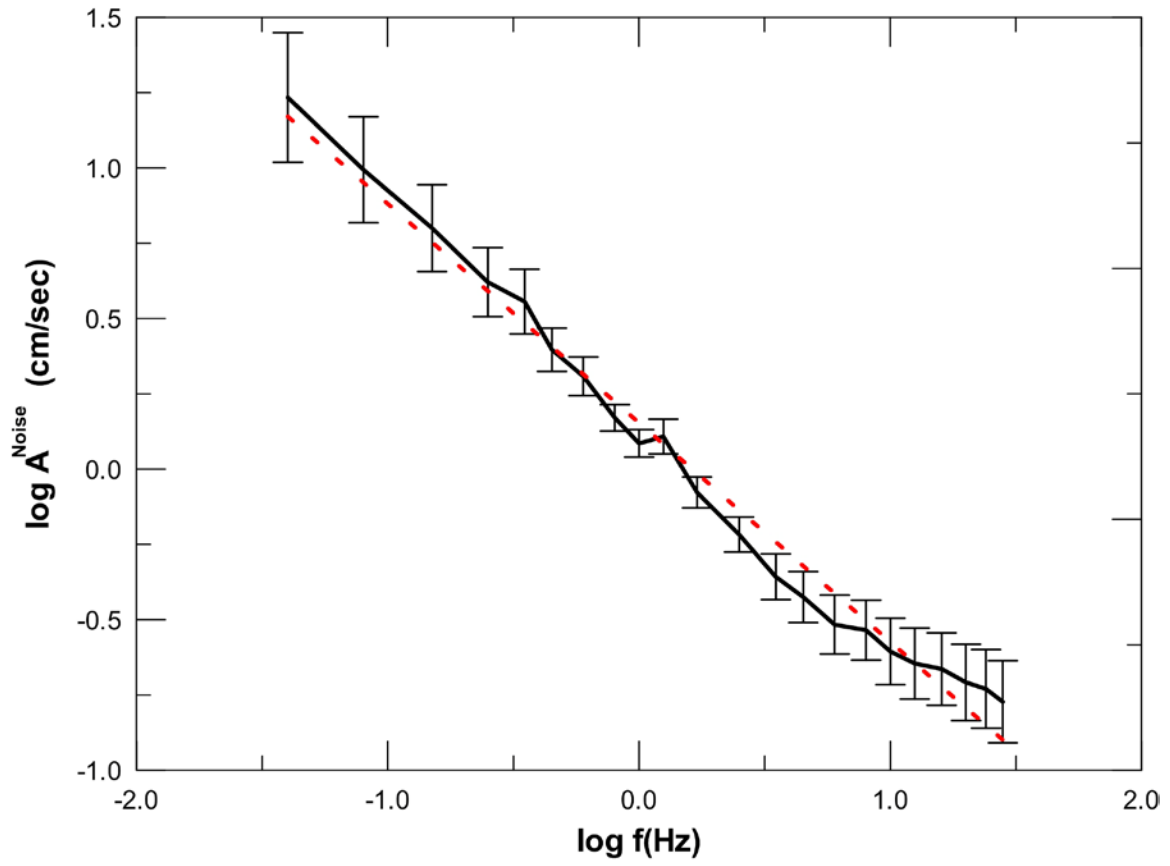
Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.5.

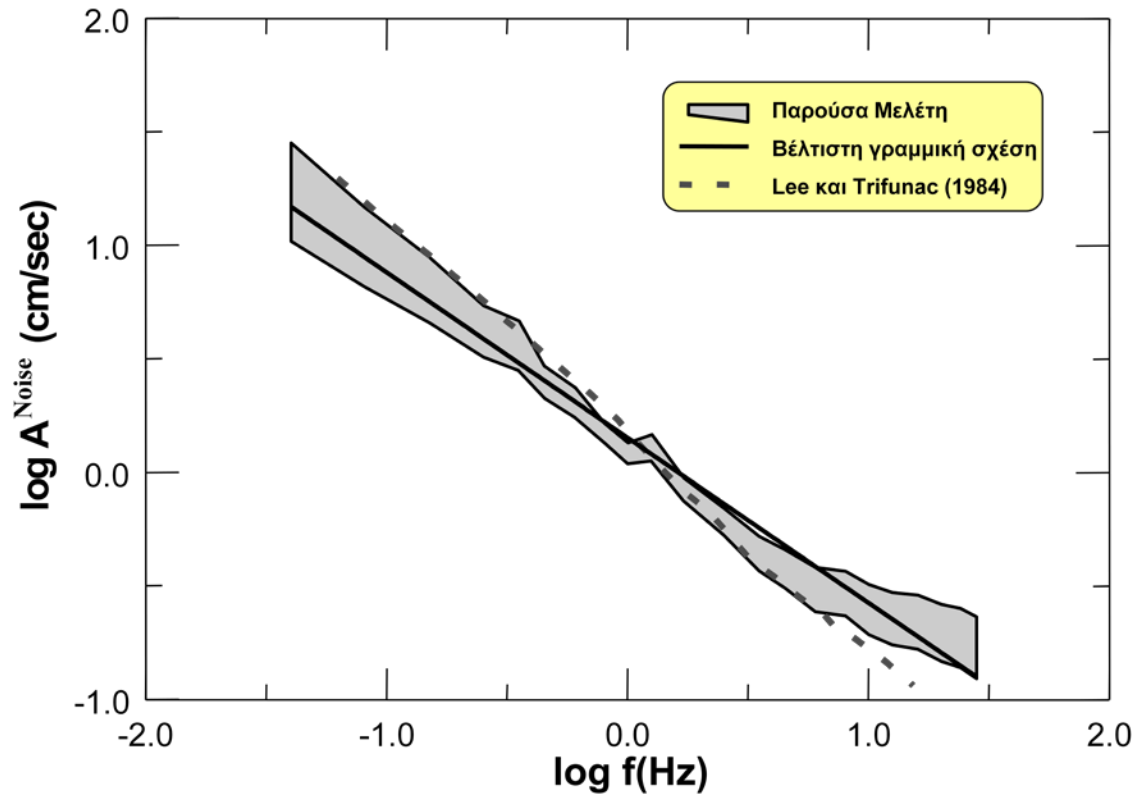


Σχήμα 3.6.

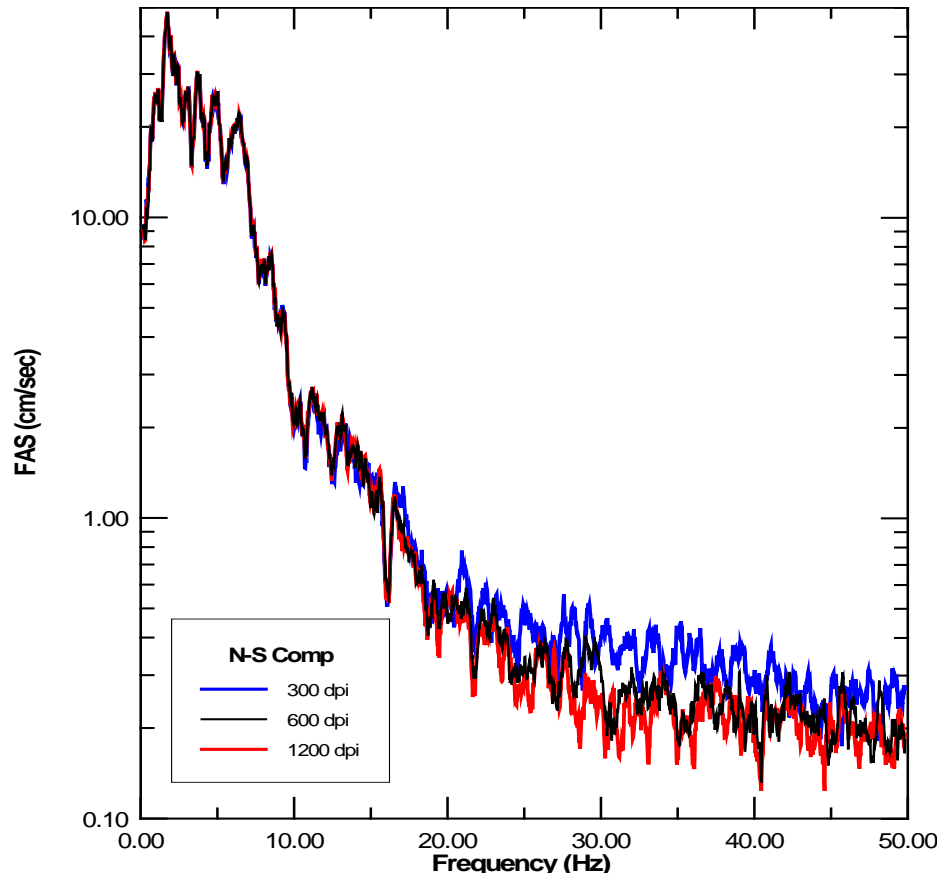


Σχήμα 4.1.

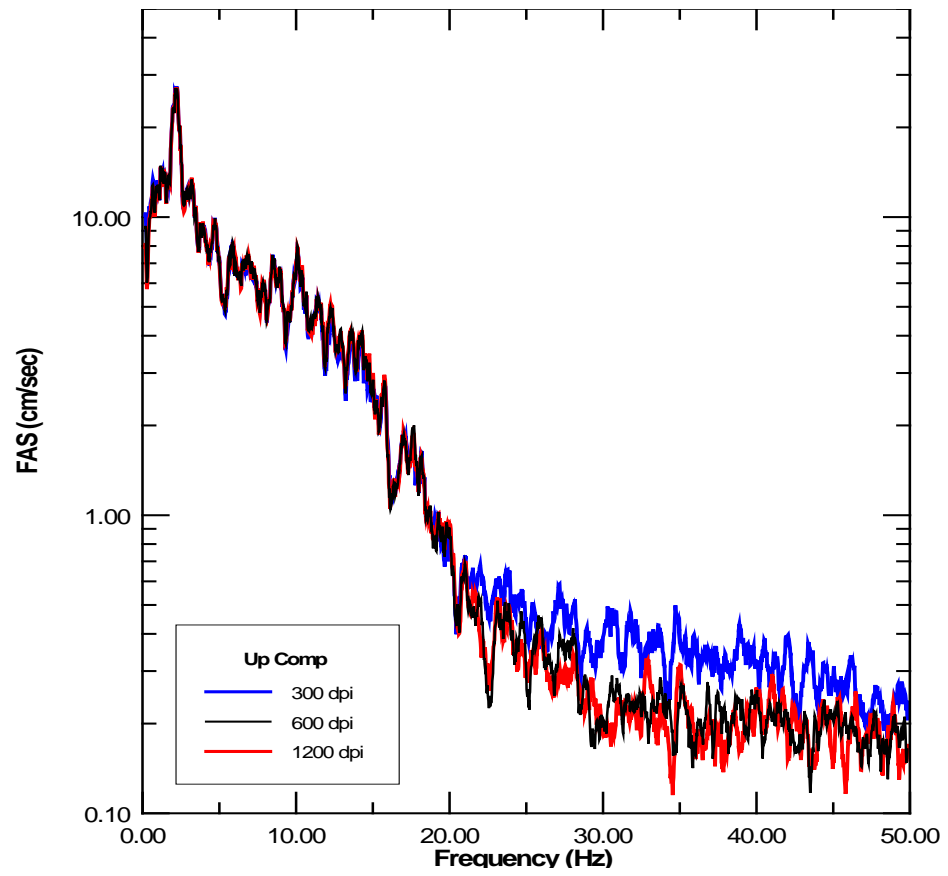




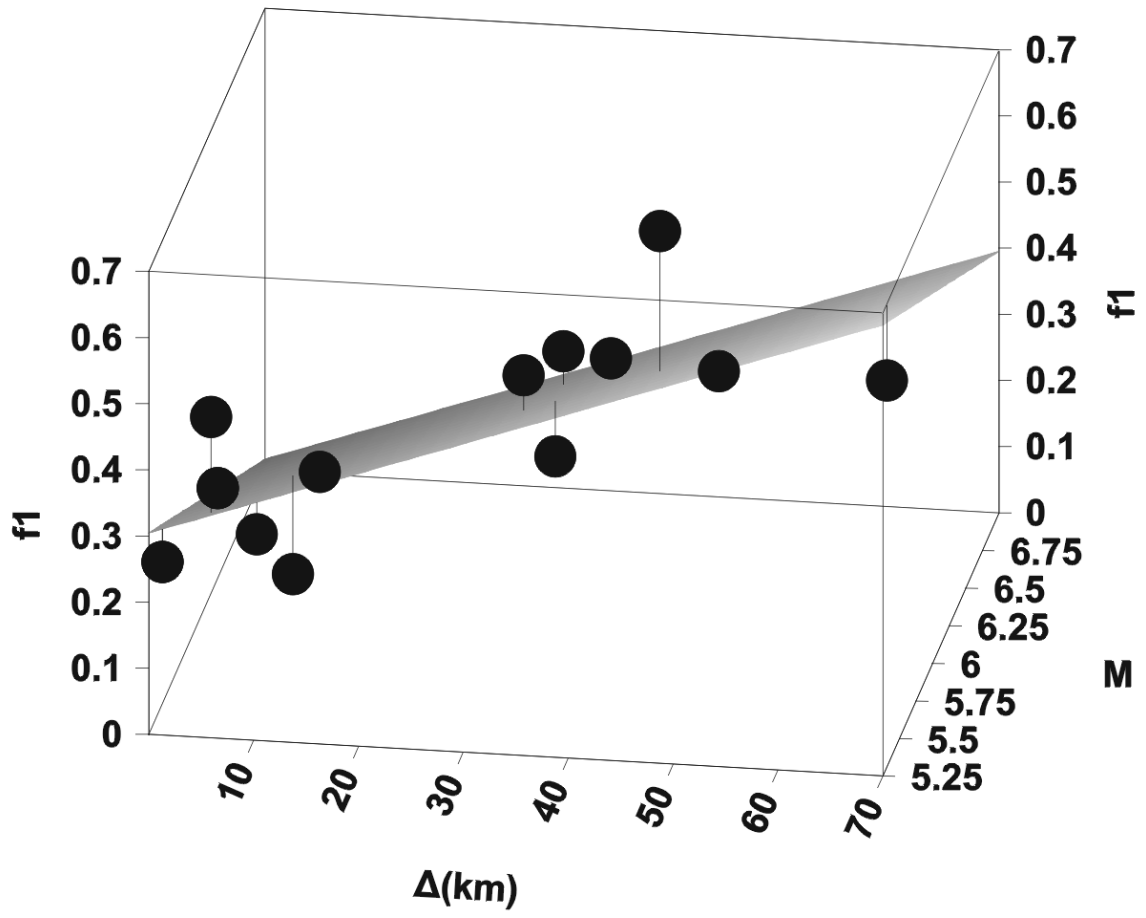
Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.2, 5.3, 5.4.



Σχήμα 5.2, 5.3, 5.4.



Σχήμα 5.5.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Amini A, M.D Trifunac and R.L Nigbor (1987). A note on the noise amplitudes in some strong motion accelerographs, Civil Eng. Dep., Univ. Southern Calif., Soil Dyn. and Earth. Eng., 6, No 3.
- Basili M. (1987). Data acquisition and processing in strong motion seismology, M.O. Erdik and M.N. Toksoz (eds.), Strong Motion Seism., Peidel Publ. Company, 251-331.
- Chiu H.C. (1997). Stable baseline correction of digital strong motion data, Bull. Seism. Soc. Am., 87, 932-944.
- Crouse C.B. and Matuchka T. (1983). Digitization noise and accelerograph pen-offset associated with Japanese accelerograms, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1187-1196.
- Hudson D.E. (1979). Reading and interpreting strong motion accelerograms, EERI, 1-112.
- Khemicic O. and H.C Shah (1982). Frequency domain corrections of earthquake accelerograms with experimental verifications, The John A.Blume Earth. Eng. Center, 1-103.
- KINEMETRICS (1990). SMA SCANVIEW: Scanned – based film accelerogram digitization system, User's Manual, KINEMETRICS/SYSTEMS, Pasadena California, 1-61.
- Lee V.W. (1989). Recent developments on data processing of strong motion accelerograms: interpolation of uniform and non-uniform sampling from digitized acceleration data, Soil Dyn. and Earth. Eng., 8, 202-212.
- Lee, V.W. and M.D. Trifunac (1984). Current developments in data processing of strong motion accelerograms, Univ. of Southern California, Rept.No 84-01, 1-99.
- Lee, V.W. and M.D. Trifunac (1990). Automatic digitization and processing of accelerograms using PC, Univ. of Southern California, Rept.No.90-02, 1-115.
- Μάργαρης Β.Ν., Δ.Ι Παπασταματίου και Ν.Π. Θεοδουλίδης (1989). Μεθοδολογία επεξεργασίας επιταχυνσιογραμμάτων, Rept. I.T.Σ.Α.Κ., 1989-02.
- Petrovski D. and Nove Naumovski (1979). Processing of strong motion accelerograms, part 1 – analytical methods, Inst. of Earth. Eng. and Seism. Univ. KIRIL and METODIJ - Skopje, No 66, 1-69.
- Sabetta F. (1985). Data processing in strong ground motion seismology, Strong Motion Proc. Proced., 140-166.
- Sunder S.S and J.J Connor (1982). A new procedure for processing strong-motion earthquake signals, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 643-661.
- Taheri J.S. (1980). A new assessment of errors from digitization and base line corrections of strong motion accelerograms, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 293-303.

## ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- 1) Σχήμα 1.1: Παράθυρο του προγράμματος της Kinematics, που εμφανίζονται τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας κάθε καταγραφής.
- 2) Σχήμα 2.1: Η L – συνιστώσα της μη διορθωμένης καταγραφής Zak188-4.
- 3) Σχήμα 2.2: Η V – συνιστώσα της μη διορθωμένης καταγραφής Zak188-4.
- 4) Σχήμα 2.3: Η T – συνιστώσα της μη διορθωμένης καταγραφής Zak188-4.
- 5) Σχήμα 3.1: Σύγκριση του FAS των συνιστωσών και των αντίστοιχων fixed-traces, της καταγραφής Zak188-4, για τη μελέτη του θορύβου.
- 6) Σχήμα 3.2: Ο μέσος όρος κάθε συνιστώσας της καταγραφής Zak188-4.
- 7) Σχήμα 3.3: Ο μέσος όρος των δύο εξομαλυνμένων συνιστωσών της καταγραφής και των fixed-traces για την καταγραφή Zak188-4.
- 8) Σχήμα 3.4: Η L – συνιστώσα της διορθωμένης καταγραφής Zak188-4.
- 9) Σχήμα 3.5: Η V – συνιστώσα της διορθωμένης καταγραφής Zak188-4.
- 10) Σχήμα 3.6: Η T – συνιστώσα της διορθωμένης καταγραφής Zak188-4.
- 11) Σχήμα 4.1: Ο μέσος όρος του επιπέδου του θορύβου για κάθε παράθυρο συχνοτήτων και η τυπική απόκλιση για κάθε σημείο.
- 12) Σχήμα 5.1: Σύγκριση της καμπύλης της παρούσας εργασίας και της καμπύλης των Trifunac και Lee (1990).
- 13) Σχήμα 5.2: Εξομαλυσμένο FAS των συνιστωσών της καταγραφής Zak188-4 για ανάλυση σάρωσης 300 dpi.
- 14) Σχήμα 5.3: Εξομαλυσμένο FAS των συνιστωσών της καταγραφής Zak188-4 για ανάλυση σάρωσης 600 dpi.
- 15) Σχήμα 5.4: Εξομαλυσμένο FAS των συνιστωσών της καταγραφής Zak188-4 για ανάλυση σάρωσης 1200 dpi.
- 16) Σχήμα 5.5: Σχεδιασμός των συχνοτήτων αποκοπής των καταγραφών, του μεγέθους M και της επικεντρικής απόστασης Δ των σεισμών, για τη μελέτη της εξάρτησης μεταξύ τους.