

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑ ΙΣΧΥΡΗΣ ΔΟΝΗΣΗΣ
ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Παπασταματίου Δ.(1), Μάργαρης Β.(2), Θεοδοουλίδης Ν.(2),
και Μαρίνος Α.(2)

1. Ε.Μ.Π. Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας
2. Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας Αντισεισμικών Κατασκευών

ΣΥΝΟΨΗ

Επιταχυνσιογράμματα από οπτικούς καταγραφείς του Ελληνικού Εθνικού δικτύου υπόκεινται σε περιορισμούς κάλυψης του δικτύου, ψηφιοποίησης των καταγραφών και απόκρισης των οργάνων. Η σοβαρότητα αυτών των περιορισμών σε εφαρμογές σεισμολογίας ισχυρής κίνησης εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Στον προσδιορισμό υποκέντρων σοβαροί περιορισμοί προκύπτουν από τον οπτικό τύπο καταγραφέα. Στον προσδιορισμό τοπικών μεγεθών οι περιορισμοί προκύπτουν από τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες στο σταθμό. Για το μηχανισμό γένεσης σεισμών απαιτούνται ειδικά δίκτυα. Καταγραφές του Εθνικού δικτύου έχουν στατιστική εξάρτηση από τις διαστάσεις του σεισμογόνου ρήγματος: οι αντίστοιχες χαρακτηριστικές συχνότητες εξαρτώνται από τις εδαφικές συνθήκες και καλύπτονται συχνά από το θόρυβο της ψηφιοποίησης.

Παρ' όλους τους περιορισμούς οι επιταχυνσιογράφοι έχουν δημιουργήσει τις πειραματικές συνθήκες για εφαρμογές σεισμολογίας ισχυρής κίνησης και το πειραματικό υπόβαθρο για τον αντισεισμικό υπολογισμό. Για αντισεισμικούς υπολογισμούς οι περιορισμοί αξιοπιστίας των οπτικών καταγραφών είναι σοβαρότεροι για ειδικές κατασκευές, ιδιαίτερα κατασκευές μεγάλης ιδιοπεριόδου. Βελτίωση της αξιοπιστίας των οπτικών καταγραφών επιτυγχάνεται με αυτόματη ψηφιοποίηση ενώ σημαντική βελτίωση απαιτεί την εγκατάσταση δικτύων με ψηφιακές μονάδες καταγραφής.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Επιταχυνσιογράφοι εγκαθίστανται για τη δημιουργία πειραματικού υποβάθρου στην αντισεισμική τεχνολογία. Με αυτό το σκοπό τα όργανα έχουν σχεδιασθεί για υψηλό βαθμό ετοιμότητας στη σύντομη διάρκεια της ισχυρής σεισμικής δόνησης (της τάξης sec) μέσα σε μεγάλες περιόδους ησυχίας

(της τάξης ετών). Η βασική αυτή ανάγκη οδήγησε στην κατασκευή οργάνων με μικρές απαιτήσεις συντήρησης, εφοδιασμένων με μηχανισμό διέγερσης σε σχετικά έντονη εδαφική κίνηση. Αυτές οι προδιαγραφές ικανοποιήθηκαν από οπτικούς καταγραφείς που έχουν αποτελέσει τη βάση εθνικών δικτύων, όπως αυτό που έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί στην Ελλάδα. Αργότερα έγινε η εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας που έχει φτάσει σήμερα σε ικανοποιητικό επίπεδο αξιοπιστίας και σε σημαντική βελτίωση της ποιότητας της καταγραφής. Γενικά η αξιολόγηση των επιταχυνσιογράφων σε συνθήκες υπαίθρου είναι χρονοβόρα αφού τα όργανα καταγραφής εκτίθενται σπάνια σε ισχυρή σεισμική δόνηση.

Σημαντική εμπειρία έχει συγκεντρωθεί στον Ελληνικό χώρο από την εξάπλωση δικτύων επιταχυνσιογράφων και την αξιοποίηση των επιταχυνσιογραμμάτων. Η εμπειρία αυτή περιορίζεται σε οπτικούς καταγραφείς και στο μόνιμο Εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων. Η βασική εμπειρία έχει συγκεντρωθεί από την παρακολούθηση του δικτύου και έχει αποκρυσταλλωθεί στην καθιέρωση σχολαστικής και αποτελεσματικής διαδικασίας συντήρησης. Τα αποτελέσματα αυτής της προσπάθειας είναι εντυπωσιακά ως προς τον αριθμό και την ποιότητα των επιταχυνσιογραμμάτων.

Η απόκτηση εμπειρίας από την αξιοποίηση των επιταχυνσιογραμμάτων είναι περισσότερο χρονοβόρα. Η εμπειρία αυτή δεν περιορίζεται στα στενά πλαίσια εμπλουτισμού της τράπεζας επιταχυνσιογραμμάτων απαραίτητων για τους αντισεισμικούς υπολογισμούς. Παράλληλα δημιουργεί την πειραματική υποδομή για την ανάπτυξη της σεισμολογίας ισχυρής δόνησης : ο κλάδος αυτός εστιάζεται στο δυναμικό πεδίο κοντά στη σεισμική πηγή και στα χαρακτηριστικά της πηγής. Η εστίαση αυτή στο χώρο όπου σημειώνονται οι περισσότερες ζημιές σε κατασκευές είναι πρωταρχικής σημασίας στον προσδιορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας.

Σαν σεισμολογικά όργανα, οι οπτικοί καταγραφείς έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το βασικό μειονέκτημα είναι η απουσία ακριβούς κοινού χρόνου στην καταγραφή και η απουσία τμήματος της αρχικής καταγραφής. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η ακριβής καταγραφή της δόνησης του εδάφους σε μεγάλα πλάτη και μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Αναπαράσταση αυτής της δόνησης απαιτεί ανάλυση της διαδικασίας της καταγραφής και ψηφιοποίησης των επιταχυνσιογραμμάτων.

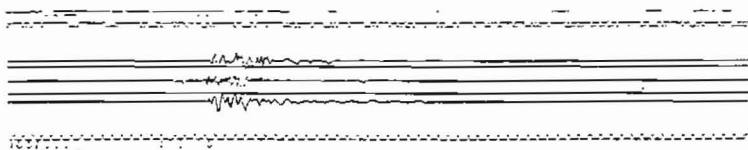
Η παρουσίαση αρχίζει με την εφαρμογή διαφορετικών διαδικασιών διόρθωσης στην περιοχή των συχνοτήτων σε συγκεκριμένα Ελληνικά επιταχυνσιογραμματα. Με βάση αυτήν την ανάλυση ακολουθούν παραδείγματα προσδιορισμού από τα επιταχυνσιογραμματα των παραμέτρων των σεισμών που έδωσαν αυτές οι καταγραφές.

ΧΡΗΣΙΜΑ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Η αναλογική κυματομορφή περιέχει χρήσιμες πληροφορίες, όπως αναγνώσεις από κορυφή σε κορυφή (peak to peak), αναγνώριση αφίξεων διαφορετικών φάσεων σεισμικών κυμάτων και απομόνωση σημαντικών παλμών. Περισσότερα και ακριβέστερα

στοιχεία προκύπτουν μετά από την ψηφιοποίηση του οπτικού αναλόγου. Τα στοιχεία αυτά είναι χρησιμὰ εφόσον έχουν απαλλαγεί από σφάλματα κατά τη διάρκεια της καταγραφής και της ψηφιοποίησης.

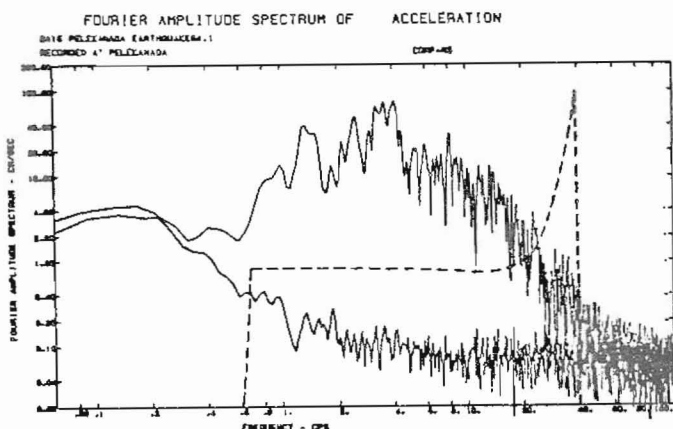
Η αναλογική μορφή περιλαμβάνει τις τρεις συνιστώσες της σχετικής κίνησης του επιταχυνσιομέτρου και σταθερά ιχνη αναφοράς της βάσης του καταγραφέα (Σχ. 1). Η πειραματική



Σχ. 1 Αναλογική μορφή του επιταχυνσιογράμματος του κύριου σεισμού της Καλαμάτας (13.9.1986). (Αναγνωστόπουλος και συνεργ. 1986)

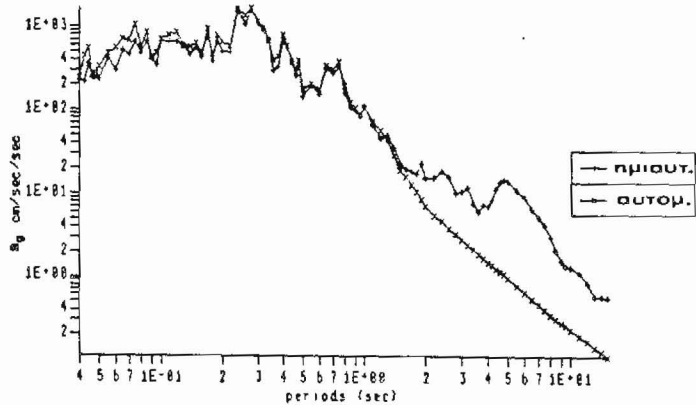
διαδικασία διόρθωσης στηρίζεται στη σύγκριση των ψηφιακών μορφών των καταγραφών και των σταθερών ιχνών αναφοράς. Στη σύγκριση αυτή τα ψηφιοποιημένα ιχνη συγκεντρώνουν τα σφάλματα πλάτους καταγραφής και ψηφιοποίησης (σφάλματα στο χρόνο θεωρούνται συνήθως αμελητέα αλλά μπορούν να ελεγχθούν με ψηφιοποίηση των ισόχρονων ενδείξεων στο κάτω μέρος του σχήματος 1). Για συχνότητες γύρω από και μεγαλύτερες από την ιδιοσυχνότητα του οργάνου απαιτείται και διόρθωση για μη σταθερά απόκριση του επιταχυνσιομέτρου. Η διόρθωση αυτή, για τυπική απορροή επιταχυνσιογράφων (60%), συνεπάγεται ενίσχυση των φασματικών τιμών στην περιοχή των μεγάλων συχνοτήτων.

Τα αποτελέσματα της διόρθωσης επιταχυνσιογραμμάτων από το δίκτυο του ΙΤΣΑΚ παρουσιάζονται για δύο σεισμούς: το μικρό σεισμό της Πελεκανάδας (25.10.1984, $M_L=4.7$, $\Delta=27\text{km}$) και το μεγάλο σεισμό της Κεφαλλονιάς (17.1.1983, $M_L=6.5$, $\Delta=128\text{km}$) (Αναγνωστόπουλος και συνεργ. 1985). Το επιταχυνσιογράμμα της Πελεκανάδας έδωσε μετά από αυτόματη ψηφιοποίηση τα φάσματα Fourier του οχήματος 2. Το οχήμα 2 δείχνει χρήσιμο εύρος



Σχ.2 Το φάσμα Fourier της συνιστώσας NS και της Fixed-trace από το επιταχυνσιογράμμα του σεισμού της Πελεκανάδας (25.10.1984) .

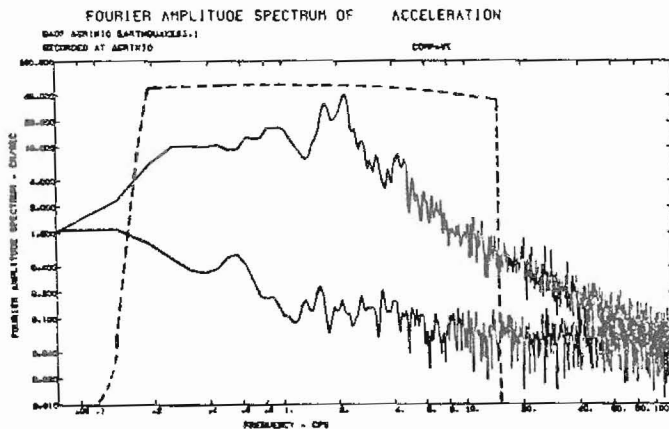
συχνοτήτων 0.65–40 hz. Με βάση αυτό το εύρος, ορίσθηκε το ψηφιακό φίλτρο, όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα. Το φίλτρο περιλαμβάνει και διόρθωση μεγάλων συχνοτήτων του επιταχυνσιομέτρου (ιδιοσυχνότητα 25hz) .Το επιταχυνσιογράμμα ψηφιοποιήθηκε και από χειριστή. Στο σχήμα 3 γίνεται σύγκριση



Σχ.3 Σύγκριση της ημιαυτόματης και της αυτόματης επεξεργασίας του επιταχυνσιογράμματος του σεισμού της Πελεκανάδας(25.10.1984).

των διορθωμένων φασμάτων απόκρισης από την αυτόματη και την ημιαυτόματη ψηφιοποίηση. Για την ημιαυτόματη ψηφιοποίηση έγινε διόρθωση με σταθερό φίλτρο της διαδικασίας CALTECH(Trifunac 1970,Trifunac et al. 1971). Τα δύο φάσματα διαφέρουν σε μεγάλες περιόδους ($T > 2$ sec).

Το επιταχυνσιογράμμα του Αγρινίου, από το σεισμό της Κεφαλλονιάς, ψηφιοποιήθηκε από χειριστή και από το αυτόματο σύστημα ψηφιοποίησης του ENEA. Τα αντίστοιχα φάσματα Fourier φαίνονται στο Σχ.4. Για αυτή τη μικρού πλάτους καταγραφή το

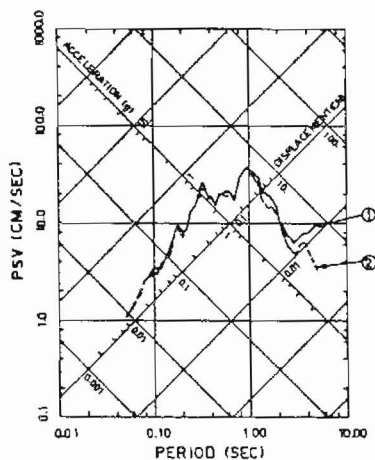


Σχ.4 Το φάσμα Fourier της συνιστώσας EW και της Fixed trace από το επιταχυνσιόγραμμα του σεισμού της Κεφαλλονιάς (17.1.1983) όπως καταγράφηκε στην πόλη του Αγρινίου.

αυτόματο σύστημα ψηφιοποίησης μείωσε σημαντικά το θόρυβο (noise) της καταγραφής και έδωσε χρήσιμο εύρος συχνοτήτων 0.2-15 hz. Το αντίστοιχο φίλτρο διόρθωσης φαίνεται στο ίδιο σχήμα και είναι λίγο αλλοιωμένο από την απόκριση του επιταχυνσιομέτρου σε μεγάλες συχνότητες .

Μία ακραία περίπτωση ψηφιοποίησης-διόρθωσης φαίνεται στο οχήμα 5. Το πρωτότυπο επιταχυνσιόγραμμα καταγράφηκε στη

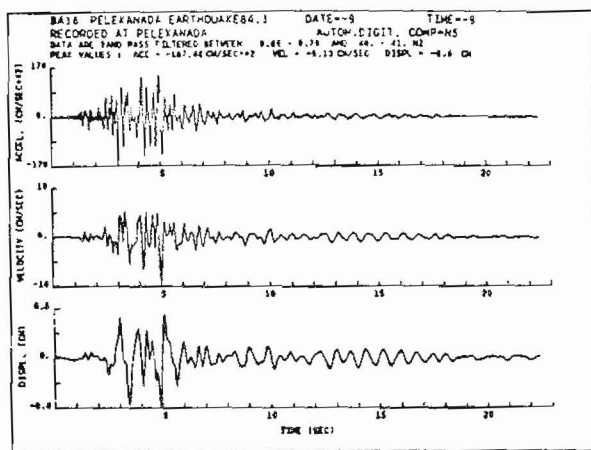
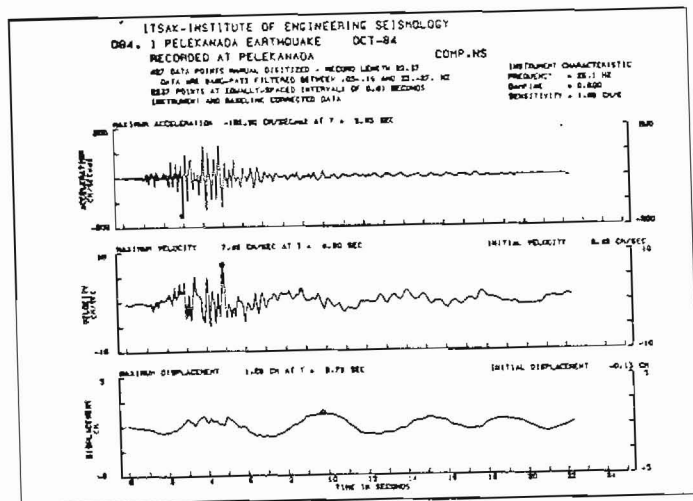
ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ
ΣΕΙΣΜΟΥ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ 1978
DAMPING=.05 COMP=LONG



Σχ.5 Σύγκριση επεξεργασίας του επιταχ/ματος του σεισμού της θεσ/νίκης 1978 όπως καταγράφηκε στο City Hotel και επεξεργασθηκε (1) από το EMΠ από την πρωτότυπη καταγραφή και (2) από το IZIIS από φωτοτυπία.

θεσ/νίκη από το σεισμό του 1978 και αναλύθηκε στην Ελλάδα (Carydis 1983). Φωτοαντίγραφο αυτής της καταγραφής αναλύθηκε στη Γιουγκοσλαβία (Petrovski et al. 1978). Παρ'όλη την παράλλαξη του φωτοαντιγράφου (που ισοδυναμεί με σοβαρό συστηματικό σφάλμα ψηφιοποίησης) και τη διαφορετική ψηφιοποίηση από τα 2 ερευνητικά κέντρα, η επαλληλία των δύο φασμάτων απόκρισης στο σχήμα 5 είναι ικανοποιητική για περιόδους $T < 2$ sec.

Τα χαρακτηριστικά της καταγραφής-ψηφιοποίησης επηρεάζουν αντίστοιχα την κυματομορφή της ισχυρής σεισμικής κίνησης. Σαν συνέχεια, η αναπαράσταση αυτής της κίνησης γίνεται με κάποια απροσδιοριστία που είναι σοβαρότερη στην περίπτωση της εδαφικής μετάθεσης. Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται



Σχ.6 Σύγκριση των διορθωμένων τιμών του επιτ/ματος του σεισμού της Πελεκανάδας (25.10.1984) μετά από την (α) ημιαυτόματη και (β) την αυτόματη επεξεργασία.

η διορθωμένη κυματομορφή του ίδιου επιταχυνσιογραμματος (Πελεκανάδας 1984) μετά την ημιαυτόματη και την αυτόματη ψηφιοποίηση. Στην ημιαυτόματη διαδικασία μπορούμε να αναγνωρίσουμε διαφορές στην περιοχή των μεγάλων περιόδων για την εδαφική ταχύτητα ενώ οι διαφορές αυτές παρουσιάζονται

αυξημένες στην εδαφική μετατόπιση. Παρόμοιες παρατηρήσεις έκαναν οι Basili και Brady(1978) και ο Sabetta(1985) κατά την επεξεργασία Ιταλικών καταγραφών.

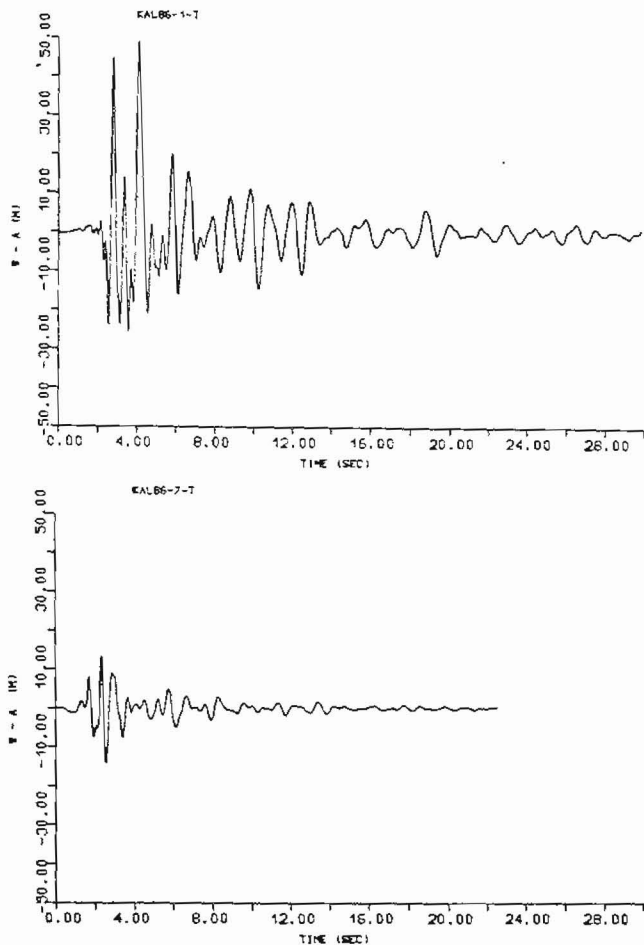
ΑΣΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Τα επιταχυνσιογράμματα περιγράφουν με ακρίβεια την κίνηση του εδάφους σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων και μεγάλα πλάτη. Για γενικές εφαρμογές περιορισμοί προκύπτουν από το χρήσιμο εύρος καταγραφής-ψηφιοποίησης, χαρακτηριστικά του οργάνου, χωρική διάταξη του δικτύου και εδαφικές συνθήκες στις θέσεις των επιταχυνσιογράφων.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΠΟΚΕΝΤΡΩΝ. Οι αναλογικοί επιταχυνσιογράφοι έχουν ένα σημαντικό μειονέκτημα έναντι των ψηφιακών (εφοδιασμένων με προ-μνήμη) ως προς τις πρώτες αφίξεις: η καταγραφή αρχίζει, με καθυστέρηση 0.1sec, όταν ο διεγέρτης υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή εδαφικής επιτάχυνσης(συνήθως 0.01g). Έτσι το αναλογικό επιταχυνσιογράμμα δίνει αφίξεις S-t, όπου t ο χρόνος διέγερσης του οργάνου. Το t εξαρτάται από τον τύπο του διεγέρτη : κατακορυφοί διεγέρτες έχουν δώσει χρόνους -1 sec σχετικά με οριζόντιους διεγέρτες (Hudson 1974). Το δίκτυο του ΙΤΣΑΚ είναι εφοδιασμένο με κατακόρυφους διεγέρτες. Με την προϋπόθεση ότι η διέγερση γίνεται από κύματα P παραμένει το πρόβλημα αν η πρώτη τέτοια άφιξη ξεπέρασε το όριο διέγερσης. Το πρόβλημα είναι σοβαρότερο σε μακρινές και ασθενέστερες καταγραφές. Επιταχυνσιογράμματα κοντινού πεδίου (near field) έχουν χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με σεισμολογικές καταγραφές, για τον προσδιορισμό επικέντρων στον Ελληνικό χώρο (Parazachos et al. 1988). Προσδιορισμός μόνο από επιταχυνσιογράμματα θα απαιτούσε αριθμό ικανοποιητικών καταγραφών με ακριβή κοινό χρόνο. Τέτοιοι προσδιορισμοί είναι ακριβέστεροι όταν διατίθεται μοντέλο ταχυτήτων διάδοσης σεισμικών κυμάτων από τοπικό δίκτυο σεισμογράφων.

ΑΠΟΣΒΕΣΗ - ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΠΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ. Οι προσδιορισμοί αυτοί είναι αλληλένδετοι και αναφέρονται σε στατιστική περιγραφή του απλοποιημένου πεδίου γύρω από τη σημειακή σεισμική πηγή. Οι υπολογισμοί είναι αλληλένδετοι διότι ο προσδιορισμός μεγέθους στηρίζεται στη σχέση απόσβεσης. Η στατιστική περιγραφή προϋποθέτει, για ένα συγκεκριμένο σεισμό, μεγάλο αριθμό επιταχυνσιογραμμάτων και καλή αξιμούθιακή χωρική κάλυψη. Ανάλυση σεισμολογικών καταγραφών στον Ελληνικό χώρο (Κυρατζή και συνεργ.1984, Scordilis et. al.1987) δεν έδειξε αποκλίσεις από τη σχέση απόσβεσης που έχει προκύψει στην California(Jennings and Kanamori 1983). Για τη σχέση αυτή έχουν αξιοποιηθεί και επιταχυνσιογράμματα. Καταγραφές ισχυρής εδαφικής κίνησης προσφέρονται για τον υπολογισμό μεγέθους M_L αφού δίνουν με ακρίβεια την κίνηση του εδάφους για μεγάλο εύρος συχνοτήτων γύρω από την ιδιοσυχνότητα του σεισμογράφου Wood-Anderson: οι υπολογισμοί παρακολουθούν τη διέγερση απλού ταλαντωτή ($T=0.8sec, J=80\%$, στατική μεγένθυση 2800) από το επιταχυνσιογράμμα. Τέτοιοι υπολογισμοί έγιναν για τρεις σειμούς : το σεισμό της Κεφαλλονιάς 1983 και τους κύριο

σεισμό και μετασεισμό της Καλαμάτας 1986. Παραδείγματα της συμπεριφοράς του απλού ταλαντωτή με τα χαρακτηριστικά του σειсмоγράφου Wood-Anderson δίνονται στο Σχ.7. Τα αντίστοιχα



Σχ.7 Συμπεριφορά απλού ταλαντωτή με τα χαρακτηριστικά του σεισογράφου W/A όπως προέκυψαν για τον κύριο σεισμό και κύριο μετασεισμό της Καλαμάτας από τα αντίστοιχα επιταχυνσιογράμματα.

μεγέθη, πριν και μετά τη διόρθωση για εδαφικές συνθήκες στη θέση των επιταχυνσιογράφων συγκρίνονται στον Πίνακα 1 με τις

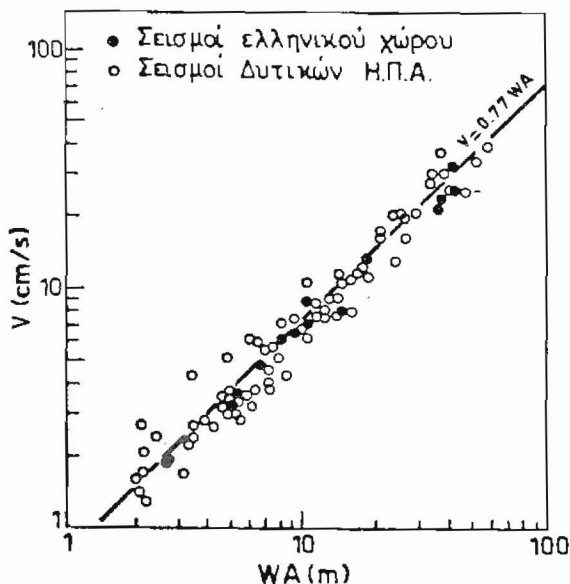
Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1

Κωδικός	R	$-\log A_0$	A_{WA}	T	M_L	$M_{LC}^{(*)}$	$M_{LC}^{(**)}$	\bar{M}_L
Συνιστώσα	(km)		(m)	(sec)	(SMA-1)	(SMA-1)	(W-A)	
KAL86-1-L	9	1.69	36.4	0.8	6.3	5.95	5.5	5.7
KAL86-1-T	9	1.69	35.0	0.8	6.2			
ATHENS-WA								
KAL86-7-L	1	1.44	36.4	0.7	6.0	5.5	4.9	5.3
KAL86-7-T	1	1.44	14.0	0.5	5.6			
KAL*86-2-L	1	1.44	18.2	0.7	5.7	5.6		
KAL*86-2-T	1	1.44	42.0	0.7	6.1			
MES*86-1-L	10	1.72	5.04	1.3	5.4	5.0		
MES*86-1-T	10	1.72	2.8	0.8	5.2			
ATHENS-WA								
ARG83-1-L	33	2.24	11.2	0.6	6.3	6.3	6.1	6.5
ARG83-1-T	33	2.24	11.2	0.5	6.3			
LEF83-1-L	105	3.04	8.4	0.8	7.0	6.7		
LEF83-1-T	105	3.04	9.8	0.7	7.0			
AGR83-1-L	128	3.21	5.6	0.7	7.0	6.75		
AGR83-1-T	128	3.21	7.0	0.6	7.1			
ATHENS-WA								

(*) Τα M_{LC} δίνουν μέσους όρους των δύο συνιστωσών, με αναγωγή σε εδαφικές συνθήκες "βράχου" κατά Heaton et al. (1986).

(**) Τα M_L του Wood-Anderson Αθηνών υπολογίσθηκαν κατά Κυρατζή (1984), από τα πλάτη καταγραφής όπως δημοσιεύθηκαν στα μηνιαία δελτία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Ε.Α.Α.

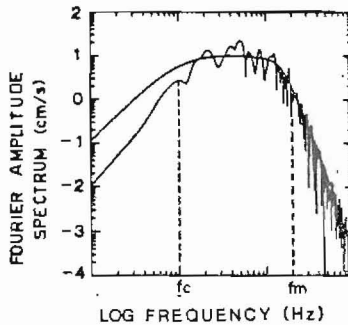
τιμές που προέκυψαν από τις καταγραφές του σειсмоγράφου Wood-Anderson στην Αθήνα. Οι διορθώσεις για τις εδαφικές συνθήκες έγιναν κατά τους Heaton et al.(1986). Οι διαφορές δείχνουν τη διασπορά με την επικεντρική απόσταση και το αξιμούθιο γύρω από την πηγή. Στατιστικά οι επιταχυνσιογράφοι μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμοι Wood-Anderson. Με αυτήν τη θεώρηση υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές ML στην τελευταία στήλη του Πίνακα 1. Στους παραπάνω υπολογισμούς οι αποστάσεις προσδιορίστηκαν από το επίκεντρο του σεισμού της Κεφαλλονιάς 17.1.1983 (Καρακώστας 1988) και από τα επίκεντρα του κυρίου σεισμού και του κύριου μετασεισμού της Καλαμάτας 13 και 15.9.1986 αντίστοιχα (Parazachos et al.1988). Η σχέση απόσβεσης ελέγχθηκε και με βάση τη γραμμική εξάρτηση V-WA (Boore 1980) όπου V η μέγιστη εδαφική ταχύτητα και WA το μέγιστο πλάτος καταγραφής του σεισογράφου Wood-Anderson. Ο έλεγχος αυτός φαίνεται στο Σχ.8.



Σχ.8 Συσχέτιση των Ελληνικών καταγραφών με τις αντίστοιχες των Δυτικών ΗΠΑ με βάση την γραμμική εξάρτηση V-WA (Boore 1980).

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ. Τα επιταχυνσιογράμματα κοντινού πεδίου καταγράφουν την κίνηση κοντά στην πηγή. Τέτοιες καταγραφές περιέχουν τις πιο άμεσες πληροφορίες σχετικά με τη σεισμική διάρρηξη αλλά προκύπτουν από ειδικά δίκτυα που δεν έχουν ακόμη εγκατασταθεί στην Ελλάδα. Στατιστική όμως περιγραφή των επιδράσεων του μηχανισμού γένεσης στη σεισμική δόνηση προκύπτει από φασματική ανάλυση επιταχυνσιογραμμάτων.

Τέτοιες αναλύσεις (Boore 1983) έδειξαν την εξάρτηση του φάσματος Fourier από δύο χαρακτηριστικές συχνότητες f_c και f_m (Σχ. 9).



Σχ.9 Εξάρτηση του φάσματος Fourier από τις δύο χαρακτηριστικές συχνότητες f_c και f_m (Boore 1983).

Η μικρή συχνότητα f_c συνδέεται με τη σεισμική ροπή M_0 και την πτώση τάσης $\Delta\sigma$ στη σεισμική πηγή :

$$f_c = 49 \cdot 10^3 \beta (\Delta\sigma / M_0)^{1/3}$$

οπου β είναι η ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων σε km/s.

Ανάλυση επιταχυνσιογραμμάτων από την California (Hanks and McGuire 1981) έδειξε ότι η παράμετρος $\Delta\sigma$ παίρνει μία σχετικά σταθερή δυναμική τιμή (100 bars) ενώ η στατική τιμή παρουσιάζει μεγάλη διασπορά με το πεδίο τιμών (6-140 bars). Για $\Delta\sigma=100$, $\beta=3\text{km/s}$ και $M_0=M_s$ για τον Ελληνικό χώρο (Kiratzi et al.1985) προκύπτει :

M_s	f_c
5	0.89
6	0.35
7	0.14

Η τιμή 0.89 είναι εμφανής στο φάσμα της Πελεκανάδας (Σχ.2) ενώ η τιμή 0.14 καλυπτεται από το θόρυβο στο φάσμα του Αγρινίου(Σχ.4). Η μεγαλύτερη συχνότητα f_m δεν δείχνει εξάρτηση από το μέγεθος του σεισμου. Ανάλυση επιταχυνσιογραμμάτων έδωσε τιμές 7-30 hz(Boore 1983) . Η συχνότητα αυτή βρίσκεται μέσα στο χρήσιμο ευρος των συχνοτήτων των σχημάτων 2 και 4.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η ανάλυση της διαδικασίας καταγραφής και ψηφιοποίησης επιταχυνσιογραμμάτων στον Ελληνικό χώρο δίνει τους περιορισμούς στην αξιοποίηση αυτών των καταγραφών. Η αξιολόγηση περιορίζεται στους οπτικούς επιταχυνσιογράφους του Εθνικού δικτύου .

Σ' αυτήν την παρουσίαση η ανάλυση ψηφιοποίησης σφαλμάτων στις καταγραφές ισχυρής σεισμικής δόνησης δόθηκε γενικά, ενώ οι εφαρμογές περιορίστηκαν σε σεισμολογικούς προοδιορισμούς. Από τη γενική ανάλυση προκύπτει ότι οι περιορισμοί αξιοπιστίας των οπτικών καταγραφών είναι σοβαρότεροι για ειδικές κατασκευές, ιδιαίτερα κατασκευές μεγάλης ιδιοπεριόδου. Οι σεισμολογικές εφαρμογές, από την άλλη μεριά, έχουν άμεση εφαρμογή στον προοδιορισμό της σεισμικής επικινδυνότητας.

Ο προοδιορισμός μεγεθών είναι ακριβής, αφού αναφέρεται σε κεντρική θέση (συχνότητα 1sec) , μέσα στο ευρύ πεδίο συχνοτήτων ακριβούς αναπαράστασης της εδαφικής επιτάχυνσης . Περισσότερη εμπειρία χρειάζεται ως προς τη συμβολή σ' αυτήν την κίνηση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών στη θέση του επιταχυνσιογράφου.

Στον προοδιορισμό επικέντρων, οι οπτικοί επιταχυνσιογράφοι έχουν σοβαρούς περιορισμούς λόγω της έλλειψης αρχικής καταγραφής και απόλυτου χρόνου. Εδώ ο ρόλος κοντινών μόνο καταγραφών είναι συμπληρωματικός αυτών από άλλα όργανα.

Τα χαρακτηριστικά του μηχανισμού γένεσης εμφανίζονται στατιστικά στα επιταχυνσιογράμματα από το Εθνικό δίκτυο μόνον εφόσον ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες στη διαδικασία καταγραφής-ψηφιοποίησης. Οι συνθήκες αναφέρονται σε υψηλές ή χαμηλές συχνότητες και είναι λιγότερο περιοριστικές για την αυτοματη ψηφιοποίηση.

Σημαντική βελτίωση στην αξιοποίηση επιταχυνσιογραμμάτων στον Ελληνικό χώρο προϋποθέτει την ενίσχυση του Εθνικού δικτύου με πρόσθετες μονάδες καταγραφής (θεοδουλίδης και συνεργ. 1986) και την εγκατάσταση ειδικών δικτύων (θεοδουλίδης και συνεργ. 1988). Τα τελευταία προσφέρονται στην αξιοποίηση της ψηφιακής τεχνολογίας. Ψηφιακά ειδικά δίκτυα, πέρα από τη βελτιωμένη χωρική διάταξη, αυξάνουν σημαντικά το χροίμο εύρος καταγραφής (στην περιοχή μικρών πλατών) και το χροίμο εύρος συχνοτήτων. Ακόμη, εφόσον είναι εφοδιασμένοι με προμνήμη, οι ψηφιακοί καταγραφείς αποτυπώνουν την αρχική εδαφική κίνηση που χάνεται στα οπτικά όργανα.

Καταγραφές ισχυρής δόνησης στον Ελληνικό χώρο έχουν δημιουργήσει τις πειραματικές συνθήκες για σεισμολογικές εφαρμογές κοντινού πεδίου και το πειραματικό υπόβαθρο για τον αντισεισμικό υπολογισμό. Η ανάλυση αυτή, σ' αυτό το στάδιο, έχει διπλό σκοπό, (α) να προσαρμόσει γενικές στατιστικές σχέσεις ισχυρής σεισμικής κίνησης στις ελληνικές συνθήκες και (β) να τεκμηριώσει τον προγραμματισμό εγκατάστασης ειδικών ψηφιακών δικτύων σε συγκεκριμένες θέσεις του Ελληνικού χώρου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστίες εκφράζονται από τους συγγραφείς προς τα δύο κέντρα επεξεργασίας και ανάλυσης επιταχυνσιογραμμάτων το IZILS Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology Γιουγκοσλαβία, και το ΕΚΕΑ της Ιταλίας για τη βοήθεια στην ανάλυση των Ελληνικών καταγραφών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Μάργαρης, Β.Ν., Θεοδοουλίδης, Ν.Π., Βορριάς Ε.Ε. και Μαρίνος, Α.Ι. 1985. Δελτία καταγραφής ισχυρών σεισμικών κινήσεων από το δίκτυο του ΙΤΣΑΚ (Περίοδος 1980-1985). "Εργασία ΙΤΣΑΚ:85-01", 1-42.
2. Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Θεοδοουλίδης, Ν.Π., Λεκίδης, Β.Α. και Μάργαρης, Β.Ν. 1986. Οι σεισμοί της Καλαμάτας του Σεπτεμβρίου 1986. "Εργασία ΙΤΣΑΚ:86-06, Ειδική Εκδ. Τ.Ε.Ε.", 1-103.
3. Basili, M. and Brady, G. 1978. Low frequency filtering selection of limits for accelerogram corrections. "6th Europ. Conf. on Earthq. Engin., Dubrovnik".
4. Boore, D.M. 1980. On the attenuation of peak velocity. "Proc of the 7th Conf. on Earthq. Engin., Instabul". II, 577-584.
5. Boore, D.M. 1983. Stochastic simulation of high-frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra. "Bull. Seism. Soc. Am.", 73, 1865-1894.
6. Carydis, P., Drakopoulos, J., Pantazopoulou, S. and Taflambas, J. 1983. Evaluation of the June 20 and July 5, 1978, Thessaloniki strong motion records. "The Thessaloniki, Northern Greece, Earthquake of June 20, 1978 and its sequence. Editors B.C. Papazachos and P.G. Carydis.", 1-451.
7. Hanks, T.C. and McGuire, R.K. 1981. The character of the high-frequency strong ground motion. "Bull. Seis. Soc. Am." 6, 2071-2095.
8. Heaton, T.H., Fumiko, T. and Moris, A.W. 1986. Estimating ground motion using recorded accelerograms. "Surveys in Geophysics.", 8, 25-83.
9. Hudson, D.E. 1974. Ground motion measurements in Earthquake Engineering. "In Earthquake Engineering (Jai Krishna Volume)", Savita Prakashan, Meerut, India.
10. Θεοδοουλίδης, Ν.Π., Μάργαρης, Β.Ν. και Παπασταρατίου, Δ.Ι. 1986. Σχεδιασμός δικτύου επιταχυνσιογράφων. "Εργασία ΙΤΣΑΚ: 86-04", 1-148.
11. Θεοδοουλίδης, Ν.Π., Μάργαρης, Β.Ν. και Παπασταρατίου, Δ.Ι. 1988. Προγραμματισμός μετασεισμικών μελετών. "Εργασία ΙΤΣΑΚ: 88-03", 1-33.
12. Jennings, P.C. and Kanamori, H. 1983. Effect of distance on local magnitudes found from strong-motion records. "Bul. Seis. Soc. Am.", 73, 265-280.
13. Καρακώστας, Β. 1988. Σχέση της σεισμικής δράσης με γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου. " Διδακτ. Διατριβή, Παν.

- θεο/νίκης.", 1-243.
14. Κυρατζή, Α.Α., Σκορδιλής, Ε.Μ., Θεοδουλίδης, Ν.Π. και Παπαζάχος, Β.Κ. 1984. Ιδιότητες των σεισμικών εστιών και του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων που καθορίζουν τις σεισμικές βλάβες στον Ελληνικό χώρο. "Συνέδριο σεισμολογίας και κατασκευών, Αθήνα 1984." ΙΙ, 262-274.
 15. Κυρατζή, Α.Α. 1984. Κλίμακες μεγεθών των σεισμών στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου. "Διδακτ. Διατριβή, Παν. Θεο/νίκης", 1-189.
 16. Kiratzi, A.A., Karakaisis, G.F., Papadimitriou, E.E. and Papazachos, B.C. 1985. Seismic source-parameter relations for earthquakes in Greece. "Pageoph", 123, 27-41.
 17. Papazachos, B.C., Kiratzi, A.A., Karakostas, B., Panagiotopoulos, D., Scordilis, E. and Mountrakis, D.M. 1988. Surface fault traces, fault plane solution and spatial distribution of the aftershocks of the September 13, 1986 earthquake of Kalamata (Southern Greece). "Pageoph", 126, 55-68.
 18. Petrovski, J., Petrovski, D., Naumovski, N. and Zelenovic, V. 1978. The Thessaloniki earthquake of June 20, 1978. "IZIIS Publication No 63", III, 1-30.
 19. Sabetta, F. 1985. Data processing in strong ground motion seismology. "Workshop on Investigation of strong motion processing procedures." I, 140-166.
 20. Scordilis, E.M., Theodoulidis, N.P., Hatzidimitriou, P.M., Panagiotopoulos, D.G. and Hatzfeld, D. 1987. Microearthquake study and near field seismic wave attenuation in the Mygdonian graben (Northern Greece). "Bulgarian-Greek Symposium for Rhodope Mass.", Smolen, Bulgaria.
 21. Trifunac, M.D. 1970. Low frequency digitization errors and a new method for zero baseline correction of strong motion accelerograms. "Report No EERL 70-07", 1-55.
 22. Trifunac, M.D., Udvardi, F.E. and Brady, A.G. 1971. High frequency errors and instrument correction of strong motion accelerograms. "Report No EERL 71-05", 1-47.