ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π. ΘΕΟΔΟΥΛΙΔΗΣ

ΓΕΩΛΟΓΟΣ-ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΟΣ
ΤΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΠΟΥ ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΟΥ Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 1991

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Β. ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ	Καθηγητής
Α. ΚΥΡΑΤΖΗ	Επίκουρος Καθηγήτρια
Π. ΧΑΤΖΗΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Επίκουρος Καθηγητής

ΠΕΝΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Β. ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ	Καθηγητής
Ι. ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ	Καθηγητής
Κ. ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΣ	Αναπληρωτής Καθηγητής
Δ. ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ	Επίκουρος Καθηγητής
Π. ΧΑΤΖΗΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	Επίκουρος Καθηγητής

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα.
(Ν. 5343/1932, 202 παρ. 2)

...στους Δασκάλους μου...

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

		Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....		i
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο.	: Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η.....	1
1.1.	Ισχυρή Σεισμική Εδαφική Κίνηση.....	1
1.1.1.	Δεδομένα και χαρακτηριστικά της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης.....	1
1.1.2.	Επεξεργασία των επιταχυνσιογραμμάτων	8
1.1.2.1.	Γενικά.....	8
1.1.2.2.	Παράμετρος της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης.....	13
1.2.	Παράγοντες στην Πρόβλεψη της Ισχυρής Σεισμικής Εδαφικής Κίνησης.....	19
1.2.1.	Γενικά.....	19
1.2.2.	Σεισμική Πηγή.....	21
1.2.3.	Δρόμος διάδοσης.....	35
1.2.4.	Θέση καταγραφής.....	37
1.3.	Εμπειρικές Σχέσεις Απόσβεσης και Προσομοίωση της Ισχυρής Σεισμικής Εδαφικής Κίνησης.....	46
1.4.	Συσχέτιση της Ισχυρής Σεισμικής Εδαφικής Κίνησης με τη Μακροσεισμική Ενταση	57
1.5.	Σεισμοτεκτονικά Χαρακτηριστικά και Σεισμικότητα του Ελληνικού Χώρου και των Γύρω Περιοχών.....	62
1.6.	Σεισμικές Κινήσεις Σχεδιασμού	70
1.7.	Αντικείμενο της Διατριβής.....	77
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο.	: ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.....	79
2.1.	Εισαγωγή.....	79

Σελίδα

2.2.	Απόσβεση της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης (a_g, v_g, d_g), Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου.....	81
2.2.1.	Δεδομένα παρατήρησης.....	81
2.2.2.	Μεθοδολογία.....	111
2.2.3.	Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής κίνησης, (a_g, v_g, d_g), επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.....	122
2.3.	Απόσβεση της Οριζόντιας Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, (a_g, v_g, d_g,), Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Δεδομένα Σεισμών Μεγεθών Ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$ από Αλλες Περιοχές.....	159
2.3.1.	Κριτήρια επιλογής επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών με μεγέθη ροπής $7.0<Mw\leq 7.5$.....	159
2.3.2.	Δεδομένα παρατήρησης.....	159
2.3.3.	Μεθοδολογία.....	163
2.3.4.	Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης,(a_g, v_g, d_g), επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$, από άλλες περιοχές.....	163
2.4.	Απόσβεση της Οριζόντιας Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, (a_g, v_g, d_g), Σεισμών Ενδιαμέσου βάθους.....	176
2.4.1.	Κριτήρια επιλογής επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών ενδιαμέσου βάθους.....	176
2.4.2.	Δεδομένα παρατήρησης.....	177
2.4.3.	Μεθοδολογία.....	189

Σελίδα

2.4.4. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης, (a_g, v_g, d_g), σεισμών ενδιαμέσου βάθους..... 190

2.5. Συγκρίσεις Σχέσεων Απόσβεσης της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Εδαφικής Κίνησης και Συμπεράσματα..... 203

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο. : ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ..... 230

3.1. Εισαγωγή..... 230

3.2. Συσχέτιση της Μέγιστης Οριζόντιας και Κατακόρυφης Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, (a_g, v_g, d_g), με τη Μακροσεισμική Ενταση, I_{MM}, Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου..... 231

3.2.1. Δεδομένα παρατήρησης..... 231

3.2.2. Μεθοδολογία..... 236

3.2.3. Σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης ισχυρής κίνησης, (a_g, v_g, d_g), και της μακροσεισμικής έντασης, I_{MM}, επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου..... 237

3.3. Συσχέτιση της Μέγιστης Οριζόντιας Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, (a_g, v_g, d_g), με τη Μακροσεισμική Ενταση, I_{MM}, (α) Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους και (β) Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Δεδομένα Σεισμών Μεγεθών Ροπής $7.0<Mw\leq7.5$, από Αλλες Περιοχές..... 247

3.3.1. Σεισμοί ενδιαμέσου βάθους..... 247

Σελίδα

3.3.2. Στοιχεία επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής 7.0<Mw≤ 7.5 άλλων περιοχών..... 260

3.4. Συγκρίσεις Σχέσεων Μεταξύ της Μέγιστης Οριζόντιας - Κατακόρυφης Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης και της Μακροσεισμικής Εντασης και Συμπεράσματα.. 262

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΑΣ, PSV(T), ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ..... 269

4.1. Εισαγωγή..... 269

4.2. Απόσβεση της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου..... 270

4.2.1. Δεδομένα παρατήρησης και έλεγχος ομοιογένειας του δείγματος..... 270

4.2.2. Μεθοδολογία..... 290

4.2.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας και κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου..... 291

4.3. Απόσβεση της Οριζόντιας Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Στοιχεία Σεισμών Μεγεθών Ροπής, 7.0≤Mw≤7.5, Αλλων Περιοχών... 327

4.3.1. Δεδομένα παρατήρησης..... 327

4.3.2. Μεθοδολογία..... 332

Σελίδα

4.3.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, 7.0<Mw≤7.5, άλλων περιοχών..... 332

4.4. Απόσβεση της Οριζόντιας Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους..... 338

4.4.1. Δεδομένα παρατήρησης..... 338

4.4.2. Μεθοδολογία..... 342

4.4.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), σεισμών ενδιαμέσου βάθους..... 342

4.5. Συγκρίσεις Σχέσεων Απόσβεσης της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), και Συμπεράσματα..... 350

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο. : ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ..... 371

5.1. Εισαγωγή..... 371

5.2. Συσχέτιση της Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), με τη Μακροσεισμική Ενταση, I_{MM}, Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου..... 372

5.2.1. Δεδομένα παρατήρησης..... 372

5.2.2. Μεθοδολογία..... 372

5.2.3. Σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), και της μακροσεισμικής έντασης, I_{MM}, επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου 373

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ισχυρή Σεισμική Εδαφική Κίνηση

1.1.1. Δεδομένα και χαρακτηριστικά της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης

Η σεισμική εδαφική κίνηση η οποία έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει βλάβες στα αρχιτεκτονικά ή στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής, ονομάζεται ισχυρή σεισμική εδαφική κίνηση. Επομένως, αυτή η εδαφική κίνηση είναι το αίτιο καταπόνησης των κατασκευών κατά τη διάρκεια του σεισμού. Δεν είναι με ακρίβεια γνωστό το κατώτατο όριο κάποιας παραμέτρου της κίνησης αυτής, αλλά από την εμπειρία του παρελθόντος φαίνεται ότι το όριο αυτό, όσον αφορά την εδαφική επιτάχυνση, κυμαίνεται μεταξύ 1% και 10% της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Η πραγματική τιμή βέβαια εξαρτάται από τη συχνότητα και τη διάρκεια της κίνησης καθώς επίσης και από τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής (Campbell 1987).

Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης σε έναν τόπο μπορεί να γίνει ποιοτικά ή ποσοτικά. Η μακροσεισμική ένταση, με την οποία μετρούνται τα αποτελέσματα της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης στον άνθρωπο, στις κατασκευές και στο φυσικό περιβάλλον, είναι ο αρχαιότερος τρόπος καθορισμού της σφοδρότητας του σεισμού και έχει υποστεί με το χρόνο σημαντικές βελτιώσεις. Παραμένει όμως λόγω της φύσης της ημιποσοτική παράμετρος.

Εχει κατά το παρελθόν προταθεί πλήθος κλιμάκων μέτρησης της μακροσεισμικής έντασης για διάφορες περιοχές της Γης για τις οποίες εκτεταμένη ανασκόπηση γίνεται από το Medvedev (1965) και

Barosh (1969). Σήμερα οι δεσπόζουσες μακροσεισμικές κλίμακες είναι εκείνη των Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS) (Richter 1958), των Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK) (Karnik 1969), η τροποποιημένη κλίμακα Mercalli (MM) (Wood and Neuman 1931) και η Ιαπωνική κλίμακα JMA (Japan Meteorological Agency) (Okamoto 1973). Για τον Ελληνικό χώρο έχει χρησιμοποιηθεί για την περίοδο 1950-1981 μια Ελληνική παραλλαγή της τροποποιημένης κλίμακας Mercalli (Papazachos et al. 1982).

Σύμφωνα με τον Hudson (1970) οποιαδήποτε μελέτη στην Αντισεισμική Τεχνολογία που πρόκειται να έχει μια έγκυρη επιστημονική θεμελίωση πρέπει να βασίζεται στην ακριβή γνώση της κίνησης του εδάφους κατά τη διάρκεια καταστρεπτικών σεισμών. Τέτοια γνώση μπορεί να αποκτηθεί μόνο με την πραγματική μέτρηση στην επικεντρική περιοχή των ισχυρών σεισμών.

Η ποσοτική καταγραφή των αποτελεσμάτων της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης σε μια θέση απασχόλησε σοβαρά τους επιστήμονες από τις αρχές του παρόντα αιώνα. Η επιστήμη της Τεχνικής Σεισμολογίας εξελίχθηκε σημαντικά μετά από το σεισμό της Santa Barbara του 1925 όταν η κυβέρνηση των Η.Π.Α. ψήφισε νόμο με τον οποίο ζητούσε από την Αμερικάνικη Γεωλογική Υπηρεσία (USCGS) μελέτη και αναφορά σχετικά με την καταστρεπτική εδαφική κίνηση (Campbell 1987). Μέρος αυτού του προγράμματος προέβλεπε την ανάπτυξη ορισμένων πρωτότυπων οργάνων μέτρησης της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης. Η πρώτη εγκατάσταση τέτοιων οργάνων έγινε το 1932 σε επιλεγμένα κτίρια στην περιοχή του Los Angeles και του San Francisco. Οι πρώτες σημαντικές καταγραφές από εκείνα τα όργανα αποκτήθηκαν σε λιγότερο από ένα χρόνο, στις 10 Μαρτίου 1933, μετά το σεισμό μεγέθους 6.3 που συνέβη στην περιοχή του Los Angeles. Ενα όργανο ήταν εγκατεστημένο στο υπόγειο ενός δημόσιου κτιρίου στο κέντρο της πόλης Long Beach, μια περιοχή όπου υπήρξαν εκτεταμένες καταστροφές κτιρίων με λιθοδομή. Το όργανο αυτό κατέγραψε μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση 0.25 g και έδωσε στους μηχανικούς το πρώτο σημείο αναφοράς για τη συσχέτιση βλαβών με τα πλάτη της εδαφικής κίνησης.

Η Αμερικάνικη Γεωλογική Υπηρεσία αρχικά ανέπτυξε τρεις τύπους σεισμομέτρων ισχυρής κίνησης: τον επιταχυνσιογράφο, το μεταθεσιογράφο και το σεισμογράφο Weed (Campbell 1987). Τα δύο πρώτα όργανα σχεδιάσθηκαν για τη μέτρηση της εδαφικής επιτάχυνσης, με φυσική ιδιοσυχνότητα 10 Hz, και της εδαφικής μετάθεσης, με φυσική ιδιοσυχνότητα 0.1 Hz, αντίστοιχα, καλύπτοντας όλες τις συχνότητες που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην Αντισεισμική Τεχνολογία. Ο σεισμογράφος Weed, με φυσική ιδιοσυχνότητα 0.2 Hz, σχεδιάσθηκε για τη μέτρηση της εδαφικής επιτάχυνσης στις ενδιάμεσες περιόδους. Λόγω του ενδιαφέροντος της Αντισεισμικής Τεχνολογίας για την εδαφική επιτάχυνση των σχετικά υψηλών συχνοτήτων, ο επιταχυνσιογράφος αναδείχθηκε ως το κύριο όργανο μέτρησης της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης.

Σύμφωνα με τον Hudson (1983) τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα συστήματα επιταχυνσιογράφων μέχρι σήμερα διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

α. Εκείνη στην οποία ο μετατροπέας ενέργειας (transducer) είναι μηχανικό σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας, η μεγέθυνση γίνεται με μηχανικούς μοχλούς και η εδαφική κίνηση καταγράφεται σε κηρωτό χαρτί. Στην κατηγορία αυτή ανήκει η σειρά των Ιαπωνικών επιταχυνσιογράφων SMAC.

β. Εκείνη στην οποία ο μετατροπέας ενέργειας είναι παρόμοιος με αυτόν της προηγούμενης κατηγορίας, η μεγέθυνση γίνεται με οπτικά μέσα και η εδαφική κίνηση αποτυπώνεται σε φωτογραφικό φιλμ. Ο επιταχυνσιογράφος SMA-1 (Kinemetrics Systems) ανήκει στην κατηγορία αυτή και είναι το όργανο που κυρίως υιοθετήθηκε στο εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων της χώρας μας.

γ. Εκείνη στην οποία ο μετατροπέας ενέργειας είναι εξαναγκασμένης ισορροπίας (force balance transducer), το αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακό με κατάλληλο μετατροπέα και το τελικό αποτέλεσμα αποθηκεύεται είτε σε μαγνητική ταινία είτε σε στερεάς κατάστασης μνήμη (solid state memory). Πρόκειται για τη νέα γενιά επιταχυνσιογράφων που αναπτύχθηκε κατά την τελευταία δεκαεντα-

ετία.

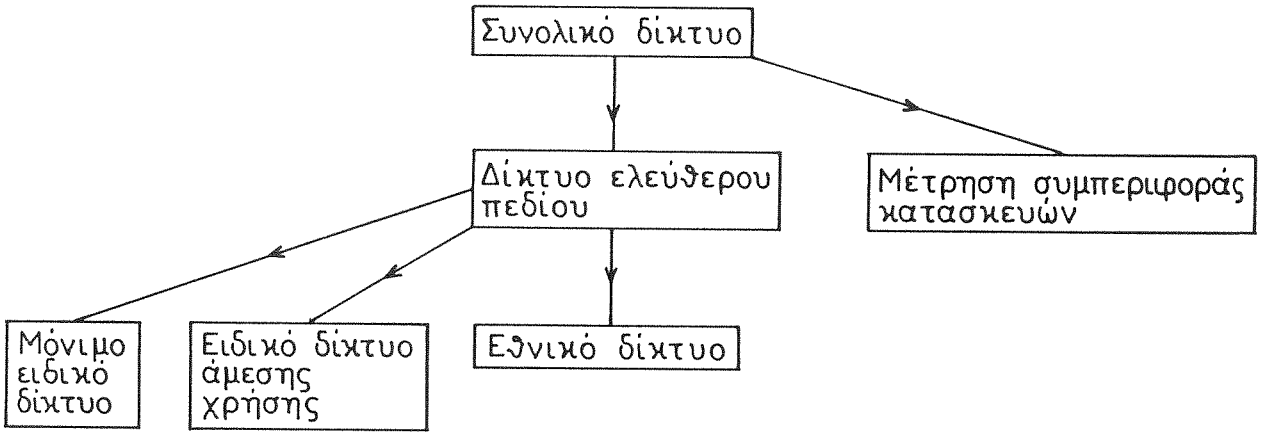
Κατά τα τελευταία έτη πολλοί νέοι τύποι επιταχυνσιογράφων έχουν σχεδιασθεί. Όλοι τείνουν στη χρήση συμπαγών ψηφιακών συσκευών παρέχοντας χωρίς καμμία αμφιβολία πλεονεκτήματα στην ποιότητα της καταγραφής και στην ταχύτητα της αριθμητικής επεξεργασίας. Ταυτόχρονα, όμως, παρουσιάζουν μειονεκτήματα που έχουν να κάνουν με το υψηλότερο κόστος κατασκευής, υψηλότερο επίπεδο απαιτούμενης εμπειρίας και εκπαίδευσης των τεχνικών για τη σωστή λειτουργία τους και με προβλήματα συντήρησης. Οι επιταχυνσιογράφοι καταγράφουν τη χρονική εξέλιξη (επιταχυνσιόγραμμα) της εδαφικής επιτάχυνσης σε μια θέση και έτσι δίνουν πλήρη εικόνα αυτής στην περιοχή του χρόνου και των συχνοτήτων. Με κατάλληλη επεξεργασία και χρήση του επιταχυνσιογράμματος, παίρνουμε το φάσμα απόκρισης ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή σε συνάρτηση με το χρόνο.

Παράλληλα με τον επιταχυνσιογράφο αναπτύχθηκε και το σεισμοσκόπιο. Αυτό σχεδιάσθηκε με το σκεπτικό να καταγράφεται ορισμένη σημαντική τιμή της καμπύλης του φάσματος απόκρισης με τον πλέον απλό τρόπο (Cloud and Hudson 1961). Υστερα από αρκετή εμπειρία αποφασίσθηκε ότι αυτή η τιμή θα εμφανίζεται στην ιδιοπερίοδο 0.75 sec, για παράγοντα απόσβεσης 10% της κρίσιμης. Η φασματική σχετική μετάθεση του επιλεγμένου, με αυτά τα χαρακτηριστικά, μονοβάθμιου ταλαντωτή καταγράφεται συνήθως σε πλάκα καπνισμένου γιαλιού. Αναπτύχθηκαν επίσης σεισμοσκόπια με μονοβάθμιους ταλαντωτές διαφόρων ιδιοπεριόδων και παραγόντων απόσβεσης που καλύπτουν το εύρος περιόδων της σχετικής φασματικής μετάθεσης από 0.08 έως 1.2 sec (Nazarov 1959, Krishna and Chandrasekaran 1965). Σύμφωνα με το Hudson (1970) είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ένα τέτοιο απλό όργανο όπως το σεισμοσκόπιο μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες όταν απαιτούνται σχετικά πολύπλοκα όργανα, όπως οι επιταχυνσιογράφοι, και υπολογισμοί για τη σχεδίαση όλης της καμπύλης της σχετικής φασματικής μετάθεσης.

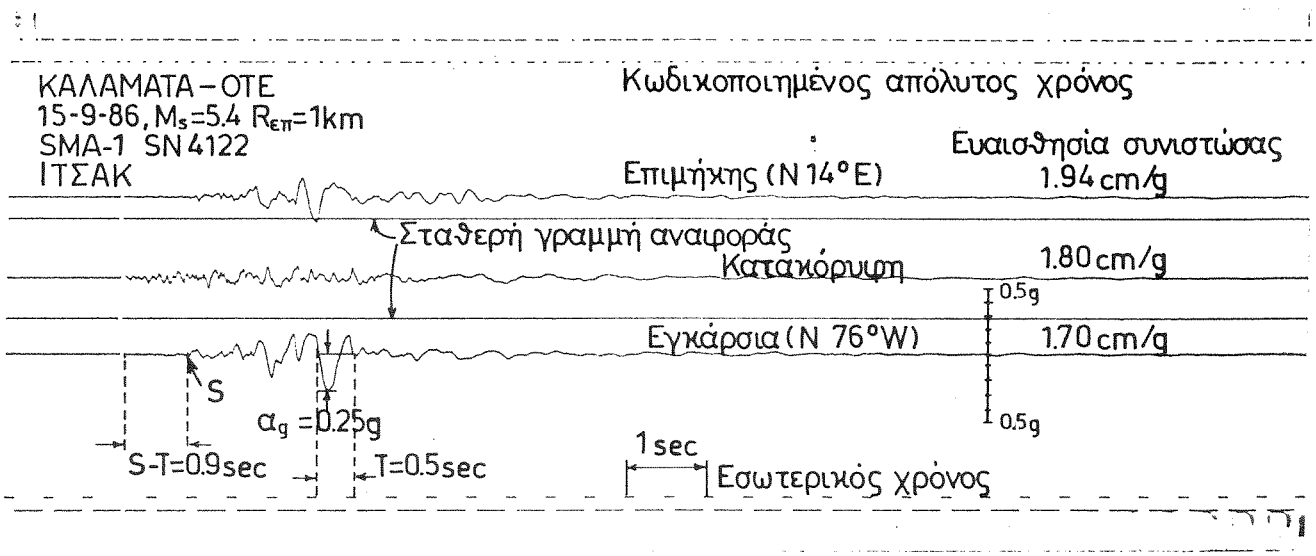
Οι περισσότεροι επιταχυνσιογράφοι έχουν εγκατασταθεί ως μεμονωμένα όργανα σε διάφορες θέσεις κυρίως σε πληθυσμιακά ανεπτυγμένα κέντρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιλογή των θέσεων εγκατάστασης καθιερώθηκε από μηχανικούς των οποίων το πρωταρχικό ενδιαφέρον ήταν η μελέτη της απόκρισης των κτιρίων και άλλων τεχνικών κατασκευών σε σεισμική διέγερση. Τα υπόλοιπα όργανα είναι διασκορπισμένα, μάλλον σποραδικά, σε ορισμένες προσιτές ενεργές σεισμικές ζώνες της Γης. Σχετικά μικρός αριθμός επιταχυνσιογράφων έχει αναπτυχθεί σε ολοκληρωμένα δίκτυα τα οποία έχουν σχεδιασθεί προκειμένου να αποκτηθούν λεπτομερείς πληροφορίες για τη σεισμική πηγή, το δρόμο διάδοσης της ισχυρής κίνησης και τη διαμόρφωσή της από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες (Iwan 1979).

Ο αριθμός των εγκατεστημένων επιταχυνσιογράφων σ' ολόκληρη την υφήλιο άρχισε να αυξάνεται απότομα μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1960, με αποτέλεσμα σήμερα αυτός να υπερβαίνει τις δέκα χιλιάδες (Campbell 1987). Η εκτεταμένη χρήση των σύγχρονων οργάνων οφείλεται κυρίως στο μειωμένο κόστος τους και στα βελτιωμένα μοντέλα. Οι πρόσφατες τεχνολογικές πρόοδοι στο πεδίο του σχεδιασμού και της κατασκευής επιταχυνσιογράφων οδήγησαν στην ανάπτυξη μεγάλων δικτύων μέτρησης της ισχυρής κίνησης.

Η καθολική οργάνωση ενός δικτύου επιταχυνσιογράφων μπορεί να συνοψισθεί στο σχήμα (1.1). Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο βασικός σκοπός εγκατάστασης δικτύων επιταχυνσιογράφων είναι η συλλογή πληροφοριών, τέτοια δίκτυα μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986). Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει το δίκτυο "ελεύθερου πεδίου" και η δεύτερη το δίκτυο μέτρησης συμπεριφοράς κατασκευών. Το δίκτυο "ελεύθερου πεδίου" περιλαμβάνει σταθμούς που δεν αλλοιώνουν σημαντικά τα σεισμικά κύματα. Το κύριο μέρος αυτού αποτελείται από το εθνικό δίκτυο πού παρέχει συνολική και σχεδόν μόνιμη κάλυψη. Το εθνικό δίκτυο πυκνώνεται στις ζώνες σεισμοτεκτονικής δραστηριότητας και αυτή η πύκνωση μεταβάλλεται με το χρόνο και στο χώρο εξαρτώμενη από προγνώσεις σεισμών μακράς διάρκειας. Στην περίπτωση κατά την



Σχ. 1.1. Οργάνωση δικτύου επιταχυνσιογράφων (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986).



Σχ. 1.2. Τυπικό επιταχυνσιόγραμμα αναλογικής μορφής.

οποία αναφέρεται σεισμική πρόγνωση, με ικανοποιητικά υψηλή πιθανότητα σε συγκεκριμένη περιοχή ή νεοτεκτονικό ρήγμα, έχουμε κάλυψη από ειδικά μόνιμα δίκτυα επιταχυνσιογράφων. Η εγκατάσταση τέτοιων δικτύων γίνεται μέσα σε χρονικά όρια που επιτρέπουν ειδικές διατάξεις στο χώρο όπως δισδιάστατα ή τρισδιάστατα ειδικά δίκτυα (Iwan 1979, Borcherdt et al. 1984, Θεοδουλίδης και συνεργ. 1988). Σε ειδικές περιπτώσεις όπου επίκειται σεισμική δραστηριότητα χρησιμοποιούνται τα ειδικά δίκτυα άμεσης χρήσης. Τέτοιες περιπτώσεις εμφανίζονται είτε σε μετασεισμικές περιόδους είτε κατόπιν σεισμικής πρόγνωσης βραχείας διάρκειας.

Το δίκτυο μέτρησης συμπεριφοράς κατασκευών αφορά στην εγκατάσταση επιταχυνσιομέτρων μέσα και γύρω από διάφορες κατασκευές, όπως φράγματα, γέφυρες, κτίρια, με βασικό σκοπό την καταγραφή κινήσεων κατά τη διάρκεια του σεισμού οι οποίες χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των κινήσεων των δομικών στοιχείων αυτών των κατασκευών σε μελλοντικές σεισμικές διεγέρσεις στην περιοχή (Housner and Jennings 1982).

Η παγκόσμια τράπεζα δεδομένων της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης αυξάνεται σημαντικά σε αριθμό με το χρόνο λόγω της αύξησης των εγκατεστημένων επιταχυνσιογράφων. Η πλέον αξιόλογη προσπάθεια συστηματικής συλλογής ψηφιοποιημένων και επεξεργασμένων επιταχυνσιογραμμάτων έχει γίνει από το Παγκόσμιο Κέντρο Δεδομένων (World Data Center-A) και το Εθνικό Κέντρο Γεωφυσικών Δεδομένων των Η.Π.Α. (National Geophysical Data Center) με σκοπό να ενθαρρύνουν τις μελέτες για την ισχυρή κίνηση σε παγκόσμια κλίμακα. Προκειμένου να διευκολυνθεί η πρόσβαση και η γρήγορη επιλογή κάποιας ομάδας δεδομένων αυτής της τράπεζας, με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος του σεισμού, η απόσταση, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, εκπονήθηκε κώδικας διαχείρισης δέκα τριών περίπου χιλιάδων συνιστωσών οι οποίες προέρχονται από 18 χώρες (Row 1989). Ασφαλώς σε ορισμένες χώρες έχουν αναπτυχθεί επί μέρους τράπεζες δεδομένων της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης από σεισμούς στην ευρύτερη περιοχή τους. Στον

Ελληνικό χώρο τέτοια προσπάθεια έχει ξεκινήσει από το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών και το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

1.1.2. Επεξεργασία των επιταχυνσιογραμμάτων

1.1.2.1. Γενικά

Ενα τυπικό επιταχυνσιόγραμμα αναλογικής μορφής δίνεται στο σχήμα (1.2) και μέχρι σήμερα η πλειονότητα των καταγραφών στην παγκόσμια τράπεζα δεδομένων έχει παρόμοια χαρακτηριστικά. Οι πληροφορίες που δίνονται από το αναλογικό επιταχυνσιόγραμμα μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Στις προκαταρκτικές πληροφορίες οι οποίες φαίνονται άμεσα στο σχήμα (1.2) ή προκύπτουν ύστερα από απλή αναγωγή και σε εκείνες που απορρέουν ύστερα από την ψηφιοποίηση και επεξεργασία της αναλογικής μορφής. Για την πρώτη κατηγορία οι πληροφορίες μπορούν να συνοψισθούν στις παρακάτω: (1) στη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, a_g, (2) στη διάρκεια της ισχυρής δόνησης ανάλογα με το προκαθορισμένο κατώτερο όριο εδαφικής επιτάχυνσης, (3) στη δεσπόζουσα περίοδο, T, που αντιστοιχεί στη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και στην κατά προσέγγιση εκτίμηση του περιεχομένου συχνοτήτων, (4) στη σχέση πλατών και συχνοτήτων μεταξύ της κατακόρυφης και οριζόντιας κίνησης (5) στην κατά προσέγγιση απόσταση του επιταχυνσιογράφου από την εστία του σεισμού (Hudson 1979). Οι πληροφορίες αυτές δίνουν συχνά ικανοποιητικές απαντήσεις σε ζωτικές πρακτικές ερωτήσεις που προκύπτουν αμέσως μετά από ένα σεισμό. Αποφάσεις σχετικές με την ανάγκη εγκατάλειψης ενός κτιρίου με βλάβες από σεισμό ή εκκένωσης δεξαμενών ή διεξαγωγής ακριβών λεπτομερών επιθεωρήσεων, δεν είναι απαραίτητο να εξαρτώνται από τη λεπτομερή ανάλυση του επιταχυνσιογράμματος αλλά συνήθως παίρνονται με ικανοποιητική ακρίβεια από την προκαταρκτική ανάλυση. Ασφαλώς η παραπέρα επεξεργασία θα βελτιώσει τις απαντήσεις και θα προσθέσει σημαντικές πληροφορίες, αλλά συνήθως δεν αλλάζει τέτοιες πρακτικές αποφάσεις.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την ψηφιοποίηση της αναλογικής μορφής του επιταχυνσιογράμματος και την παραπέρα αριθμητική επεξεργασία του. Προφανώς για τους ψηφιακούς επιταχυνσιογράφους το πρώτο βήμα είναι δεδομένο. Η ψηφιοποίηση διακρίνεται σε δύο ξεχωριστές λειτουργίες: στην επιλογή, σε διάφορες χρονικές στιγμές, σημείων του σήματος που ψηφιοποιείται και στη μετατροπή του συνεχούς αναλογικού σήματος σε μία ακολουθία αριθμών. Αυτές οι εργασίες γίνονται με τη χρήση κατάλληλης συσκευής ψηφιοποιητή, και ηλεκτρονικού υπολογιστή. Μέχρι σήμερα συναντώνται κυρίως δύο είδη ψηφιοποιητή, ο ημιαυτόματος όπου ο χειριστής παρακολουθεί με ειδικό δρομέα το αναλογικό σήμα και ο ίδιος επιλέγει σημεία του σήματος, και ο αυτόματος όπου ο χειριστής παρεμβαίνει μόνο στην τοποθέτηση του επιταχυνσιογράμματος στην ειδική τράπεζα ψηφιοποίησης (Trifunac and Lee 1979b, Basili 1987). Η ακολουθία των αριθμών που προέρχονται από την ψηφιοποίηση αποθηκεύεται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για αριθμητική επεξεργασία στη συνέχεια.

Κατά τη διάρκεια της καταγραφής του επιταχυνσιογράμματος, τη φωτογραφική επεξεργασία, την ψηφιοποίηση και την αριθμητική στη συνέχεια επεξεργασία του, υπεισέρχονται διάφορα σφάλματα τα οποία διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες : (1) στα σφάλματα υψηλών συχνοτήτων και (2) στα σφάλματα χαμηλών συχνοτήτων. Οι κύριες πηγές σφαλμάτων υψηλών συχνοτήτων σύμφωνα με τους Trifunac et al. (1973) και Basili (1987) μπορούν να συνοψισθούν στις παρακάτω:

α. Στις τροποποιήσεις από αρμονικά πλάτη ταλαντώσεων και μετατοπίσεις των φάσεων που προκαλούνται από την πεπερασμένη ιδιοσυχνότητα του επιταχυνσιομέτρου.

β. Σε παραμορφώσεις που προέρχονται από ατέλειες στην κατασκευή του επιταχυνσιομέτρου (γένεση υψηλότερων ιδιομορφών).

γ. Σε τυχαία σφάλματα ψηφιοποίησης.

δ. Σε σφάλματα που προκλήθηκαν από ανεπαρκή διακριτότητα του ψηφιοποιητή.

ε. Σε αποτελέσματα ύστερα από εφαρμογή φίλτρων διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων (low pass) σε ψηφιοποιημένο από

χειριστή επιταχυνσιόγραμμα.

Οσον αφορά τις χαμηλές συχνότητες τα σφάλματα, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, οφείλονται κυρίως:

α. Σε παραμορφώσεις που προκαλούνται από την εγκάρσια μετακίνηση του φιλμ.

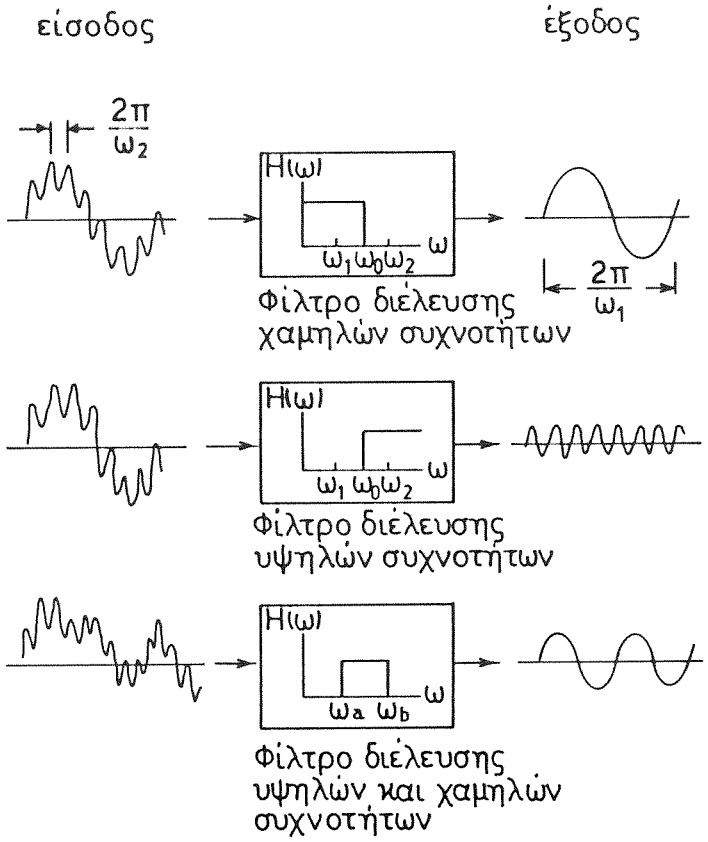
β. Σε παραμορφώσεις που οφείλονται σε στρέβλωση των καταγραφών λόγω παλαιότητας και σε παραμορφώσεις που εισάγονται κατά τη φωτογραφική επεξεργασία.

γ. Σε συστηματικές παραμορφώσεις που οφείλονται σε κατασκευαστικές ατέλειες της τράπεζας ψηφιοποίησης.

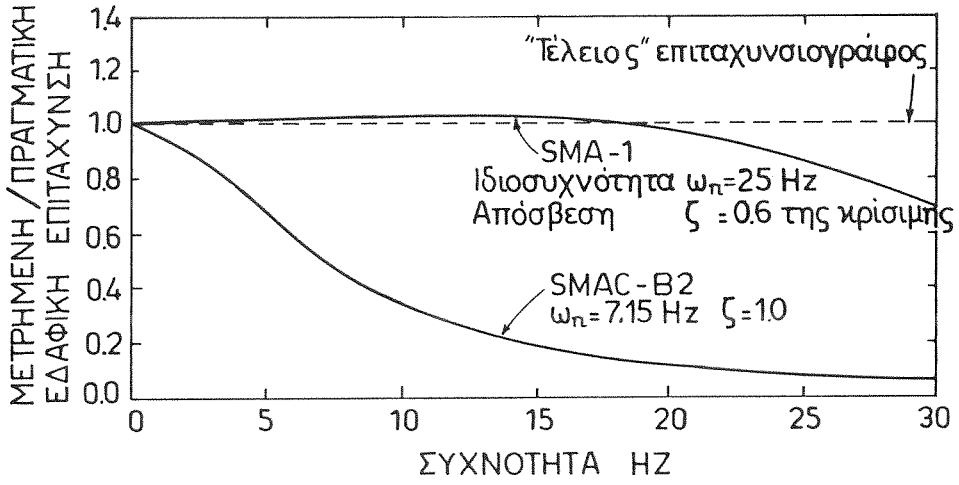
δ. Σε τυχαία σφάλματα ψηφιοποίησης.

Για την απομάκρυνση των παραπάνω σφαλμάτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες και είδη ψηφιακών φίλτρων (Ormsby 1961, Hudson et al. 1969, Trifunac 1970, 1971, 1972, Trifunac at al. 1973, Basili and Brady 1978, Trifunac and Lee 1979b, Hudson 1979, Khemici and Shah 1982, Sunder and Connor 1982, Lee and Trifunac 1984). Με τη χρήση των κατάλληλων φίλτρων κατά την επεξεργασία των επιταχυνσιογραμμάτων επιδιώκεται η απομάκρυνση του θορύβου και όλων των σφαλμάτων που υπεισέρχονται στην καταγραφή, με σκοπό τη ρεαλιστικότερη παρουσίαση της πραγματικής εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης. Στο σχήμα (1.3) φαίνονται οι βασικοί τύποι ιδανικών φίλτρων που απαιτούνται για την επεξεργασία. Το φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων απομακρύνει τις υψηλές συχνότητες από το σήμα πάνω από μια προκαθορισμένη τιμή, ω_o. Το φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων απομακρύνει τις χαμηλότερες από την προκαθορισμένη τιμή συχνότητες. Ο συνδυασμός των δύο αυτών επιτρέπει τη διέλευση των ενδιάμεσων συχνοτήτων μεταξύ των προκαθορισμένων τιμών ω_a, ω_b. Οι ιδανικές μορφές φίλτρων του σχήματος (1.3) είναι αδύνατον να επιτευχθούν στην πράξη και για το λόγο αυτό εφαρμόζονται προσεγγιστικές μορφές αυτών.

Εκτός από τις διορθώσεις σφαλμάτων υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων απαιτείται και διόρθωση του επιταχυνσιογράμματος για την απόκριση του επιταχυνσιομέτρου. Στο σχήμα (1.4) φαίνεται η



Σχ. 1.3. Φίλτρα ιδανικού τύπου (Hudson 1979).



Σχ. 1.4. Καμπύλη απόκρισης επιταχυνσιογράφων (Hudson 1979).

καμπύλη απόκρισης και τα χαρακτηριστικά των επιταχυνσιογράφων SMA-1 και SMAC-B2. Η διακεκομμένη γραμμή αναφέρεται στην απόκριση του "τέλειου" επιταχυνσιογράφου ο οποίος θα κατέγραφε ιδανικά την πραγματική εδαφική επιτάχυνση για το εύρος συχνοτήτων από 0-30 Hz. Προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι σχετικές διορθώσεις έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι που απαιτούν την ψηφιοποιημένη μορφή του επιταχυνσιογράμματος (Hudson 1979). Αφού γίνουν όλες οι διορθώσεις στο ψηφιοποιημένο επιταχυνσιόγραμμα, με την ολοκλήρωση της εδαφικής επιτάχυνσης παίρνουμε την εδαφική ταχύτητα από την οποία και πάλι με ολοκλήρωση καταλήγουμε στην εδαφική μετάθεση.

Σχετικά με τις αποκλίσεις και τις διορθώσεις στις υψηλές ή χαμηλές συχνότητες του επιταχυνσιογράμματος, την επιλογή αναλογικού ή ψηφιακού καταγραφέα και τη σημασία αυτών στην Αντισεισμική Τεχνολογία έχουν επισημανθεί τα παρακάτω (Madariaga 1985):

α. Τα αναλογικής μορφής επιταχυνσιογράμματα ψηφιοποιημένα με τον ημιαυτόματο τρόπο, δίνουν πολύ υψηλότερες τιμές φασμάτων Fourier στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων από ότι τα ψηφιακής μορφής. Υποθέτοντας ότι οι ψηφιακοί καταγραφείς έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία στις συχνότητες αυτές, υποδεικνύεται η ανάγκη για προσπάθεια βελτίωσης των τιμών εδαφικής επιτάχυνσης των αναλογικών καταγραφέων στις χαμηλές συχνότητες.

β. Η σημασία των πλατών εδαφικής επιτάχυνσης μεγάλων περιόδων αυξάνεται συνεχώς λόγω των απαιτήσεων σχεδιασμού σε εύκαμπτες κατασκευές όπως εξέδρες πετρελαίου, υψηλές γέφυρες σε περιοχές έντονης σεισμικής δραστηριότητας.

γ. Σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα χρήσης των ψηφιακών έναντι των αναλογικών καταγραφέων, παρά το γεγονός ότι οι πρώτοι εισάγουν σαφώς χαμηλότερο θόρυβο στην καταγραφή, παραμένουν ορισμένα ερωτηματικά που αφορούν τη γενική τους αξιοπιστία και αποδοτικότητα. Εχει αναφερθεί ότι για ένα δίκτυο επιταχυνσιογράφων σε περιοχές χαμηλής ή ενδιάμεσης σεισμικότητας οι αναλογικοί καταγραφείς είναι ακόμη και σήμερα οικονομικά συμφερότεροι

από τους ψηφιακούς.

1.1.2.2. Παράμετροι της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης

Για επιστημονικούς σκοπούς και για τις ανάγκες των εφαρμογών της Αντισεισμικής Τεχνολογίας είναι ευκολότερη η περιγραφή των σύνθετων κυματομορφών του επιταχυνσιογράμματος με απλές παραμέτρους. Τέτοιες παράμετροι αποτελούν τη βάση στους περισσότερους αντισεισμικούς κανονισμούς. Αυτές μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες: στις παραμέτρους στην περιοχή του χρόνου και στην περιοχή των συχνοτήτων. Ασφαλώς, όμως, η πλήρης μορφή του επιταχυνσιογράμματος σε ψηφιακή μορφή, είναι η πλέον περιεκτική περιγραφή της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις εφαρμογές της Αντισεισμικής Τεχνολογίας. Αυτό έχει τη δυνατότητα να εμπεριέχει όλα τα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης τόσο στην περιοχή του χρόνου όσο και των συχνοτήτων και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ελαστική ή ανελαστική ανάλυση οποιασδήποτε κατασκευής. Βέβαια η ανάλυση αυτή είναι αντιοικονομική και χρονοβόρα για να εφαρμοσθεί ευρέως από τους μηχανικούς σε συνηθισμένες δυναμικές αναλύσεις.

Η πλέον συχνά χρησιμοποιούμενη παράμετρος στην περιοχή του χρόνου είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, a_g. Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει την απόλυτη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση του επιταχυνσιογράμματος. Συνήθως δίνεται ξεχωριστά για κάθε μια από τις τρεις συνιστώσες της εδαφικής κίνησης. Η ευρεία χρήση της παραμέτρου αυτής από τους μηχανικούς οφείλεται κυρίως στο γεγονός της άμεσης σχέσης της επιτάχυνσης και της δύναμης που επιδρά επί της κατασκευής. Η μέγιστη εδαφική ταχύτητα, v_g, και μετάθεση, d_g, είναι παράμετροι ανάλογοι της επιτάχυνσης και μετριούνται εύκολα ως οι απόλυτες μέγιστες τιμές των κυματομορφών που προέρχονται από απλή και διπλή, αντίστοιχα, ολοκλήρωση του διορθωμένου επιταχυνσιογράμματος.

Η μέση τετραγωνική ρίζα (Root Mean Square), a_{rms}, του τετραγώνου της επιτάχυνσης, υπολογίζεται από ορισμένη διάρκεια της καταγραφής, δίνεται από τη σχέση (Housner and Jennings 1964),

$$a_{rms} = [1/t_1 \int_0^{t_1} a_g^2(t)dt]^{1/2} \qquad (1.1)$$

και αντιπροσωπεύει ένα μέτρο της εκλυόμενης ενέργειας.
Η τιμή της RMS επιτάχυνσης, εξαρτάται από την αυθαίρετα προκαθορισμένη τιμή της διάρκειας, $0-t_1$, πράγμα που περιόρισε τη χρήση της.

Η ισχυρή διάρκεια του επιταχυνσιογράμματος είναι επίσης μία παράμετρος στην περιοχή του χρόνου. Η πλέον απλή μέτρηση αυτής της παραμέτρου είναι η περιβαλλόμενη διάρκεια, η οποία ορίζεται ως ο χρόνος στο επιταχυνσιόγραμμα μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας υπέρβασης μιας προκαθορισμένης απόλυτης τιμής επιτάχυνσης, συνήθως 0.05 ή 0.10 g (Bolt 1973). Ο ορισμός της σημαντικής διάρκειας, που χρησιμοποιείται συχνά, αναφέρεται στο χρόνο που απαιτείται να αυξηθεί η ένταση κατά Arias, I_A, από 5% έως 95%. Η ένταση, I_A, που σχετίζεται με την καταστρεπτικότητα του σεισμού, δίνεται από τη σχέση (Arias 1969, Husid 1969),

$$I_A = \pi/2g \int_0^{t_o} a_g^2(t)dt \qquad (1.2)$$

όπου t_o η συνολική διάρκεια του επιταχυνσιογράμματος. Παρόμοιος ορισμός της σημαντικής διάρκειας δόθηκε και από τους Trifunac and Brady (1975a).

Μια νέα παράμετρος στην περιοχή του χρόνου είναι και η A_{95},

η οποία ορίζεται ως εκείνο το επίπεδο της επιτάχυνσης που περιέχει το 95% της ένιασης κατά Arias, I_A (Sarma and Yang 1987). Η παράμετρος αυτή φαίνεται ότι είναι προβλέψιμη σε υψηλό βαθμό και γι' αυτό μπορεί να ικανοποιήσει απαιτήσεις της Αντισεισμικής Τεχνολογίας.

Η τυποποιημένη μέθοδος υπολογισμού του φασματικού περιεχομένου του επιταχυνσιογράμματος γίνεται με μετασχηματισμό Fourier. Το φασματικό πλάτος Fourier της επιτάχυνσης δίνεται από τη σχέση,

$$FAS=\left\{\frac{2E(to,\omega)}{m}\right\}^{1/2}=\left\{\int_o^{to} a_g(t)\eta\mu\omega t dt)^2+\int_o^{to} a_g(t)\sigma\upsilon\nu\omega t dt)^2\right\}^{1/2} \qquad (1.3)$$

Το δεξιό μέλος της σχέσης (1.3) είναι συνάρτηση της κυκλικής συχνότητας, $\omega=2\pi/T$. Οταν αυτό αναπτυχθεί και σχεδιασθεί σε συνάρτηση με την περίοδο, T, έχουμε το φάσμα πλατών Fourier (Fourier Amplitude Spectrum-FAS). Το φάσμα πλατών Fourier είναι ένα μέτρο της τελικής ενέργειας που εμπεριέχει ο ταλαντωτής σε συνάρτηση με την περίοδο (Housner 1970).

Για την Αντισεισμική Τεχνολογία η μέγιστη ενέργεια που αποκτά ο ταλαντωτής, υποβαλλόμενος σε σεισμική διέγερση, έχει περισσότερο ενδιαφέρον από τη συνολική ενέργεια επειδή η μέγιστη ενέργεια είναι ένα μέτρο της μέγιστης μετάθεσης και κατά συνέπεια της μέγιστης τέμνουσας βάσης και της αναπτυσσόμενης τάσης. Γιά το λόγο αυτόν προτάθηκε η έννοια του ελαστικού φάσματος απόκρισης της σεισμικής εδαφικής κίνησης από τους Biot (1941) και Housner (1941) και από τότε αποτέλεσε ένα από τα βασικότερα μέσα για έρευνα και εφαρμογή στην Τεχνική Σεισμολογία και στην Αντισεισμική Τεχνολογία. Ελαστικό φάσμα απόκρισης της σεισμικής κίνησης είναι η συνάρτηση $\Phi(T)$ που παρέχει τη μέγιστη τιμή μιας παραμέτρου, Φ, της κίνησης αυτής (επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης) σε συνάρτηση με την περίοδο ταλάντωσης, T, ελαστικών συστημάτων ενός βαθμού ελευθερίας με απόσβεση, τα οποία υφίστανται δυναμική φόρτιση από συγκεκριμένο σεισμό.

Για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές μια κατασκευή μπορεί να προσομοιωθεί με μονοβάθμιο ταλαντωτή ενός βαθμού ελευθερίας, μάζας m, με συντελεστή δυσκαμψίας K, και απόσβεσης C, ο οποίος σε διέγερση εδαφικής επιτάχυνσης, $a_g(t)$ απομακρύνεται με σχετική μετάθεση, x(t) (Σχήμα 1.5). Η σχετική μετάθεση αυτού του ταλαντωτή σε σχέση με το έδαφος περιγράφεται από τη σχέση,

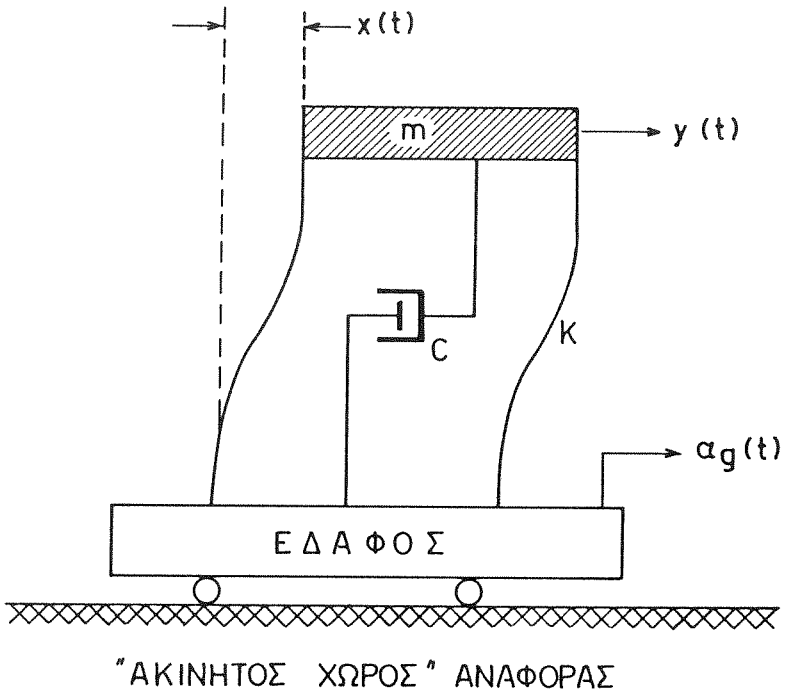
$$x(t)= 1/(\omega\sqrt{1-\zeta^2})\left\{\int_0^t a_g(\tau)e^{-\zeta\omega(t-\tau)}\ \eta\mu(\omega\sqrt{1-\zeta^2}(t-\tau))d\tau\right\} \qquad (1.4)$$

όπου $\omega=\sqrt{K/m}$, $\zeta=C/2m\omega$.
Το ολοκλήρωμα της σχέσης (1.4) είναι γνωστό ως ολοκλήρωμα του Duhamel και ο υπολογισμός του για κάθε χρονική στιγμή, t, δίνει τη σχετική μετατόπιση, x(t), της μάζας, m. Ο υπολογισμός αυτού του ολοκληρώματος για ένα οποιοδήποτε επιταχυνσιόγραμμα, $a_g(t)$, μπορεί να γίνει με κατάλληλη αριθμητική μέθοδο.

Το ενδιαφέρον της Αντισεισμικής Τεχνολογίας εστιάζεται, κατά κύριο λόγο, στη μέγιστη απόλυτη τιμή της συνάρτησης $|x(t)|_{max}$, επειδή αυτή μπορεί να συσχετισθεί άμεσα με τη μέγιστη διατμητική τάση στη βάση της κατασκευής. Οταν αυτή σχεδιασθεί σε συνάρτηση με τη συχνότητα ή την περίοδο, έχουμε το ελαστικό φάσμα απόκρισης σχετικής μετάθεσης, SD. Ανάλογα όταν η μέγιστη απόλυτη τιμή αναφέρεται στην πρώτη παράγωγο της x(t), δηλαδή $|\dot{x}(t)|_{max}$, έχουμε το ελαστικό φάσμα απόκρισης σχετικής ταχύτητας, SV. Η μέγιστη απόλυτη επιτάχυνση του ταλαντωτή, που είναι η επιτάχυνση της μάζας m σε σχέση με τον "ακίνητο χώρο" αναφοράς (Σχήμα 1.5), δίνεται από τη σχέση,

$$\ddot{y}(t) = -\omega^2 x(t)-2\zeta\omega\dot{x}(t) \qquad (1.5)$$

Οταν αυτή σχεδιασθεί σε συνάρτηση με τη συχνότητα ή την περίοδο, έχουμε το ελαστικό φάσμα απόλυτης επιτάχυνσης, SA.



Σχ. 1.5. Χαρακτηριστικά απόκρισης συστήματος ενός βαθμού ελευθερίας: m είναι η μάζα, C ο συντελεστής ιξώδους απόσβεσης και K ο συντελεστής δυσκαμψίας.

Εκτός από τα παραπάνω ελαστικά φάσματα απόκρισης έχουν προταθεί και άλλα δύο, εκείνο της ψευδοταχύτητας, PSV, και της ψευδοεπιτάχυνσης, PSA, και ορίζονται από τη σχέση,

$$PSA=\omega PSV=\omega^2 SD \qquad (1.6)$$

Λόγω της απλής σχέσης που υπάρχει μεταξύ αυτών των φασμάτων και της σχετικής φασματικής μετάθεσης, αυτά έχουν γίνει ευρέως αποδεκτά στις εφαρμογές. Το πρόθεμα "ψευδο", χρησιμοποιείται για να τονίσει το γεγονός ότι τα φάσματα PSV και PSA δεν είναι ακριβώς τα ίδια με τα φάσματα της μέγιστης σχετικής ταχύτητας, SV, και απόλυτης επιτάχυνσης, SA. Για απλή αρμονική κίνηση ισχύει, PSV=SV και PSA=SA. Για τις περισσότερες εδαφικές κινήσεις και τιμές απόσβεσης με ενδιαφέρον για τους μηχανικούς αυτές οι ισότητες ισχύουν προσεγγιστικά. Μεγάλες αποκλίσεις συναντώνται στις πολύ χαμηλές συχνότητες όπου οι τιμές της SD πλησιάζουν τη μέγιστη μετάθεση, της SV τη μέγιστη ταχύτητα και της PSV το μηδέν. Ευτυχώς, τέτοιες χαμηλές συχνότητες έχουν μικρή πρακτική σπουδαιότητα στις σχετικές εφαρμογές. Τα παραπάνω ελαστικά φάσματα απόκρισης SD, PSV, PSA συνήθως απεικονίζονται, για πρακτικούς λόγους, στο ίδιο τριλογαριθμικό χαρτί σε συνάρτηση με την ιδιοπερίοδο, T.

Εκτός από τα ελαστικά έχουν προταθεί και τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης. Τα <u>ανελαστικά φάσματα απόκρισης</u> ορίζονται κατ' αντιστοιχία προς τα ελαστικά φάσματα και υπολογίζονται για μονοβάθμιους ταλαντωτές με μη γραμμικές σχέσεις αντίστασης-μετάθεσης (Αναγνωστόπουλος 1986). Γιά τα ανελαστικά συστήματα, στη σχέση μεταξύ φασματικών ψευδοεπιταχύνσεων και φασματικών σχετικών μεταθέσεων υπεισέρχεται ο δείκτης πλαστιμότητας, μ, στη σχέση,

$$PSA = \omega^2 SD/\mu \qquad (1.7)$$

γεγονός που δεν επιτρέπει την κοινή απεικόνιση των δύο αυτών φασμάτων στο ίδιο τριλογαριθμικό χαρτί. Επιπλέον, για τα ανελαστικά συστήματα, η ψευδοταχύτητα PSV δεν αποτελεί μέτρο της μέγιστης ενέργειας του ταλαντωτή όπως συμβαίνει με τα ελαστικά συστήματα.

1.2. Παράγοντες στην Πρόβλεψη της Ισχυρής Σεισμικής Εδαφικής Κίνησης

1.2.1. Γενικά

Με τον όρο πρόβλεψη, στη διατριβή αυτή, εννοείται ο προσδιορισμός ορισμένων παραμέτρων της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης σε μια θέση όταν δίνονται τα χαρακτηριστικά της σεισμικής πηγής η οποία μπορεί να προκαλέσει αυτήν την κίνηση, οι ιδιότητες του δρόμου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά στη θέση καταγραφής. Σχετικά πρόσφατα λαμβάνονται υπόψη και οι τεχνικές κατασκευές που βρίσκονται στην εξεταζόμενη θέση αφού έχει δειχθεί ότι αυτές μπορούν να τροποποιήσουν σημαντικά την ισχυρή σεισμική εδαφική κίνηση ελεύθερου πεδίου (Campbell 1985).

Οι μέθοδοι πρόβλεψης της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: στις εμπειρικές, στις θεωρητικές και στις ημιεμπειρικές μεθόδους. Κατά την εφαρμογή των μεθόδων της πρώτης κατηγορίας οι καταγραφές της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης , οι οποίες έχουν παρατηρηθεί σε αποστάσεις μέχρι μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα από τη σεισμική πηγή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους στον αντισεισμικό σχεδιασμό. Η πλέον άμεση χρήση των καταγραφών γίνεται όταν αυτές είναι διαθέσιμες για τα διαστήματα εκείνα των μεγεθών σεισμών και αποστάσεων από τη σεισμική πηγή για τα οποία απαιτείται να καθορισθούν οι εδαφικές κινήσεις σχεδιασμού. Αυτή η προσέγγιση καλείται πρόβλεψη ειδικής θέσης και έχει προταθεί και

εφαρμοσθεί από διάφορους ερευνητές (Guzman and Jennings 1976, Bernreuter 1981, Campbell 1984, Heaton et al. 1986). Ομως για τις περισσότερες εφαρμογές αυτού του είδους η πρόβλεψη δεν είναι εφικτή λόγω της έλλειψης ικανοποιητικού αριθμού καταγραφών με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά. Το ίδιο συμβαίνει και κατά την πιθανολογική ανάλυση της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης όπου υποτίθεται ένα ευρύ διάστημα μεγεθών και αποστάσεων. Στις περιπτώσεις αυτές οι εδαφικές κινήσεις σχεδιασμού βασίζονται σε υπολογισμούς εκτός διαστήματος των διαθέσιμων δεδομένων. Αυτό γίνεται συνήθως με τη χρήση γραμμικής παλινδρόμησης προκειμένου να προσαρμοσθεί μια μαθηματική συνάρτηση που εμπεριέχει το μέγεθος και την απόσταση, στα παρατηρημένα δεδομένα και κατόπιν γίνεται χρήση αυτής της συνάρτησης για πρόβλεψη.

Οι θεωρητικές μέθοδοι πρόβλεψης χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις όπου υπάρχει έλλειψη καταγραφών της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης. Ομως, τουλάχιστον προς το παρόν, τα μοντέλα αυτών δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στις εφαρμογές της Αντισεισμικής Τεχνολογίας εξαιτίας της σχετικής πολυπλοκότητας και του άγνωστου βαθμού αξιοπιστίας των (Campbell 1985). Τα μοντέλα της θεωρητικής πρόβλεψης της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη χρησιμοποιεί κινηματικά και δυναμικά μοντέλα της διαδικασίας διάρρηξης του ρήγματος για τη γένεση αιτιοκρατικών προβλέψεων και περιγράφεται αναλυτικά από τους Swanger και συνεργάτες (1981), Aki (1982). Η δεύτερη κατηγορία χρησιμοποιεί τη στοχαστική προσομοίωση, βασίζεται σε απλά σεισμολογικά μοντέλα της πηγής και συνδυάζεται με τη θεωρία τυχαίας δόνησης (random vibration theory). Τυπικά παραδείγματα αυτής της κατηγορίας αναπτύχθηκαν από τους Joyner και Boore (1980), Hanks και McGuire (1981), Hadley και συνεργάτες (1982), Boore (1983b), McGuire και συνεργάτες (1984), Joyner (1984), Boore (1986). Η τρίτη κατηγορία χρησιμοποιεί απλά σεισμολογικά μοντέλα της πηγής (Hanks and Johnson 1976, Hanks 1979, McGuire and Hanks 1980, McGarr 1981, Scholz 1982).

Οι ημιεμπειρικές μέθοδοι πρόβλεψης της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης αναπτύχθηκαν επίσης λόγω της έλλειψης δεδομένων σε διάφορες περιοχές της Γης. Η πλέον κοινή πρακτική σε τέτοιες περιοχές βασίζεται στην πρόβλεψη της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης με χρήση της μακροσεισμικής έντασης. Για το σκοπό αυτό απαιτείται σχέση μεταξύ της μακροσεισμικής έντασης και ορισμένων παραμέτρων όπως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση (McGuire 1977a, Hasegawa et al. 1981, Atkinson 1984, McGuire 1984).

1.2.2. Σεισμική πηγή

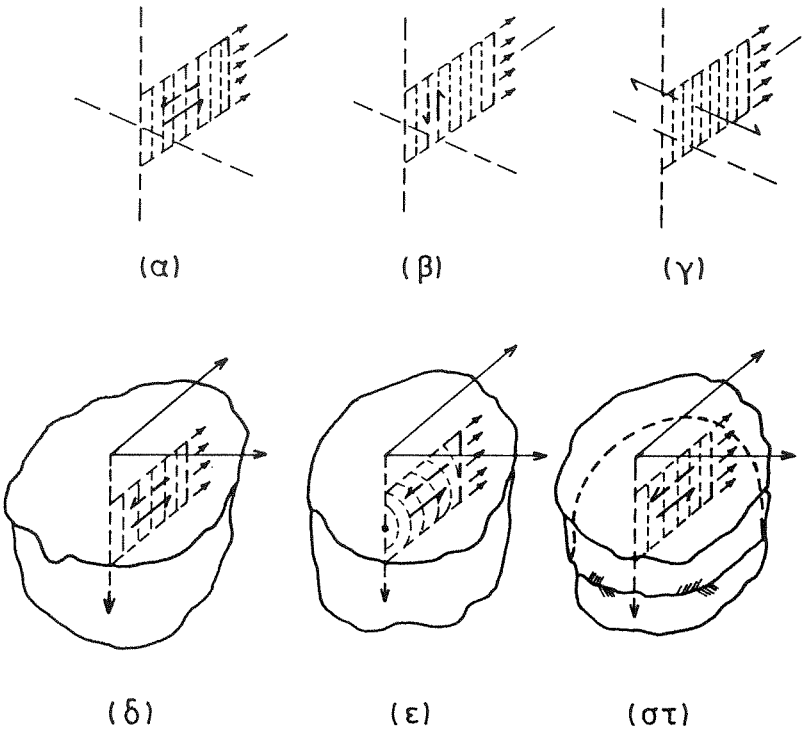
Είναι γενικά αποδεκτό σήμερα ότι οι τεκτονικοί σεισμοί οφείλονται σε διαρρήξεις των πετρωμάτων πάνω σε επιφάνειες που ονομάζονται επιφάνειες διάρρηξης. Εχει ακόμη δειχθεί ότι το ισοδύναμο σύστημα εξωτερικών δυνάμεων το οποίο μπορεί να προκαλέσει διατμητική εξάρμωση σε ένα στοιχείο ελαστικού μέσου είναι ένα διπλό ζεύγος, αντιθέτων ροπών, Mo και -Mo. Η σεισμική ροπή υπολογίσθηκε αρχικά από τον Aki (1966) με τη χρησιμοποίηση του φάσματος των μακράς περιόδου κυμάτων Love του σεισμού που έγινε στη Niigata το 1964. Η σεισμική ακτινοβολία είναι η κύρια πηγή από την οποία αντλούνται πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία γένεσης των σεισμών και μπορεί να υπολογισθεί από τη χωροχρονική συνέλιξη συναρτήσεων ολίσθησης και Green. Η συνάρτηση ολίσθησης περιγράφει τη μετάθεση του ρήγματος κατά τη διάρκεια ενός σεισμού ως συνάρτηση του χρόνου και της θέσης πάνω στο επίπεδο του ρήγματος, ενώ η συνάρτηση του Green αντιπροσωπεύει την απόκριση της Γης στη μετάθεση αυτή. Από τη σεισμική ακτινοβολία της πηγής και από παρατηρήσεις υπαίθρου μπορεί να παρασταθεί το ιστορικό της διάρρηξης ενός συγκεκριμένου σεισμού και σε μια ιδανική περίπτωση η σεισμική ακτινοβολία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογή τομογραφικής μελέτης του ρήγματος (Ruff 1984). Αυτή η εργασία όμως είναι πολύ δύσκολη εξαιτίας της περιορισμένης αζιμουθιακής κάλυψης των σταθμών καταγραφής και της

περιορισμένης περιοχής συχνοτήτων των διαθέσιμων οργάνων. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται γενικά ιδανικά μοντέλα διάρρηξης με σχετικά μικρό αριθμό παραμέτρων της πηγής.

Η προσομοίωση της ακτινοβολίας της σεισμικής πηγής γίνεται είτε με μοντέλα εξάρμωσης είτε δυναμικής διάρρηξης. Στην προσέγγιση με τα μοντέλα εξάρμωσης το σεισμικό φαινόμενο περιγράφεται με συνάρτηση μετάθεσης στην επιφάνεια του ρήγματος χωρίς λεπτομερειακή ανάλυση των χρονικά εξαρτημένων τάσεων στην πηγή. Αντίθετα, στα μοντέλα δυναμικής διάρρηξης απαιτείται μια σαφής περιγραφή των κινητηρίων τάσεων στην πηγή και η τελική μετάθεση βρίσκεται με τη λύση των εξισώσεων της κίνησης.

Τα διάφορα μοντέλα εξάρμωσης διακρίνονται σε δισδιάστατα ή τρισδιάστατα, σε ενιαία ή με διαστρωματώσεις, σε διατμητικά ή εκτατικά. Διακρίνονται επίσης τα μοντέλα αυτά και σε διάφορες άλλες κατηγορίες ανάλογα με τις διάφορες μεθόδους επίλυσης, με την υποτιθέμενη ταχύτητα διάρρηξης και τον τύπο της συνάρτησης της μετάθεσης που χρησιμοποιείται (Luco and Anderson 1983). Στο σχήμα (1.6) δίνονται διάφοροι τύποι τρισδιάστατων μοντέλων εξάρμωσης.

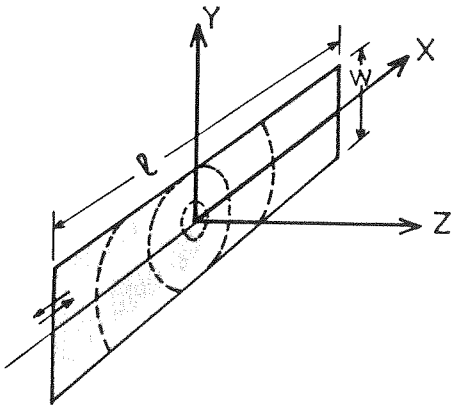
Για τα μοντέλα δυναμικής διάρρηξης απαιτείται η περιγραφή της δυναμικής πτώσης τάσης, της ταχύτητας διάρρηξης και της πολυπλοκότητας της διάρρηξης στη σεισμική πηγή. Σύμφωνα με το Boatwright (1982) το επίπεδο των χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος μετάθεσης είναι αποτέλεσμα της ολίσθησης και της επιφάνειας διάρρηξης, ενώ το επίπεδο των υψηλών συχνοτήτων του φάσματος επιτάχυνσης είναι αποτέλεσμα της δυναμικής πτώσης τάσης, της μέγιστης ταχύτητας διάρρηξης και της τετραγωνικής ρίζας της επιφάνειας διάρρηξης. Για την επίλυση των μοντέλων δυναμικής διάρρηξης εφαρμόζονται είτε αναλυτικές είτε αριθμητικές μέθοδοι. Οι τελευταίες έχουν ευρύτερη εφαρμογή και κάνουν χρήση τριών τεχνικών υπολογισμού: των πεπερασμένων στοιχείων, των πεπερασμένων διαφορών και των οριακών ολοκληρωτικών μεθόδων (Gibowicz 1986). Στο σχήμα (1.7) δίνεται ένα απλό μοντέλο δυναμικής διάρρηξης το οποίο απεικονίζεται από ορθογώνια επιφάνεια ρήγματος (Day 1982a).



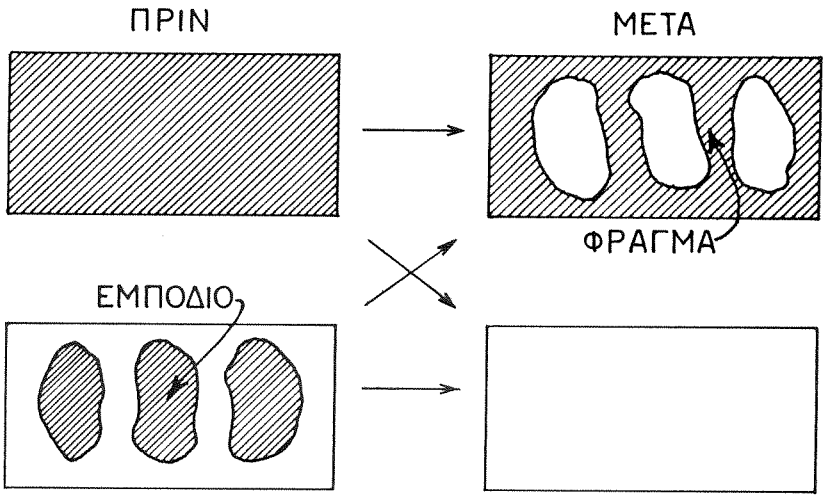
Σχ. 1.6. Τρισδιάστατα μοντέλα εξάρμωσης: (α) Ομοιόμορφη διατμητική εξάρμωση κινούμενη με σταθερή ταχύτητα διάρρηξης πάνω σε ορθογώνιο ρήγμα βυθισμένο σε απεριόριστο μέσο με ολίσθηση κανονική ως προς το μέτωπο διάρρηξης, (β) διατμητική εξάρμωση με ολίσθηση παράλληλη ως προς το μέτωπο διάρρηξης, (γ) εφελκυστική εξάρμωση, (δ) και (ε) ορθογώνια ρήγματα εγκατεστημένα σε ομοιόμορφο ελαστικό ημιχώρο, (στ) ορθογώνιο κατακόρυφο ρήγμα μέσα σε διαστρωματωμένο ημιχώρο (Luco and Anderson 1983).

Μια από τις πλέον σημαντικές εξελίξεις στην κατανόηση των ιδιοτήτων της σεισμικής πηγής την τελευταία δεκαετία, είναι η τεκμηρίωση της πολυπλοκότητας της σεισμικής διάρρηξης. Αυτή η πολυπλοκότητα μπορεί να οφείλεται ή σε γεωμετρικές ανωμαλίες στην επιφάνεια του ρήγματος ή σε ετερογένειες στην αντοχή του ρήγματος ή σε ετερογένειες της τάσης που επικρατεί σε αυτό. Οποιαδήποτε και αν είναι η αιτία, το αποτέλεσμα είναι η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση του μετώπου της διάρρηξης και κατά συνέπεια η ακτινοβολία υψηλών συχνοτήτων. Κατά τη διάρκεια μεγάλων σεισμών η παρατηρημένη επιφανειακή διάρρηξη είναι συνήθως πολύπλοκη δείχνοντας ανώμαλες μεταβολές της μετάθεσης κατά μήκος του ρήγματος (Das and Aki 1977, Aki 1979, King and Yielding 1984). Τα απ'ευθείας σεισμικά κύματα μεγάλων επίσης σεισμών είναι σύνθετα και η ερμηνεία τους βασίζεται συχνά σε μοντέλα πηγών με πολλαπλά συμβάντα (Kanamori and Stewart 1978, Rial 1978, Deschamps et al. 1982). Η μοντελοποίηση των κυματομορφών μετάθεσης με χαμηλές περιόδους οδήγησε στο συμπέρασμα ότι ένα μεγάλο μέρος από την ενέργεια υψηλών συχνοτήτων προέρχεται από μικρές ζώνες της επιφάνειας του ρήγματος με υψηλή πτώση τάσης (Cipar 1981, Wallace et al. 1981, Mori and Shimazaki 1984).

Οι υψηλές συχνότητες που επικρατούν στο επιταχυνσιόγραμμα είναι πολύ σύνθετες για να προσομοιωθούν με αιτιοκρατικά μοντέλα επειδή επηρεάζονται από πολλές μικρής κλίμακας ετερογένειες της επιφάνειας του ρήγματος οι οποίες απαιτούν πολλές παραμέτρους προκειμένου να καθορίσουν τέτοιες λεπτομέρειες (Aki 1982). Για να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες για την καθιέρωση ενός υβριδικού μοντέλου με το οποίο τα χονδροειδή χαρακτηριστικά της διάδοσης της διάρρηξης προσδιορίζονται αιτιοκρατικά, οι λεπτομέρειες όμως της διαδικασίας της διάρρηξης προσδιορίζονται από στοχαστικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τους ένα μικρό αριθμό παραμέτρων (Boore and Joyner 1978, Hanks 1979, Andrews 1981, Hanks and McGuire 1981, Aki 1982, Boatwright 1982, Papageorgiou and Aki 1983, Gusev 1983, Boore 1986, Boatwright 1988).



Σχ. 1.7. Γεωμετρία της διάρρηξης και σύστημα συντεταγμένων για αριθμητικές προσομοιώσεις. Η διατμητική τάση είναι κατά τη διεύθυνση του X στο επίπεδο Z=0. Η διάρρηξη έχει αφετηρία την αρχή των αξόνων και διαδίδεται συμμετρικά με σταθερή ταχύτητα (Day 1982a).



Σχ. 1.8. Το μοντέλο του "φράγματος" (πάνω) και του "εμποδίου" (κάτω). Οι γραμμοσκιάσεις απεικονίζουν περιοχές του ρήγματος όπου αναπτύσσονται τάσεις (Aki 1984).

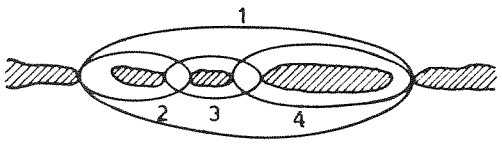
Μέχρι σήμερα έχουν γίνει γενικά αποδεκτά δύο είδη ετερογενειών στην επιφάνεια του ρήγματος: τα "εμπόδια" (asperities) και τα "φράγματα" (barriers). Στο σχήμα (1.8) δίνονται παραστατικά τα δύο μοντέλα ετερογενειών. Τα "εμπόδια" είναι περιοχές στην επιφάνεια του ρήγματος με ισχυρή συνοχή τα οποία αντιστέκονται στη θραύση και κατά συνέπεια είναι εκείνα τα σημεία όπου συγκεντρώνεται η τάση. Η έννοια του "εμποδίου" στην επιφάνεια του ρήγματος έχει εφαρμοσθεί σε πολλές μελέτες της σεισμικής πηγής (Kanamori and Stewart 1978, Madariaga 1979, Kanamori 1981, Lay and Kanamori 1981, Rudnicki and Kanamori 1981, McGarr 1981, Lay et al. 1982, Das and Kostrov 1983, Rundle et al. 1984, Houston and Kanamori 1986, Boatwright 1988, Das 1988). Σε αντίθεση με τα "εμπόδια" ο Aki (1979, 1982, 1984) όρισε ως "φράγματα" εκείνες τις περιοχές της επιφάνειας του ρήγματος που μένουν άθραυστες μετά τη διάρρηξη. Οπως έχει εξηγηθεί (Aki 1982), στο μοντέλο τύπου "φράγματος" η αρχική τάση στην επιφάνεια του ρήγματος είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη. Μετά το σεισμό η διάρρηξη έχει ολισθήσει ανομοιογενώς εξαιτίας της παρουσίας των "φραγμάτων", όπου υπάρχει συγκέντρωση τάσεων. Στο μοντέλο τύπου "εμποδίου" η αρχική τάση είναι συγκεντρωμένη στα "εμπόδια" τα οποία "κλειδώνουν" το ρήγμα. Με το σεισμό τα "εμπόδια" θραύονται και η τάση κατανέμεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του ρήγματος. Ενα σημαντικό συμπέρασμα από τις μελέτες των δύο μοντέλων ετερογενειών (Madariaga 1983) είναι ότι αυτά δεν μπορούν να διακριθούν με βάση την ακτινοβολία υψηλών συχνοτήτων της πηγής αφού και τα δύο δίνουν παρόμοια φάσματα πηγής.

Ο Aki (1979) διέκρινε τα "φράγματα" σε δύο τύπους: σε εκείνα που σχετίζονται με την αντοχή και εκείνα με τη γεωμετρία του ρήγματος. Ο King (1985) πρότεινε μια γενικότερη κατάταξη των "φραγμάτων", στα γεωμετρικά και στα "φράγματα" εκτόνωσης. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εκείνες τις περιπτώσεις όπου η διεύθυνση της εδαφικής μετάπτωσης ή το διάνυσμα μετάθεσης αλλάζουν. Η δεύτερη κατηγορία αναφέρεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου παρατηρείται χαμηλή τεκτονική τάση εξαιτίας του ερπυσμού στην επιφάνεια του ρήγματος.

Μελετώντας τη σεισμικότητα στα όρια κατάδυσης των μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών ο Kanamori (1981) και ο Lay και συνεργάτες (1982) έδειξαν ότι σε κάθε μια περιοχή παρατηρείται ένα επαναλαμβανόμενο χαρακτηριστικό πρότυπο σεισμικότητας που σχετίζεται με την ύπαρξη των "εμποδίων". Πολλές φορές είναι δυνατόν ένα μεγάλο τμήμα της ζώνης κατάδυσης να σπάσει με έναν μόνο μεγάλο σεισμό αλλά άλλες φορές να σπάσει σε μια σειρά μικρότερων συμβάντων συνορεύοντας το ένα με το άλλο. Αυτή η διαφορά εξηγήθηκε με το μοντέλο του "εμποδίου" σύμφωνα με το οποίο η ζώνη διάρρηξης συγκρατιέται από μια διακεκριμένη κατανομή "εμποδίων" μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ασθενείς περιοχές (Kanamori and McNally 1982). Οπως φαίνεται στο σχήμα (1.9) ένας μικρός σεισμός αντιπροσωπεύει μια διάρρηξη ενός "εμποδίου", η ζώνη διάρρηξης περιορίζεται στα δύο άκρα από γειτονικά "εμπόδια" και το δραστικό πλάτος και το ποσό της ολίσθησης είναι σχετικά μικρά. Αντίθετα ένας μεγάλος σεισμός αντιπροσωπεύει διάρρηξη περισσοτέρων του ενός "εμποδίων" και συνεπώς χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο πλάτος και ολίσθηση.

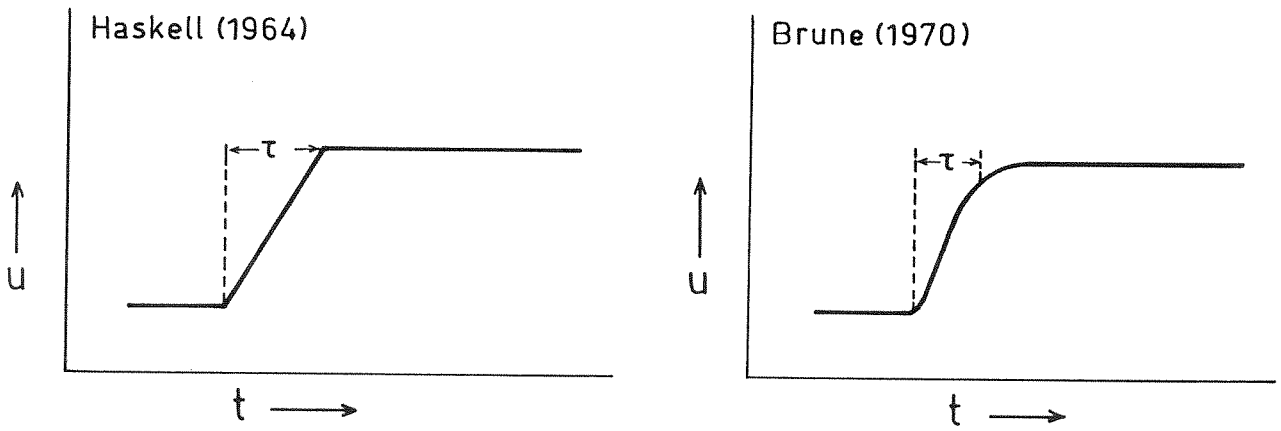
Προκειμένου να εξηγηθούν προβλήματα σχετικά με πρότυπα σεισμικότητας, όπως σεισμικά κενά, "εμπόδια", "φράγματα", προτάθηκε από τον Rundle και τους συνεργάτες του (1984) μοντέλο διάρρηξης του ρήγματος στην επιφάνεια του οποίου ισχύουν για διάφορες περιοχές διαφορετικοί νόμοι μεταξύ τάσης και ολίσθησης. Ανάλογες εργασίες περιγράφουν την ύπαρξη στην επιφάνεια του ρήγματος, ενδιαμέσων και μεγάλων σεισμών, μεγάλων ανομοιογενών κατανομών των τάσεων (Hartzell and Helmberger 1982, Hartzell and Heaton 1983, Liu and Helmberger 1985).

Μια άλλη προσέγγιση των ετερογενειών στη διαδικασία διάρρηξης του ρήγματος η οποία είναι καθαρά γεωμετρικής φύσης βασίζεται στο μοντέλο της "κλασματικής υποδιαίρεσης" (fractal). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται στη γεωμετρία των ακανόνιστων συστημάτων και προτάθηκε από τον Mandelbrot (1977). Η σημασία της διάστασης είναι βασική στην ανάπτυξη των "κλασματικών υποδιαιρέσεων". Η έννοια της διάστασης της "κλασματικής υποδιαίρεσης" δόθηκε από τον παραπάνω ερευνητή με το απλό



$M_1 > M_2+M_3+M_4, \quad D_1 > D_i, \; i=2,3,4$

Σχ. 1.9. Μοντέλο "εμποδίου" το οποίο εξηγεί τη μεγαλύτερη ροπή ανά μονάδα μήκους διάρρηξης και ολίσθησης ενός μεγάλου σεισμού (συμβάν 1) από εκείνη των μικρότερων συμβάντων (συμβάντα 2 έως 4). Τα M_i και D_i είναι η σεισμική ροπή και το ποσό ολίσθησης του συμβάντος με δείκτη i (Kanamori and McNally 1982).



Σχ. 1.10. Μοντέλα χρονικής συνάρτησης της μετάθεσης σε σεισμική πηγή.

παράδειγμα της μέτρησης του μήκους της ακτογραμμής μιας χώρας. Είναι φανερό ότι το μήκος αυτό αυξάνεται απεριόριστα καθώς μειώνεται το διάστημα μήκους με το οποίο μετριέται. Ο λογάριθμος του μήκους της ακτογραμμής σε συνάρτηση με το λογάριθμο του μήκους μέτρησης είναι μια ευθεία γραμμή. Η κλίση αυτής της γραμμής είναι χαρακτηριστικό μέγεθος και ονομάζεται διάσταση της "κλασματικής υποδιαίρεσης" της ακτογραμμής. Στην περίπτωση που το μήκος της ακτογραμμής αυξάνεται ταχύτερα τότε οι μεγαλύτερες τιμές της "κλασματικής υποδιαίρεσης" μπορεί να συνδέονται άμεσα με πολυπλοκότερες καμπύλες ή ακτογραμμές. Αναλογικά, η πολυπλοκότητα του ίχνους του ρήγματος στην επιφάνεια μετρημένη με διάσταση της "κλασματικής υποδιαίρεσης" μπορεί να απεικονίζει το συνδυασμό της μη κανονικότητας και της κατάτμησης ενός ρήγματος (Gibowicz 1986). Η μέθοδος της "κλασματικής υποδιαίρεσης" έχει εφαρμοσθεί με ικανοποιητικά αποτελέσματα στη μελέτη της διάρρηξης του ρήγματος (Andrews 1980, Aki 1981, King 1983, Okubo and Aki 1983, Smalley et al. 1985).

Στα κινηματικά μοντέλα της σεισμικής πηγής όπου η χρονική συνάρτηση της μετάθεσης καθορίζεται από έναν μικρό αριθμό παραμέτρων οι πλέον σημαντικές από αυτές που ελέγχουν τη γένεση των υψηλών συχνοτήτων είναι το μέγεθος της ολίσθησης, u, και ο χρόνος ανάδυσης, τ. Στο σχήμα (1.10) δίνονται δύο από τα γνωστότερα μοντέλα που έχουν προταθεί για την περιγραφή της χρονικής μεταβολής, u(t), σε ένα σημείο του ρήγματος. Η μέση τιμή της ολίσθησης, $\Delta\bar{u}$, μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση που συνδέει τη σεισμική ροπή, Mo, με την επιφάνεια του ρήγματος, S, (Aki 1966),

$$Mo = \mu \, \Delta\bar{u} \, S \qquad (1.8)$$

όπου μ είναι το μέτρο δυσκαμψίας του υλικού στην εστία του σεισμού. Η μέτρηση της σεισμικής ροπής βασίζεται στο φάσμα των σεισμικών κυμάτων που προκύπτει από τη φασματική ανάλυση των σεισμογραμμάτων, και η επιφάνεια, S, του ρήγματος υπολογίζεται κυρίως από την κατανομή των μετασεισμών στο σεισμογόνο χώρο. Ο

χρόνος ανάδυσης, τ, για το μοντέλο του Haskell (1964) είναι ίσος με το χρόνο που απαιτείται για να αποκτήσει η μετάθεση την τελική της τιμή, ενώ για το μοντέλο του Brune (1970) να αποκτήσει το 63% της τελικής της τιμής. Ο χρόνος ανάδυσης έχει μεγάλη σημασία για προβλήματα Τεχνικής Σεισμολογίας, γιατί όσο μικρότερος είναι αυτός τόσο μεγαλύτερη είναι η εδαφική ταχύτητα και η επιτάχυνση (Παπαζάχος 1990). Η ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται η ολίσθηση σε συγκεκριμένο σημείο του ρήγματος δηλαδή η τιμή $\Delta\bar{u}/\tau$, συνήθως κυμαίνεται από τις χαμηλές τιμές γύρω στο 0.1m/sec για μερικούς σεισμούς θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας στις υψηλές τιμές μεγαλύτερες από 1m/sec για μερικούς σεισμούς ανάστροφης διάρρηξης (Aki 1987).

Ο Brune (1970) ήταν ο πρώτος που συσχέτισε την ταχύτητα ολίσθησης με την πτώση τάσης. Για στιγμιαία πτώση τάσης σε μια απεριόριστη επιφάνεια ρήγματος ισχύει η σχέση,

$$\sigma_{\varepsilon v} = \mu\Delta\bar{u}/2\beta\tau \qquad (1.9)$$

όπου β είναι η ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων και $\sigma_{\varepsilon v}$, η οποία καλείται "ενεργός τάση", καθορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της αρχικής τάσης και της τάσης τριβής.

Για ρεαλιστικά δυναμικά μοντέλα διάρρηξης που έχουν εξετασθεί, για την τοπική πτώση τάσης, Δσ, ισχύει ικανοποιητικά η σχέση (Aki 1987),

$$\Delta\sigma = (1\sim1/2)\ \mu\Delta\bar{u}/\beta\tau \qquad (1.10)$$

Σύμφωνα με τον ίδιο ερευνητή η τοπική πτώση τάσης, καθορίζει και το επίπεδο των φασμάτων επιτάχυνσης Fourier και τα αντίστοιχα φάσματα ισχύος. Η εκτίμηση όμως της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης ή της μέσης τετραγωνικής ρίζας της επιτάχυνσης, a_{rms}, απαιτεί κάποια παράμετρο που θα καθορίζει το εύρος των συχνοτήτων του φάσματος επιτάχυνσης. Στην περίπτωση του μοντέλου των Papageor-

giou και Aki (1983) το επίπεδο του φάσματος ισχύος επιτάχυνσης, Po, που παρατηρείται σε απόσταση r_o, από την εστία ενός σεισμού δίνεται από τη σχέση,

$$Po \approx \text{σταθερά } WVv^4(\Delta\sigma/\mu)^2(1/\beta r_o)^2 \qquad (1.11)$$

όπου W είναι το πλάτος του ρήγματος, V η ταχύτητα του μετώπου διάρρηξης στη διεύθυνση του μήκους του ρήγματος, v η ταχύτητα διάρρηξης μέσα σε ένα κυκλικό τμήμα της επιφάνειας του ρήγματος, Δσ η τοπική πτώση τάσης, μ η σταθερά δυσκαμψίας και β η ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων.

Στο σχήμα (1.11) δίνονται τα φάσματα επιτάχυνσης σύμφωνα με το μοντέλο πηγής "ω-τετράγωνο" για δύο σεισμούς σταθερής πτώσης τάσης, όπου φαίνεται η γωνιακή συχνότητα f_o, και η συχνότητα f_{max} (Papageorgiou 1981). Σύμφωνα με τους Aki και Richards (1980), όταν το φάσμα επιτάχυνσης είναι περιορισμένο ως προς το εύρος συχνοτήτων του μεταξύ της f_o και της f_{max} τότε ισχύει,

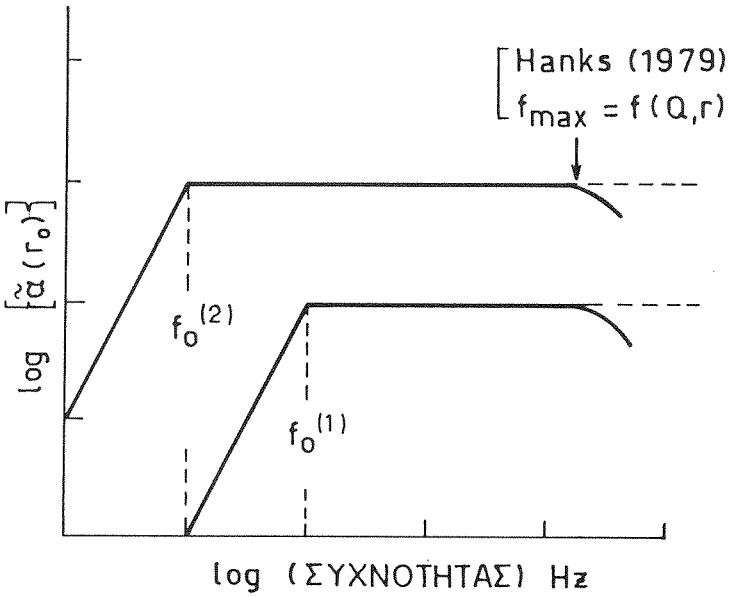
$$\alpha_{rms} = \{ P_o \, 2(f_{max}-f_o) \}^{1/2} \qquad (1.12)$$

Στην περίπτωση που $f_{max} >> f_o$, τότε κατά προσέγγιση έχουμε,

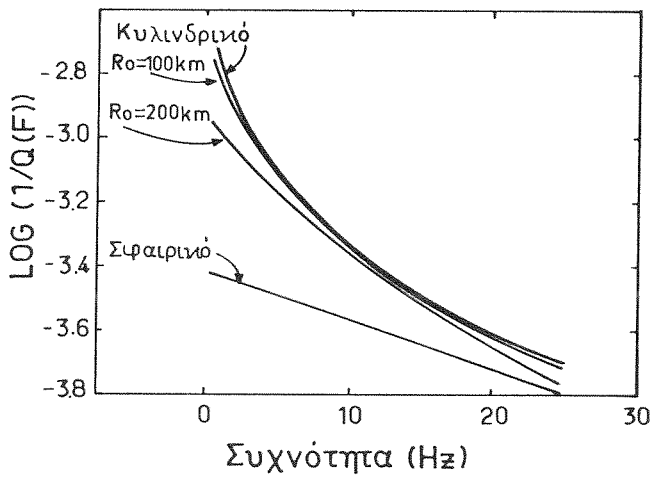
$$\alpha_{rms} = \{ P_o \, 2f_{max} \}^{1/2} \qquad (1.13)$$

Οπως προκύπτει από τις σχέσεις (1.11) και (1.13), η τοπική πτώση τάσης Δσ, και η συχνότητα f_{max}, προτείνονται ως δύο κύριοι παράγοντες οι οποίοι ελέγχουν τα πλάτη της επιτάχυνσης (Aki 1987).

Η συχνότητα f_{max} σχετίζεται με τη μέτρηση της έντασης της εδαφικής κίνησης στις υψηλές συχνότητες όπως η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ή η μέση τετραγωνική επιτάχυνση που χρησιμοποιούνται στον αντισεισμικό σχεδιασμό των πλέον κοινών κατασκευών (Papageorgiou 1988). Αρχικά η f_{max} αποδόθηκε στην ανελαστική



Σχ. 1.11. Φάσματα επιτάχυνσης σύμφωνα με το μοντέλο πηγής "ω-τετράγωνο", για δύο σεισμούς σταθερής πτώσης τάσης παρατηρημένα στην ίδια απόσταση, r_o, σε ελαστικό, ομογενές, ισότροπο και απεριόριστο μέσο (Papageorgiou 1981).



Σχ. 1.12. Επίδραση διαφόρων γεωμετρικών μοντέλων διάδοσης στην εκτίμηση του παράγοντα Q, για ενδοπλακικούς σεισμούς (Dahle et al. 1990).

απόσβεση κατά μήκος του δρόμου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Hanks 1979), ενώ ο ίδιος ερευνητής (Hanks 1982) την απέδωσε κυρίως στις τοπικές εδαφικές συνθήκες καταγραφής. Οι Anderson και Hough (1984) ερμήνευσαν την f_{max} ως την εκδήλωση της απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων κοντά στη θέση καταγραφής καθώς αυτά κινούνται μέσα σε λεπτό στρώμα από διαβρωμένο πέτρωμα και αλλουβιακές αποθέσεις. Οι Papageorgiou και Aki (1983) απέδωσαν την υψηλή συχνότητα, f_{max}, κυρίως σε χαρακτηριστικά της σεισμικής πηγής. Ο Aki (1987) εξετάζοντας για μικρούς σεισμούς, με τοπικά μεγέθη $M_L<4.0$, τη σχέση συχνότητας-μεγέθους ενίσχυσε την υπόθεση της σύνδεσης της f_{max} με χαρακτηριστικά της πηγής. Ο Papageorgiou (1988) εξετάζοντας την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών στην f_{max}, για το σεισμό του San Fernando του 1971 βρήκε ότι αυτή ελάχιστα επηρεάζεται.

Η διάδοση της διάρρηξης στην επιφάνεια του ρήγματος με μία πεπερασμένη ταχύτητα μπορεί να οδηγήσει σε καταστρεπτική συμβολή των σεισμικών κυμάτων και μεγάλες αζιμουθιακές διακυμάνσεις στα πλάτη τους (Boore 1983a). Το αποτέλεσμα αυτό καλείται κατευθυντικότητα και έχει αναγνωρισθεί αρχικά από το Benioff (1955) σε μεγάλης περιόδου σεισμικά κύματα, μεγάλων σεισμών. Κατευθυντικότητα έχει παρατηρηθεί στις εδαφικές ταχύτητες, αλλά όχι στις επιταχύνσεις, στο σεισμό της Imperial Valley 1979 (Singh 1982, Niazi 1982). Οι Boatwright και Boore (1982) προσδιόρισαν ισχυρή κατευθυντικότητα στις εδαφικές επιταχύνσεις δύο σεισμών κοντά στη Livermore Valley της Καλιφόρνιας. Η ταχύτητα διάρρηξης είναι επίσης μια σημαντική παράμετρος της σεισμικής πηγής αφού επηρεάζει την κατευθυντικότητα. Η ταχύτητα διάρρηξης εκτιμήθηκε από διάφορους ερευνητές ότι είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0.7 της ταχύτητας των εγκαρσίων κυμάτων (Boatwright and Boore 1982, Archuleta 1982, Niazi 1982). Οι περισσότερες μελέτες υποθέτουν ότι η ταχύτητα διάρρηξης είναι μικρότερη από εκείνη των εγκαρσίων κυμάτων. Ο Day (1982a,b) βρήκε ότι μπορεί στην επιφάνεια ενός ρήγματος να παρατηρηθεί τοπικά ταχύτητα διάρρηξης μεγαλύτερη από

την ταχύτητα των εγκαρσίων κυμάτων, αλλά η ανομοιογένεια των τάσεων συντελεί στη μείωση της μέσης ταχύτητας διάρρηξης σε επίπεδα χαμηλότερα από εκείνη των εγκαρσίων κυμάτων.

Το μέγεθος του σεισμού το οποίο χρησιμοποιείται στις σχέσεις απόσβεσης της ισχυρής κίνησης μπορεί πολλές φορές να οδηγήσει σε σύγχυση δεδομένου ότι υπάρχουν διάφορες κλίμακες μεγεθών οι περισσότερες από τις οποίες παθαίνουν κορεσμό καθώς το μέγεθος ροπής, όπως ορίσθηκε από τους Hanks και Kanamori (1979), αυξάνεται (Nuttli and Herrmann 1982, Heaton et al. 1986). Από την άλλη μεριά η χρήση του μεγέθους ροπής στις σχέσεις απόσβεσης (Joyner and Boore 1981) έχει δεχθεί κριτική επειδή για τους μεγάλους σεισμούς αυτό εξαρτάται από κύματα μεγάλων περιόδων οι οποίες δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην Αντισεισμική Τεχνολογία (Boore 1983a). Σύμφωνα με το Nuttli (1982), οι σχέσεις μεταξύ διαφόρων κλιμάκων μεγεθών και του μεγέθους ροπής, είναι διαφορετικές για τους ενδοπλακικούς και για τους οριοπλακικούς σεισμούς. Ο Ambraseys (1990) πρότεινε ότι πρέπει να αποφεύγεται η μετατροπή μιας κλίμακας μεγέθους σε μια άλλη, κάνοντας χρήση παγκόσμιων σχέσεων.

Το είδος της διάρρηξης έχει βρεθεί ότι επηρεάζει το πλάτος της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Ο Campbell (1981) βρήκε ότι οι εδαφικές επιταχύνσεις από ανάστροφα ρήγματα είναι συστηματικά μεγαλύτερες κατά 20% έως 30% από εκείνες των άλλων τύπων ρηγμάτων. Θεωρητικές μελέτες των Anderson και Luco (1982) και του McGarr (1982, 1984) κατέληξαν σε ανάλογα συμπεράσματα. Σύμφωνα με τον τελευταίο, η εδαφική επιτάχυνση σε κανονικό ρήγμα μπορεί να έχει τιμές $a_g \leq 0.5g$ ενώ σε ανάστροφο ρήγμα $a_g \leq 1.9g$. Αυτά τα ανώτερα όρια εδαφικής επιτάχυνσης μπορεί να υπερβληθούν όπου υπάρχει ενίσχυση της κίνησης λόγω εδαφικών συνθηκών. Σύμφωνα όμως με τον Crouse και τους συνεργάτες του (1988) και τον Westaway και Smith (1989) η φασματική ψευδοταχύτητα και η εδαφική επιτάχυνση, αντίστοιχα, είναι ανεξάρτητες του είδους διάρρηξης. Οι έως ένα βαθμό αντικρουόμενες αυτές απόψεις, αναμένουν την απόκτηση περισσότερων επιταχυνσιογραμμάτων από διάφορα σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα προκειμένου να δικαιωθεί η μια ή η άλλη.

1.2.3. Δρόμος διάδοσης

Το πλάτος των σεισμικών κυμάτων μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από τη σεισμική πηγή εξαιτίας της γεωμετρικής διασποράς και της ανελαστικής απόσβεσης. Η μελέτη της απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων, 1 έως 20 Hz, είναι βασικός παράγοντας στην κατανόηση των σεισμοτεκτονικών χαρακτηριστικών μιας ορισμένης περιοχής. Η απόσβεση για ένα συγκεκριμένο τύπο κύματος ορίζεται ως η αντίστροφη ποσότητα του παράγοντα ποιότητας, Q, και δίνεται από τη σχέση,

$$1/Q=qc/\pi f \qquad (1.14)$$

όπου q είναι ο συντελεστής απόσβεσης, c η ταχύτητα των κυμάτων και f η συχνότητα. Η απόσβεση, Q^{-1}, είναι αδιάστατη ποσότητα και η φυσική σημασία του Q^{-1} αναφέρεται στο λόγο της διαχεόμενης ενέργειας ανά κύκλο προς τη συνολική ενέργεια των σεισμικών κυμάτων (Tokzöz et al. 1987).

Οι μελέτες του δρόμου διάδοσης που σχετίζονται με την πρόβλεψη της ισχυρής εδαφικής κίνησης περιλαμβάνουν μετρήσεις του παράγοντα ποιότητας, Q, και θεωρητική αντιμετώπιση της διάδοσης κυμάτων σε ετερογενή μέσα. Σχετικά πρόσφατα, έχει γίνει δυνατή η ομαδοποίηση των ιδιοτήτων απόσβεσης σε σεισμικές περιοχές με τη χρήση της μεθόδου των κυμάτων ουράς (coda waves method), υπολογίζοντας τον παράγοντα ποιότητας Q. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στις ιδιότητες των κυμάτων ουράς τα οποία είναι κύματα σκέδασης σε ετερογένειες του μέσου διάδοσης (Aki 1969). Επειδή τα κύματα ουράς είναι το αποτέλεσμα τυχαίας διαδικασίας που γίνεται μέσα στο μέσο διάδοσης, αυτά αντανακλούν τις κατά μέσο όρο επιδράσεις, στο σεισμικό κύμα, του δρόμου διαδρομής.

Υποθέτοντας ομοιόμορφη σκέδαση από τυχαία κατανεμημένες ετερογένειες οι Aki και Chouet (1975) έδειξαν ότι το πλάτος, Α, των κυμάτων ουράς στη συχνότητα, f, και για πάροδο χρόνου από την αρχή, t, δίνεται από τη σχέση,

$$A(f,t) = S(f)t^{-\nu}\exp(-\pi ft/Q) \qquad (1.15)$$

όπου S(f) είναι παράγοντας της σεισμικής πηγής, ν η γεωμετρική διασπορά και Q ο παράγοντας ποιότητας των κυμάτων ουράς.

Τα περισσότερα δεδομένα για τον παράγοντα ποιότητας, Q, προέρχονται από μελέτες των κυμάτων ουράς (coda waves) (Aki and Chouet 1975, Rautian and Khalturin 1978, Aki 1980a, Herrmann 1980, Singh and Herrmann 1983, Phillips 1985, Mitchell and Hwang 1987, Frankel and Wennerberg 1987, Canas et al. 1988, Havskov et al. 1989, Ibanez et al. 1990, Woodgold 1990). Οι μετρήσεις του Q γίνονται συνήθως με τη χρήση φασματικού αναλυτή δεδομένων και παρουσιάζουν έντονη εξάρτηση από τη συχνότητα. Συγκεκριμένα οι τιμές του Q αυξάνονται με την αύξηση της συχνότητας για το διάστημα μεταξύ 1.5 έως 25 Hz, ακολουθώντας σχέση της μορφής (Phillips 1985),

$$Q = Q_o f^{\eta} \qquad (1.16)$$

όπου Q_o είναι η τιμή του Q για f=1Hz. Η εξάρτηση από τη συχνότητα όπως εκφράζεται από τον παράγοντα, η, μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή με τέτοιο τρόπο ώστε ο Q να συγκλίνει στις υψηλές συχνότητες. Τόσο ο παράγοντας Q_o όσο και ο η, εξαρτώνται από το τεκτονικό περιβάλλον. Ο παράγοντας η μπορεί να κυμαίνεται περίπου μεταξύ του 0.3 για τις ανατολικές Η.Π.Α. (Gupta et al. 1987) και του 1.0 για τις δυτικές Η.Π.Α. (Havskov et al. 1989).

Προς το παρόν, η φυσική σημασία των κυμάτων ουράς παραμένει αρκετά αμφιλεγόμενη. Ο Aki (1980a,b) αναφέρει ότι αυτή η παράμετρος εξηγεί τόσο τις εσωτερικές όσο και τις απώλειες από τη σκέδαση των κυμάτων ουράς. Αντίθετα, οι Frankel και Wennerberg

(1987) χρησιμοποιώντας διαφορετικές θεωρητικές υποθέσεις, πρότειναν ότι ο παράγοντας Q_c των κυμάτων ουράς οφείλεται κυρίως στην εσωτερική απόσβεση.

Ο Dahle και οι συνεργάτες του (1990) βασισμένοι σε φάσματα Fourier της επιτάχυνσης ενδοπλακικών σεισμών, εκτίμησαν την ανελαστική απόσβεση και πρότειναν ένα νέο μοντέλο για τη μεταβολή του Q με τη συχνότητα, f. Αυτοί διερεύνησαν την εξάρτηση της συνάρτησης Q(f) από διάφορα γεωμετρικά μοντέλα διάδοσης των κυμάτων. Στο σχήμα (1.12) φαίνεται η επίδραση του κυκλικού, του κυλινδρικού και δύο ενδιάμεσων μοντέλων για R_o=100km και 200 km. R_o είναι η απόσταση πάνω από την οποία οι κύριες φάσεις των σεισμικών κυμάτων διαδίδονται με το κυλινδρικό μοντέλο ενώ για μικρότερες αποστάσεις με το σφαιρικό μοντέλο. Η εξάρτηση της ανελαστικής απόσβεσης από το μοντέλο διάδοσης των κυμάτων επισημαίνει την ανάγκη βελτίωσης των υπαρχόντων μοντέλων διάδοσης (Dahle et al. 1990).

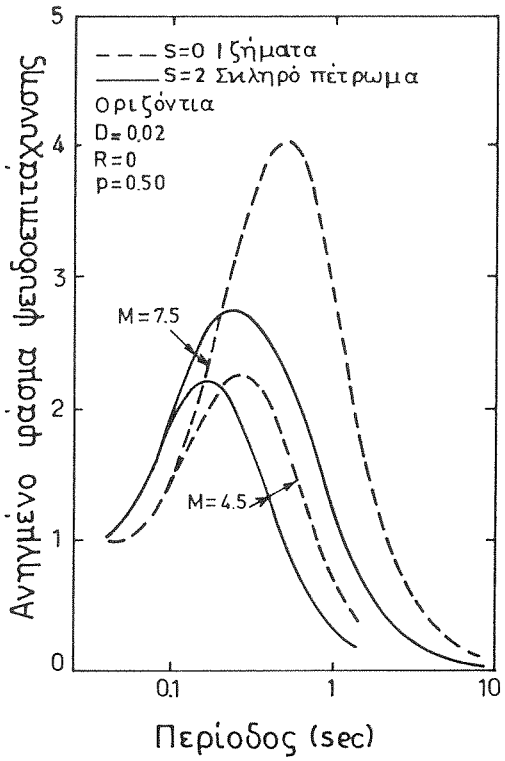
1.2.4. Θέση καταγραφής

Είναι γνωστό ότι οι τοπικές συνθήκες σε μια θέση μπορούν να διαμορφώσουν σημαντικά την ισχυρή εδαφική κίνηση και κατά συνέπεια την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας. Στον όρο "τοπικές συνθήκες" περιλαμβάνονται οι τοπικές εδαφικές συνθήκες, οι γεωλογικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή, οι τοπογραφικές συνθήκες και η τεχνική κατασκευή μέσα στην οποία στεγάζεται το όργανο καταγραφής. Η αλληλεξάρτηση των παραπάνω παραμέτρων καθιστά το πρόβλημα αρκετά πολύπλοκο και οι πρόσφατες ερευνητικές εργασίες εστιάζονται στη φυσική κατανόηση του προβλήματος με σκοπό τη δυνατότητα ποσοτικής πρόβλεψης της επίδρασης των τοπικών συνθηκών στην ισχυρή εδαφική κίνηση.

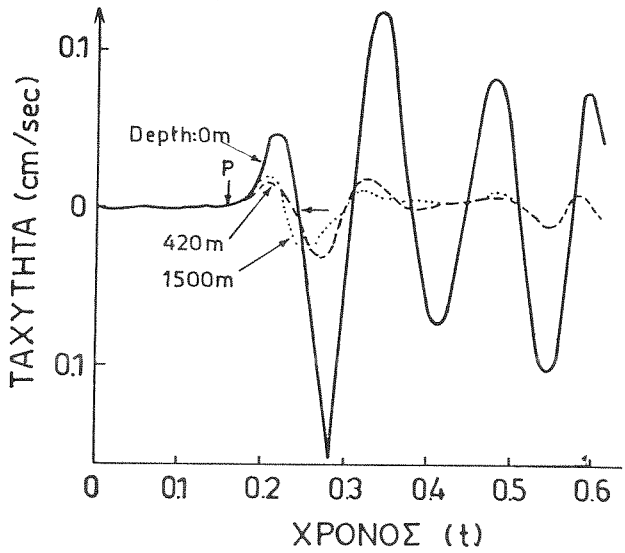
Οι τοπικές εδαφικές συνθήκες έχουν συσχετισθεί κυρίως με απλή γεωλογική περιγραφή στη θέση του σταθμού καταγραφής. Ο Campbell (1985) παραθέτει έναν εκτενή πίνακα στον οποίο δίνονται τέτοιες ταξινομήσεις εδαφικών συνθηκών που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό διαφόρων σχέσεων απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής

κίνησης. Περισσότερο εξελιγμένες ταξινομήσεις των τοπικών εδαφικών συνθηκών προτάθηκαν με βάση την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων (Joyner et al. 1983, Joyner and Fumal 1984) και με βάση το βάθος των αποθέσεων (Trifunac and Lee 1978, 1979a, Rogers et al. 1984, Campbell 1984). Σύμφωνα με τον Campbell (1985), η ποικιλία των εδαφικών ταξινομήσεων στη θέση καταγραφής επιβεβαιώνει την πολυπλοκότητα και την περιορισμένη κατανόηση της σχέσης μεταξύ της ισχυρής εδαφικής κίνησης και των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Στο σχήμα (1.13) δίνονται τα κανονικοποιημένα φάσματα απόκρισης ψευδοεπιτάχυνσης για σκληρό πέτρωμα και για ιζηματογενείς αποθέσεις, για δύο μεγέθη σεισμών M_L=4.5 και 7.5 (Trifunac and Anderson 1977). Είναι φανερή η επίδραση των εδαφικών συνθηκών στις φασματικές ψευδοεπιταχύνσεις και συγκεκριμένα η μετατόπιση αυτών σε μεγαλύτερες περιόδους με υψηλότερες τιμές για τις ιζηματογενείς αποθέσεις . Ο Campbell (1981, 1983) και οι Chiaruttini και Siro (1981) παρατήρησαν μεγάλη μεγέθυνση σε σχέση με το μητρικό πέτρωμα, μέχρι και δύο φορές, για τις εδαφικές επιταχύνσεις που καταγράφονται πάνω σε αβαθείς εδαφικές αποθέσεις. Η κατάταξη αυτών των θέσεων στην κατηγορία των σκληρών πετρωμάτων, που αποτελούσε κοινή πρακτική κατά το παρελθόν, μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις εκτιμήσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης στις υψηλές συχνότητες για την παραπάνω κατηγορία εδαφικών συνθηκών (Campbell 1985). Οι Seale και Archuleta (1989) κατέγραψαν μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις σεισμών σε διάφορες θέσεις γεώτρησης βάθους 166 m και παρατήρησαν μεγεθύνσεις στην επιφάνεια σχετικά με τον πυθμένα μέχρι περίπου 6 φορές. Επιπλέον έδειξαν ότι η επιφανειακή απόκριση προέρχεται κατά κύριο λόγο από το συντονισμό δύο σχετικά λεπτών επιφανειακών στρωμάτων.

Σύμφωνα με τον Campbell (1985), ο τρόπος ταξινόμησης των εδαφικών συνθηκών θα πρέπει να είναι συνεπής με την παράμετρο της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης που πρόκειται να εκτιμηθεί. Κάθε μια παράμετρος επηρεάζεται διαφορετικά από τα χαρακτηριστικά των εδαφικών συνθηκών στη θέση και τα αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα με την απόσταση από την πηγή και το μέγεθος του σεισμού.



Σχ. 1.13. Σύγκριση κανονικοποιημένων φασμάτων απόκρισης ψευδοεπιτάχυνσης για δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών και δύο μεγέθη σεισμών (Trifunac and Anderson 1977).



Σχ. 1.14. Μεταβολή με το βάθος των P-κυμάτων (Hauksson et al. 1987).

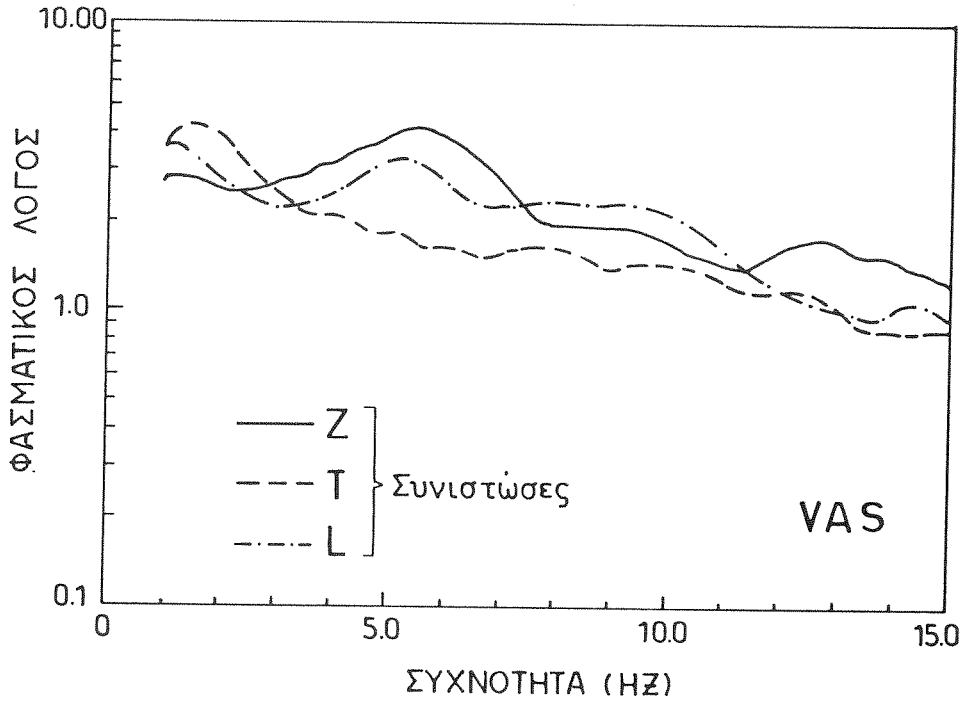
Εχει παρατηρηθεί ότι οι αβαθείς εδαφικές αποθέσεις μεγενθύνουν τις εδαφικές επιταχύνσεις σχετικά κοντά στην πηγή ενώ οι εδαφικές ταχύτητες παραμένουν ουσιαστικά αμετάβλητες (Campbell 1983). Το βάθος των ιζημάτων βρέθηκε ότι συσχετίζεται με τις ενδιάμεσες και μεγάλες περιόδους της ισχυρής εδαφικής κίνησης (Hanks 1975, Trifunac and Lee 1978, 1979a, King and Tucker 1984, Tucker and King 1984).

Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά μιας θέσης σύμφωνα με το Frankel (1982) και Hanks (1982) μπορεί να είναι υπεύθυνα για την κατά κανόνα παρατηρημένη απότομη μείωση της ενέργειας στην εδαφική επιτάχυνση πάνω από μια συγκεκριμένη μέγιστη συχνότητα, f_{max}. Οπως έχει ήδη προαναφερθεί το φαινόμενο αυτό έχει αποδοθεί στις ιδιότητες της σεισμικής πηγής (Papageorgiou and Aki 1983), οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι για αρκετά μικρούς σεισμούς η πτώση τάσης μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους του σεισμού (Archuleta et al. 1982). Ο Hauksson και οι συνεργάτες του (1987) με την εγκατάσταση σεισμομέτρων σε διάφορες θέσεις γεώτρησης βάθους 1500 m, παρατήρησαν αύξηση της συχνότητας, f_{max}, με το βάθος και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτή μπορεί να διαμορφωθεί κυρίως από το δρόμο διάδοσης κοντά στην εξεταζόμενη θέση παρά από τις ιδιότητες της εστίας. Στο σχήμα (1.14) φαίνεται η διαφοροποίηση με το βάθος του πρώτου παλμού των επιμήκων, P, κυμάτων. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές η απόσβεση κοντά στην επιφάνεια του εδάφους επιδρά στον προσδιορισμό των παραμέτρων πηγής των τοπικών σεισμών με τέτοιο τρόπο ώστε η δυναμική πτώση τάσης να υποεκτιμιέται και η ακτίνα της πηγής να υπερεκτιμιέται όταν χρησιμοποιούνται επιφανειακές καταγραφές.

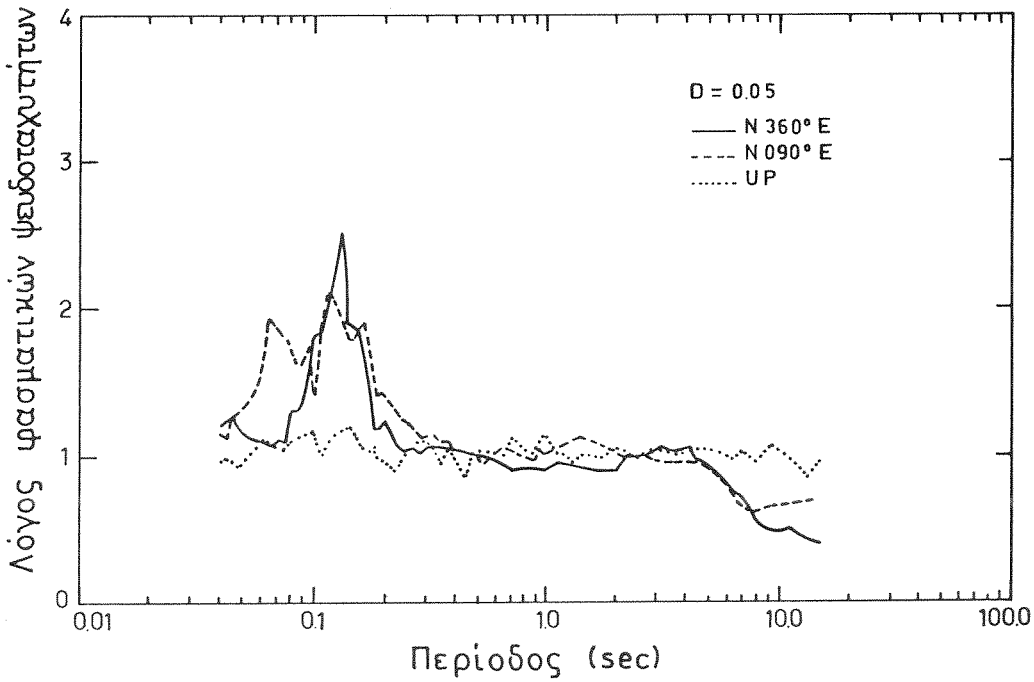
Η απόκριση των ιζηματογενών κοιλάδων σε σεισμική διέγερση έχει προκαλέσει από καιρό το ενδιαφέρον τόσο των σεισμολόγων όσο και των μηχανικών εξαιτίας της συγκέντρωσης ανθρώπινου πληθυσμού σε τέτοιες κοιλάδες και εξαιτίας της μεγέθυνσης της σεισμικής κίνησης πάνω σε αυτές σχετικά με το παρακείμενο σκληρό πέτρωμα. Ο Dravinski (1983) εξέτασε τη μεγέθυνση των κυμάτων P, SV και Rayleigh σε δύο συνδεδεμένες κοιλάδες και παρατήρησε ότι διαφορετική γωνία πρόσπτωσης των κυμάτων προκαλεί και διαφορετική

μετάθεση στην επιφάνεια των κοιλάδων. Επίσης παρατήρησε ότι η ύπαρξη επιπλέον της μιας συνδεδεμένων μεταξύ τους κοιλάδων μπορεί να αλλάξει σημαντικά την επιφανειακή ισχυρή κίνηση και ότι το πλάτος αυτής της κίνησης εξαρτάται από τη συχνότητα των εισερχομένων στην κοιλάδα κυμάτων και από τις ιδιότητες του υλικού της και του ημιχώρου όπου αυτή εδράζεται. Ο Lee (1984) εξέτασε την περίθλαση των κυμάτων P,SV,SH από μοντέλο ημισφαιρικής κοιλάδας και κατέληξε μεταξύ των άλλων ότι η μετάθεση των πλατών στην επιφάνεια μπορεί να είναι μέχρι και δύο φορές υψηλότερη από την εισερχόμενη σε αυτήν κίνηση. Οι King και Tucker (1984) και Tucker και King (1984) διερεύνησαν πειραματικά τη σεισμική κίνηση κατά το μήκος και πλάτος κοιλάδας και παρατήρησαν ότι αυτή μπορεί να είναι μέχρι και δέκα φορές υψηλότερη από τη σεισμική κίνηση σε γειτονική θέση του σκληρού πετρώματος. Ο λόγος της κίνησης στην κοιλάδα προς εκείνη στο σκληρό πέτρωμα εξαρτάται περισσότερο από τη συχνότητα των κυμάτων και από τη θέση καταγραφής στην κοιλάδα και λιγότερο από το αζιμούθιο και τη γωνία πρόσπτωσης της σεισμικής ακτίνας. Θεωρητικές μελέτες που αφορούν την απόκριση κοιλάδας σε σεισμική διέγερση έχουν εκπονηθεί και από διάφορους άλλους ερευνητές τονίζοντας άλλοτε τη σημασία της γωνίας πρόσπτωσης της εισερχόμενης σεισμικής ακτίνας (Bravo et al. 1988), άλλοτε τις ιδιότητες του υλικού της κοιλάδας και τη γεωμετρία των ορίων της (Kawase and Aki 1989) ή το είδος των κυμάτων που εισέρχονται στην κοιλάδα (Bravo and Sancez-Sesma 1990). Ενα τυπικό παράδειγμα απόκρισης κοιλάδας δίνεται στο σχήμα (1.15) όπου φαίνεται ο μέσος όρος του λόγου των φασματικών πλατών ενός σταθμού, (VAS), αναγραφής ασθενών κινήσεων στην κοιλάδα των Βασιλικών Θεσσαλονίκης προς τα φασματικά πλάτη σε σκληρό πέτρωμα σε γειτονική θέση, σε συνάρτηση με τη συχνότητα (Chavez-Garcia et al. 1990).

Οι πειραματικές μελέτες των αποτελεσμάτων των τοπικών εδαφικών συνθηκών βασίζονται συνήθως σε ασθενείς σεισμικές κινήσεις τοπικών μικροσεισμών ή μεγάλων σεισμών από μεγάλες αποστάσεις. Τα συμπεράσματα που αφορούν την απόκριση αλλουβιακών αποθέσεων που προέρχονται από τέτοιες σεισμικές κινήσεις έχουν δεχθεί αυστηρή



Σχ. 1.15. Μέσες τιμές του λόγου των φασματικών πλατών για το σταθμό VAS της κοιλάδας των Βασιλικών Θεσσαλονίκης από αναγραφές σεισμών της ευρύτερης περιοχής (Chavez-Garcia et al. 1990).



Σχ. 1.16. Λόγος της φασματικής ψευδοταχύτητας επιταχυνσιογράμματος που καταγράφηκε από όργανο στεγαζόμενο σε παράπηγμα προς την αντίστοιχη στο ελεύθερο πεδίο κατά το σεισμό της Imperial Valley του 1979 (Campbell 1983).

κριτική λόγω της μη γραμμικής συμπεριφοράς των εδαφών σε ισχυρές εδαφικές κινήσεις μεγάλων σεισμών στο κοντινό πεδίο. Ο Rogers και οι συνεργάτες του (1981) σύγκριναν τις συναρτήσεις μεταφοράς (transfer functions) μεταξύ μερικών σταθμών καταγραφής ισχυρής κίνησης κατά το σεισμό του San Fernando του 1971 και τις ανάλογες ασθενών δονήσεων που προήλθαν από πυρηνικές εκρήξεις στη Νεβάδα των Η.Π.Α. Παρατήρησαν ομοιότητα των συναρτήσεων μεταφοράς και συμπέραναν ότι τα αποτελέσματα της μη γραμμικής συμπεριφοράς των εδαφικών αποθέσεων δεν ήταν τόσο σημαντικά όσο αρχικά θεωρούνταν. Ο Joyner και οι συνεργάτες του (1981) μελετώντας επιταχυνσιογράμματα με πλάτη εδαφικής επιτάχυνσης μέχρι 0.25g καταγραμμένα σε δύο κοντινές θέσεις, το ένα σε αλλουβιακές αποθέσεις και το άλλο σε σκληρό πέτρωμα, κατέληξαν στο ίδιο συμπέρασμα. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν οι Tucker και King (1984) για εδαφικές επιταχύνσεις μέχρι 0.2 g, ο Jarpe και οι συνεργάτες του (1988) για εδαφικές επιταχύνσεις μέχρι 0.7 g στο διάστημα συχνοτήτων 1-10 Hz, ενώ ο Chavez-Garcia και οι συνεργάτες του (1990), βρήκαν λογική συμφωνία μεταξύ των μικροσεισμικών και μακροσεισμικών δεδομένων για το σεισμό της Θεσσαλονίκης 1978 και πρότειναν γραμμική κυρίως συμπεριφορά των εδαφικών σχηματισμών σε σεισμική διέγερση για μακροσεισμικές εντάσεις μέχρι VII. Ετσι, σύμφωνα με τα αποτελέσματά τους είναι ρεαλιστική η χρήση αναγραφών ασθενών σεισμικών κινήσεων για την εκτίμηση στην ίδια θέση των ισχυρών σεισμικών κινήσεων.

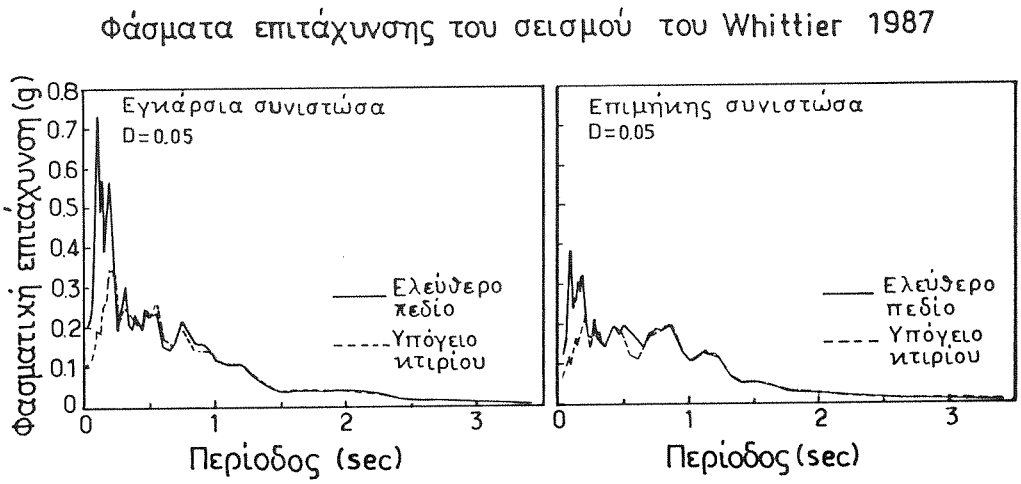
Συχνά αναφέρεται ότι σε περιοχές με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο τα κτίρια που βρίσκονται στην κορυφή λόφων παθαίνουν μεγαλύτερες βλάβες από εκείνα στη βάση. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων έχουν καταγραφεί από διάφορους ερευνητές (Siro 1982, Celebi and Hanks 1986). Ενόργανες μετρήσεις επίσης δείχνουν ότι η επιφανειακή τοπογραφία παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της σεισμικής κίνησης σε μια θέση (Davis and West 1973, Boore 1973, Rogers et al. 1974, Tucker et al. 1984, Geli et al. 1988). Οι Kawase και Aki (1990) μελετώντας την επίδραση της τοπογραφίας σε κύματα πρόσπτωσης SV του σεισμού Whittier Narrows California

1987 βρήκαν ότι η μεγέθυνση των πλατών των κυμάτων αυτών σε σχέση με εκείνα στην επίπεδη επιφάνεια είναι μεγαλύτερη από 1.5 για όλα τα μοντέλα πηγής που έλαβαν υπόψη τους.

Σχετικά πρόσφατες ερευνητικές εργασίες έχουν δείξει ότι η ισχυρή σεισμική εδαφική κίνηση μπορεί να επηρεασθεί από το μέγεθος και το είδος θεμελίωσης της κατασκευής όπου αυτή καταγράφεται (Crouse 1978, 1984, Boore et al. 1980, Seed and Lysmer 1980, Campbell 1983, 1984, 1986, Crouse and Hushmand 1989) επιβεβαιώνοντας τη θεωρητική ανάλυση της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής (Prevost and Scalnan 1983, Zeng and Cakmak 1984a,b, Zeng et al. 1985). Στο σχήμα (1.16) φαίνεται η επίδραση του παραπήγματος, όπου στεγαζόταν ο επιταχυνσιογράφος, στα φάσματα απόκρισης της εδαφικής κίνησης. Η προς σύγκριση καταγραφή προερχόταν από γειτονικό επιταχυνσιογράφο ελευθέρου πεδίου (Campbell 1983). Λεπτομερής μελέτη της επίδρασης των κτιρίων στέγασης επιταχυνσιογράφων στις καταγραφές αυτών έγινε από τον Luco και τους συνεργάτες του (1990).

Η ανάλυση των επιταχυνσιογραμμάτων από το σεισμό του San Fernando του 1971 που καταγράφηκαν σε υπόγεια κτιρίων έδειξε ότι το βάθος θεμελίωσης αυτών ελέγχει περισσότερο από τις διαστάσεις της θεμελίωσης τη μείωση των υψισυχνων πλατών της εδαφικής κίνησης (Crouse 1976, Lee et al. 1982). Οι Fenves και Serino (1990) μελέτησαν την αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής σε καταγραφές του σεισμού του Whittier 1987 και των μετασεισμών του. Στο σχήμα (1.17) φαίνεται η σημαντική μείωση στις χαμηλές περιόδους, μικρότερες του 0.3 sec περίπου, των φασματικών επιταχύνσεων όπως καταγράφηκαν στο υπόγειο δεκατετραορόφου κτιρίου σε σχέση με την καταγραφή του ελευθέρου πεδίου.

Σημαντική είναι η ταυτόχρονη διερεύνηση των επιδράσεων στη σεισμική κίνηση σε μια θέση, των ιδιοτήτων της πηγής, του δρόμου διάδοσης και των χαρακτηριστικών στην ίδια τη θέση όπως έχουν χαρακτηριστικά δείξει ο Campillo και οι συνεργάτες του (1989) μελετώντας το σεισμό του Μεξικού του 1985 και τα αποτελέσματά του στην πόλη του Μεξικού. Η ταυτόχρονη επίδραση των τοπικών εδαφικών



Σχ. 1.17. Παράδειγμα αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής σε σεισμική διέγερση (Fenves and Serino 1990).

συνθηκών και του μηχανισμού γένεσης του σεισμού της Καλαμάτας, 1986, έχει δειχθεί ότι συνέβαλαν σημαντικά στην ανομοιόμορφη κατανομή των βλαβών στην πόλη της Καλαμάτας (Gazetas et al. 1990).

1.3. Εμπειρικές Σχέσεις Απόσβεσης και Προσομοίωση της Ισχυρής Σεισμικής Εδαφικής Κίνησης

Τα σεισμικά φορτία για τα οποία πρόκειται να σχεδιασθεί μία κατασκευή καθορίζονται συνήθως είτε με τη χρήση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης είτε της φασματικής επιτάχυνσης. Η εκτίμηση αυτών των παραμέτρων βασίζεται σχεδόν πάντοτε σε σχέσεις απόσβεσης ή σχέσεις αναγωγής οι οποίες προέρχονται από τη γραμμική παλινδρόμηση των παρατηρημένων τιμών σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού και την απόσταση μεταξύ της εστίας και της θέσης καταγραφής. Λόγω της σπουδαιότητας αυτών των σχέσεων έχει προταθεί μεγάλος αριθμός για διάφορες περιοχές της Γης ενώ μετά την απόκτηση νέων δεδομένων αυτές ανανεώνονται. Είναι φανερό ότι δεν θα υπήρχε λόγος ανάπτυξης τέτοιων σχέσεων για μια θέση όπου τα δεδομένα θα κάλυπταν πλήρως το ζεύγος μεγεθών- αποστάσεων των σεισμών που απειλούν τη θέση. Αυτό όμως δεν είναι ο κανόνας, αφού συχνά απαιτούνται προβλέψεις της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα (Boore and Joyner 1982). Επιπλέον οι σχέσεις αυτές παρέχουν μια βολική "περίληψη" των δεδομένων για χρήση σε προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών κατά την εκτίμηση πιθανολογικών παραμέτρων της ισχυρής κίνησης. Πέραν αυτών οι σχέσεις απόσβεσης βοηθούν στην κατανόηση των φυσικών διαδικασιών που ελέγχουν τις μεταβολές της εδαφικής κίνησης.

Οι εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης βασίζονται σε επιταχυνσιογράμματα που κατέγραψαν την ισχυρή κίνηση σεισμών, ενώ οι θεωρητικές σχέσεις απόσβεσης βασίζονται στη θεωρία διάρρηξης της σεισμικής πηγής και διάδοσης των κυμάτων σε ελαστικά μέσα. Η επιλογή του μαθηματικού μοντέλου το οποίο θα συνδέσει τις

ανεξάρτητες μεταβλητές (μέγεθος, απόσταση, εδαφικές συνθήκες) με τις εξαρτημένες (εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, φασματική επιτάχυνση) αποτελεί αποφασιστικό βήμα κατά τη μελέτη της απόσβεσης της ισχυρής κίνησης (Campbell 1985).Αυτό το μοντέλο εξαρτάται από τη διαθέσιμη τράπεζα δεδομένων και από τη χρήση για την οποία προορίζεται η σχέση απόσβεσης. Η γενική μορφή του μαθηματικού μοντέλου, για τις εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης, είναι της μορφής (Campbell 1985),

$$Y=b_1 f_1(M) f_2(R) f_3(M,R) f_4(Pi)\varepsilon \qquad (1.17)$$

όπου Y είναι η παράμετρος της εδαφικής κίνησης, $f_1(M)$ η συνάρτηση του μεγέθους, M, του σεισμού, $f_2(R)$ η συνάρτηση της απόστασης, $f_3(M,R)$ η κοινή συνάρτηση του μεγέθους και της απόστασης, $f_4(Pi)$ συνάρτηση η οποία εκφράζει παραμέτρους της εστίας του σεισμού, του δρόμου διαδρομής του κύματος, της θέσης καταγραφής ή της κατασκευής όπου στεγάζεται ο επιταχυνσιογράφος και ε τυχαία μεβλητή η οποία απεικονίζει την αβεβαιότητα στην πρόβλεψη της Y.

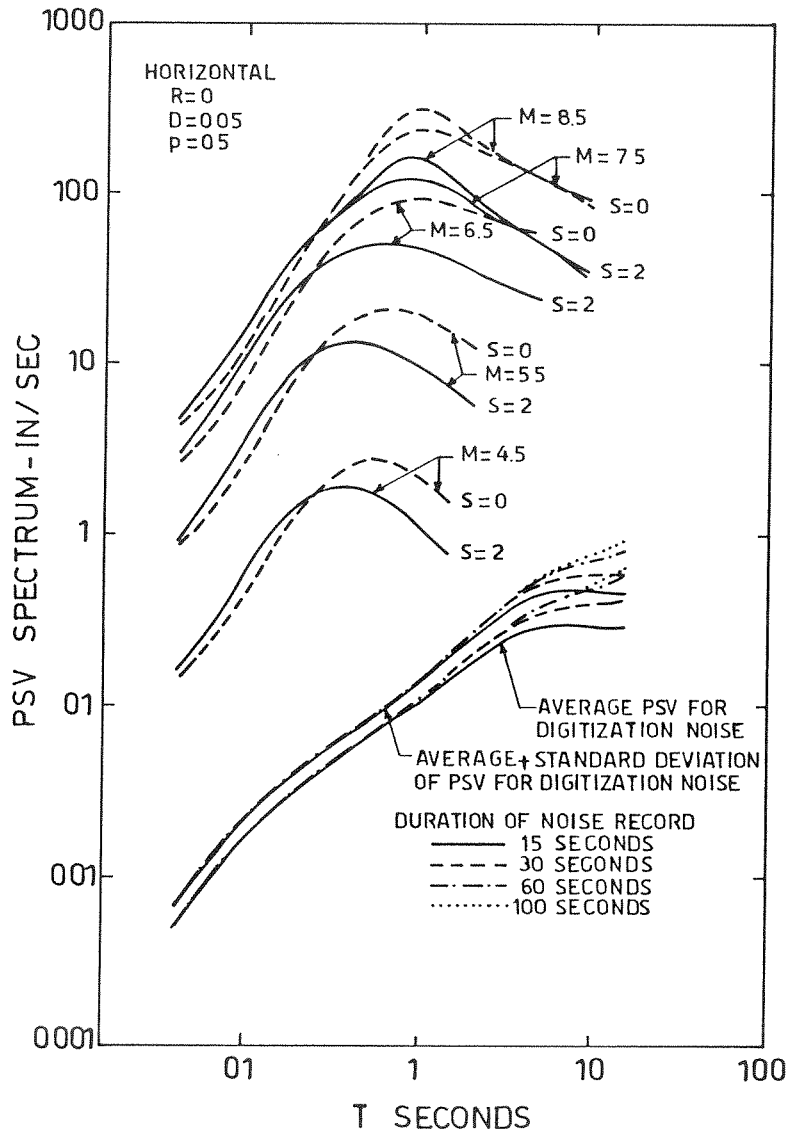
Οσον αφορά το μαθηματικό μοντέλο για τις θεωρητικές σχέσεις απόσβεσης αυτό, για το φάσμα της σεισμικής πηγής σε απόσταση, r, από κάποιο σεισμό, δίνεται συνήθως από τη σχέση (Boore 1987),

$$R(f)=C\ S(f)A(f)D(f)I(f) \qquad (1.18)$$

όπου οι παράγοντες C,S,A,D,I απεικονίζουν, αντίστοιχα, τον παράγοντα αναγωγής, το φάσμα πηγής, έναν παράγοντα ενίσχυσης των επιφανειακών γεωλογικών στρωμάτων στην εξεταζόμενη θέση, έναν παράγοντα μείωσης λόγω ανελαστικής απόσβεσης και εκείνον τον παράγοντα που καθορίζει το είδος της ισχυρής κίνησης που πρόκειται να υπολογισθεί.

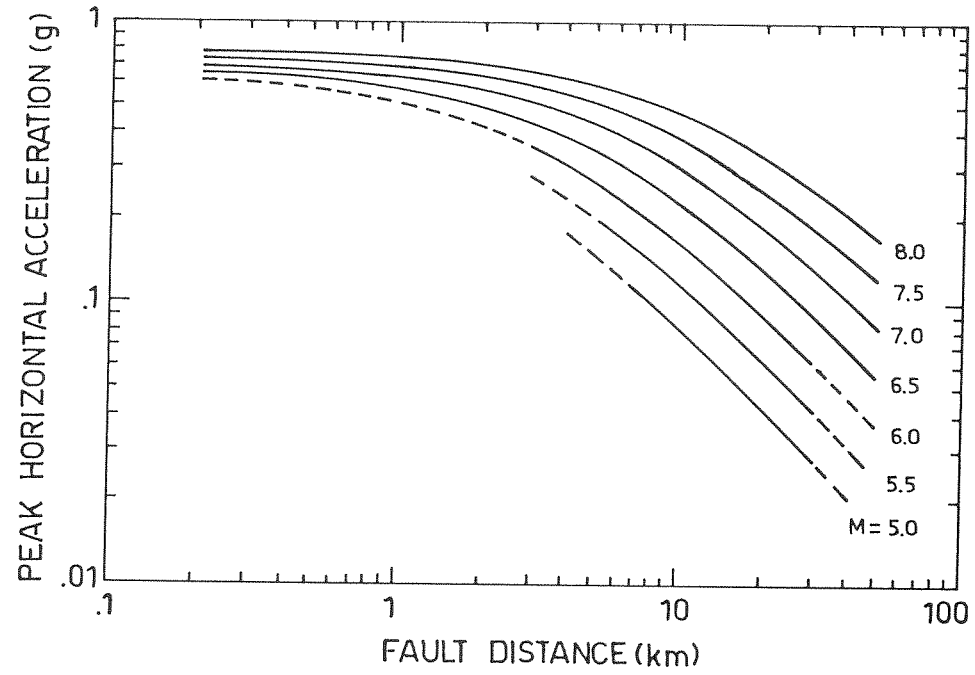
Μετά τις πρώτες εργασίες που έδωσαν εμπειρικές σχέσεις απόσβεσης της εδαφικής επιτάχυνσης (Gutenberg and Richter 1942,1956), με την αύξηση των δεδομένων επιταχυνσιογράφων παρατηρήθηκε και ανάλογη αύξηση των προτεινόμενων σχέσεων απόσβεσης για διάφορες περιοχές της Γης. Οι Schnabel και Seed (1973)

πρότειναν καμπύλες απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης σε σκληρό πέτρωμα για τις δυτικές ακτές των Η.Π.Α. Οι Hanks και Johnson (1976) με τη χρήση μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων σε αποστάσεις R≈10 km, για σεισμούς μεγεθών 3.2≤M≤7.1 παρατήρησαν ότι στις αποστάσεις αυτές η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση είναι ανεξάρτητη του μεγέθους του σεισμού. Ο Trifunac (1976c) και οι Trifunac και Brady (1976) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων σε συνάρτηση με το μέγεθος, την επικεντρική απόσταση και τις εδαφικές συνθήκες για σεισμούς των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. Αυτοί παρατήρησαν ότι για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% και για το διάστημα συχνοτήτων μεταξύ 0.07 και 25 Hz, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση δεν υπερβαίνουν τα 3 - 5 g, 400-700 cm/sec και 200-400 cm, αντίστοιχα. Παρατήρησαν επίσης ότι για τα μεγάλα μεγέθη, M>7.0, η εξάρτηση των μεγίστων τιμών της εδαφικής κίνησης από το μέγεθος είναι ασήμαντη. Η επίδραση των γεωλογικών συνθηκών στη θέση καταγραφής φαίνεται να είναι αμελητέα για τις εδαφικές επιταχύνσεις ενώ προοδευτικά γίνεται σπουδαιότερη για τη μέγιστη εδαφική ταχύτητα και μετάθεση. Ο Trifunac (1976b) και οι Trifunac και Anderson (1977,1978a,b) με βάση ένα μεγάλο δείγμα ψηφιοποιημένων και διορθωμένων επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. πρότειναν σχέσεις απόσβεσης, για διάφορες συχνότητες, των πλατών των φασμάτων Fourier, της φασματικής ψευδοεπιτάχυνσης, ψευδοταχύτητας και σχετικής ταχύτητας, σε συνάρτηση με το μέγεθος, την επικεντρική απόσταση και τις εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής. Ο χαρακτηρισμός των εδαφικών συνθηκών έγινε με βάση τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής σε τρεις κατηγορίες: σε σκληρό πέτρωμα, σε μαλακές αλλουβιακές αποθέσεις και σε μια ενδιάμεση κατηγορία. Οι παραπάνω ερευνητές κατά τη στατιστική επεξεργασία των φασματικών τιμών έλαβαν υπόψη τους και τα σφάλματα ψηφιοποίησης. Στο σχήμα (1.18) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας όπως προβλέπονται από την ανάλογη σχέση απόσβεσης των Trifunac και Anderson (1978a) μαζί με τα σφάλματα ψηφιοποίησης. Ο Seed και οι συνεργάτες του (1976b) με τη χρήση επιτα-

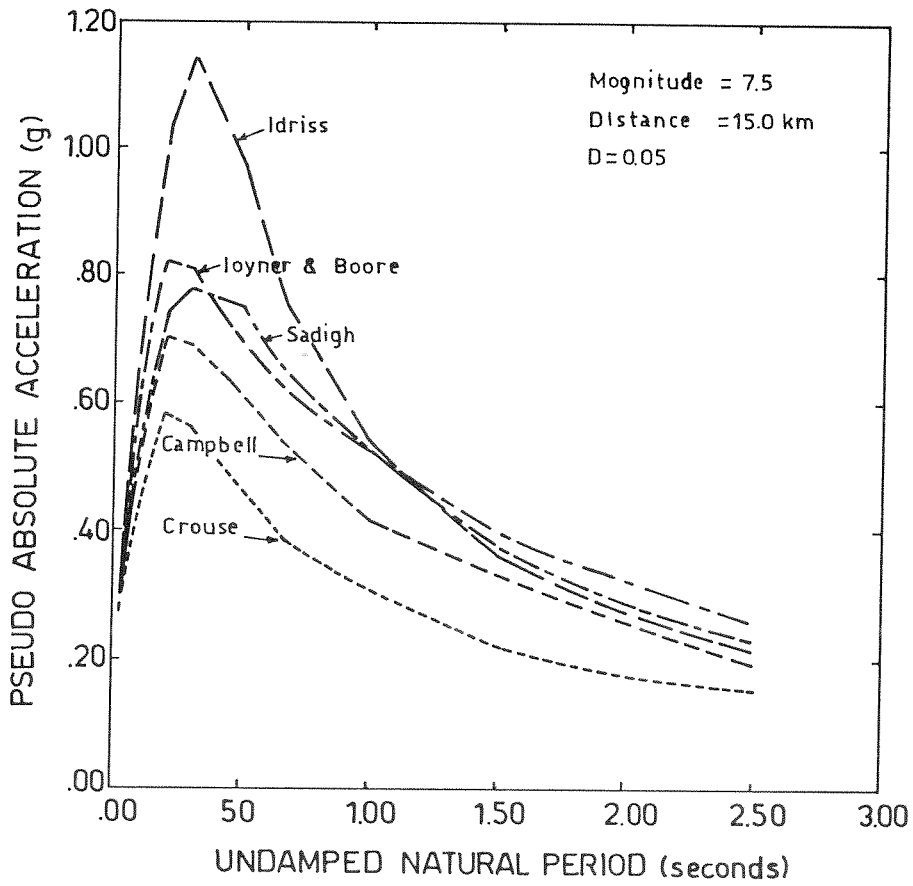


Σχ. 1.18. Μέσα φάσματα απόκρισης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας (Trifunac and Anderson 1978a).

χυνσιογραμμάτων σεισμών των δυτικών ακτών των Η.Π.Α., με μεγέθη 6.0≤M≤6.6, μελέτησαν την απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας με έμφαση στην επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Ο Espinosa (1977) μελέτησε την απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής ταχύτητας για το σεισμό του San Fernando 1971. Την απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, της φασματικής ψευδοταχύτητας και των πλατών φάσματος Fourier μελέτησε με δεδομένα των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. ο McGuire (1978a,b). Οι Trifunac και Lee (1978) μελέτησαν την επίδραση των μεγάλου πάχους ιζημάτων στην απόσβεση των πλατών φασμάτων Fourier και κατέληξαν ότι για μεγάλες περιόδους, T>1 sec, τα φασματικά πλάτη αυξάνονται κατά 0.1 στη λογαριθμική κλίμακα ανά χιλιόμετρο πάχους του ιζήματος. Ο Boore (1980) εξετάζοντας την απόσβεση της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας, βρήκε ότι αυτή είναι ανάλογη με τα πλάτη του σεισμογράφου Wood-Anderson. Ο ίδιος ερευνητής με τους συνεργάτες του (Boore et al. 1980) μελέτησαν την απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, ομαδοποιώντας τα δεδομένα σε τρεις κατηγορίες μεγεθών μειώνοντας έτσι κατά έναν τους παράγοντες αναγωγής της ισχυρής κίνησης. Οι Joyner και Boore (1981) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας, για δύο εδαφικές κατηγορίες, χρησιμοποιώντας το μέγεθος ροπής ως παράγοντα αναγωγής. Η απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης στο κοντινό πεδίο, R≤50 km, μελετήθηκε από τον Campbell (1981) με την αξιοποίηση δεδομένων από διάφορες περιοχές της Γης για μεγέθη, 5.0≤M≤7.7. Στο σχήμα (1.19) φαίνεται η απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για διάφορα μεγέθη στην οποία κατέληξε ο παραπάνω ερευνητής. Είναι φανερός ο "κορεσμός" της επιτάχυνσης με την αύξηση του μεγέθους στο κοντινό πεδίο. Ο Hasegawa και οι συνεργάτες του (1981) αξιοποιώντας σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. σε συνδυασμό με δεδομένα μακροσεισμικών εντάσεων του Καναδά πρότειναν ανάλογες σχέσεις απόσβεσης. Οι Joyner και Boore (1982) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδο-



Σχ. 1.19. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης στο κοντινό πεδίο (R≤50km)(Campbell 1981).



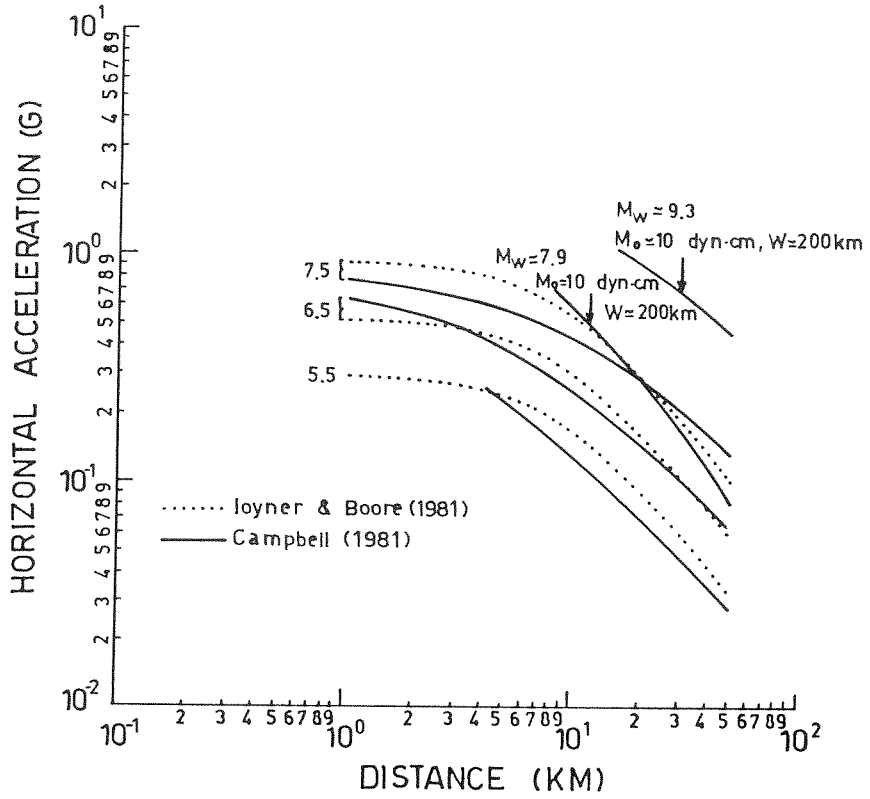
Σχ. 1.20. Μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας φασματικής ψευδοεπιτάχυνσης (Donovan 1989).

ταχύτητας με μέγεθος αναγωγής εκείνο της σεισμικής ροπής. Οι ίδιοι ερευνητές (Boore and Joyner 1982) διερεύνησαν τις εξαρτημένες και ανεξάρτητες μεταβλητές που υπεισέρχονται στις σχέσεις απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης, τόνισαν τη σημασία του επιλεγόμενου μαθηματικού μοντέλου και της σχετικής ανάλυσης καθώς και την αναγκαιότητα για καταγραφή επιταχυνσιογραμμάτων μεγάλων σεισμών, $M_w>7.0$, στο κοντινό πεδίο, $R<25$ km. Με το χωρισμό σε διάφορες κατηγορίες μεγεθών, αποστάσεων και εδαφικών συνθηκών δεδομένων ισχυρών εδαφικών κινήσεων της Ιαπωνίας, ο Katayama (1982) πρότεινε σχέση αναγωγής της οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης για την εφαρμογή της σε χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας. Οι Bolt και Abrahamson (1982) πρότειναν μια εναλλακτική σχέση απόσβεσης για τις δυτικές ακτές των Η.Π.Α. η οποία διαχωρίζει τις μεταβολές του μακρυνού πεδίου από το κοντινό πεδίο. Παράλληλα έδωσαν τον ορισμό της ουσιαστικής μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης. Ο Donovan (1982) εξετάζοντας τις πλέον πρόσφατες για την εποχή του σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης κατέληξε μεταξύ των άλλων ότι η χρήση της μακροσεισμικής έντασης για τον καθορισμό σχέσης απόσβεσης οδηγεί στη υπερεκτίμηση του συντελεστή αναγωγής του μεγέθους και ότι ο συντελεστής αυτός για όλες τις σχέσεις απόσβεσης είναι συνάρτηση της απόστασης. Επισήμανε ακόμη ότι για τις εφαρμογές των μηχανικών, κατά τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων η χρήση και των δύο συνιστωσών της οριζόντιας επιτάχυνσης είναι προτιμητέα από τη χρήση μόνο της μεγαλύτερης. Με επιταχυνσιογράμματα της νοτιοανατολικής Ευρώπης ο Naumovski (1984) καθόρισε σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης και φασματικής ψευδοταχύτητας. Ανάλογες σχέσεις καθόρισαν για την Ιαπωνία ο Kawashima και οι συνεργάτες του (1984,1986). Οι Jacob και Mori (1984) συνέκριναν την απόσβεση της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σεισμών περιβάλλοντος ζωνών κατάδυσης της Αλάσκας με ανάλογη των επιφανειακών και παρατήρησαν μεγάλη διασπορά στις επιταχύνσεις των πρώτων γεγονός που οφείλεται κυρίως στη μεγάλη διακύμανση της πτώσης τάσης σε μερικές ζώνες κατάδυσης. Ο Peng και οι συνεργάτες

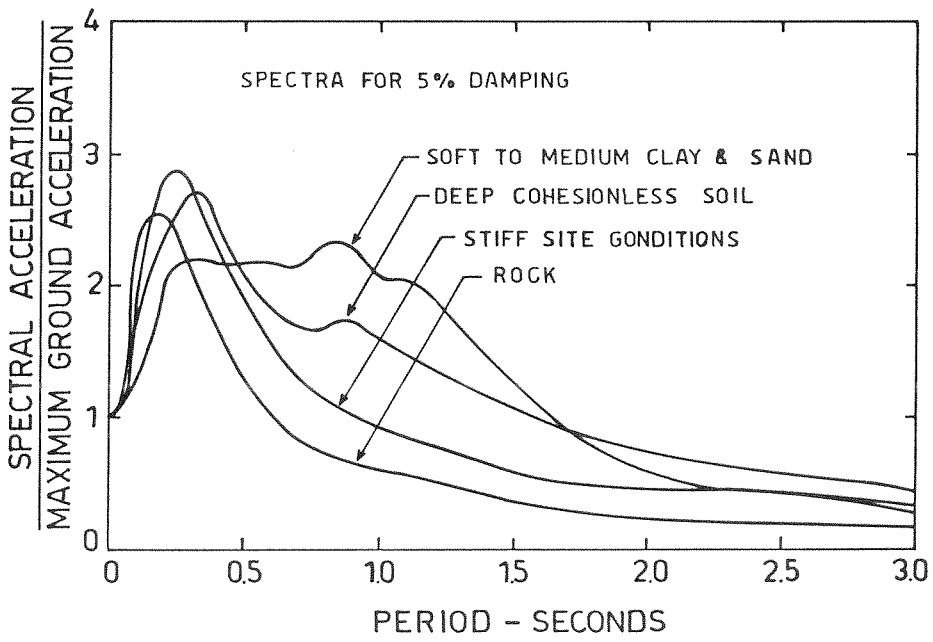
του (1985) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για τη βορειοανατολική και νοτιοδυτική Κίνα. Η εξάρτηση της απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης από τη συχνότητα εξετάσθηκε από τους Trifunac και Lee (1985). Οι Kamiyama και Yanagisawa (1986) μελέτησαν την απόσβεση των φασματικών ταχυτήτων σεισμών της Ιαπωνίας με έμφαση στην επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών. Οι Sabetta και Pugliese (1987) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας με δεδομένα της Ιταλίας. Ανάλογες σχέσεις πρότειναν για το Μεξικό ο Singh και οι συνεργάτες του (1987). Η απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και φασματικής ψευδοταχύτητας για δεδομένα από σεισμούς ζωνών κατάδυσης μελετήθηκε σχετικά πρόσφατα λόγω έλλειψης ικανοποιητικού αριθμού δεδομένων (Young et al. 1988, Crouse et al. 1988). Την απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης μελέτησε ο Campbell (1989) για μικρούς σεισμούς $2.5 \leq M_L \leq 5.0$, των δυτικών και ανατολικών Η.Π.Α.. Οι Westaway και Smith (1989) διερεύνησαν την απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης με δεδομένα σεισμών κανονικής διάρρηξης από διάφορες περιοχές της Γης και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το είδος διάρρηξης, κανονική ή ανάστροφη ή οριζόντιας μετατόπισης, δεν παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των υψίσυχνων πλατών της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Η απόσβεση της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής κίνησης με τη χρήση παγκόσμιων δεδομένων, μελετήθηκε από τους Abrahamson και Literhiser (1989). Με το ίδιο δείγμα μελέτησαν και την απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης και έδειξαν μεταξύ άλλων ότι ο λόγος μεταξύ της κατακόρυφης προς την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση μπορεί να υπερβεί τη μονάδα για σεισμούς με μεγέθη $M_S > 8.0$ σε πολύ κοντινές αποστάσεις από την εστία. Η εξαρτημένη από τη συχνότητα απόσβεση των πλατών του φάσματος Fourier και της φασματικής ψευδοταχύτητας μελετήθηκε από τους Trifunac και Lee (1989,1990) οι οποίοι μεταξύ των άλλων βρήκαν ότι για αποστάσεις μικρότερες των 100 km υπάρχει μια σαφής μεταβολή, εξαρτημένη από τη συχνότητα, των συναρτήσεων απόσβεσης, και φαίνεται ότι τα πλάτη των υψηλών συχνοτήτων αποσβένονται

ταχύτερα με την απόσταση. Ανασκόπηση ορισμένων σχέσεων απόσβεσης των φασματικών επιταχύνσεων για τις δυτικές ακτές των Η.Π.Α. (Donovan 1989) έδειξε, όπως φαίνεται και στο σχήμα (1.20), ότι δεν υπάρχουν εμφανείς διαφορές στο φασματικό σχήμα παρά τις σχετικά μεγάλες διαφορές στα φασματικά πλάτη. Οι διαφορές στην απόσβεση των μεγίστων εδαφικών και φασματικών τιμών των δυτικών από τις ανατολικές Η.Π.Α. διερευνήθηκαν από τους Atkinson και Boore (1990). Οι Fukushima και Tanaka (1990) πρότειναν μια νέα σχέση απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για την Ιαπωνία της οποίας οι συντελεστές που περιγράφουν τη μείωση της επιτάχυνσης με την άυξηση της απόστασης, είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από τους ανάλογους που έχουν προταθεί από προηγούμενους ερευνητές για τον ίδιο χώρο. Ο Dahle και οι συνεργάτες του (1990) πρότειναν σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης και φασματικής ψευδοταχύτητας για ενδοπλακικούς σεισμούς με τη χρήση παγκόσμιων δεδομένων.

Η προσομοίωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης γίνεται στις περιπτώσεις εκείνες όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα ή αυτά είναι αρκετά περιορισμένα. Το αποτέλεσμά της μπορεί να είναι μέγιστες εδαφικές τιμές της ισχυρής κίνησης, φασματικές τιμές ή ακόμη και επιταχυνσιογράμματα. Για την προσομοίωση χρησιμοποιούνται τρεις βασικές κατηγορίες θεωρητικών μοντέλων τα οποία με τη σειρά τους αξιοποιούν τους παράγοντες που διαμορφώνουν την ισχυρή εδαφική κίνηση (Campbell 1985). Στην πρώτη κατηγορία χρησιμοποιούνται κινηματικά και δυναμικά μοντέλα της διαδικασίας διάρρηξης του ρήγματος. Στην κατεύθυνση αυτή έχουν εργασθεί πολλοί ερευνητές (Aki et al. 1977, Archuleta and Day 1977, Swanger and Boore 1978, Bouchon 1979, Bouchon and Aki 1980, Hartzell and Helmberger 1982, Papageorgiou and Aki 1985, Papageorgiou 1988, Heaton and Hartzell 1989, Houston and Kanamori 1990). Στο σχήμα (1.21) φαίνεται η με θεωρητικό μοντέλο υπολογισμένη απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την απόσταση για δύο αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις μεγάλων σεισμών, ενός σε ζώνη κατάδυσης με σεισμική ροπή $Mo \approx 10^{30}$ dyn.cm και πλάτος ρήγματος $W \approx 200$ km και ενός σε



Σχ. 1.21. Σύγκριση εμπειρικών σχέσεων απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης με ανάλογες σχέσεις που προέκυψαν από προσομοίωση (Papageorgiou and Aki 1985).



Σχ. 1.22. Μέσοι συντελεστές ενίσχυσης οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης για διαφορετικές εδαφικές συνθήκες (Seed et al. 1976a).

ρήγμα μετασχηματισμού με $Mo \approx 10^{28}$ dyn.cm και $W \approx 20$ km. Στο ίδιο σχήμα δίνονται για σύγκριση και εμπειρικές καμπύλες απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για τον καθορισμό των οποίων χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σεισμών με $Mo < 10^{28}$ dyn.cm (Papageorgiou and Aki 1985). Η ζώνη κατάδυσης δίνει μεγάλες επιταχύνσεις λόγω του μεγάλου πλάτους, W.

Στη δεύτερη κατηγορία θεωρητικών μοντέλων χρησιμοποιείται στοχαστική προσομοίωση της εδαφικής κίνησης η οποία βασίζεται σε απλά μοντέλα σεισμικής πηγής και μερικές φορές σε συνδυασμό με τη θεωρία της τυχαίας δόνησης (Joyner and Boore 1980, Hadley et al. 1982, Hanks and McGuire 1981, Faccioli 1983, Boore 1983b, Atkinson 1984, Joyner 1984, McGuire et al. 1984, Safak 1988, Safak et al. 1988, Silva and Green 1989).

Στην τρίτη κατηγορία θεωρητικών μοντέλων χρησιμοποιούνται απλά σεισμολογικά μοντέλα πηγής, μερικές φορές βαθμονομημένα εμπειρικά (Campbell and Duke 1974, Hanks and Johnson 1976, Hanks 1979, McGuire and Hanks 1980, Bernreuter 1981, McGarr 1981, Scholz 1982).

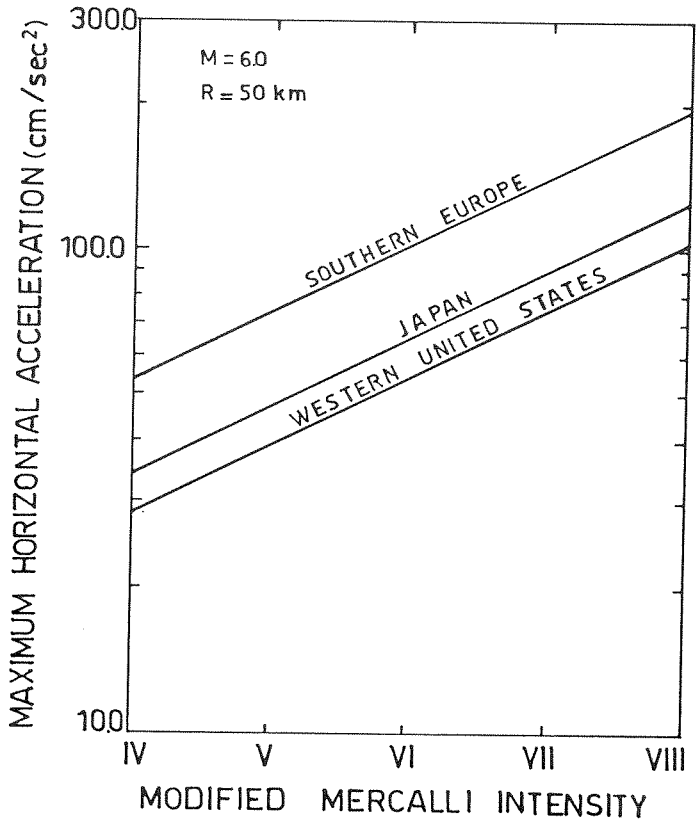
Εκτός των εμπειρικών και θεωρητικών μοντέλων πρόβλεψης της ισχυρής εδαφικής κίνησης έχουν αναπτυχθεί και άλλες μεθοδολογίες για τον ίδιο σκοπό. Στην περίπτωση κατά την οποία είναι διαθέσιμος ικανοποιητικός αριθμός δεδομένων από ποικιλία μεγεθών σεισμών, αποστάσεων, θέσεων καταγραφής, με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνα της ισχυρής κίνησης που πρόκειται να εκτιμηθεί, τότε επιλέγεται μια κατάλληλη ομάδα από τέτοιες καταγραφές. Κατόπιν, για τον υπολογισμό των επιταχυνσιογραμμάτων ή φασμάτων σχεδιασμού χρησιμοποιούνται αυτές είτε απ' ευθείας (Mohraz et al. 1973, Newmark et al. 1973, Guzman and Jennings 1976, Mohraz 1976, Seed et al. 1976a, Nau and Hall 1984) είτε μετά από συγκεκριμένες αναγωγές (Heaton et al. 1986). Στο σχήμα (1.22) φαίνεται η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας, στον υπολογισμό των μέσων συντελεστών αναγωγής της οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης, για διάφορες κατηγορίες εδαφικών συνθηκών (Seed et al. 1976a).

1.4. Συσχέτιση της Ισχυρής Σεισμικής Εδαφικής Κίνησης με τη Μακροσεισμική Ενταση

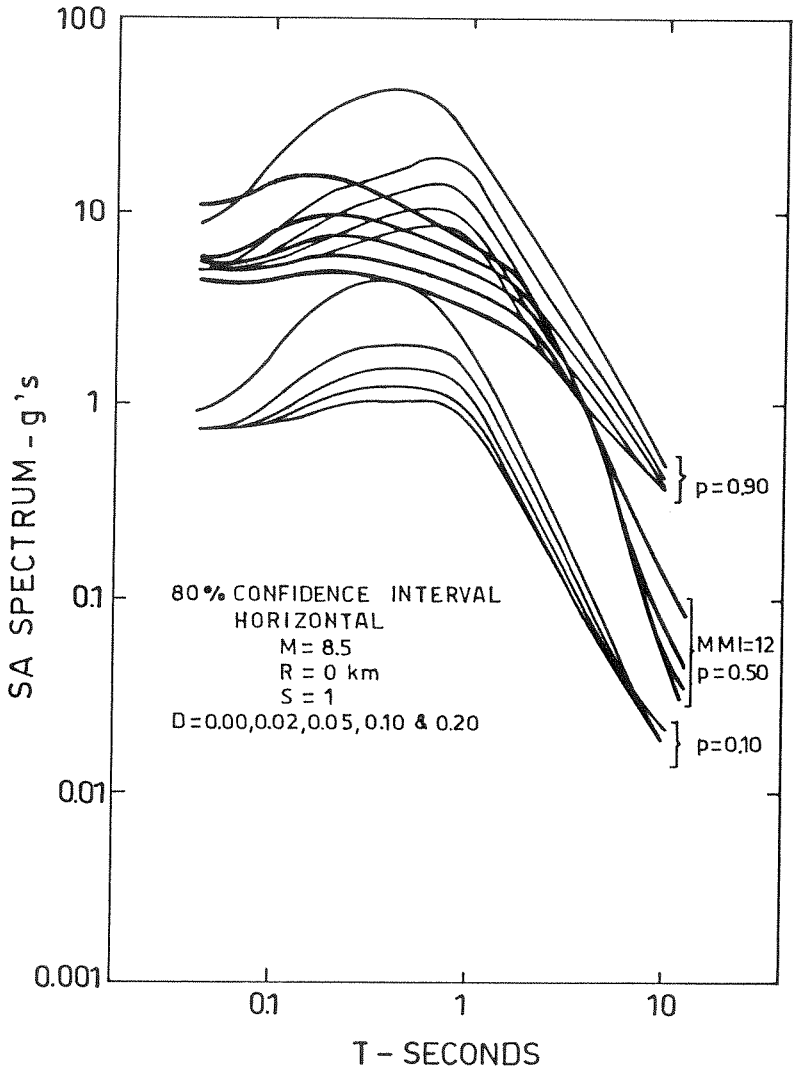
Στις περισσότερες εκτιμήσεις σεισμικού κινδύνου για κατασκευές σπουδαιότητας, όπως πυρηνικοί σταθμοί ενέργειας, φράγματα, ψηλά κτίρια και άλλα, γίνεται χρήση των διαθέσιμων δημοσιευμένων μακροσεισμικών εντάσεων που αφορούν τη συγκεκριμένη θέση (Trifunac and Brady 1975b, Mohammadioun 1985). Αυτό γίνεται αφού η καταγραφή των εντάσεων μπορεί να επεκταθεί σε ιστορικούς χρόνους με περιγραφές από γραπτά κείμενα. Βέβαια υπάρχουν σοβαρές δυσκολίες σχετικά με το χαρακτηρισμό του σεισμικού κινδύνου με κάποια κλίμακα εντάσεων, δεδομένου ότι η υποκειμενική και περιγραφική φύση αυτών των κλιμάκων επιτρέπει μόνο μιας πρώτης τάξης συσχέτιση με τις παραμέτρους της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

Μετά την απόκτηση ικανοποιητικού αριθμού επιταχυνσιογραμμάτων, επιχειρήθηκαν και οι πρώτες προσπάθειες συσχέτισης των παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης με τη μακροσεισμική ένταση. Ο Ambraseys (1974) διερεύνησε τη συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα για δεδομένα από τη νοτιοανατολική Ευρώπη και τη Μέση Ανατολή. Η ασθενής συσχέτιση και η μεγάλη διασπορά που παρατήρησε οφείλονταν κυρίως στις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των διαφόρων κλιμάκων μακροσεισμικών εντάσεων, μεταξύ των διαφόρων τύπων επιταχυνσιογράφων, των διαφορετικών μηχανισμών γένεσης των σεισμών και των τοπικών συνθηκών στις θέσεις καταγραφής. Οι Trifunac και Brady (1975b) με δεδομένα των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. μελέτησαν τη συσχέτιση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης με τη μακροσεισμική ένταση λαμβάνοντας υπόψη και τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες. Παρά την ομοιογένεια και την ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποίησαν στην επεξεργασία, παρατήρησαν επίσης μεγάλες διασπορές στις συσχετίσεις. Οσον αφορά την επίδραση των τοπικών γεωλογικών συνθηκών βρήκαν ότι για την ίδια μακροσεισμική ένταση η μέση μέγιστη εδαφική επιτάχυνση σε

σκληρό πέτρωμα είναι σχεδόν διπλάσια από εκείνη σε αλλουβιακές αποθέσεις, η ταχύτητα περίπου ίδια και η μετάθεση σχεδόν διπλάσια σε αλλουβιακές αποθέσεις από εκείνη σε σκληρό πέτρωμα. Ο Trifunac (1976a) χρησιμοποιώντας το ίδιο δείγμα δεδομένων μελέτησε τη διασπορά που παρατηρήθηκε στη συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, συνιστώντας για κάθε επίπεδο έντασης την πιθανολογική αντιμετώπιση όσον αφορά την επιλογή μιας από τις παραπάνω παραμέτρους για αντισεισμικό σχεδιασμό. Οι Murphy και O'brien (1977) χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο αριθμό δεδομένων από διάφορες περιοχές της Γης πρότειναν σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης και της μακροσεισμικής έντασης για τρεις μεγάλες γεωγραφικές ενότητες: τη νότια Ευρώπη, την Ιαπωνία και τις δυτικές Η.Π.Α. Παράλληλα πρότειναν σχέσεις της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση, το μέγεθος του σεισμού και την επικεντρική απόσταση για τις ίδιες γεωγραφικές ενότητες. Στο σχήμα (1.23) γίνεται σύγκριση των παραπάνω σχέσεων για μέγεθος, M=6.0 και απόσταση, R=50 km. Οι Trifunac και Anderson (1977, 1978a,b) με βάση φάσματα απόκρισης σεισμών των δυτικών Η.Π.Α. πρότειναν σχέσεις μεταξύ της φασματικής ψευδοεπιτάχυνσης, ψευδοταχύτητας, σχετικής ταχύτητας και της μακροσεισμικής έντασης για τρεις κατηγορίες εδαφικών συνθηκών στη θέση καταγραφής. Στο σχήμα (1.24) φαίνονται με λεπτή γραμμή τα αναμενόμενα φάσματα απόκρισης της οριζόντιας ψευδοεπιτάχυνσης για μέγεθος σεισμού, M=8.5, επικεντρική απόσταση, R=0 km και ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες, s=1, για παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 και για επίπεδα εμπιστοσύνης p=0.10 και 0.90. Στο ίδιο σχήμα δίνονται με παχειά γραμμή ανάλογα φάσματα απόκρισης για μακροσεισμική ένταση I_{MM}=12 και επίπεδο εμπιστοσύνης p=0.50. Σύμφωνα με τους Trifunac και Anderson (1977) παρατηρείται ικανοποιητική συμφωνία μεταξύ των δύο διαφορετικών μοντέλων πρόβλεψης της φασματικής ψευδοταχύτητας και κατά συνέπεια οι εκτιμήσεις που γίνονται με το μοντέλο που λαμβάνει υπόψη του τη μακροσεισμική ένταση μπορούν να θεωρηθούν, στο βαθμό που το επιτρέπουν τα διαθέσιμα δεδομένα, αρκετά αξιόπιστες. Ο



Σχ. 1.23. Σύγκριση των σχέσεων συσχέτισης της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης με τη μακροσεισμική ένταση, γιά διάφορες γεωγραφικές ενότητες (Murphy and O'brien 1977).



Σχ. 1.24. Σύγκριση εμπειρικού μοντέλου πρόβλεψης της οριζόντιας φασματικής επιτάχυνσης, με παράγοντες αναγωγής το μέγεθος την απόσταση και τις εδαφικές συνθήκες, με ανάλογο μοντέλο με παράγοντες αναγωγής τη μακροσεισμική ένταση και τις εδαφικές συνθήκες (Trifunac and Anderson 1977).

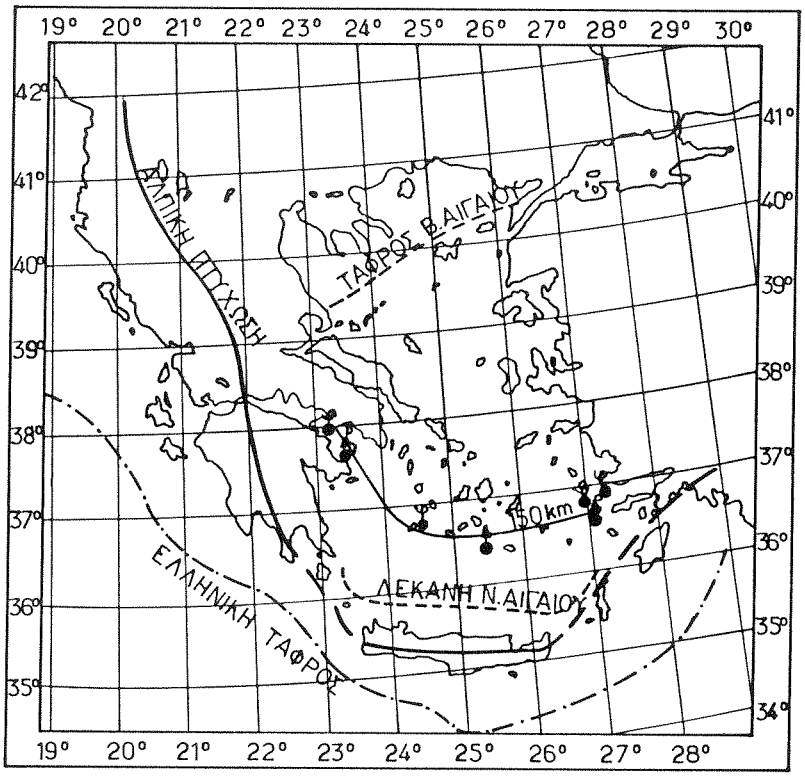
Ambraseys (1978) μετά την απόκτηση επιπλέον δεδομένων από το χώρο της νοτιοανατολικής Ευρώπης και Μέσης Ανατολής πρότεινε νέες σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης και της μακροσεισμικής έντασης επισημαίνοντας όμως ότι αυτές δεν είναι κατάλληλες για χρήση στον αντισεισμικό σχεδιασμό. Με δεδομένα από τον ίδιο περίπου χώρο οι Chiaruttini και Siro (1981) καθόρισαν ανάλογες σχέσεις και βρήκαν ότι η διασπορά των σφαλμάτων της σχέσης επιτάχυνσης – μακροσεισμικής έντασης είναι κοντά σε εκείνη της σχέσης επιτάχυνσης-μεγέθους σεισμού-επικεντρικής απόστασης. Οι ίδιοι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συσχέτιση επιτάχυνσης-μακροσεισμικής εντασης, σε μερικές περιπτώσεις, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου λόγω της δυνατότητας που παρέχει για την αξιοποίηση ιστορικών πληροφοριών. Για περιοχές όπου ο αριθμός των επιταχυνσιογραμμάτων είναι ελάχιστος προτάθηκε και εφαρμόσθηκε μέθοδος καθορισμού σχέσεων απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας (Hasegawa et al. 1981, McGuire 1984) με βάση τη συσχέτιση αυτών των παραμέτρων με τη μακροσεισμική ένταση σε περιοχές όπου υπάρχει πλήθος κατάλληλων δεδομένων. Σχετικά πρόσφατα επιχειρήθηκε συσχέτιση της ουσιαστικής επιτάχυνσης και ταχύτητας με τη μακροσεισμική ένταση (Sandi 1985, 1990, Stojkovic 1986) και τονίσθηκε ιδιαίτερα η σημασία και αναγκαιότητα της βελτίωσης των μακροσεισμικών κλιμάκων. Ο Lee (1990), με δεδομένα των δυτικών Η.Π.Α., βελτίωσε τη συχέτιση της φασματικής ψευδοταχύτητας με τη μακροσεισμική ένταση λαμβάνοντας υπόψη στην ανάλυσή του τόσο την επίδραση των γεωλογικών συνθηκών στη θέση καταγραφής όσο και την επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών.

1.5. Σεισμοτεκτονικά Χαρακτηριστικά και Σεισμικότητα του Ελληνικού Χώρου και των Γύρω Περιοχών.

Ο ευρύτερος χώρος του Αιγαίου είναι από τις πλέον ενεργές σεισμικά περιοχές της Γης. Στο χώρο αυτόν έχουν συμβεί καταστρεπτικοί επιφανειακοί σεισμοί με επιφανειακά μεγέθη μέχρι 8.0, και ενδιαμέσου βάθους μέχρι 8.2 (Παπαζάχος και Παπαζάχου 1989), προκαλώντας σημαντικές απώλειες σε έμψυχο και άψυχο υλικό των χωρών της περιοχής. Ετσι, γίνεται ευνόητο ότι η καλή κατανόηση του γεωδυναμικού μοντέλου αυτής της περιοχής έχει μεγάλη σημασία για τη λύση των θεωρητικών και πρακτικών προβλημάτων που σχετίζονται με την αντισεισμική θωράκιση των απειλουμένων χωρών.

Στο σχήμα (1.25) φαίνονται τα κύρια γεωμορφολογικά γνωρίσματα τεκτονικής προέλευσης του χώρου του Αιγαίου (Παπαζάχος 1984). Τα βασικότερα χαρακτηριστικά τεκτονικής προέλευσης στην περιοχή, από το νότο προς το βορρά μπορούν να διακριθούν, (α) στη Μεσογειακή ράχη, υποθαλάσσιο προεξέχοντα φλοιό υπό συμπίεση, η οποία εκτείνεται από το Ιόνιο πέλαγος έως την Κύπρο και είναι παράλληλη προς το Ελληνικό τόξο, (β) στην Ελληνική τάφρο με μέγιστο βάθος υδάτων περίπου 5 km, (γ) στο Ελληνικό τόξο, το οποίο αποτελείται από το εξωτερικό ιζηματογενές (Ιόνια-Κρήτη-Ρόδος) και από το εσωτερικό ηφαιστειακό τόξο, σχεδόν παράλληλο προς το προηγούμενο, με μέση απόσταση 120 km, (δ) στην περιοχή του Αιγαίου εσωτερικά του τόξου η οποία περιλαμβάνει το Αιγαίο Πέλαγος, την ηπειρωτική Ελλάδα, την Αλβανία, τη νότια Γιουγκοσλαβία, τη νότια Βουλγαρία και τη δυτική Τουρκία. Μεταξύ του ιζηματογενούς και του ηφαιστειακού τόξου υπάρχει η θαλάσσια λεκάνη του νότιου Αιγαίου με μέγιστο βάθος περίπου 2 km. Στο βόρειο Αιγαίο υπάρχει η ομώνυμη τάφρος της οποίας το μέγιστο βάθος είναι περίπου 1.5 km.

Το Ελληνικό τόξο και η περιοχή εσωτερικά αυτού παρουσιάζουν βασικά χαρακτηριστικά των γνωστών νησιωτικών τόξων και περιθωριακών θαλλασσών (Papazachos and Comninakis 1971). Αυτή η περιοχή είναι ένα τμήμα της ζώνης σύγκλισης μεταξύ της

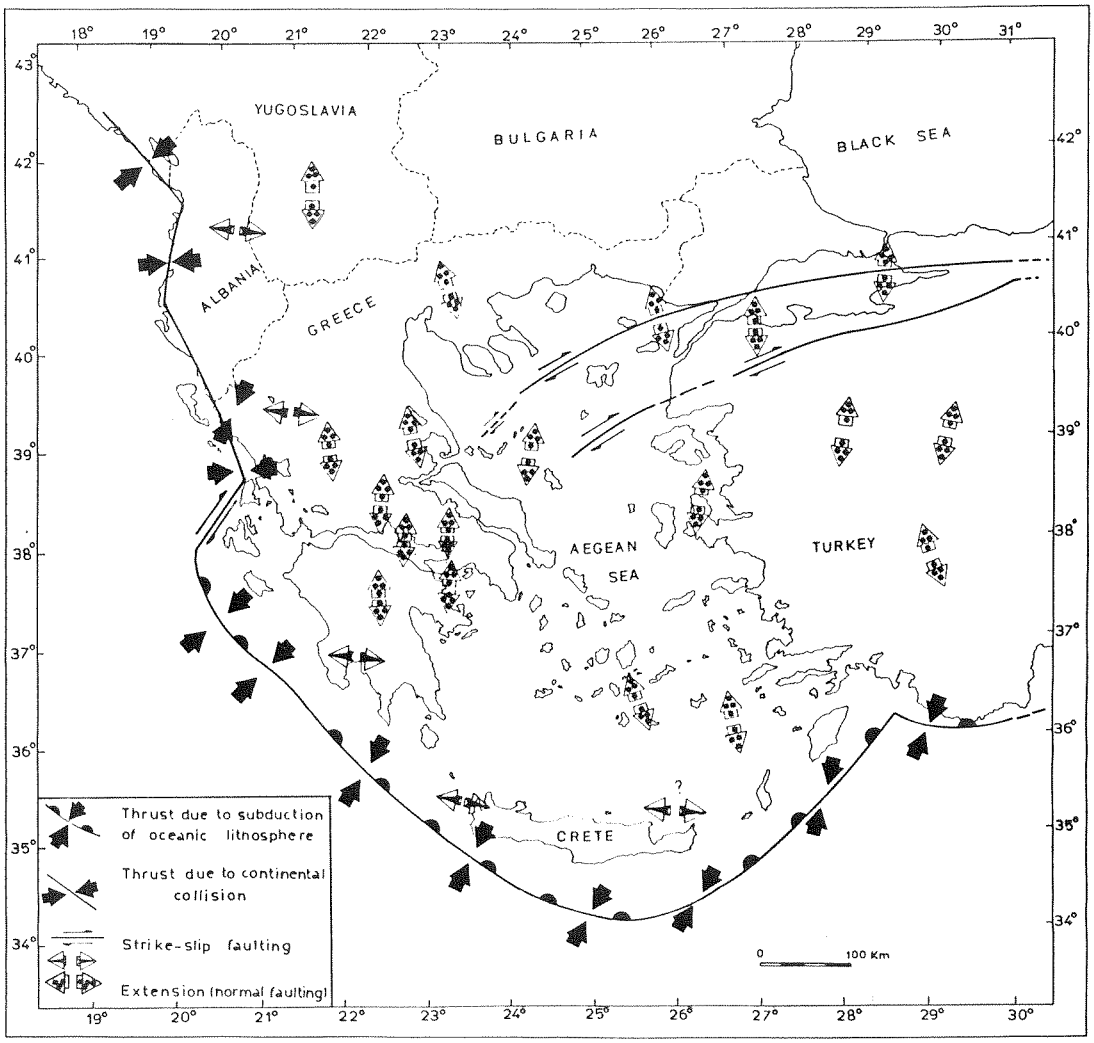


Σχ. 1.25. Τα κύρια γεωμορφολογικά στοιχεία τεκτονικής προέλευσης στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου (Παπαζάχος 1984).

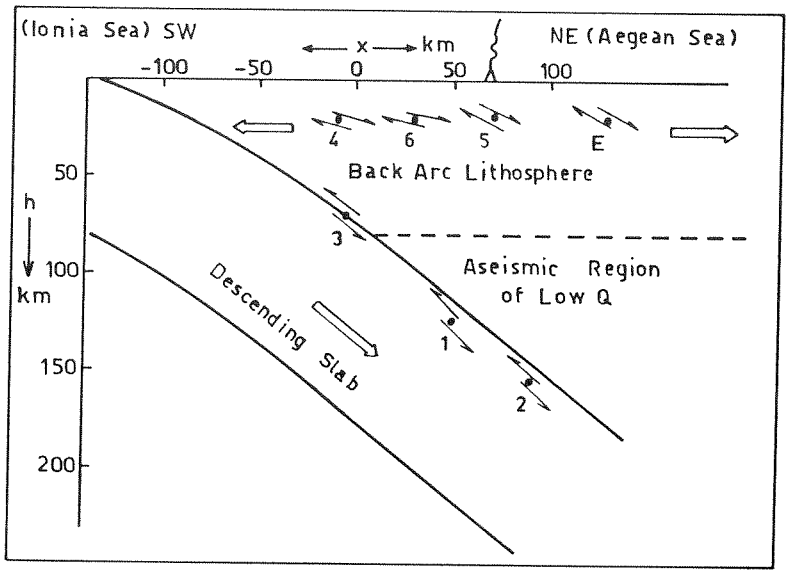
Ευρασιατικής και της Αφρικανικής λιθοσφαιρικής πλάκας με εντονότερη τεκτονική δραστηριότητα, στον πρόσφατο γεωλογικό χρόνο, από άλλα τμήματα της ίδιας ζώνης.

Για τη μελέτη της τεκτονικής βάθους στην ευρύτερη περιοχή του χώρου του Αιγαίου έχει μελετηθεί πλήθος σεισμολογικών και γεωφυσικών δεδομένων (Ritsema 1969, Papazachos and Comninakis 1971, McKenzie 1970, 1972, Papazachos 1977, Comninakis and Papazachos 1980, Makropoulos and Burton 1984, Panagiotopoulos et al. 1984, Papazachos et al. 1984, Rotstein 1985, Papazachos et al. 1986, Hatzfeld et al. 1989, 1990, Papazachos et al. 1991). Στο σχήμα (1.26) φαίνονται οι κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του χώρου του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. Σύμφωνα με τον Παπαζάχο και τους συνεργάτες του (1986) οποιοδήποτε προτεινόμενο λιθοσφαιρικό μοντέλο προκειμένου να είναι έγκυρο θα πρέπει να ερμηνεύει τα βασικά σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά του χώρου τα οποία δίνονται στο σχήμα αυτό. Στο σχήμα (1.27) φαίνεται το προτεινόμενο λιθοσφαιρικό μοντέλο για την ερμηνεία του μηχανισμού γένεσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους στη ζώνη Benioff του Ελληνικού τόξου και των επιφανειακών σεισμών μέσα στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου (Papazachos 1977).

Αρκετές προσπάθειες έχουν γίνει για την ερμηνεία των σεισμολογικών και γεωφυσικών δεδομένων με γεωδυναμικά μοντέλα βασισμένα σε υποθέσεις ότι οι κινητήριες δυνάμεις είναι εξωτερικές, δηλαδή, ότι αυτές οφείλονται στις σχετικές κινήσεις γειτονικών λιθοσφαιρικών πλακών (Dewey and Sengor 1979) ή εσωτερικές οι οποίες προκαλούν βαρυτική ολίσθηση (Berckhemer 1976, Makris 1976) ή δυνάμεις οι οποίες επενεργούν στον πυθμένα της λιθόσφαιρας του Αιγαίου (Papazachos and Comninakis 1978, Makris 1978). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τον Παπαζάχο και τους συνεργάτες του (1986), υπάρχουν ακόμη ορισμένα άλυτα προβλήματα τα οποία αφορούν όχι μόνο στην αιτία των κινητήριων τεκτονικών δυνάμεων αλλά επιπλέον στην ικανοποιητική γνώση των σεισμοτεκτονικών ιδιοτήτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι



Σχ. 1.26. Κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του χώρου του Αιγαίου και των γύρω περιοχών (Papazachos et al. 1991).



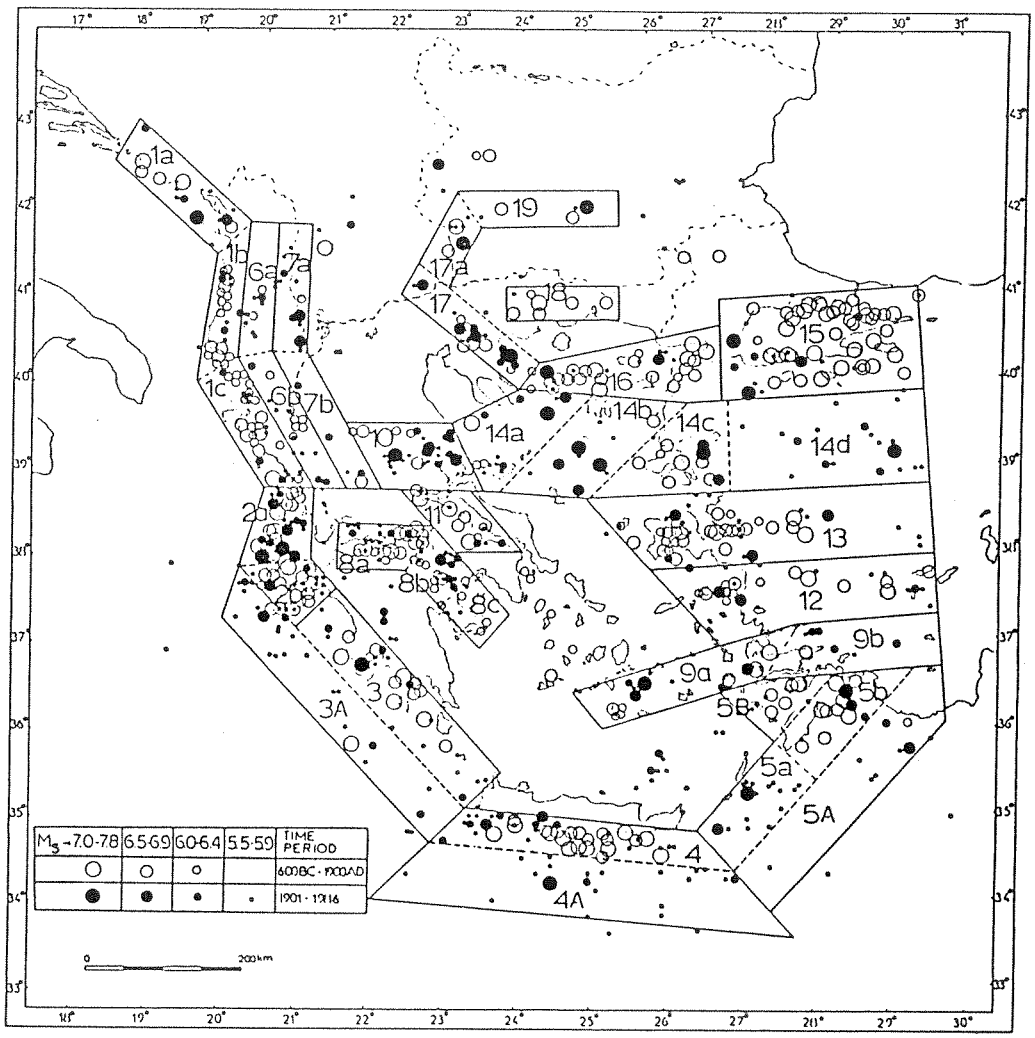
Σχ. 1.27. Λιθοσφαιρικό μοντέλο για την ερμηνεία του μηχανισμού γένεσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (1,2, 3) στη ζώνη Benioff του ελληνικού τόξου και των επιφανειακών σεισμών (4,5,6,E) μέσα στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου (Papazachos 1977).

πολλά από τα σεισμολογικά δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί γιά το σκοπό αυτό και αναφέρονται στη χωρική κατανομή και στους μηχανισμούς γένεσης των σεισμών δεν ήταν αξιόπιστα.

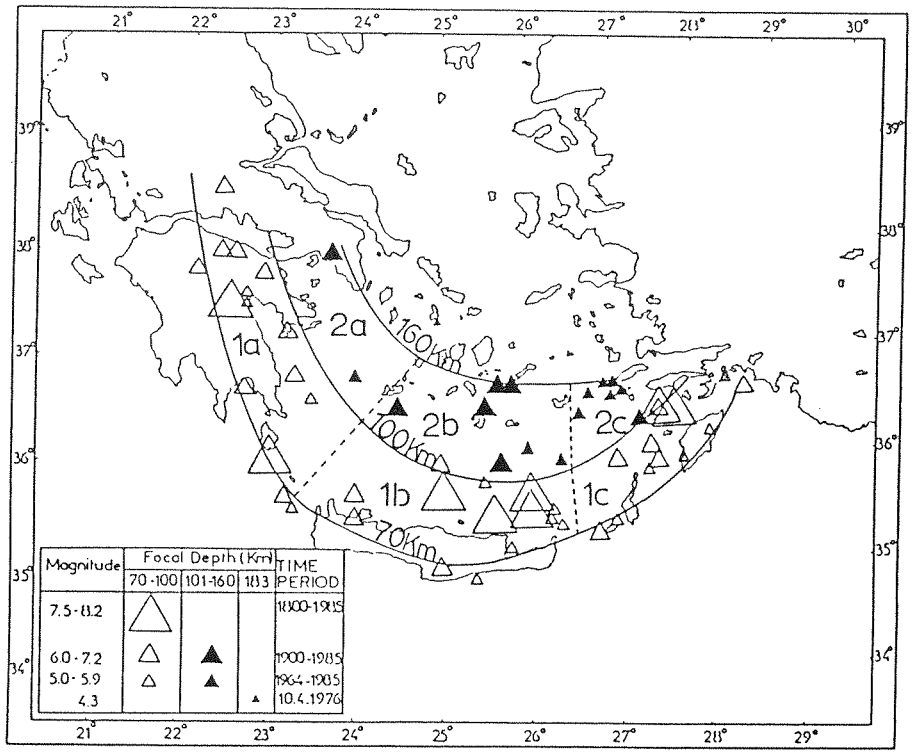
Η σεισμικότητα μιας περιοχής μπορεί να καθορισθεί με μια συνάρτηση της οποίας η τιμή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερα είναι τα μεγέθη των σεισμών που συμβαίνουν στην περιοχή και όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα γένεσης των σεισμών. Ενας αποτελεσματικός τρόπος μελέτης της γεωγραφικής κατανομής της σεισμικότητας μιας περιοχής είναι ο χωρισμός σε σεισμικές ζώνες ή σεισμικές πηγές. Αυτές, όσο είναι δυνατόν, συνιστούν ομογενείς σεισμοτεκτονικά ενότητες των οποίων προσδιορίζονται τα μέτρα σεισμικότητας. Οι σχετικές τιμές των μέτρων αυτών δείχνουν τη γεωγραφική κατανομή της σεισμικότητας.

Ο καθορισμός των σεισμικών ζωνών είναι, μεταξύ των άλλων, βασική παράμετρος στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας σε μια θέση. Προσπάθειες χωρισμού του Ελληνικού χώρου σε σεισμικές ζώνες έχουν γίνει από διάφορους ερευνητές (Papazachos 1980, Χατζηδημητρίου 1984, Hatzidimitriou et al. 1985, Makropoulos and Burton 1985). Ο Papazachos (1990) αξιοποιώντας ένα μεγάλο δείγμα ιστορικών και ενόργανων σεισμολογικών παρατηρήσεων καθώς και άλλων γεωλογικών και γεωφυσικών στοιχείων, βελτίωσε το χάρτη σεισμικών ζωνών των επιφανειακών και των σεισμών ενδιαμέσου βάθους του Ελληνικού χώρου και των γύρω περιοχών. Στο σχήμα (1.28) δείχνονται οι ζώνες αυτές καθώς και οι υποζώνες (1a,1b,...) στις οποίες ορισμένες από τις ζώνες αυτές έχουν χωρισθεί για γεωμετρικούς κυρίως λόγους. Στο ίδιο σχήμα έχουν χαρτογραφηθεί τα επίκεντρα όλων των γνωστών επιφανειακών σεισμών με μέγεθος $M_s \geq 6.0$ από το 550 π.Χ. μέχρι σήμερα καθώς και τα επίκεντρα εκείνων του παρόντα αιώνα με μεγέθη $5.5 \leq M_s \leq 5.9$.

Σχετικά με τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους είναι γνωστό ότι αυτοί αποτελούν μεγάλη σεισμική απειλή για την ευρύτερη περιοχή του νότιου Αιγαίου (Comninakis and Papazachos 1980, Wyss and Baer 1981, Papazachos et al. 1985), κυρίως λόγω των μεγάλων μεγεθών τους ($M_s \approx 8.2$) και της ασθενέστερης απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής κίνησης συγκριτικά με τους επιφανειακούς. Στο σχήμα



Σχ. 1.28. Οι σεισμικής ζώνες (1,2,...19), και σεισμικές πηγές (1a, 1b, ..., 19) των επιφανειακών σεισμών στην Ελλάδα και στις γύρω περιοχές (Papazachos 1990).



Σχ. 1.29. Οι δύο σεισμικές ζώνες (1 και 2) και έξη σεισμικές πηγές (1a,...2c) των σεισμών ενδιαμέσου βάθους στην Ελλάδα (Papazachos 1990).

(1.29) δείχνεται η κατανομή των επικέντρων τριών πλήρων δειγμάτων των σεισμών ενδιαμέσου βάθους οι οποίοι έγιναν κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων αιώνων (Papazachos 1990).

1.6. Σεισμικές Κινήσεις Σχεδιασμού

Οι σεισμικές κινήσεις σχεδιασμού αφορούν τιμές παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης ή επιταχυνσιογράμματα. Συνήθως αυτές υπολογίζονται για μια θέση αξιοποιώντας κάποια από τις μεθοδολογίες που περιγράφτηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, όταν δοθεί το μέγεθος του σεισμού, η απόσταση της θέσης από την σεισμική εστία και οι τοπικές συνθήκες καταγραφής ή η μακροσεισμική ένταση. Κατά το σχεδιασμό μιας κατασκευής πρέπει να είναι γνωστές οι αναμενόμενες ισχυρές κινήσεις του εδάφους στη θέση της κατασκευής. Κατόπιν υπολογίζονται οι αναμενόμενες σεισμικές δυνάμεις που θα ασκηθούν πάνω στα διάφορα στοιχεία της κατασκευής και λαμβάνεται μέριμνα έτσι ώστε αυτή να μην πάθει βλάβες ή να πάθει μικρές βλάβες. Σήμερα, προκειμένου να γίνει αποτελεσματικός χειρισμός των επιβαλλόμενων σεισμικών φορτίων, τα οποία είναι ακραία φορτία χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης, ο σχεδιασμός των περισσότερων τεχνικών κατασκευών βασίζεται σε δύο κριτήρια (Clough and Penzien 1975):

α. Η κατασκευή πρέπει να αντέξει, χωρίς σημαντικές βλάβες, στην πιθανότερη μέγιστη σεισμική κίνηση κατά τη διάρκεια ζωής της.

β. Η κατασκευή, όταν υποβάλλεται σε ισχυρή σεισμική κίνηση η οποία έχει μικρή πιθανότητα να συμβεί κατά τη διάρκεια ζωής της, μπορεί να πάθει σοβαρές βλάβες αλλά να μην καταρρεύσει.

Οπως είναι φανερό οι σεισμικές δυνάμεις σχεδιασμού επιλέγονται με το σκεπτικό να ικανοποιήσουν ορισμένα ελάχιστα κριτήρια τα οποία σκοπό έχουν να παρέχουν ένα αποδεκτό επίπεδο σεισμικού κινδύνου τόσο για τη δημόσια ασφάλεια όσο και για τις

οικονομικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Για την ανάπτυξη των σεισμικών κινήσεων σχεδιασμού χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις μέθοδοι. Η απλούστερη βασίζεται στη χρήση των αντισεισμικών κανονισμών ενώ στις άλλες δύο, αιτιοκρατική και πιθανολογική, οι κινήσεις σχεδιασμού καθορίζονται με όρους παραμέτρων της πραγματικής εδαφικής κίνησης.

Με την εφαρμογή της πρώτης μεθόδου εκτιμάται ο γνωστός συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης κατά την οριζόντια διεύθυνση ή συντελεστής τέμνουσας βάσης. Πολλοί αντισεισμικοί κανονισμοί καθορίζουν το συντελεστή αυτόν, για τον οποίο πρέπει να σχεδιασθεί η κατασκευή, ως ένα κλάσμα του βάρους της ίδιας της κατασκευής. Αυτό το κλάσμα υπολογίζεται εύκολα από πίνακες και σχέσεις που δίνονται στους σχετικούς κανονισμούς. Αυτή η προσέγγιση δεν εξαρτάται απ' ευθείας από την παρατηρημένη εδαφική κίνηση. Αντίθετα, έχει αναπτυχθεί βαθμιαία από τη σύγκριση της συμπεριφοράς κατασκευών με υπολογισμένες τιμές συντελεστών σεισμικής επιβάρυνσης από προηγούμενους σεισμούς (Campbell 1987).

Ενας από τους πλέον κοινούς αντισεισμικούς κανονισμούς ο οποίος χρησιμοποιείται στις Η.Π.Α. είναι ο UBC (Uniform Building Code), (Earthquake Resistant Regulations, A World List 1980) και για τον υπολογισμό της οριζόντιας σεισμικής επιβάρυνσης, V, χρησιμοποιεί τη σχέση,

$$V = ZIKCSW \qquad (1.19)$$

όπου Z είναι ο συντελεστής σεισμικής ζώνης, I παράγοντας σπουδαιότητας, K παράγοντας που αντιπροσωπεύει τον τύπο της κατασκευής, C παράγοντας σχετικός με την ιδιοπερίοδο της κατασκευής, S παράγοντας που συσχετίζει την ιδιοπερίοδο της κατασκευής με την ιδιοπερίοδο των εδαφικών στρωμάτων, και W το βάρος της κατασκευής. Ο παράγοντας ZIKCS αντιπροσωπεύει το συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης.

Στις εξελίξεις των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών βασικό στοιχείο αναφοράς αποτελεί το σχέδιο κανονισμού ATC-3 (1978). Αναφορικά με τις σεισμικές επιβαρύνσεις, το ATC-3 εισήγαγε για

πρώτη φορά τη διαφοροποίηση του σχήματος του φάσματος σχεδιασμού και κατ'επέκταση της μεταβολής του συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης, ανάλογα με τις τοπικές εδαφικές συνθήκες και την απόσταση από τη σεισμική πηγή που δημιουργεί την κύρια απειλή (Αναγνωστόπουλος 1988). Επιπλέον, εισήγαγε τη μετάβαση από το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού στο συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης με τρόπο άμεσο και διαφανή, χρησιμοποιώντας ένα δείκτη συμπεριφοράς χαρακτηριστικό του τύπου της κατασκευής. Η οριζόντια σεισμική επιβάρυνση, V, υπολογίζεται από τη σχέση,

$$V = C_s W \qquad (1.20)$$

όπου C_s είναι ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης, η ελάχιστη τιμή του οποίου υπολογίζεται από δύο σχέσεις,

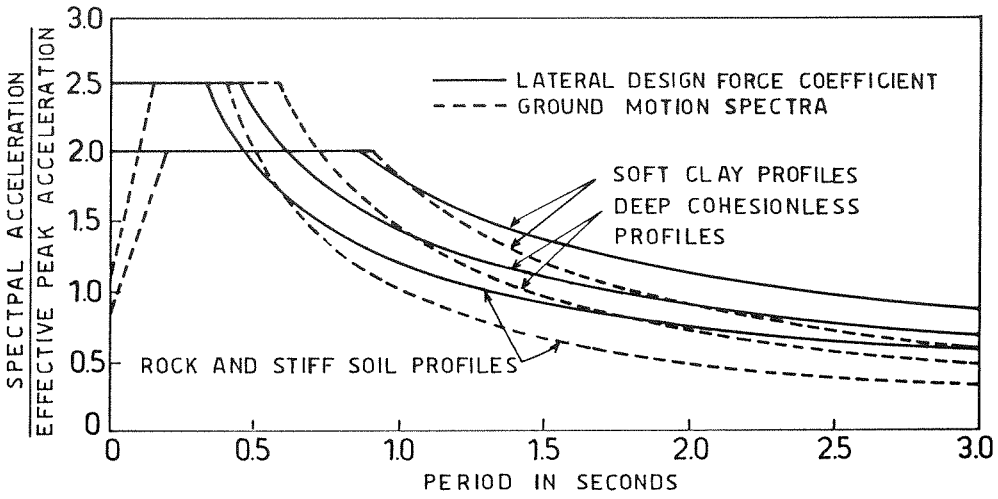
$$C_s = (1.2A_v S)/(RT^{2/3}) \qquad (1.21)$$

ή

$$C_s = 2.5A_a/R \qquad (1.22)$$

όπου S είναι ο συντελεστής θέσης του οποίου η τιμή εξαρτάται από το βάθος και τη σκληρότητα του εδάφους, T η ιδιοπερίοδος της κατασκευής, R δείκτης συμπεριφοράς της κατασκευής, και A_a, A_v είναι η μέγιστη ουσιαστική επιτάχυνση και ταχύτητα αντίστοιχα, παράμετροι οι οποίες σχετίζονται άμεσα με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα και προσδιορίζονται από χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας. Στο σχήμα (1.30) γίνεται σύγκριση των ανηγμένων φασμάτων της εδαφικής κίνησης με τους συντελεστές της οριζόντιας σεισμικής επιβάρυνσης όπως προτείνονται από τον ATC-3 (1978), για διάφορες κατηγορίες εδαφικών συνθηκών.

Η αιτιοκρατική μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως κατά το σχεδιασμό κρίσιμων κατασκευών όπως φράγματα και πυρηνικοί σταθμοί. Οι σεισμικές κινήσεις σχεδιασμού εκτιμούνται από μια ή περισσότερες πηγές στη γειτονική θέση της εξεταζόμενης περιοχής που είναι ικανές να παράγουν ισχυρή σεισμική κίνηση. Αυτές οι πηγές προσδιορίζονται από σεισμολογικές και γεωλογικές έρευνες. Για

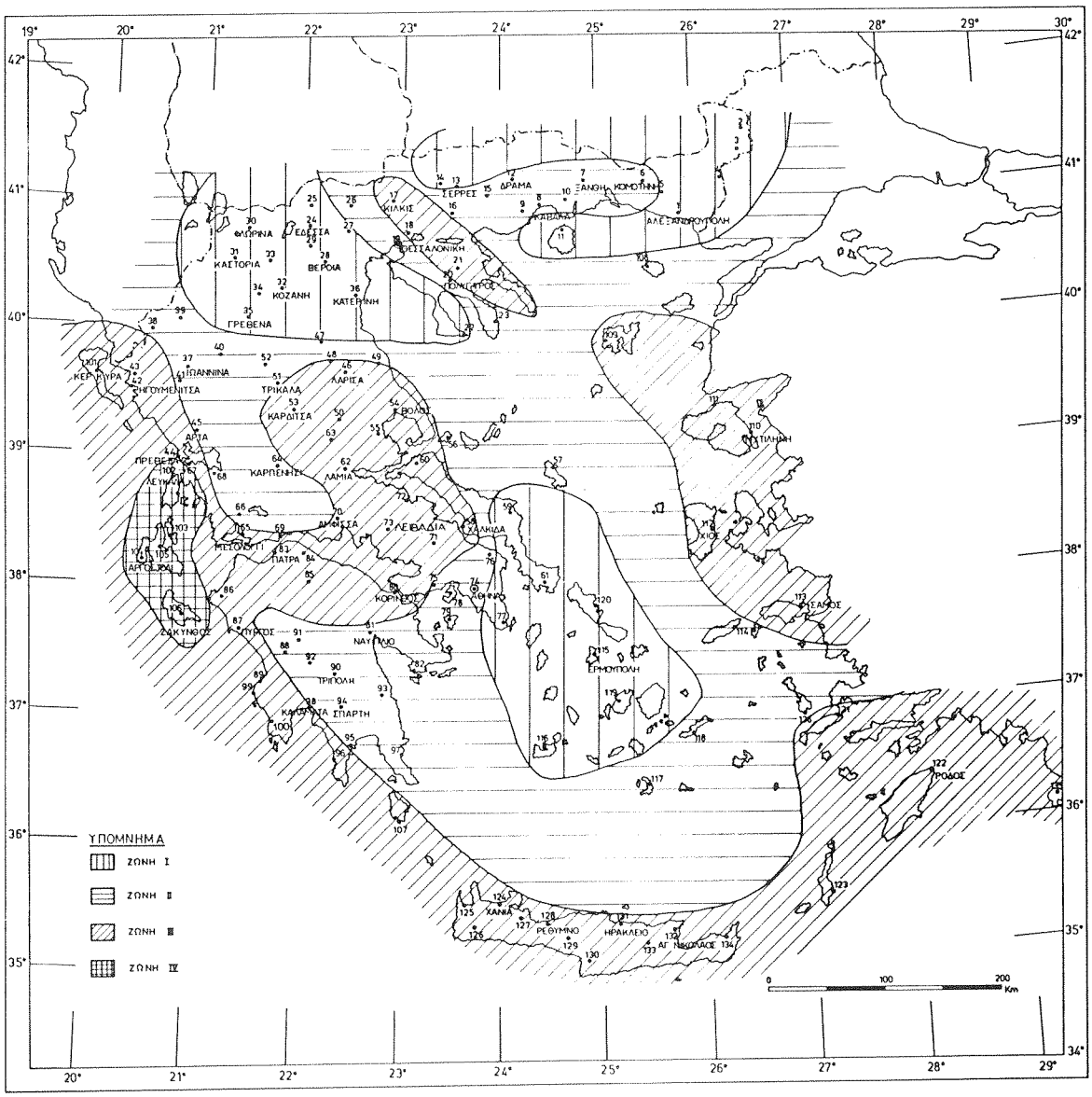


Σχ. 1.30. Σύγκριση των ανηγμένων φασμάτων της εδαφικής κίνησης με τους συντελεστές της οριζόντιας σεισμικής επιβάρυνσης (ATC-3, 1978).

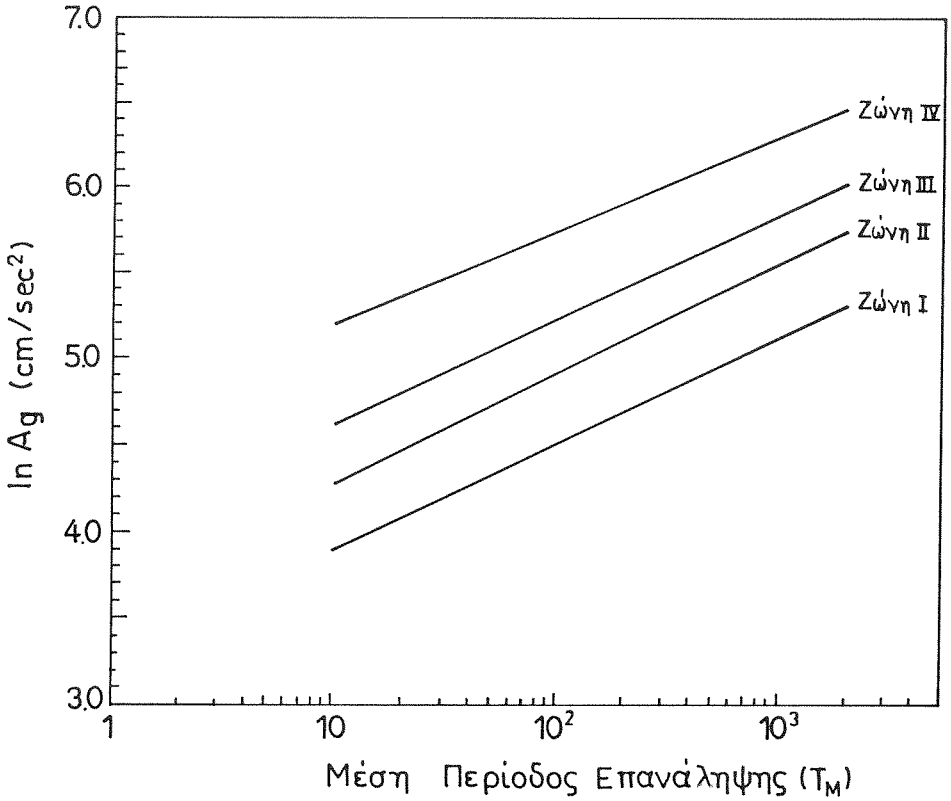
κάθε μια σεισμική πηγή επιλέγονται δύο σεισμοί σχεδιασμού: ο "σεισμός βάσης σχεδιασμού" (design basis earthquake) και ο "σεισμός λειτουργικής βάσης" (operating basis earthquake) (Campbell 1987). Ο "σεισμός βάσης σχεδιασμού" αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο σεισμό ο οποίος λογικά αναμένεται να συμβεί στη συγκεκριμένη σεισμική πηγή και κάτω από τις παρούσες νεοτεκτονικές συνθήκες. Οι κατασκευές σχεδιάζονται με το σκεπτικό να συμπεριφερθούν ανελαστικά κατά τη διάρκεια ενός τέτοιου συμβάντος και να αναπτύξουν ικανοποιητική πλαστιμότητα προκειμένου να αποκλεισθεί η καταστρεπτική κατάρρευση. Ο "σεισμός λειτουργικής βάσης" αντιπροσωπεύει εκείνον το σεισμό ο οποίος έχει μεγάλη πιθανότητα να συμβεί σε μια από τις σεισμικές πηγές κατά τη διάρκεια της λειτουργικής ζωής της κατασκευής. Στην περίπτωση αυτή οι κατασκευές σχεδιάζονται για να συμπεριφερθούν ελαστικά και συνεπώς να παραμείνουν σε λειτουργία αμέσως μετά τη συγκεκριμένη σεισμική διέγερση.

Οι διάφορες σχέσεις με τις οποίες εκτιμούνται οι αναμενόμενες ισχυρές εδαφικές κινήσεις εμπεριέχουν και μια παράμετρο στατιστικής αβεβαιότητας η οποία λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό των σεισμικών κινήσεων σχεδιασμού. Λόγου χάριν, οι σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης δίνουν μια μέση τιμή η οποία για κανονική κατανομή των υπολοίπων σημαίνει 50% πιθανότητα μη υπέρβασης. Αυτό σημαίνει ότι το 50% των παρατηρημένων μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων είναι μεγαλύτερες και το 50% μικρότερες από τη μέση τιμή. Για τις κρίσιμες κατασκευές συνήθως λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή + μια τυπική απόκλιση αυτής, δηλαδή, 84% πιθανότητα μη υπέρβασης.

Οι πιθανολογικές μέθοδοι είναι γνωστές ως αναλύσεις σεισμικής επικινδυνότητας. Με αυτές γίνεται σαφής ποσοτικοποίηση του κινδύνου, δηλαδή, της πιθανότητας η σεισμική κίνηση σχεδιασμού να υπερβεί ορισμένη τιμή μέσα σε καθορισμένη χρονική περίοδο. Οι αναλύσεις σεισμικής επικινδυνότητας απαιτούν τρία μοντέλα:το μοντέλο επικινδυνότητας, το μοντέλο σεισμικών πηγών και το μοντέλο απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Το μοντέλο επικινδυνότητας παριστάνει το πιθανολογικό πλαίσιο ανάλυσης και



Σχ. 1.31. Οι τέσσερεις κατηγορίες (IV, III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίσθηκε ο Ελληνικός χώρος (Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας, 1989).



Σχ. 1.32. Καμπύλες μεταβολής του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τη μέση περίοδο επανάληψης, για τις τέσσερεις κατηγορίες ζωνών ίσης σεισμικής επικινδυνότητας (Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας, 1989).

καθορίζει την κατανομή των πιθανοτήτων που σχετίζονται με τις υπό εκτίμηση παραμέτρους της ισχυρής εδαφικής κίνησης. Το μοντέλο σεισμικών πηγών συμπεριλαμβάνει τη θέση, τον τύπο, τη διάσταση, τον προσανατολισμό και τις παραμέτρους σεισμικότητας όλων των σεισμικών πηγών στην ευρύτερη περιοχή της εξεταζόμενης θέσης. Τέλος, το μοντέλο απόσβεσης παρέχει το μέσο εκτίμησης της ισχυρής εδαφικής κίνησης στη θέση.

Οι πιθανολογικές εκτιμήσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης για μια περιοχή δίνονται συνήθως από τους χάρτες σεισμικής επικινδυνότητας. Ενας τέτοιος χάρτης δίνεται στο σχήμα (1.31) όπου διακρίνονται οι τέσσερεις κατηγορίες ζωνών ίδιας σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίσθηκε ο Ελληνικός χώρος και εκπονήθηκε στα πλαίσια του Νέου Αντισεισμικού Κανονισμού της χώρας από τέσσερεις σεισμολογικούς φορείς (Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας, 1989). Κάθε μια ζώνη χαρακτηρίζεται από μια καμπύλη μέσης περιόδου επανάληψης, T_M, της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, A_g (Σχήμα 1.32).

1.7. Αντικείμενο της Διατριβής

Στη διατριβή αυτή αξιοποιήθηκε το πρώτο ικανοποιητικό δείγμα επεξεργασμένων (ψηφιοποιημένων-διορθωμένων) επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών του Ελληνικού χώρου. Εκτός αυτών, στο δείγμα των δεδομένων προστέθηκαν δεδομένα επιταχυνσιογράφων από σεισμούς άλλων περιοχών της Γης με παρόμοιο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον με εκείνο του Ελληνικού χώρου. Με τη χρήση των παραπάνω δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης, μελετήθηκε η απόσβεση και προτάθηκαν σχέσεις της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού την απόσταση εστίας-θέσης και τις εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής. Επιπλέον προτάθηκαν σχέσεις των παραπάνω παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση στη θέση καταγραφής. Από τη μελέτη της απόσβεσης των φασματικών τιμών

ψευδοταχύτητας προέκυψαν σχέσεις απόσβεσης, ανάλογες με τις προηγούμενες, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τους επιπρόσθετα την ιδιοπερίοδο του μονοβάθμιου ταλαντωτή και τον παράγοντα απόσβεσης αυτού.

Είναι φανερό ότι η μελέτη, με νέα στοιχεία, της απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης, συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της εκτίμησης των σεισμικών κινήσεων σχεδιασμού στον Ελληνικό χώρο καθώς και στην κατανόηση των ιδιοτήτων του δρόμου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Οπωσδήποτε, η μελλοντική συλλογή και άλλων επιταχυνσιογραμμάτων σε διάφορα σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα, τοπικές συνθήκες καταγραφής και ιδιαίτερα από μεγάλους επιφανειακούς σεισμούς (M_s>6.5) σε μικρές αποστάσεις ($R_{\varepsilon\pi}$<30 km) και από τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους της ζώνης κατάδυσης στο νότιο Αιγαίο, πρέπει να αποτελεί κυρίαρχο στόχο για τη μελέτη απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης στον Ελληνικό χώρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

2.1. Εισαγωγή

Η μελέτη της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης ως συνάρτηση του μεγέθους του σεισμού, της απόστασης από τη σεισμική εστία και των εδαφικών συνθηκών στις θέσεις καταγραφής αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας κατά τις τελευταίες δεκαετίες σε διάφορες περιοχές της Γης, όπου αναπτύχθηκε ικανοποιητική σε αριθμό τράπεζα επιταχυνσιογραμμάτων. Ιδιαίτερα για τη χρονική περίοδο 1974-84 προτάθηκε πλήθος εμπειρικών σχέσεων απόσβεσης των παραπάνω παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης, οι οποίες συνοψίζονται από τον Campbell (1985). Σχετικά με την εξέλιξη των σχέσεων απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης στον παγκόσμιο χώρο έχει γίνει αναφορά στην εισαγωγή της διατριβής. Στο κεφάλαιο αυτό περιοριζόμαστε στην αντίστοιχη εξέλιξη στον Ελληνικό χώρο.

Στον Ελληνικό χώρο η έλλειψη ικανοποιητικού αριθμού δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης μέχρι τα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας δεν επέτρεψε τον καθορισμό αξιόπιστων εμπειρικών σχέσεων απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης. Παρ' όλα αυτά, έγιναν ορισμένες προσπάθειες εφαρμογής τέτοιων σχέσεων στο χώρο αυτό. Σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας προτάθηκαν, για την εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στο Βαλκανικό χώρο, από τον Algermissen και τους συνεργάτες του (1976). Οι σχέσεις αυτές βασίσθηκαν σε δεδομένα των Η.Π.Α., ενώ για την εφαρμογή τους στις ζώνες σεισμών ενδιαμέσου βάθους τροποποιήθηκαν κατάλληλα. Πρόταση

"μέσης" σχέσης απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για τον Ελληνικό χώρο έγινε από το Μακρόπουλο (1978) ο οποίος χρησιμοποίησε για το σκοπό αυτό οκτώ σχέσεις απόσβεσης της διεθνούς βιβλιογραφίας.

Ο Παπαιωάννου (1984) βασιζόμενος σε δεκατέσσερα επιταχυνσιογράμματα σεισμών του Ελληνικού χώρου, καθόρισε για τους επιφανειακούς σεισμούς τη σχέση απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, α (cm/sec²),

$$\alpha = 5950\exp(0.89Ms)(R+23)^{-2.37} \qquad (2.1)$$

όπου Ms είναι το επιφανειακό μέγεθος και R η επικεντρική απόσταση. Ο ίδιος ερευνητής πρότεινε τις σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους, για το ελληνικό τόξο,

$$\log a=0.21+0.54Ms-1.07\log(\Delta+30) \qquad (2.2)$$

και για το εσωτερικό μέρος του τόξου

$$\log a=0.73+0.54Ms-1.38\log(\Delta+30) \qquad (2.3)$$

Οι Σταυρακάκης και Δρακόπουλος (1989) πρότειναν σχέση απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, βασιζόμενοι σε παραμέτρους της πηγής όπως η πτώση τάσης, η γωνιακή συχνότητα και η συχνότητα f_{max} για σεισμούς του Ελληνικού χώρου. Η σχέση αυτή ισχύει για αποστάσεις μικρότερες από 70 km.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι παράμετροι της τράπεζας δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου και δίνονται οι αντίστοιχες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης. Δίνονται οι παράμετροι της ισχυρής εδαφικής κίνησης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους από περιοχές ζωνών κατάδυσης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό σχέσεων απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης,

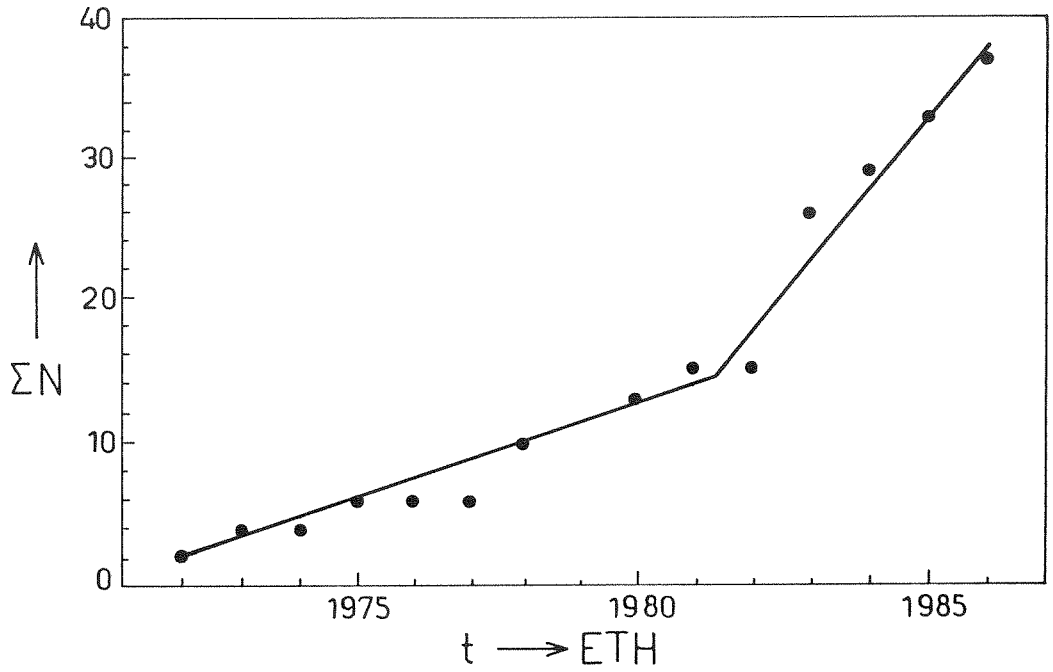
ταχύτητας, μετάθεσης. Οι σχέσεις αυτές προτείνονται για εφαρμογή στον Ελληνικό χώρο δεδομένου ότι προέρχονται από δεδομένα περιοχών με παρόμοιο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον με εκείνο της ζώνης κατάδυσης του Ελληνικού τόξου. Τέλος, ενισχύεται το δείγμα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με παραμέτρους της ισχυρής εδαφικής κίνησης επιφανειακών σεισμών με μεγέθη ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$, οι οποίοι προέρχονται από σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης. Με το συνολικό δείγμα καθορίζονται νέες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, οι οποίες προτείνονται για εφαρμογή στον Ελληνικό χώρο.

2.2 Απόσβεση της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g\}$, Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού χώρου.

2.2.1. Δεδομένα παρατήρησης

α. Παράμετροι των σεισμών

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 άρχισε η εγκατάσταση και λειτουργία των πρώτων επιταχυνσιογράφων στον Ελληνικό χώρο από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΓΙΕΑΑ).Μια δεκαετία αργότερα ξεκίνησε από το Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ), η εγκατάσταση δικτύου πενήντα επιταχυνσιογράφων, το κύριο τμήμα του οποίου εγκαταστάθηκε εντός δύο ετών (1981-82), σε θέσεις που επιλέχθηκαν με κριτήρια τόσο σεισμοτεκτονικά όσο και κοινωνικοοικονομικά(Β.Παπαζάχος,Σ.Αναγνωστόπουλος 1985, προσωπική επικοινωνία). Στο σχήμα (2.1) φαίνεται ο ρυθμός μεταβολής του σωρευτικού αριθμού των επιταχυνσιογραμμάτων από σεισμούς του Ελληνικού χώρου που έχουν δημοσιευθεί για την περίοδο 1972-1986, με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_g \geq 0.05g$. Παρατηρείται μια απότομη μεταβολή του ρυθμού αυτού κατά το 1982, γεγονός το οποίο

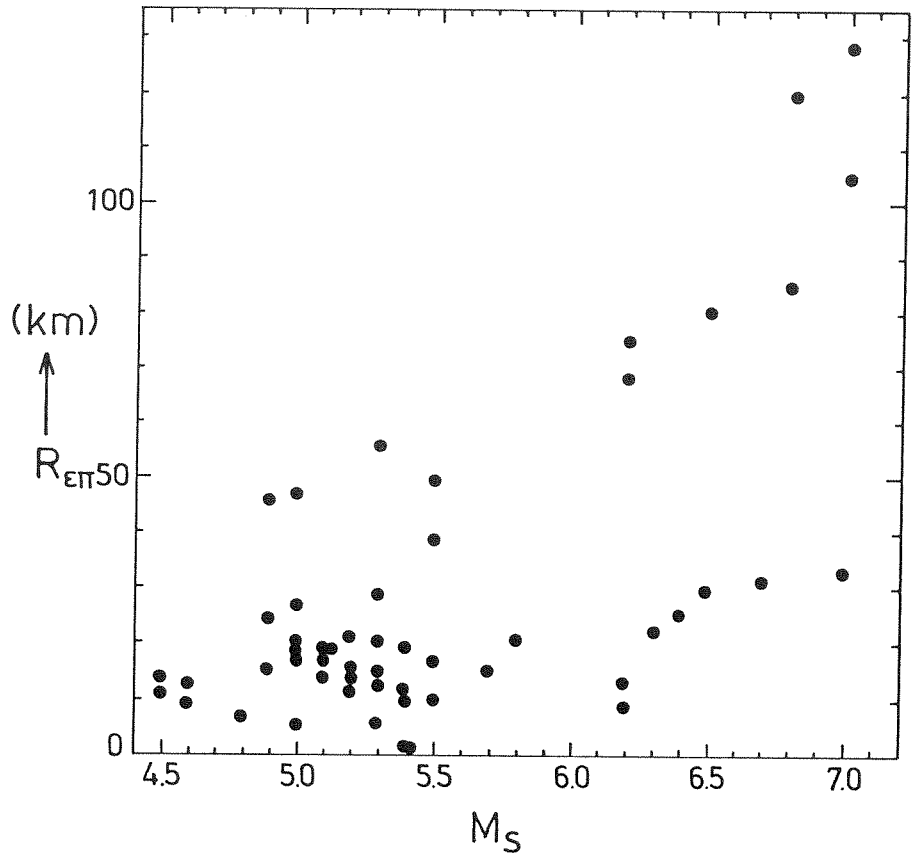


Σχ. 2.1. Αθροιστική συχνότητα απόδοσης του Ελληνικού δικτύου επιταχυνσιογράφων (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986).

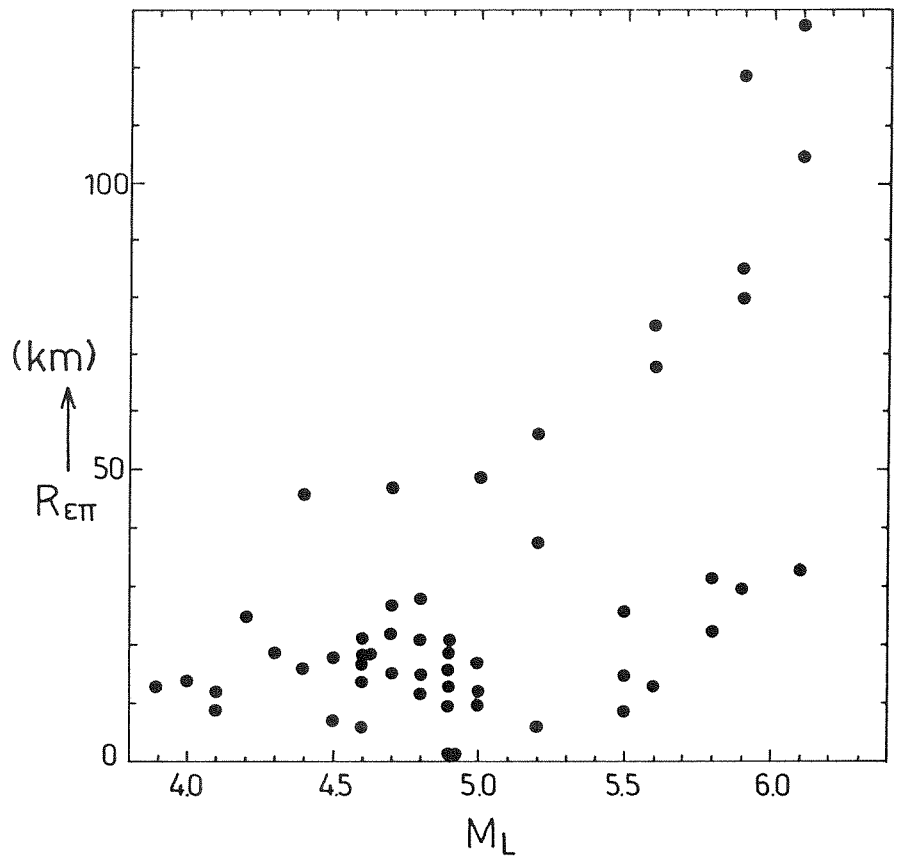
οφείλεται στην εγκατάσταση και τη συστηματική συντήρηση του δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986).

Το σύνολο των Ελληνικών δεδομένων για επεξεργασία στη διατριβή αυτή, αποτελείται από επιταχυνσιογράμματα 105 οριζόντιων και 51 κατακόρυφων συνιστωσών τα οποία καταγράφηκαν σε 53 ταινίες. Οι καταγραφές αυτές προέρχονται από 36 σεισμούς του Ελληνικού χώρου, οι οποίοι καλύπτουν διάστημα επιφανειακών μεγεθών $4.5 \leq Ms \leq 7.0$ (ή τοπικών μεγεθών $3.9 \leq M_L \leq 6.1$) και διάστημα επικεντρικών αποστάσεων $1km \leq R \leq 128$ km. Στα σχήματα (2.2) και (2.3) φαίνεται η κατανομή των δεδομένων με το μέγεθος, Ms και M_L αντίστοιχα και την επικεντρική απόσταση, $R_{επ}$. Η έλλειψη καταγραφών μεγάλων σεισμών, $Ms > 6.2$, στο κοντινό πεδίο, $R_{επ} < 20km$, είναι εμφανής. Στον πίνακα (2.1) δίνονται οι παράμετροι των σεισμών και τα σφάλματα υπολογισμού των σεισμικών εστιών (Καρακώστας 1988), η μέγιστη παρατηρημένη μακροσεισμική ένταση (Μηνιαία Δελτία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών 1972-1986) και οι αντίστοιχοι κωδικοί των επιταχυνσιογραμμάτων.

Ο χρόνος γένεσης, οι γεωγραφικές συντεταγμένες του επικέντρου, το εστιακό βάθος και τα σφάλματα στη σεισμική εστία για τους σεισμούς της χρονικής περιόδου 1972-84 έχουν υπολογισθεί από τον Καρακώστα (1988), για τους σεισμούς του 1985 από κοινό πρόγραμμα του Εργαστηρίου Γεωφυσικής του Α.Π.Θ. και του Τομέα Γεωφυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών (Παπαζάχος και Δρακόπουλος 1985) και για το 1986 από τους Παπαζάχο και συνεργάτες (1988). Οι παραπάνω υπολογισμοί των σεισμικών εστιών πιστεύουμε ότι είναι οι πλέον αξιόπιστοι δεδομένου ότι έχει αξιοποιηθεί το σύνολο των αφίξεων των επιμήκων, P, και εγκαρσίων, S, κυμάτων από αναγραφές των σεισμολογικών σταθμών του Ελληνικού χώρου και χωρών της ευρύτερης περιοχής της ανατολικής Μεσογείου. Επιπλέον, κατά τον προσδιορισμό των επικέντρων έχουν ληφθεί υπόψη και οι χρόνοι καθυστέρησης στους σταθμούς αναγραφής, γεγονός το οποίο βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια, ιδιαίτερα στον υπολογισμό του βάθους (Panagiotopoulos et al. 1985). Τα επιφανειακά μεγέθη, Ms, των σεισμών για το χρονικό διάστημα 1972-85 δίνονται στον κατάλογο



Σχ. 2.2. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με το επιφανειακό μέγεθος και την επικεντρική απόσταση.



Σχ. 2.3. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με το τοπικό μέγεθος και την επικεντρική απόσταση.

Πίνακας 2.1. Παράμετροι των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου

No	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ (GMT)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΝΕΣ φ°N	λ°E	ΒΑΘΟΣ (km)	ΜΕΓΕΘΟΣ M_L	Ms	ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΥΠΟΚΕΝΤΡΟΥ RMS	ERH	ERZ	I_{max}	ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΠΙΤ/ΤΩΝ	ΑΦΙ-ΞΕΙΣ
1	17-09-1972 14:07:12.9	38.18	20.23	7	5.8	6.3	0.58	2.3	2.6	7	ARG72-1A	26
2	30-10-1972 14:32:12.4	38.24	20.38	13	5.0	5.4	0.72	3.1	2.5	5	ARG72-2A	23
3	4-11-1973 15:52:13.9	38.74	20.51	7	5.4	5.8	0.73	3.2	2.7	8	LEF73-1A	29
4	4-11-1973 16:11:37.8	38.74	20.50	13	4.6	5.0	0.56	3.8	3.2	-	LEF73-2A	21
5	29-01-1974 15:12:43.3	38.31	21.78	7	4.1	4.6	0.65	4.0	4.4	5.5	PAT74-1A	19
6	4-04-1975 05:16:16.8	38.21	22.16	1	5.2	5.5	0.64	3.1	4.3	6	PAT75-1A	23
7	13-5-1975 00:22:49.5	38.19	22.61	2	3.9	4.6	0.76	3.4	4.8	5.5	XYL75-1A	25
8	12-10-1975 08:23:10.7	37.90	23.13	4	4.3	5.0	0.74	2.2	2.9	6	KOR75-1A	32
9	20-06-1978 20:03:24.0	40.71	23.27	10	5.9	6.5	0.48	1.7	8.3	8.5	THE78-1A GEV78-1Y	26
10	4-07-1978 22:23:29.8	40.73	23.12	18	4.6	5.1	0.69	2.6	8.0	6.5	THE78-2A THE178-2Y THE278-3Y SHO78-1Y	23
11	16-07-1980 00:06:57.2	39.23	22.72	1	4.6	4.9	0.34	1.3	2.4	6	ALM80-2U	22
12	11-08-1980 09:15:59.1	39.30	22.82	3	4.8	5.2	0.70	2.3	2.7	6	ALM80-4U	27

(συνεχίζεται)

No	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ (GMT)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΝΕΣ φ°N	λ°E	ΒΑΘΟΣ (km)	ΜΕΓΕΘΟΣ M_L	Ms	ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΥΠΟΚΕΝΤΡΟΥ RMS	ERH	ERZ	I_{max}	ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΠΙΤ/ΤΩΝ	ΑΦΙ-ΞΕΙΣ
13	26-09-1980 04:19:17.9	39.24	22.74	2	4.5	4.8	0.26	1.4	2.3	5	ALM80-5U	16
14	24-02-1981 20:53:36.7	38.22	22.92	3	5.8	6.7	0.55	2.4	3.7	9	KOR81-1A	34
15	25-02-1981 02:35:52.2	38.14	23.08	6	5.5	6.4	0.30	1.1	2.2	8	KOR81-2A	32
16	17-1-1983 12:41:30.7	37.96	20.23	6	6.1	7.0	0.39	2.0	1.6	6	AGR83-1 LEF83-1 ARG83-1	35
17	17-01-1983 16:53:30.3	38.11	20.37	8	4.9	5.3	0.41	2.1	1.3	-	ARG83-3	41
18	19-01-1983 00:02:15.1	38.08	20.38	6	5.5	5.7	0.50	3.9	2.3	5.5	ARG83-4	30
19	31-01-1983 15:27:01.5	38.14	20.45	5	5.2	5.3	0.45	3.2	2.8	-	ARG83-6 ZAK83-1	35
20	20-02-1983 12:42:29.1	37.76	21.11	2	4.9	5.4	0.42	2.1	1.9	7	ZAK83-2	25
21	16-03-1983 21:19:39.2	38.80	20.88	0	4.9	5.2	0.62	2.7	3.1	7	LEF83-2	43
22	23-03-1983 19:04:00.4	38.78	20.83	2	4.8	5.2	0.73	3.4	3.7	6	LEF83-3	35
23	23-03-1983 23:51:07.1	38.22	20.35	1	5.6	6.2	0.31	2.9	2.4	7	ZAK83-3 LEF83-4 ARG83-7	32
24	24-03-1983 04:17:33.2	38.11	20.42	12	5.0	5.5	0.34	3.3	1.3	-	ARG83-8	34
25	6-08-1983 15:43:53.3	40.09	24.78	12	5.9	6.8	0.48	1.3	2.1	6	POL83-1 IER83-2	47

(συνεχίζεται)

No	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ (GMT)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΝΕΣ φ°N	λ°E	ΒΑΘΟΣ (km)	ΜΕΓΕΘΟΣ M_L	Ms	ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΥΠΟΚΕΝΤΡΟΥ RMS	ERH	ERZ	I_{max}	ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΠΙΤ/ΤΩΝ	ΑΦΙ-ΞΕΙΣ
26	26-08-1983 12:52:09.9	40.47	23.96	3	4.4	4.9	0.63	1.5	1.9	-	OUR83-2U POL83-2	48
27	19-02-1984 03:47:22.1	40.61	23.40	8	4.2	4.9	0.37	1.0	1.1	6	POL84-1	36
28	9-07-1984 18:57:11.7	40.65	21.91	4	4.8	5.3	0.35	0.9	1.1	7	EDE84-1 VER84-1	42
29	4-10-1984 10:15:11.5	37.64	20.85	14	4.5	5.0	0.58	5.1	3.1	-	ZAK84-1	46
30	25-10-1984 09:49:16.3	36.83	21.72	11	4.7	5.0	0.45	4.6	6.0	-	KYP84-2 PEL84-1	47
31	22-03-1985 20:37:38.5	38.98	21.11	2	4.0	4.5	0.74	1.8	2.7	-	AMF85-3	59
32	22-03-1985 20:38:54.0	38.91	21.06	7	4.1	4.5	0.50	4.4	5.4	-	AMF85-4	10
33	31-08-1985 06:03:45.6	38.99	20.59	1	4.7	5.2	0.71	2.0	3.1	7.5	LEF85-1 PRE85-1	35
34	9-11-1985 23:30:42.8	41.26	24.02	12	5.0	5.5	0.50	2.5	2.4	7.5	DRA85-1 KAV85-1	14
35	13-09-1986 17:24:34.1	37.11	22.14	8	5.5	6.2	0.21	1.1	1.8	10	KAL86-1	27
36	15-09-1986 11:41:30.1	37.04	22.13	8	4.9	5.4	0.39	2.4	2.8	-	KAL86-7 KAL*86-2 MES*86-1	24

των Κομνηνάκη και Παπαζάχου (1986) και έχουν σφάλμα υπολογισμού μικρότερο από 0.3. Τα μεγέθη του έτους 1986 υπολογίσθηκαν από τους Παπαζάχο και συνεργάτες (1988). Τα τοπικά μεγέθη, M_L, των σεισμών έχουν υπολογισθεί με τη χρήση των μεγίστων πλατών αναγραφής, A_{WA}, των δύο οριζοντίων συνιστωσών του σεισμογράφου Wood-Anderson του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του ΕΑΑ (Μηνιαία Δελτία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του ΕΑΑ), από τη σχέση υπολογισμού του M_L (Κυρατζή 1984, Kiratzi and Papazachos 1984),

$$M_L = \log A_{WA} - 2.00 \log(R/100) \qquad (2.4)$$

όπου R η υποκεντρική απόσταση της εστίας από το σεισμογράφο Wood-Anderson. Για τον υπολογισμό των τοπικών μεγεθών των σεισμών του πίνακα (2.1) με αύξοντα αριθμό 14 και 25, λόγω αδυναμίας αναγραφής των πλατών στο σεισμογράφο Wood-Anderson, χρησιμοποιήθηκαν οι διάρκειες αναγραφής, μέχρι πλάτος 2mm από κορυφή σε κορυφή, των αναγραφών κατακόρυφων σεισμομέτρων βραχείας περιόδου (1 Hz) με μικρή ενίσχυση (low gain) του σεισμολογικού σταθμού Θεσσαλονίκης. Ο υπολογισμός του τοπικού μεγέθους των σεισμών αυτών έγινε με τη σχέση,

$$M_L = 0.48(\log\tau)^2 + 0.0012\Delta + 3.05 \qquad (2.5)$$

όπου τ είναι η διάρκεια αναγραφής μέχρι 2mm από κορυφή σε κορυφή και Δ η επικεντρική απόσταση του σεισμού από το σταθμό Θεσσαλονίκης (Κυρατζή 1984, Kiratzi and Papazachos 1984).

β. Επιταχυνσιογράμματα

Τα στοιχεία των επιταχυνσιογραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για επεξεργασία στη διατριβή αυτή δίνονται στον πίνακα (2.2) . Στην πρώτη στήλη δίνεται ο αύξοντας αριθμός καταγραφής, στη δεύτερη ο κωδικός της καταγραφής και περιγράφεται από τον κωδικό του σταθμού, όπως δίνεται στην τρίτη στήλη, από τα δύο τελευταία ψηφία του έτους γένεσης του σεισμού, από τον αύξοντα αριθμό της

Πίνακας 2.2. Δεδομένα της οριζόντιας και κατακόρυφης ισχυρής εδαφικής κίνησης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤ/ΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°N	λ°E	R_{up} km	R_{ep} km	a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm		S 0,1
1	ARG72-1A	ARG	38.18	20.48	23.5	22.4	170.0	8.0	1.8	L	1
							120.0	5.0	1.7	T	
							-	-	-	V	
2	ARG72-2A	ARG	38.18	20.48	18.0	12.0	165.0	8.2	4.3	L	1
							70.0	2.6	0.36	T	
							-	-	-	V	
3	LEF73-1A	LEF	38.83	20.71	22.0	21.0	530.0	65.0	26.8	L	0
							263.0	30.0	12.0	T	
							123.0	7.3	6.4	V	
4	LEF73-2A	LEF	38.83	20.71	25.0	21.0	40.0	2.5	3.5	L	0
							82.0	5.1	3.2	T	
							27.0	2.3	2.3	V	
5	PAT74-1A	PAT	38.25	21.73	11.0	9.0	41.0	1.5	0.6	T	0
							40.0	2.1	1.1	T	
							22.0	0.9	0.15	V	
6	PAT75-1A	PAT	38.25	21.73	38.0	38.0	12.0	2.0	1.55	L	0
							50.0	3.4	1.83	T	
							17.0	2.3	2.70	V	
7	XYL75-1A	XYL	38.08	22.58	13.0	13.0	73.0	3.3	0.6	L	0
							60.0	2.8	0.27	T	
							22.0	0.8	0.42	V	
8	KOR75-1A	KOR	37.94	22.93	19.0	19.0	25.0	2.1	0.8	L	0
							29.0	1.8	1.0	T	
							18.0	1.8	1.37	V	
9	THE78-1A	THE	40.63	22.94	31.0	29.5	139.6	12.7	3.0	L	0
							151.5	16.7	3.4	T	
							133.1	7.6	1.0	V	
10	GEV78-1Y	GEV	41.14	22.51	81.0	80.0	41.4	1.5	0.1	L	0
							39.8	1.5	0.1	T	
							24.6	1.3	0.1	V	

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤ/ΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°N	λ°E	$R_{υπ}$ km	$R_{επ}$ km	a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm		S 0,1
11	THE78-2A	THE	40.63	22.95	26.0	18.5	119.8	8.4	0.95	L	0
							95.3	5.2	0.93	T	
							49.6	2.5	0.34	V	
12	THE178-2Y	THE1	40.63	22.97	25.0	17.5	99.7	3.0	0.37	L	1
							94.5	3.6	0.24	T	
							35.6	1.4	0.13	V	
13	THE278-2Y	THE2	40.63	22.95	26.0	18.5	162.0	6.4	0.51	L	0
							234.7	12.9	0.92	T	
							85.0	2.2	0.13	V	
14	SHO78-1Y	SHO	40.68	23.26	23.0	14.0	29.2	3.0	0.49	L	0
							38.0	1.9	0.32	T	
							39.2	1.1	0.19	V	
15	ALM80-2U	ALM	39.18	22.76	6.0	6.0	123.9	6.9	0.53	L	0
							107.1	3.9	0.29	T	
							86.9	3.1	0.27	V	
16	ALM80-4U	ALM	39.18	22.76	15.0	15.0	69.6	3.3	0.56	L	0
							69.9	5.0	0.7	T	
							68.0	3.4	0.56	V	
17	ALM80-5U	ALM	39.18	22.76	7.0	7.0	56.3	3.4	0.28	L	0
							58.5	4.0	0.46	T	
							34.6	2.0	0.19	V	
18	KOR81-1A	KOR	37.94	22.93	32.0	31.5	234.0	22.5	6.7	L	0
							281.0	24.6	6.3	T	
							94.0	8.0	2.6	V	
19	KOR81-2A	KOR	37.94	22.93	27.0	26.0	118.5	12.5	4.5	L	0
							118.2	14.0	5.8	T	
							39.8	5.3	2.4	V	
20	AGR83-1	AGR	38.63	21.42	128.0	128.0	30.6	3.5	1.4	L	0
							51.1	4.5	1.47	T	
							13.4	2.3	0.75	V	
21	LEF83-1	LEF	38.83	20.71	106.0	105.0	64.7	6.0	0.96	L	0
							62.2	6.6	1.11	T	
							16.1	1.9	0.29	V	

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤ/ΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°N	λ°E	$R_{U\,R}$ km	$R_{E\,R}$ km	a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm		S 0,1
22	ARG83-1	ARG	38.18	20.48	34.0	33.0	162.1	6.5	0.54	L	1
							139.3	8.4	0.49	T	
							38.0	1.8	0.09	V	
23	ARG83-3	ARG	38.18	20.48	15.5	13.0	79.1	2.4	0.17	L	1
							29.5	1.6	0.11	T	
							13.1	0.3	0.01	V	
24	ARG83-4	ARG	38.18	20.48	16.0	15.0	67.5	2.7	0.18	L	1
							77.0	4.1	0.32	T	
							19.4	0.8	0.03	V	
25	ARG83-6	ARG	38.18	20.48	7.0	6.0	53.0	1.9	0.12	L	1
							69.0	4.8	0.47	T	
							21.0	0.8	0.05	V	
26	ZAK83-1	ZAK	37.79	20.90	56.0	56.0	16.8	0.7	0.07	L	0
							14.7	0.8	0.08	T	
							12.6	0.4	0.05	V	
27	ZAK83-2	ZAK	37.79	20.90	19.5	19.0	31.4	1.7	0.18	L	0
							25.6	1.6	0.14	T	
							16.8	0.9	0.09	V	
28	LEF83-2	LEF	38.83	20.71	16.0	16.0	26.0	1.1	0.08	L	0
							15.9	1.2	0.09	T	
							6.5	0.2	0.00	V	
29	LEF83-3	LEF	38.83	20.71	12.5	12.0	50.7	4.2	0.77	L	0
							30.9	2.3	0.39	T	
							14.9	1.8	0.28	V	
30	ZAK83-3	ZAK	37.79	20.90	68.0	68.0	20.7	2.0	0.22	L	0
							25.6	1.5	0.19	T	
							11.6	0.7	0.10	V	
31	LEF83-4	LEF	38.83	20.71	75.	75.0	21.7	1.7	0.18	L	0
							25.3	2.6	0.30	T	
							7.0	0.4	0.02	V	
32	ARG83-7	ARG	38.18	20.48	13.0	13.0	177.0	4.9	0.54	L	1
							234.0	9.9	0.82	T	
							72.0	1.8	0.15	V	

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤ/ΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°N	λ°E	$R_{u\,\pi}$ km	$R_{\epsilon\,\pi}$ km	a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm		S 0,1
33	ARG83-8	ARG	38.18	20.48	16.0	10.0	241.9	6.6	0.22	L	1
							299.5	9.6	0.36	T	
							51.0	1.5	0.07	V	
34	POL83-1	POL	40.38	23.44	119.0	119.0	20.3	0.8	0.08	L	1
							19.7	1.7	0.24	T	
							11.6	1.0	0.13	V	
35	IER83-2	IER	40.40	23.88	85.0	85.0	27.0	1.5	0.15	L	0
							25.1	1.6	0.15	T	
							8.5	0.4	0.02	V	
36	OUR83-2U	OUR	40.33	23.98	16.5	16.0	87.8	3.3	0.31	L	1
							126.8	4.9	0.32	T	
							43.5	1.2	0.13	V	
37	POL83-2	POL	40.38	23.44	46.0	46.0	101.6	2.4	0.07	L	1
							51.5	1.6	0.09	T	
							40.8	1.0	0.04	V	
38	POL84-1	POL	40.38	23.44	27.0	25.0	18.9	0.7	0.02	L	1
							14.4	0.5	0.01	T	
							9.3	0.3	0.00	V	
39	EDE84-1	EDE	40.80	22.05	21.0	21.0	33.4	3.1	0.27	L	0
							43.1	4.0	0.37	T	
							16.8	0.6	0.04	V	
40	VER84-1	VER	40.53	22.20	28.0	28.0	13.7	1.1	0.09	L	0
							8.8	0.3	0.01	T	
							19.6	0.5	0.02	V	
41	ZAK84-1	ZAK	37.79	20.90	23.0	18.0	35.2	1.5	0.15	L	0
							77.0	2.7	0.19	T	
							21.5	0.6	0.04	V	
42	KYP84-2	KYP	37.25	21.68	48.0	47.0	-	-	-	L	0
							24.4	0.5	0.03	T	
							10.5	0.3	0.01	V	
43	PEL84-1	PEL	37.05	21.85	29.0	27.0	167.5	9.1	0.60	L	1
							176.4	7.9	0.55	T	
							122.0	2.9	0.18	V	

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤ/ΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°N	λ°E	$R_{U\,\pi}$ km	$R_{E\,\pi}$ km	a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm		S 0,1
44	AMF85-3	AMF	38.87	21.17	14.0	14.0	64.0	1.4	0.04	L	1
							72.0	1.4	0.03	T	
							15.0	0.4	0.02	V	
45	AMF85-4	AMF	38.87	21.17	14.0	12.0	37.4	1.0	0.02	L	1
							42.8	1.0	0.02	T	
							21.8	0.4	0.00	V	
46	LEF85-1	LEF	38.83	20.71	22.0	22.0	73.6	3.7	0.23	L	0
							50.9	2.5	0.16	T	
							21.2	0.8	0.05	V	
47	PRE85-1	PRE	38.96	20.75	15.0	15.0	45.2	2.5	0.21	L	0
							54.2	3.7	0.24	T	
							43.0	1.0	0.11	V	
48	DRA85-1	DRA	41.15	24.15	18.0	17.0	34.6	4.4	0.59	L	0
							86.2	7.4	0.98	T	
							28.2	3.1	0.43	V	
49	KAV85-1	KAV	40.93	24.40	49.0	49.0	49.7	2.1	0.13	L	1
							34.7	1.5	0.09	T	
							37.7	1.4	0.08	V	
50	KAL86-1	KAL	37.04	22.12	12.0	9.0	235.3	32.3	7.19	L	0
							268.0	23.7	5.34	T	
							178.4	9.0	1.43	V	
51	KAL86-7	KAL	37.04	22.12	8.0	1.0	232.9	21.7	2.61	L	0
							136.3	7.9	0.77	T	
							125.8	6.0	0.78	V	
52	KAL*86-2	KAL*	37.04	22.12	8.0	1.0	157.7	12.8	1.34	L	0
							258.0	24.4	3.66	T	
							74.8	4.9	0.72	V	
53	MES*86-1	MES*	37.05	22.01	13.0	10.0	30.6	3.2	0.90	L	0
							46.2	1.9	0.38	T	
							20.1	1.4	0.36	V	

iA : Καταγραφή του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του ΕΑΑ
iY : Καταγραφή του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας Αντισεισμικών Κατασκευών των Σκοπίων
iU : Καταγραφή του Τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ
L,T : Οριζόντιες συνιστώσες
V : Κατακόρυφη συνιστώσα
S : Χαρακτηρισμός της γεωλογίας στη θέση καταγραφής

καταγραφής για το συγκεκριμένο έτος και από το συγκεκριμένο σταθμό και ένα γράμμα το οποίο δίνει πληροφορίες για την πηγή της καταγραφής. Η έλλειψη του γράμματος αυτού σημαίνει ότι η καταγραφή έχει ως πηγή την τράπεζα δεδομένων του ΙΤΣΑΚ. Στην τέταρτη στήλη δίνονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες του σταθμού καταγραφής ενώ στην πέμπτη και έκτη στήλη η υποκεντρική και επικεντρική, αντίστοιχα, απόσταση σε Km. Στις τρεις επόμενες στήλες δίνονται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, και μετάθεση, d_g, αντίστοιχα, ενώ στη δέκατη στήλη χαρακτηρίζονται οι συνιστώσες ως L ή T οι οριζόντιες και V οι κατακόρυφες. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο χαρακτηρισμός των εδαφικών συνθηκών στη θέση του σταθμού καταγραφής στη δυαδική μορφή 0 ή 1, του οποίου ο καθορισμός εξηγείται παρακάτω (2.2.1.γ).

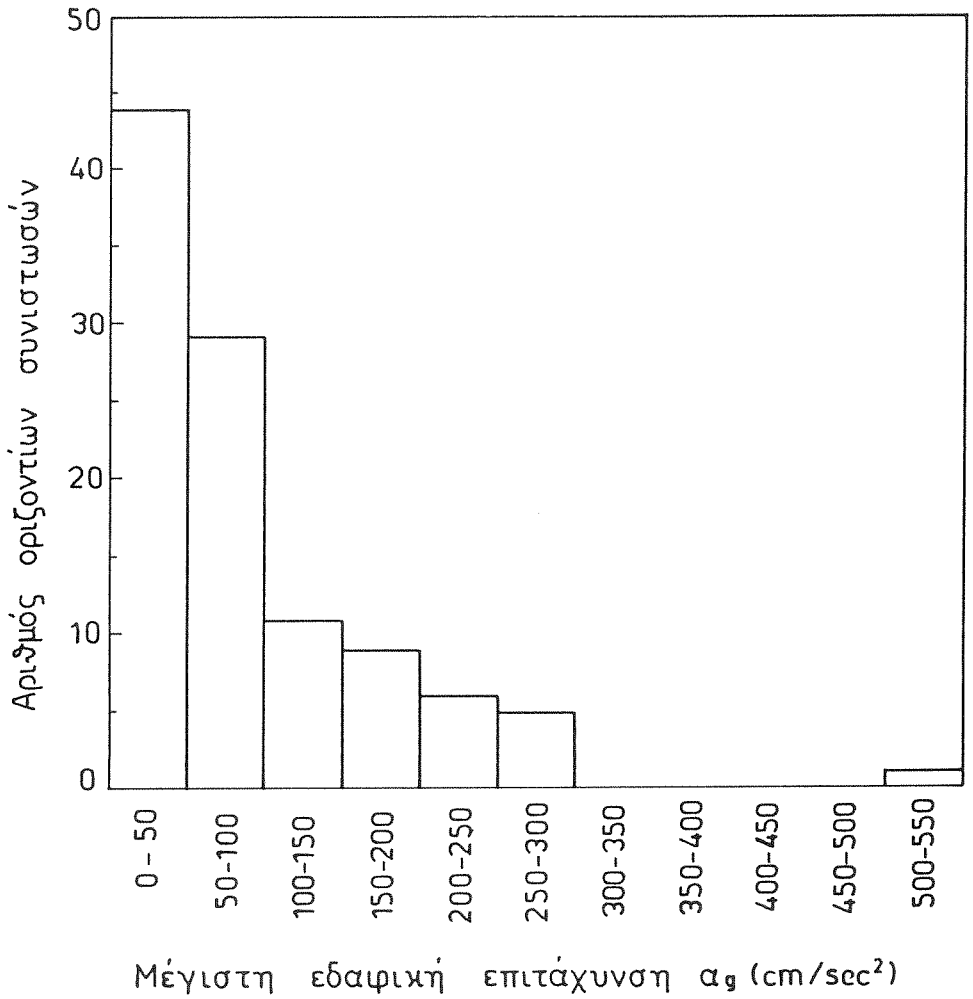
Τα δεδομένα της ισχυρής εδαφικής κίνησης του πίνακα (2.2) προέρχονται από επιταχυνσιογράφους αναλογικής καταγραφής SMA-1, εκτός των καταγραφών ARG72-1A και ARG72-2A που προέρχονται από επιταχυνσιογράφους αναλογικής καταγραφής, SMAC-B. Παρότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τρόπο καταγραφής της εδαφικής επιτάχυνσης και στα τεχνικά χαρακτηριστικά των δύο τύπων επιταχυνσιογράφων (Trifunac and Hudson 1970, Mori and Crouse 1981), το δείγμα από άποψης τύπου καταγραφέων μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ομοιογενές λόγω του μικρού ποσοστού συμμετοχής των οργάνων SMAC-B. Οσον αφορά τη διαδικασία επεξεργασίας των επιταχυνσιογραμμάτων, η οποία περιλαμβάνει την ψηφιοποίηση, τη διόρθωση και τον υπολογισμό των φασμάτων Fourier και απόκρισης, αυτά μπορούν να διακριθούν σε δύο γενικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τα επιταχυνσιογράμματα της περιόδου 1972-81 τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με ημιαυτόματο τρόπο, εκτός των ALM80-2U, ALM80-4U και ALM80-5U. Στην κατηγορία αυτή τα ψηφιοποιημένα επιταχυνσιογράμματα της περιόδου 1972-75 έχουν υποστεί μόνο παραβολική διόρθωση της γραμμής βάσης (parabolic base-line correction) (Brady et al. 1978), και ενώ η στοιχειώδης αυτή επεξεργασία έδωσε μάλλον μη ρεαλιστικές τιμές της εδαφικής μετάθεσης, τα φάσματα απόκρισής τους μπορούν να θεωρηθούν ότι

προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις πραγματικές τιμές για ορισμένο διάστημα ιδιοπεριόδων (Carydis and Mouzakis 1985). Τα ψηφιοποιημένα επιταχυνσιογράμματα της περιόδου 1978-81 της ίδιας κατηγορίας (Petrovski and Naumovski 1979, Carydis et al. 1982, 1983) έχουν υποστεί διόρθωση σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο CALTECH (Trifunac and Lee 1973, Hudson 1979) με μικρές τροποποιήσεις όσον αφορά την επιλογή φίλτρων χαμηλών συχνοτήτων (Basili and Brady 1978). Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει όλα τα υπόλοιπα επιταχυνσιογράμματα τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με αυτόματο τρόπο σε ψηφιοποιητή μεγάλης ακρίβειας (Αναγνωστόπουλος και συνεργ. 1986α, Anagnostopoulos et al. 1987, Μάργαρης και συνεργ. 1989). Οσον αφορά την επεξεργασία των ψηφιοποιημένων δεδομένων της κατηγορίας αυτής η βασική καινοτομία της μεθοδολογίας έγκειται στον τρόπο επιλογής των φίλτρων των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων. Η επιλογή αυτή βασίζεται στο λόγο σήματος προς θόρυβο των πλατών φάσματος Fourier της μη διορθωμένης συνιστώσας του επιταχυνσιογράμματος και της σταθερής γραμμής (fixed-trace), αντίστοιχα. Ο λόγος αυτός σχεδιάζεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα και γίνεται επιλογή των φίλτρων χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων σε ορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης, συνήθως στα 10 dB (Rinaldis 1985, Παπασταματίου και συνεργ. 1989).

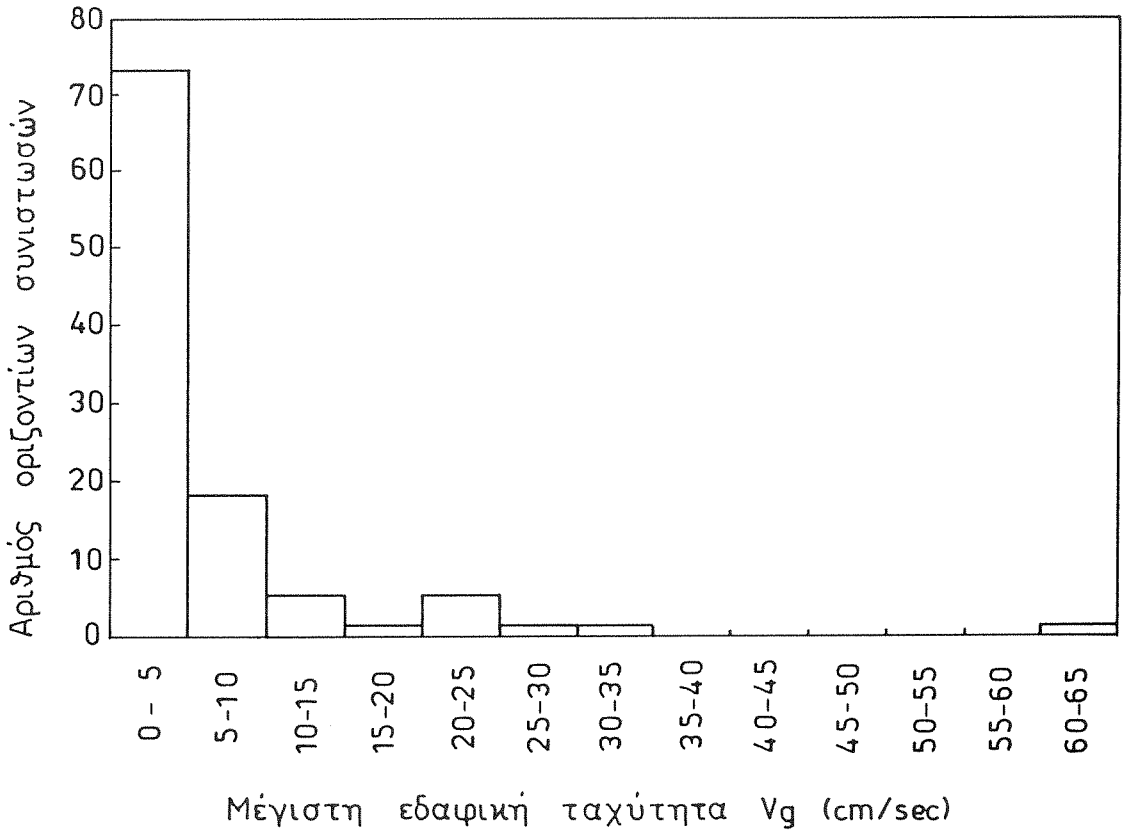
Στα σχήματα (2.4), (2.5) και (2.6) δίνεται η κατανομή των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων, a_g, ταχυτήτων, v_g, και μεταθέσεων, d_g, των οριζοντίων συνιστωσών των Ελληνικών επιταχυνσιογραμμάτων.

γ. Εδαφικές συνθήκες στις θέσεις καταγραφής

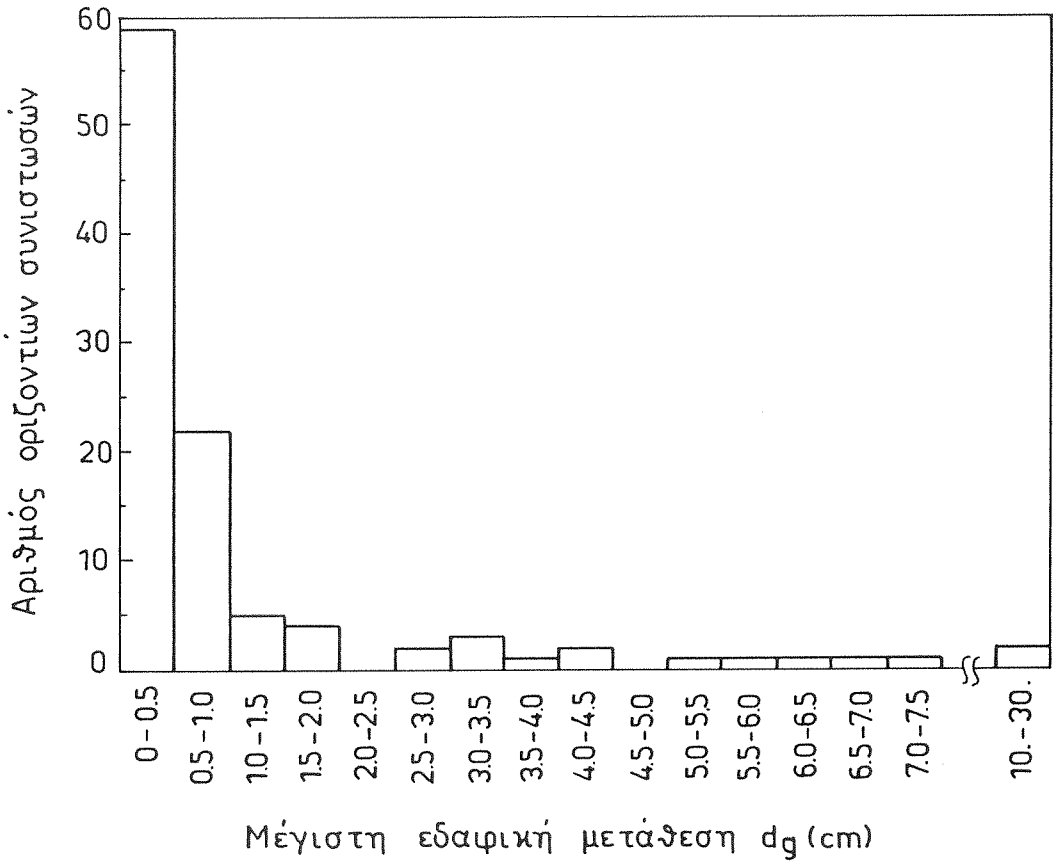
Η επίδραση των συνθηκών του εδάφους στην τελική διαμόρφωση της ισχυρής εδαφικής κίνησης θεωρήθηκε ουσιαστική από πλήθος ερευνητών και έχει ληφθεί υπόψη ως παράμετρος στο μαθηματικό μοντέλο σχέσεων απόσβεσης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης (Campbell and Duke 1974, Trifunac and Brady 1976, Trifunac 1976a,b,c, McGuire 1978a, Joyner and Boore 1981, Chiaruttini and Siro 1981, Naumovski 1984, Kawashima et al.



Σχ. 2.4. Κατανομή τιμών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης των οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.5. Κατανομή τιμών της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας των οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.6. Κατανομή τιμών της μέγιστης εδαφικής μετάθεσης των οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

1986, Sabetta and Pugliese 1987). Συνήθως, οι παράμετροι των εδαφικών συνθηκών σχετίζονται με απλή γεωλογική περιγραφή της θέσης του επιταχυνσιογράφου ενώ πιό πολύπλοκες ταξινομήσεις των εδαφικών συνθηκών έχουν βασισθεί είτε στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων είτε στο πάχος των ιζηματογενών αποθέσεων (Campbell 1985). Αυτή η ποικιλία ταξινομήσεων των εδαφικών συνθηκών που εφαρμόσθηκαν κατά το παρελθόν, επιβεβαιώνει την πολυπλοκότητα και την περιορισμένη κατανόηση της συσχέτισης μεταξύ της ισχυρής εδαφικής κίνησης και των εδαφικών συνθηκών στη θέση καταγραφής.

Προκειμένου να γίνει η ταξινόμηση των εδαφικών συνθηκών στις θέσεις των επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ ακολουθήθηκε η μεθοδολογία η οποία προτάθηκε από τους Trifunac και Brady (1975b) και αξιοποιεί κατά κύριο λόγο τη γνώση της επιφανειακής γεωλογίας της ευρύτερης περιοχής του σταθμού καταγραφής. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην εκτίμηση της σκληρότητας του γεωλογικού σχηματισμού στη θέση του οργάνου και η ταξινόμηση γίνεται σε τρεις γενικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις μαλακές αλλουβιακές αποθέσεις και συμβολίζεται με 0, η δεύτερη τα σκληρά ιζηματογενή πετρώματα και συμβολίζεται με 1 και η τρίτη τα κρυσταλλικά πετρώματα ή το σκληρό υπόβαθρο και συμβολίζεται με 2. Στην εκτίμηση της σκληρότητας των γεωλογικών σχηματισμών στη θέση του επιταχυνσιογράφου συμμετείχαν οκτώ ειδικοί του Εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας του Ινστιτούτου Τεχνολογίας της Καλιφόρνιας (EERL, CALTECH).

Για τις θέσεις των επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ, ζητήθηκε παρόμοια ταξινόμηση των εδαφικών συνθηκών, ανεξάρτητα, από επτά ειδικούς διαφόρων φορέων (Διεύθυνση Τεχνικής Γεωλογίας ΙΓΜΕ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου,'Ομιλος Τεχνικών Μελετών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ). Για το λόγο αυτό, δόθηκαν οι ανάλογες πληροφορίες από γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ (1:50.000) και ζητήθηκε ο χαρακτηρισμός της θέσης του επιταχυνσιογράφου με 0,1,2 σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Trifunac και Brady (1975b). Στον πίνακα (2.3) δίνονται, στη δεύτερη στήλη, το όνομα και ο κωδικός του σταθμού καταγραφής, το ύψος του

Πίνακας 2.3. Χαρακτηρισμός εδαφικών συνθηκών στις θέσεις καταγραφής.

No	ΘΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΘΕΣΗΣ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ (0, 1, 2)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (0,1)	v_g/a_g cm/sec/g	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝ/ΣΩΝ Οριζ.	Κατ.
1	Αργοστόλι ARG 2-όροφο Υπόγειο	Κροκαλοπαγές, ψαμμίτης και ασβεστόλιθος (Πλειόκαινο)	1111212	1	42.2	16	8
2	Λευκάδα LEF 2-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις (Ολόκαινο)	0000000	0	78.2	14	7
3	Πάτρα PAT 3-όροφο(ΟΤΕ) Υπόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις, χειμμαρώδεις αναβαθμίδες και ελουβιακοί σχηματισμοί (Ολόκαινο)	0000(1-0)(0-1)0	0	64.4	4	2
4	Ξυλόκαστρο XYL (ΟΤΕ) 2-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις (Ολόκαινο)	0	0	45.1	2	1
5	Κόρινθος KOR 2-όροφο Ισόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις (Ολόκαινο)	00000(0-1)0	0	90.5	6	3
6	Θεσσαλονίκη THE 8-όροφο Υπόγειο	Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες:παράκτιες αποθέσεις, προσχώσεις πεδιάδων (Ολόκαινο)	00000(0-1)0	0	79.9	4	2

(συνεχίζεται)

No	ΘΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΘΕΣΗΣ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ (0, 1, 2)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (0,1)	v_g/a_g cm/sec/g	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝ/ΣΩΝ Οριζ.	Κατ.
7	Θεσσαλονίκη THE1 1-όροφο Υπόγειο	Γνεύσιοι, επιγνεύσιοι, πρασινοσχιστόλιθοι μαγματικής σειράς Χορτιάτη (Μεσοζωικό)	2221222	1	33.5	2	1
8	Θεσσαλονίκη THE2 Εκκλησία Ισόγειο	Ολοκαινικές αποθέσεις αδιαίρετες:παράκτιες αποθέσεις, προσχώσεις πεδιάδων (Ολόκαινο)	00000(0-1)0	0	46.4	2	1
9	Σχολάρι SHO Εκκλησία Ισόγειο	Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων:χαλίκια και άμμοι κάτω από αργιλώδες κάλυμα (Πλειστόκαινο)	0001(0-1)1(0-1)	0	75.0	2	1
10	Αλμυρός ALM 2-όροφο Υπόγειο	Διλούβιο και Αλλούβιο (Τεταρτογενές αδιαίρετο)	000101(0-1)	0	55.6	6	3
11	Γευγελή GEV	Ολοκαινικές αποθέσεις	0	0	36.3	2	1
12	Αγρίνιο AGR 4-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων,πεδιάδων (Ολόκαινο)	0001(1-0)10	0	99.3	2	1
13	Ζάκυνθος ZAK 2-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις από μεταφορά ποικίλων υλικών στα χαμηλότερα (Ολόκαινο)	0000(0-1)00	0	54.7	8	4

(συνεχίζεται)

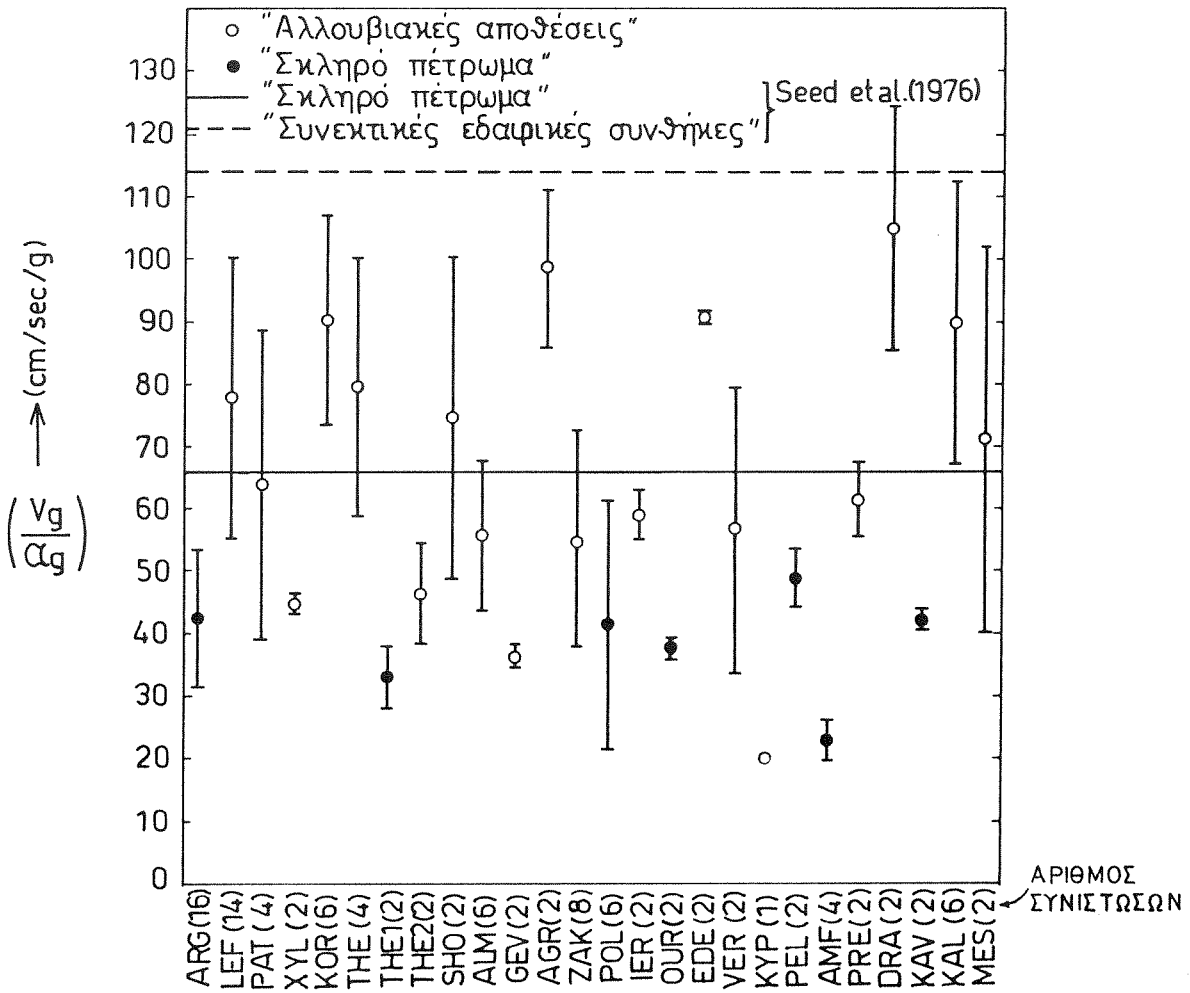
No	ΘΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΘΕΣΗΣ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ (0, 1, 2)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (0,1)	v_g/a_g cm/sec/g	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝ/ΣΩΝ Οριζ.	Κατ.
14	Πολύγυρος POL 3-όροφο Υπόγειο	Χαλαζιτικοί ψαμμίτες με ενστρώσεις από φυλλίτες, σχιστόλιθους (Τριαδικό-Μέσο Ιουρασικό)	2221222	1	41.3	6	3
15	Ιερισσός IER 1-όροφο Ισόγειο	Αλλουβιακές αποθέσεις (Ολόκαινο)	00010(0-1)0	0	58.5	2	1
16	Ουρανούπολη OUR 1-όροφο Ισόγειο	Παρεισακτες κοίτες, φλέβες και αποφύσεις του γρανοδιορίτη τύπου Σιθωνίας (Μεσοζωικό)	2221(1-0)2(1-2)	1	37.4	2	1
17	Εδεσσα EDE 5-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονοι και πρόσφατοι κώνοι χειμαρρωδών αποθέσεων (Ολόκαινο)	0000(0-1)(0-1)0	0	91.1	2	1
18	Βέροια VER 3-όροφο Υπόγειο	Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις:άργιλοι, πηλοί, άμμοι, κροκαλοπαγή, (Πλειστόκαινο)	(0-1)(0-1)(0-1)1 (0-1) 1 (0-1)	0	56.1	2	1
19	Κυπαρρισία KYP 1-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονες αλλουβιακές απο- (Ολόκαινο)	00000(0-1)0	0	20.1	1	1

(συνεχίζεται)

No	ΘΕΣΗ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΘΕΣΗΣ ΕΠΙΤΑΧ/ΦΟΥ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ (0, 1, 2)	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (0,1)	v_g/a_g cm/sec/g	ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΥΝ/ΣΩΝ Οριζ.	Κατ.
20	Πελεκανάδα PEL 1-όροφο Ισόγειο	Ασβεστόλιθος (Μεσοζωικό)	1112222	0	48.6	2	1
21	Αμφιλοχία AMF 2-όροφο Ισόγειο	Ασβεστόλιθοι (Αν.Σενώνιο)	1112222	1	22.4	4	2
22	Πρέβεζα PRE 3-όροφο Ισόγειο	Θαλάσσιες αποθέσεις:μάργες, άργιλοι, άμμοι κροκαλοπαγή, παράκτιες αναβαθμίδες (Πλειστόκαινο)	011101(0-1)	0	60.7	2	1
23	Δράμα DRA 4-όροφο Υπόγειο	Σύγχρονες προσχώσεις:κροκάλες, χαλαρά κροκαλοπαγή, λεπτοκοκκώδες υλικό και κοκκινες άργιλοι (Ολόκαινο)	0000010	0	104.5	2	1
24	Καβάλα KAV 1-όροφο Ισόγειο	Γρανίτης Καβάλας, γρανοδιορίτης (Τριτογενές)	2222222	1	42.2	2	1
25	Καλαμάτα KAL 7-όροφο Υπόγειο	Πρόσφατες προσχώσεις (Ολόκαινο)	0000(1-0)00	0	90.4	6	3
26	Μεσσήνη MES 1-όροφο Ισόγειο	Νεογενείς αποθέσεις (Νεογενές)	0(0-1)(0-1)0110	0	71.5	2	1

κτιρίου στέγασης του οργάνου και ο χώρος εγκατάστασης αυτού. Στην τρίτη στήλη δίνεται η γεωλογική περιγραφή στη θέση του σταθμού και στην τέταρτη ο ανεξάρτητος χαρακτηρισμός με 0, 1 ή 2 των επτά ειδικών, ανάλογα με την εκτιμημένη σκληρότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Σε ορισμένες θέσεις όπου η ταξινόμηση δεν ήταν σαφής δόθηκαν και δύο παραπλήσιοι χαρακτηρισμοί από τον ίδιο ειδικό οι οποίοι στον πίνακα (2.3) δίνονται σε παρένθεση. Για δύο θέσεις (Ξυλόκαστρο, Γευγελή) οι οποίες δεν δόθηκαν για χαρακτηρισμό η ταξινόμηση έγινε από εμάς. Στην πέμπτη στήλη δίνεται ο τελικός χαρακτηρισμός της θέσης καταγραφής. Επειδή το δείγμα μας δεν επιτρέπει διάκριση σε τρεις κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, λόγω του σχετικά μικρού αριθμού σταθμών καταγραφής, αποφασίσθηκε η διάκριση σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει εκείνους τους σταθμούς για τους οποίους ο μέσος όρος των ταξινομήσεων των επτά ειδικών είναι μικρότερος του 1. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο ολοκαινικές και σε μικρό ποσοστό πλειστοκαινικές αποθέσεις, συμβολίζεται με 0 και στο εξής θα ονομάζεται "αλλουβιακές αποθέσεις". Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους υπόλοιπους σταθμούς για τους οποίους ο μέσος όρος των ταξινομήσεων των επτά ειδικών είναι μεγαλύτερος του 1. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο σχηματισμούς του μεσοζωικού και μικρό ποσοστό σχηματισμών του τριτογενούς, συμβολίζεται με 1 και στο εξής θα ονομάζεται "σκληρό πέτρωμα". Στην έκτη στήλη δίνεται ο λόγος της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας προς την επιτάχυνση, v_g/a_g, ο οποίος έχει βρεθεί ότι μεταβάλλεται σημαντικά με τις εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής (Newmark et al.1973, Seed et al. 1976b). Στην έβδομη στήλη δίνεται ο αριθμός των οριζοντίων και κατακορύφων συνιστωσών του δείγματος των Ελληνικών επιταχυνσιογραμμάτων που αντιστοιχεί σε κάθε σταθμό καταγραφής.

Στο σχήμα (2.7) δίνεται ο μέσος όρος, με ± μια τυπική απόκλιση, του λόγου v_g/a_g των οριζοντίων συνιστωσών, σε συνάρτηση με τους σταθμούς καταγραφής. Οι λευκοί κύκλοι αντιστοιχούν σε σταθμούς με το χαρακτηρισμό "αλλουβιακές αποθέσεις" ενώ οι μαύροι σε σταθμούς με το χαρακτηρισμό "σκληρό πέτρωμα". Μολονότι η

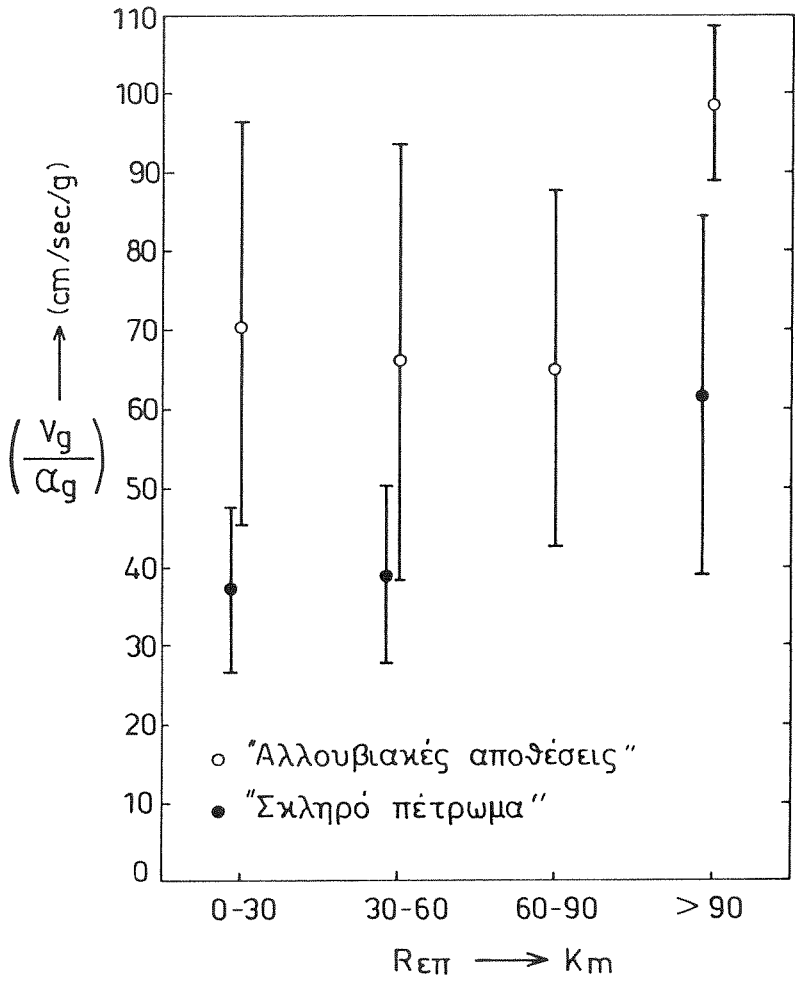


Σχ. 2.7. Κατανομή των μέσων όρων ± μια τυπική απόκλιση, των λόγων (v_g/a_g) των οριζοντίων συνιστωσών για τους σταθμούς καταγραφής των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου και σύγκριση με ανάλογους λόγους του Seed και συνεργατών (1976b).

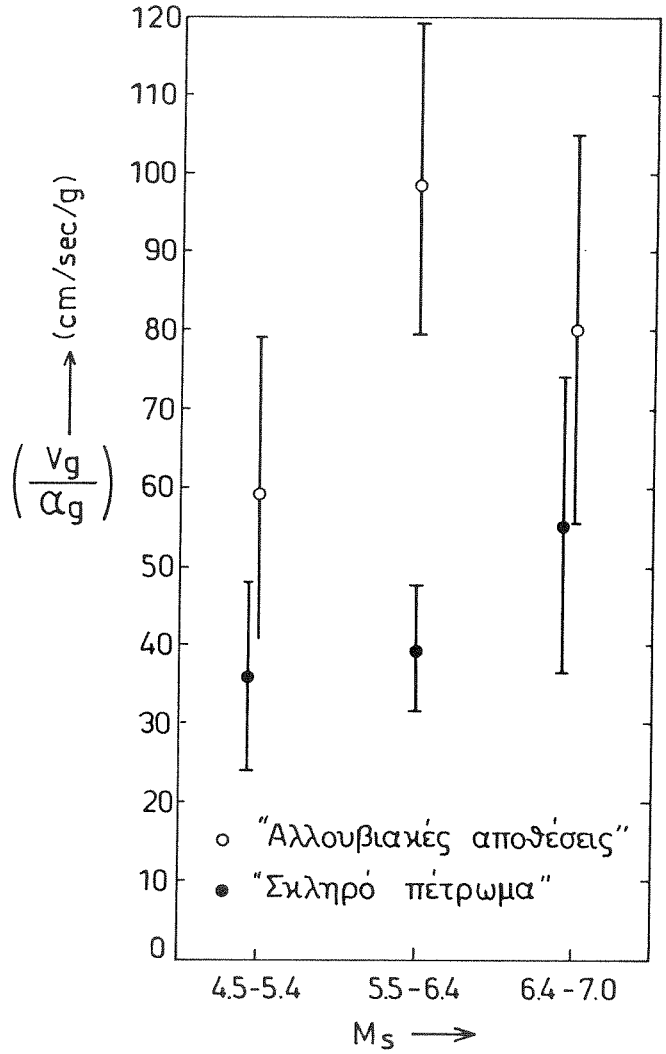
διασπορά των λόγων v_g/a_g των "αλλουβιακών αποθέσεων" είναι αρκετά μεγάλη, είναι εμφανής η διάκρισή τους από τους ανάλογους λόγους των "σκληρών πετρωμάτων". Στο ίδιο σχήμα, με συνεχόμενη γραμμή δίνεται ο μέσος όρος των λόγων v_g/a_g των σταθμών με "σκληρό πέτρωμα" και με διακεκομμένη γραμμή ο αντίστοιχος μέσος όρος των σταθμών με "συνεκτικές εδαφικές συνθήκες" όπως υπολογίσθηκαν από τους Seed et al. (1976b). Από το σχήμα (2.7) φαίνεται ότι οι λόγοι (v_g/a_g) του δείγματος των Seed και των συνεργατών του (1976b) είναι γενικά ψηλότεροι του δείγματος των Ελληνικών δεδομένων τόσο για το "σκληρό πέτρωμα" όσο και για τις "αλλουβιακές αποθέσεις", αν υποτεθεί ότι αυτές μπορούν να συγκριθούν με τις "συνεκτικές εδαφικές συνθήκες".

Δεδομένου ότι το Ελληνικό δείγμα επιταχυνσιογραμμάτων προέρχεται από σεισμούς με μεγέθη, $4.5 \leq Ms \leq 7.0$, και με επικεντρικές αποστάσεις, $1km \leq R_{\epsilon\pi} \leq 128km$, θεωρήθηκε σκόπιμο να γίνει ομαδοποίηση των λόγων (v_g/a_g) ως προς τα μεγέθη και ως προς τις επικεντρικές αποστάσεις. Ο μέσος όρος των δύο βασικών κατηγοριών εδαφικών συνθηκών προκύπτει από τους επιμέρους μέσους όρους και δίνεται στον πίνακα (2.4), τόσο για την ομαδοποίηση ως προς τις επικεντρικές αποστάσεις όσο και ως προς τα μεγέθη.

Στα σχήματα (2.8) και (2.9) δίνεται ο λόγος (v_g/a_g) σε συνάρτηση με την απόσταση, $R_{\epsilon\pi}$, και το μέγεθος, Ms, αντίστοιχα, όπου φαίνεται ότι γενικά υπάρχει μια τάση αύξησης του λόγου με την απόσταση και το μέγεθος και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών. Η παρατήρηση αυτή εξηγεί ως ένα βαθμό τις υψηλότερες τιμές των λόγων (v_g/a_g) των Seed και των συνεργατών του (1976b) από τις ανάλογες εκείνων των Ελληνικών δεδομένων, δεδομένου ότι η ανάλυσή τους περιλαμβάνει σεισμούς με τοπικά μεγέθη, $M_L \approx 6.5$. Για τη λεπτομερέστερη μελέτη και διερεύνηση της διαφοράς αυτής απαιτούνται περισσότερα Ελληνικά δεδομένα και τεκμηρίωση των εδαφικών συνθηκών στους σταθμούς των επιταχυνσιογράφων, ανάλογη με εκείνη που αναφέρεται στους Seed και συνεργάτες (1976b).



Σχ. 2.8. Μεταβολή των ομαδοποιημένων με την επικεντρική απόσταση μέσων όρων ± μια τυπική απόκλιση, των λόγων (v_g/a_g) των οριζοντίων συνιστωσών των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.9. Μεταβολή των ομαδοποιημένων με το επιφανειακό μέγεθος μέσων όρων ± μια τυπική απόκλιση, των λόγων (v_g/a_g) των οριζοντίων συνιστωσών των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Πίνακας 2.4. Ομαδοποίηση των λόγων v_g/a_g ως προς την από σταση και το μέγεθος για τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου

$R_{\epsilon\pi}$(km)	"Αλλουβιακές αποθέσεις" Αριθμ. Παρ/σεων	(v_g/a_g)	"Σκληρό πέτρωμα" Αριθμ. Παρ/σεων	(v_g/a_g)
0-30	52	70.3	26	37.5
31-60	7	66.3	6	39.3
61-90	8	64.9	-	-
>90	4	98.3	2	61.6
	Μέσος όρος=75.0		Μέσος όρος=46.1	
Ms				
4.5-5.4	45	59.8	20	36.2
5.5-6.4	14	98.6	10	38.9
6.5-7.0	12	80.0	4	55.4
	Μέσος όρος=79.5		Μέσος όρος=43.5	

Πίνακας 2.5. Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) της σχέσης (2.12) για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, για υποκεντρική και επικεντρική απόσταση και για διάφορες τιμές του συντελεστή C_{41}.

	R		M		S	
C_{41} (km)	a_g $R_{u\pi}$	$R_{\epsilon\pi}$	v_g $R_{u\pi}$	$R_{\epsilon\pi}$	d_g $R_{u\pi}$	$R_{\epsilon\pi}$
0	0.3087	0.3194	0.5955	0.5775	1.0592	1.0396
5	0.3022	0.3046	0.5915	0.5742	1.0556	1.0375
10	0.3015	0.3002	0.5906	0.5742	1.0553	1.0385
15	0.3032	0.2999	0.5911	0.5756	1.0565	1.0407
20	0.3059	0.3016	0.5923	0.5775	1.0582	1.0434
25	0.3090	0.3040	0.5937	0.5796	1.0603	1.0461
30	0.3122	0.3067	0.5953	0.5817	1.0624	1.0489

2.2.2. Μεθοδολογία

Η σχέση που κυρίως χρησιμοποιείται για την περιγραφή της απόσβεσης των παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι της γενικής μορφής (Campbell 1985),

$$Y=C_1 f_1(M) f_2(R) f_3(M,R)\ f_4(Pi)\varepsilon \qquad (2.6)$$

όπου Y είναι η παράμετρος της εδαφικής κίνησης, C_1 σταθερά, $f_1(M)$ συνάρτηση του μεγέθους, M, του σεισμού , $f_2(R)$ συνάρτηση της απόστασης, R, $f_3(M,R)$ μια συνάρτηση του μεγέθους και της απόστασης, $f_4(Pi)$ συνάρτηση η οποία εκφράζει παραμέτρους της εστίας του σεισμού, του δρόμου διαδρομής του κύματος, της θέσης καταγραφής ή της κατασκευής όπου στεγάζεται ο επιταχυνσιογράφος και ε είναι τυχαία μεταβλητή η οποία απεικονίζει την αβεβαιότητα στην πρόβλεψη της Y.

Η $f_1(M)$ στην πλέον κοινή της έκφραση είναι εκθετική συνάρτηση του μεγέθους,

$$f_1(M) = \exp(C_2 M) \qquad (2.7)$$

και προέρχεται από το βασικό ορισμό του μεγέθους ως λογαρίθμου του εδαφικού πλάτους (Richter 1958).

Η $f_2(R)$ είναι συνήθως της μορφής,

$$f_2(R) = \exp(C'_3 R)(R+C_4)^{C_3} \qquad (2.8)$$

όπου ο δεύτερος παράγοντας απεικονίζει τη γεωμετρική απόσβεση, με C_3 το συντελεστή γεωμετρικής απόσβεσης, και ο πρώτος παράγοντας εκφράζει την ανελαστική απόσβεση, με C'_3 το συντελεστή της ανελαστικής απόσβεσης. Ο συντελεστής C_4 χρησιμοποιείται από ορισμένους ερευνητές προκειμένου να περιορισθεί η τιμή της Y σε πολύ μικρές αποστάσεις, λόγω του κορεσμού της Y σ'αυτές τις αποστάσεις. Αυτό γίνεται απαραίτητο ειδικά όταν η απόσταση

μετριέται ως επικεντρική ή ως απόσταση από το ίχνος του ρήγματος στην επιφάνεια, οπότε αυτή μπορεί να πάρει μηδενική τιμή (Campbell 1985).

Η $f_3(M,R)$ χρησιμοποιείται για να εκφράσει τις αριθμητικές διαφορές που προκύπτουν κατά την αναγωγή των δεδομένων σε ορισμένη απόσταση. Συνήθως η ποσότητα αυτή ισούται με τη μονάδα ενώ στις μελέτες όπου λαμβάνεται υπόψη τέτοια συνάρτηση αυτή έχει τη μορφή,

$$f_3(M,R)=(R+C'_4\exp(C''_4M))^{C_3} \qquad (2.9)$$

(Esteva 1970, Campbell 1981). Ο όρος αυτός ελαττώνει τις διαφορές που προκύπτουν κατά την αναγωγή του μεγέθους σε μικρές αποστάσεις και αναφέρεται ως κορεσμός της Y με το μέγεθος.

Η $f_4(Pi)$ εμπεριέχει κυρίως την παράμετρο που σχετίζεται με τις γεωλογικές συνθήκες στη θέση καταγραφής καθώς επίσης παραμέτρους που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά της εστίας του σεισμού και της κατασκευής όπου στεγάζεται ο επιταχυνσιογράφος (Campbell 1983). Η τυχαία μεταβλητή, ε, ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή, όπως προκύπτει από στατιστικούς ελέγχους της διασποράς των παρατηρήσεων γύρω από την τιμή της παραμέτρου Y, που προβλέπεται από τη σχέση (2.6) (Esteva 1970, Donovan and Bornstein 1978, McGuire 1978a, Campbell 1981). Τα αποτελέσματα όμως των στατιστικών αυτών ελέγχων μπορεί να επηρεάζονται από τη μορφή της σχέσης που επιλέγεται για την απόσβεση (Campbell 1985).

Η σχέση που υιοθετήθηκε στην εργασία αυτή για τον καθορισμό της απόσβεσης των παραμέτρων της ισχυρής εδαφικής κίνησης, προκύπτει από τη γενική σχέση (2.6) θεωρώντας ότι η συνάρτηση $f_3(M,R)$ ισούται με τη μονάδα (Campbell 1985). Επίσης ο συντελεστής της ανελαστικής απόσβεσης δε λήφθηκε υπόψη, δεδομένου ότι αφ'ενός μεν για τον Ελληνικό χώρο η τιμή του είναι πολύ μικρή (Kiratzi and Papazachos 1984), αφ'ετέρου δε έχει βρεθεί (Ben-Menahem et al.1982) ότι η επίδραση του συντελεστή αυτού για

αποστάσεις, R<100 km, είναι στα όρια των σφαλμάτων των παραμέτρων και μόνο για R>200km, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Η σχέση που τελικά προκύπτει ύστερα από τους παραπάνω περιορισμούς είναι,

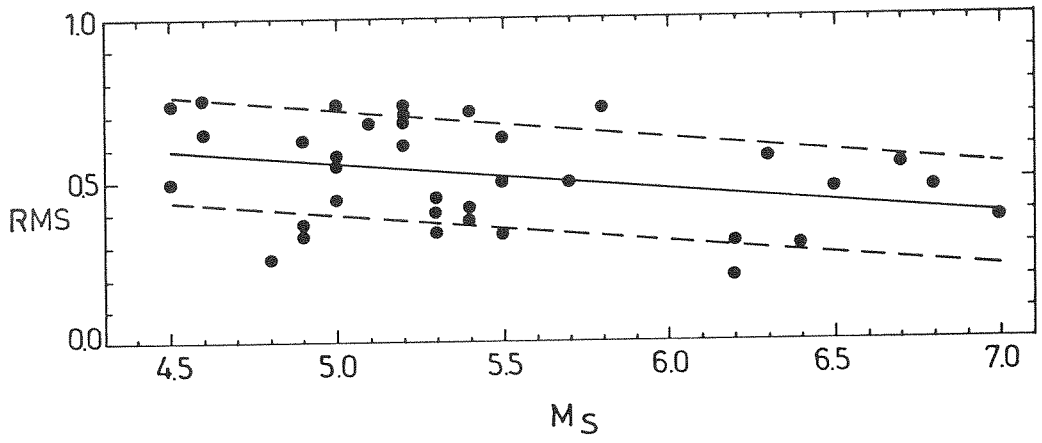
$$Y=C_1' \exp(C_2 M)(R+C_4)^{C_3} \exp(C_5 S)\varepsilon \qquad (2.10)$$

η οποία μετασχηματίζεται στη σχέση,

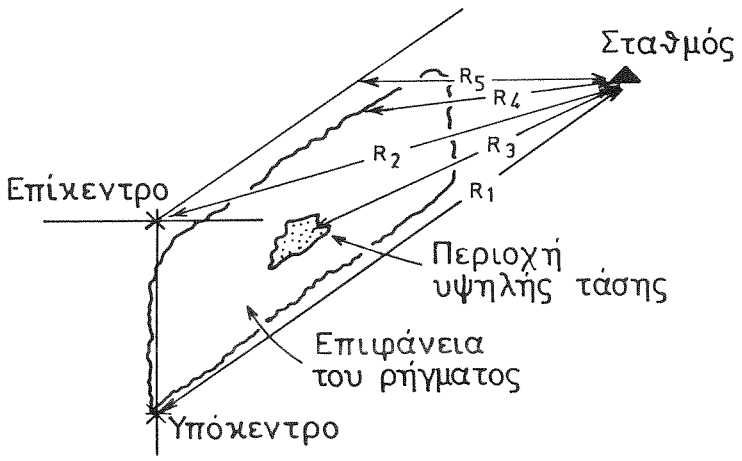
$$\ln Y=C_1+C_2 M+C_3 \ln(R+C_4)+C_5 S+\sigma_{\ln Y} P \qquad (2.11)$$

όπου Y είναι η εξεταζόμενη παράμετρος της ισχυρής εδαφικής κίνησης, M το μέγεθος του σεισμού, R η απόσταση, S παράμετρος που εκφράζει τις εδαφικές συνθήκες (0 για "αλλουβιακές αποθέσεις" και 1 για "σκληρό πέτρωμα"). P είναι μηδέν για το μέσο όρο των τιμών lnY και μονάδα για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα, που για κανονική κατανομή των υπολοίπων (residuals) εκφράζει αντίστοιχα 0.50 ή 0.84 πιθανότητα μη υπέρβασης των τιμών της lnY. Οι C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 είναι οι συντελεστές αναγωγής που υπολογίζονται με γραμμική παλινδρόμηση και $\sigma_{\ln Y}$ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων της σχέσης (2.11).

Για τον καλύτερο υπολογισμό των συντελεστών Ci, i=1,...,5 της σχέσης (2.11) ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Αρχικά θεωρήθηκε ότι ο συντελεστής γεωμετρικής διασποράς, C_3, πρέπει να υπολογισθεί λαμβάνοντας υπόψη μόνον τους μεγάλους σεισμούς του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε με Ms>6.0. Οι καταγραφές από τους σεισμούς αυτούς καλύπτουν όλο σχεδόν το φάσμα των επικεντρικών αποστάσεων, 9km≤Rεπ≤128 km, και επιπλέον τα επίκεντρα αυτών προσδιορίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια από εκείνα των μικρών όπως φαίνεται από το σχήμα (2.10). Στο σχήμα αυτό έχει χαρτογραφηθεί το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, RMS, υπολογισμού των σεισμικών εστιών του πίνακα (2.1) σε συνάρτηση με το επιφανειακό μέγεθος, Ms. Λόγω του σχετικά μικρού αριθμού καταγραφών (28 οριζόντιες συνιστώσες) που προέρχονται από τους σεισμούς αυτούς, στο πρώτο βήμα δεν διερευνήθηκε η επίδραση των εδαφικών συνθηκών στις θέσεις των σταθμών. Η εξεταζόμενη σχέση είναι,



Σχ. 2.10. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) κατά τον προσδιορισμό των σεισμικών εστιών των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με το επιφανειακό μέγεθος.



Σχ. 2.11. Αποστάσεις σεισμικής εστίας-σταθμού καταγραφής που χρησιμοποιούνται στις σχέσεις απόσβεσης της ισχυρής εδαφικής κίνησης (Shakal and Bernreuter 1981).

$$\ln Y = C_{11} + C_{21} M + C_{31} \ln(R + C_{41}) \qquad (2.12)$$

Το δεύτερο ψηφίο, j, των δεικτών Cij εκφράζει τον αριθμό του βήματος. Για τον υπολογισμό των συντελεστών C_{11}, C_{21}, C_{31} γράφτηκε πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο βασίσθηκε στη μέθοδο της διαφορικής διόρθωσης (Παπαζάχος 1966). Στο συντελεστή C_{41} δόθηκαν τιμές από 0 έως 30 km, ανά 5 km και επιλέχθηκε εκείνος για τον οποίο το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων της σχέσης (2.12) ήταν το μικρότερο.

Στο δεύτερο βήμα θεωρήθηκαν δεδομένοι οι συντελεστές C_{31} και C_{41} από το προηγούμενο βήμα και προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές του μεγέθους C_{22} και των εδαφικών συνθηκών C_{52}, από τη σχέση,

$$\ln Y - C_{31} \ln(R + C_{41}) = C_{12} + C_{22} M + C_{52} S \qquad (2.13)$$

με τη χρήση του συνολικού δείγματος των δεδομένων. Στο τρίτο βήμα επανυπολογίσθηκε ο συντελεστής γεωμετρικής διασποράς, C_{33}, με τη χρήση μόνο των καταγραφών των μεγάλων σεισμών, με Ms>6.0, και τη χρήση από το προηγούμενο βήμα των συντελεστών του μεγέθους και των εδαφικών συνθηκών, σύμφωνα με τη σχέση,

$$\ln Y - C_{22} M - C_{52} S = C_{13} + C_{33} \ln(R + C_{41}) \qquad (2.14)$$

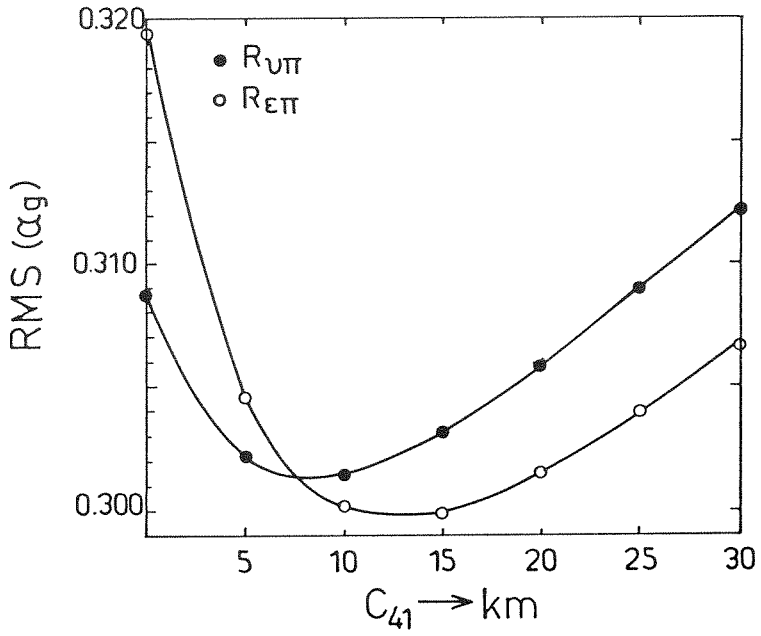
Ο υπολογισμός των συντελεστών C_{13}, C_{33} βασίσθηκε στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Η επιλογή των ανεξάρτητων μεταβλητών της σχέσης (2.11), δηλαδή του μεγέθους, M, της απόστασης, R, και των εδαφικών συνθηκών, S, έγινε με βάση ορισμένα κριτήρια και περιορισμούς. Οσον αφορά το μέγεθος , M, οι κλίμακες που καλύπτουν το σύνολο των καταγραφών του δείγματός μας είναι εκείνη του επιφανειακού μεγέθους , Ms, και του τοπικού μεγέθους, M_L. Οι υπολογισμοί των συντελεστών Cij των σχέσεων (2.12), (2.13), (2.14) έγιναν και για τις δύο κλίμακες μεγεθών.

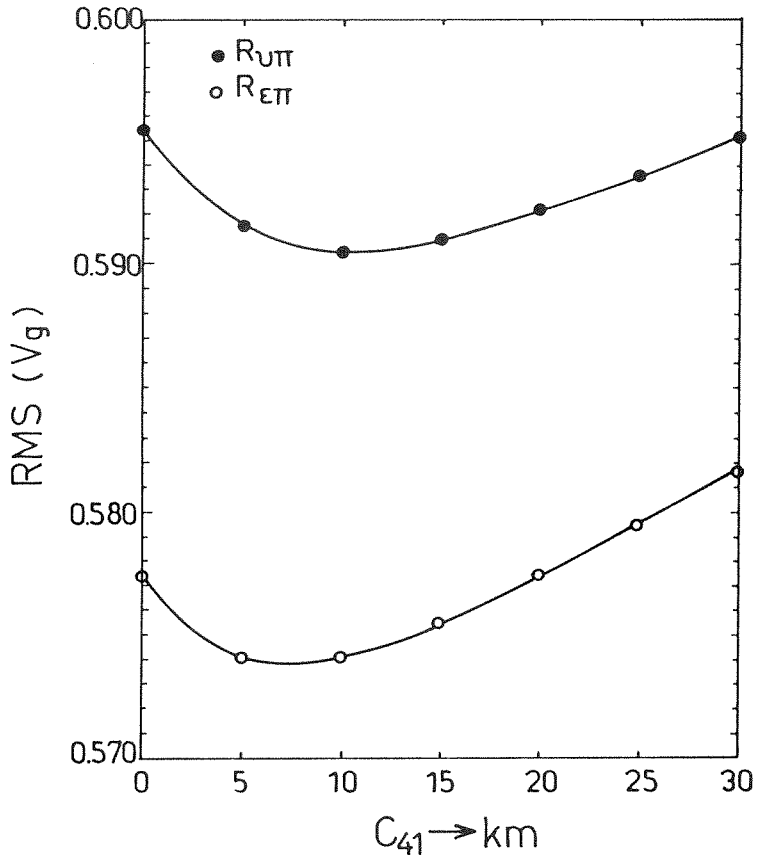
Το σημείο από το οποίο μετριέται η απόσταση , R (υπόκεντρο, επίκεντρο, κ.τ.λ.) αποτέλεσε σημαντικό πρόβλημα, σε παρόμοιες μελέτες, σε παγκόσμια κλίμακα. Επειδή η διάρρηξη του ρήγματος είναι ανάλογη με το μέγεθος του σεισμού και μπορεί να επεκταθεί από μερικά χιλιόμετρα μέχρι δεκάδες χιλιόμετρα, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες αποστάσεις όπως φαίνεται στο σχήμα (2.11). Είναι σαφές ότι για θέσεις καταγραφής οι οποίες βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση σε σχέση με τις διαστάσεις της σεισμικής πηγής, δεν υπεισέρχονται μεγάλες διαφορές κατά τη χρησιμοποίηση οποιασδήποτε απόστασης που αναφέρεται στο σχήμα (2.11). Αντίθετα, στο κοντινό πεδίο, όπου η πρόβλεψη της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι εξαιρετικής σημασίας, οι παραπάνω διαφορές γίνονται σημαντικές και η χρήση της υποκεντρικής (R1) ή της επικεντρικής απόστασης (R2), μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες αποκλίσεις κατά την εκτίμηση της ισχυρής εδαφικής κίνησης από τη χρήση της πλησιέστερης απόστασης από το ρήγμα (R4)(Campbell 1982, Huang et al. 1982).

Ορισμένοι ερευνητές χρησιμοποίησαν την πλησιέστερη απόσταση από την επιφάνεια του ρήγματος (R4) (Boore et al. 1980, Campbell 1981), ορισμένοι την πλησιέστερη απόσταση από την προβολή του ρήγματος στην επιφάνεια (R5) (Joyner and Boore 1981, Bolt and Abrahamson 1982), άλλοι την υποκεντρική (R1) ή την επικεντρική απόσταση (R2) (Orphal and Lahoud 1974, Trifunac 1976b, McGuire 1977b, Hanks and McGuire 1981) και μερικοί την απόσταση από εκείνη την περιοχή της επιφάνειας του ρήγματος από την οποία ακτινοβολήθηκε η περισσότερη ενέργεια (R3) (Campbell and Duke 1974, Donovan and Bornstein 1978). Σύμφωνα με τους Boore και Joyner (1982) ο τρόπος μέτρησης της απόστασης θα πρέπει να εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη σχεδιαζόμενη εφαρμογή. Η πλέον συνήθης αντιμετώπιση και εκείνη που παρουσιάζει ενδιαφέρον, σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, είναι η χρήση δεδομένων από εδαφικές κινήσεις του παρελθόντος προκειμένου να προβλέψουμε εκείνες από μελλοντικούς σεισμούς. Οπωσδήποτε όμως η υιοθέτηση του είδους της απόστασης υπόκειται και στους περιορισμούς του διαθέσιμου δείγματος των δεδομένων.

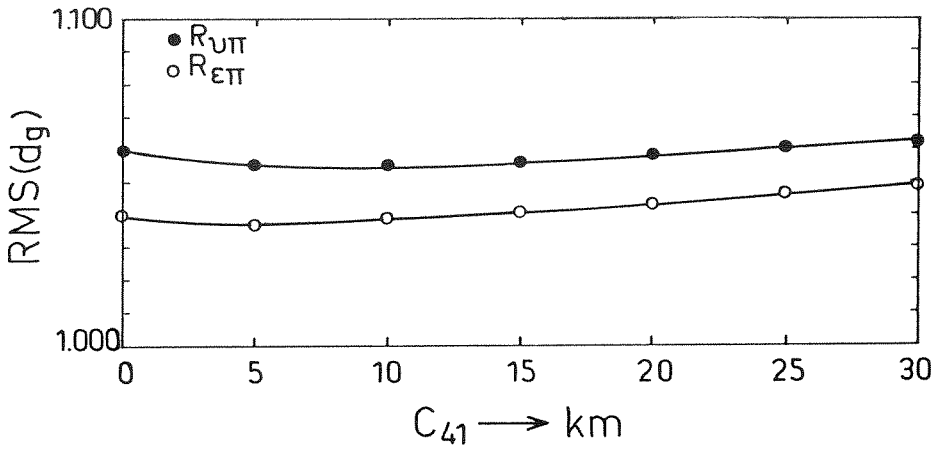
Εχοντας υπόψη τα παραπάνω και δεδομένου ότι για τους περισσότερους σεισμούς του δείγματός μας δεν υπάρχουν σεισμολογικές ή άλλες πληροφορίες που να καθορίζουν είτε την επιφάνεια του ρήγματος είτε το κέντρο στη επιφάνεια από όπου ακτινοβολήθηκε η περισσότερη ενέργεια, δεχθήκαμε αρχικά την υποκεντρική, $R_{u\pi}$,και την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, ως ικανοποιητικές κατά την ανάλυση. Προκειμένου να επιλεγεί μια από τις δύο αποστάσεις στην τελική παρουσίαση, έγινε διερεύνηση με κριτήριο το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων, με τη χρήση της σχέσης (2.12), ως συνάρτηση του μεταβαλλόμενου συντελεστή C_{41}. Η διερεύνηση έγινε για τις τρεις εξεταζόμενες παραμέτρους της ισχυρής εδαφικής κίνησης, δηλαδή, τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση, με τη χρήση των επιταχυνσιογραμμάτων μεγάλων σεισμών με μεγέθη, $6.2 \leq Ms \leq 7.0$. Στον πίνακα (2.5) δίνονται τα σχετικά αποτελέσματα ενώ στα σχήματα (2.12), (2.13) και (2.14) φαίνεται η μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος των υπολοίπων της σχέσης (2.12) σε συνάρτηση με την απόσταση $R_{\varepsilon\pi}$ και $R_{u\pi}$, για επιφανειακό μέγεθος, Ms. Από τον πίνακα αυτόν και από τα παραπάνω σχήματα συνάγεται ότι για το επιφανειακό μέγεθος, Ms, τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα των υπολοίπων της σχέσης (2.12) είναι λίγο αλλά συστηματικά μικρότερα για τις επικεντρικές αποστάσεις,$R_{\varepsilon\pi}$. Ανάλογα αποτελέσματα έχουμε και όταν χρησιμοποιηθεί η κλίμακα του τοπικού μεγέθους, M_L. Επιπλέον, παρουσιάζουν ελάχιστες τιμές για ορισμένες τιμές του συντελεστή C_{41}, επιλεκτικά για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παραπάνω διερεύνησης και το γεγονός ότι κατά τον υπολογισμό του βάθους του σεισμού υπεισέρχεται επιπλέον σφάλμα, υιοθετήθηκε ως απόσταση του σταθμού καταγραφής από την εστία του σεισμού η επικεντρική, $R_{c\pi}$. Σχετικά με το συντελεστή C_{41}, επιλέχθηκε για κάθε παράμετρο της ισχυρής εδαφικής κίνησης εκείνος για τον οποίο υπολογίσθηκε το μικρότερο σφάλμα (Πίνακας 2.5). Ετσι, όσον αφορά την ανάλυση η οποία έγινε με βάση την κλίμακα του επιφανειακού μεγέθους, Ms, για τη μέγιστη εδαφική



Σχ. 2.12. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης με το συντελεστή C_{41} της σχέσης (2.12), για υποκεντρική, $R_{\upsilon\pi}$, και επικεντρική, $R_{\varepsilon\pi}$, απόσταση όπως προκύπτει με τη χρήση των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με μεγέθη $6.2 \leq Ms \leq 7.0$.



Σχ. 2.13. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) της οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας με το συντελεστή C_{41} της σχέσης (2.12), για υποκεντρική, $R_{\upsilon\pi}$, και επικεντρική, $R_{\varepsilon\pi}$, απόσταση όπως προκύπτει με τη χρήση των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με μεγέθη $6.2 \leq Ms \leq 7.0$.



Σχ. 2.14. Μεταβολή του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMS) της οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης με το συντελεστή C_{41} της σχέσης (2.12), για υποκεντρική, $R_{\upsilon\pi}$, και επικεντρική, $R_{\varepsilon\pi}$, απόσταση όπως προκύπτει με τη χρήση των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με μεγέθη $6.2 \leq Ms \leq 7.0$.

επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση έχουμε, αντίστοιχα, C_{41}=15,10,5 km. Για το δείγμα με βάση την κλίμακα του τοπικού μεγέθους, M_L, υιοθετήθηκαν οι ίδιοι συντελεστές.

Μολονότι οι οριζόντιες συνιστώσες της ισχυρής εδαφικής κίνησης παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την Αντισεισμική Τεχνολογία από ότι οι κατακόρυφες συνιστώσες, η ανάλυση έγινε ανεξάρτητα και για τις δύο. Οσον αφορά τον τρόπο χρήσης των δύο οριζόντιων συνιστωσών ενός επιταχυνσιογράμματος για τον καθορισμό σχέσεων απόσβεσης, αυτός γίνεται γενικά :

α) Με τη χρήση της μεγαλύτερης από τις δύο, ή

β) Με τη χρήση και των δύο, ή

γ) Με τη χρήση του μέσου όρου των δύο.

Για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, λόγου χάριν, η πρώτη προσέγγιση δίνει τιμές οι οποίες είναι συστηματικά μεγαλύτερες από την τρίτη, πιθανώς και από τη δεύτερη, σε ποσοστό περίπου 10% (Boore and Joyner 1982). Εχει ακόμη προταθεί ότι για τις περιπτώσεις εφαρμογών στην Αντισεισμική Τεχνολογία η χρήση και των δύο οριζοντίων συνιστωσών του επιταχυνσιογράμματος είναι προτιμότερη από τη χρήση της μοναδικής μεγαλύτερης τιμής (Campbell 1981, Donovan 1982). Για τους παραπάνω λόγους στην εργασία αυτή έγινε χρήση και των δύο οριζοντίων συνιστωσών των διαθέσιμων επιταχυνσιογραμμάτων.

Οσον αφορά την απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης , ταχύτητας, μετάθεσης της κατακόρυφης εδαφικής κίνησης, ακολουθήθηκε σχεδόν η ίδια μεθοδολογία με εκείνη για την οριζόντια εδαφική κίνηση. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο συντελεστής C_{41} της σχέσης (2.12) για την κατακόρυφη εδαφική κίνηση, θεωρήθηκε ότι είναι ίδιος με τον αντίστοιχο της οριζόντιας εδαφικής κίνησης για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση. Διαφορετική επεξεργασία του ίδιου δείγματος οριζοντίων και κατακορύφων συνιστωσών, για τον προσδιορισμό συντελεστή ανάλογου με το C_{41} έδειξε ότι οι διαφορές είναι πρακτικά ασήμαντες (Abrahamson and Literhiser 1989).

2.2.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g\}$, επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Στους πίνακες (2.6) και (2.7) δίνονται οι τιμές των συντελεστών, Cij, των σχέσεων (2.12), (2.13) και (2.14) για τη μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση τόσο για επιφανειακό μέγεθος, Ms, όσο και για τοπικό μέγεθος, M_L. Στους ίδιους πίνακες δίνονται και τα αντίστοιχα μέσα τετραγωνικά σφάλματα όπως έχουν προκύψει με τη χρήση των συντελεστών της σχέσης (2.14) και του συνολικού δείγματος των δεδομένων.

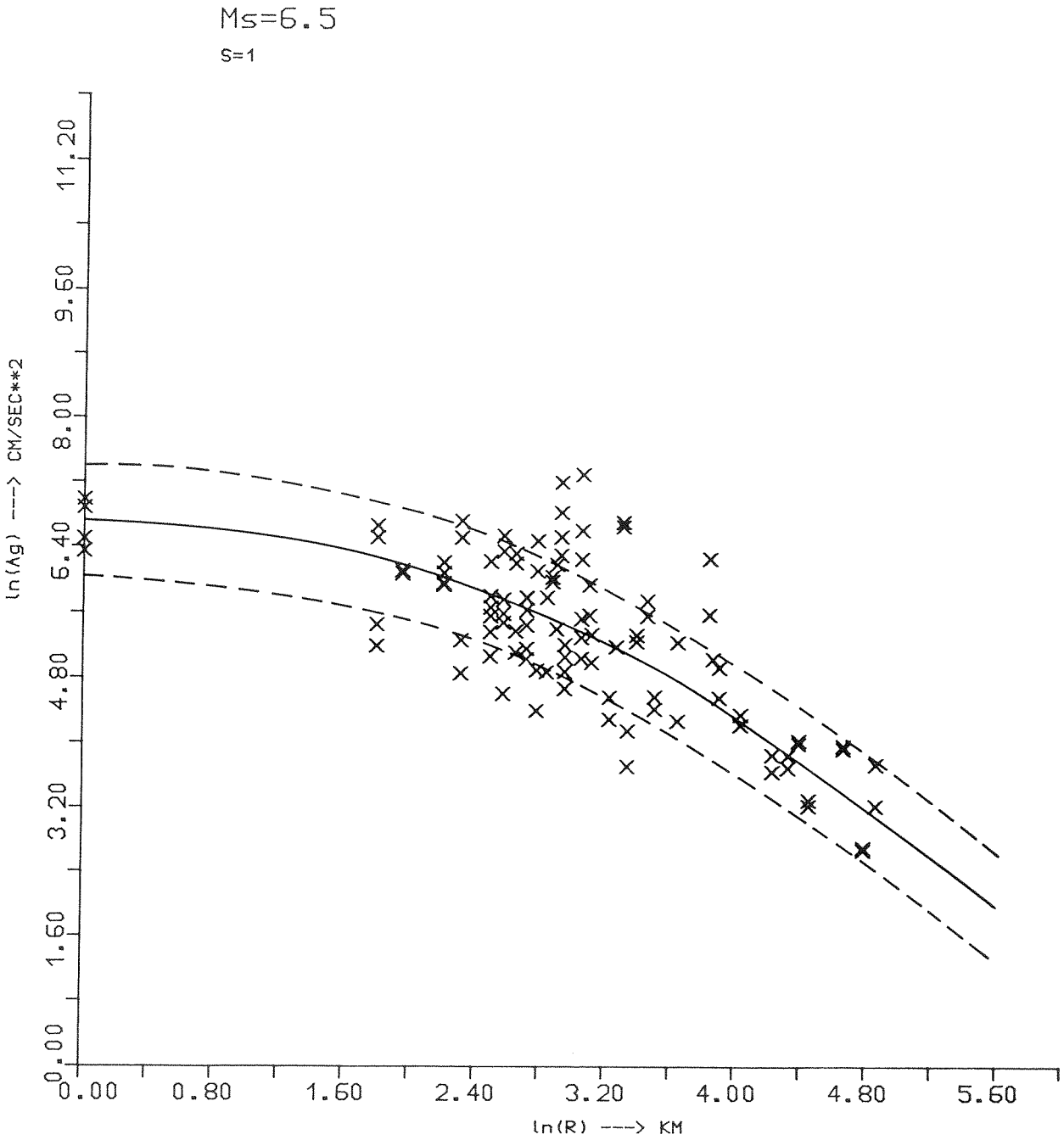
Πίνακας 2.6. Τιμές των συντελεστών, Cij, των σχέσεων (2.12), (2.13), (2.14) για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, και των αντίστοιχων μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων, σ_{lnY}, γιά τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.

	a_g		v_g		d_g	
	Ms	M_L	Ms	M_L	Ms	M_L
C_{11}	2.58	0.34	1.65	1.02	5.23	2.44
C_{21}	1.42	1.97	1.52	1.51	1.80	1.41
C_{31}	- 1.83	-1.81	-1.65	-1.51	-1.71	-1.51
C_{41}	15	15	10	10	5	5
C_{12}	5.05	5.06	-0.06	-0.22	-4.60	-4.80
C_{22}	1.02	1.12	1.29	1.36	1.74	1.84
C_{52}	0.31	0.27	-0.22	-0.27	-0.98	-1.05
C_{13}	4.37	4.27	-0.18	0.02	-4.05	-3.73
C_{33}	-1.65	-1.58	-1.62	-1.53	-1.85	-1.74
σ_{lnY}	0.66	0.70	0.73	0.78	1.19	1.27

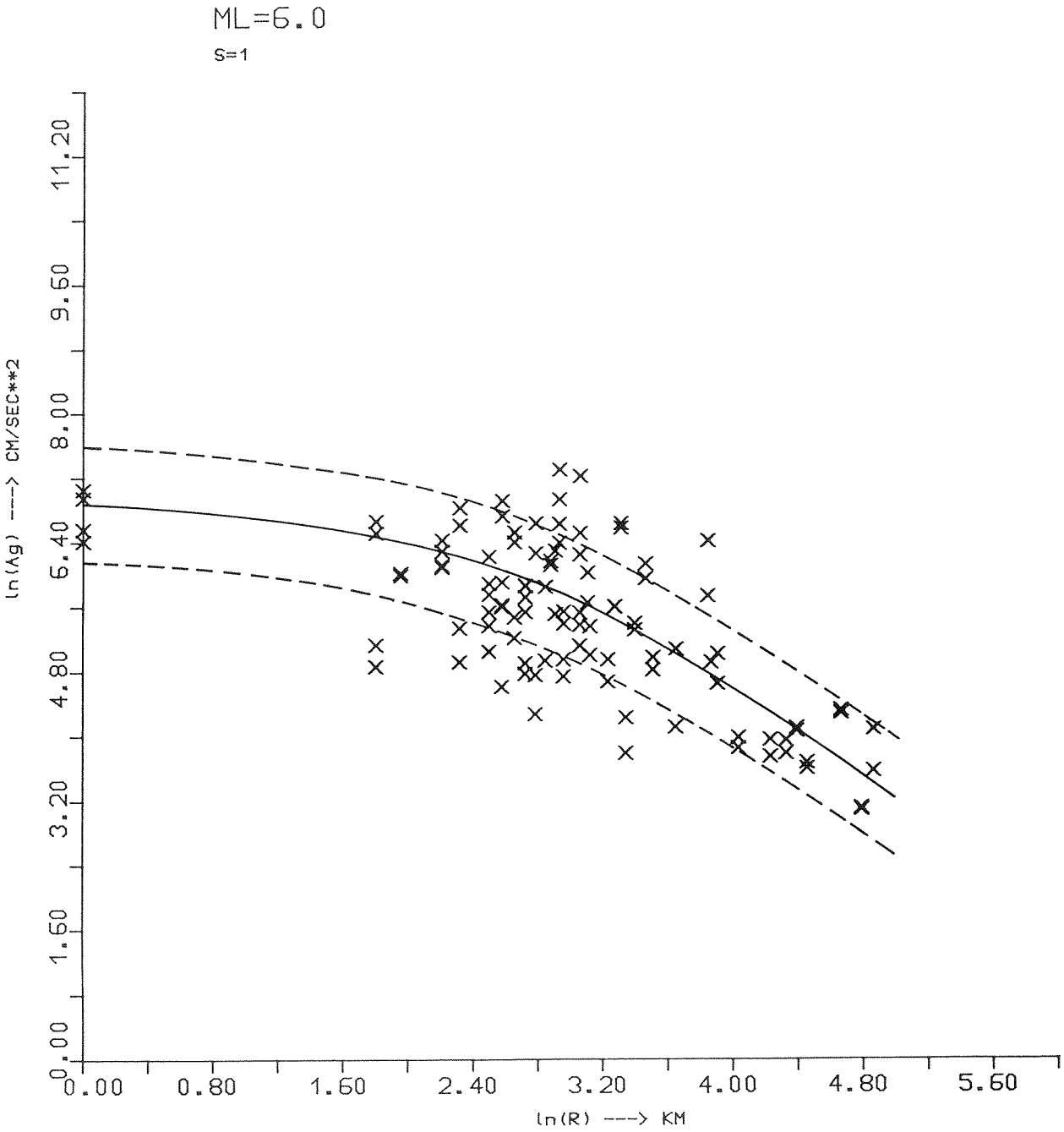
Πίνακας 2.7. Τιμές των συντελεστών, Cij, των σχέσεων (2.12), (2.13), (2.14) για τη μέγιστη κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, και των αντίστοιχων μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων, σ_{lnY}, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.

	a_g		v_g		d_g	
	Ms	M_L	Ms	M_L	Ms	M_L
C_{11}	4.94	1.43	-3.02	-4.20	-7.64	-4.62
C_{21}	0.93	1.74	1.44	1.82	1.83	1.43
C_{31}	-1.83	-1.94	-1.41	-1.39	-1.45	-1.27
C_{41}	15	15	10	10	5	5
C_{12}	5.22	5.28	-0.90	-0.94	-5.34	-5.28
C_{22}	0.87	1.04	1.13	1.25	1.55	1.58
C_{52}	0.04	0.02	-0.41	-0.44	-1.58	-1.63
C_{13}	5.23	4.82	-1.05	-1.06	-5.14	-4.43
C_{33}	-1.81	-1.79	-1.37	-1.33	-1.53	-1.45
σ_{lnY}	0.72	0.75	0.75	0.80	1.62	1.68

Στο σχήμα (2.15) δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, για επιφανειακό μέγεθος, Ms=6.5, και για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος", S=1, όπως προκύπτει από τους ανάλογους συντελεστές, Cij, της σχέσης (2.14). Με διακεκομμένες γραμμές δίνονται οι μέσες τιμές επιτάχυνσης με ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Στο ίδιο σχήμα φαίνονται και οι ανηγμένες τιμές επιταχύνσεων του συνολικού δείγματος των δεδομένων για το ίδιο μέγεθος και τις ίδιες εδαφικές συνθήκες. Στο σχήμα (2.16) δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, για τοπικό μέγεθος, M_L=6.0, και για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος", S=1, όπως



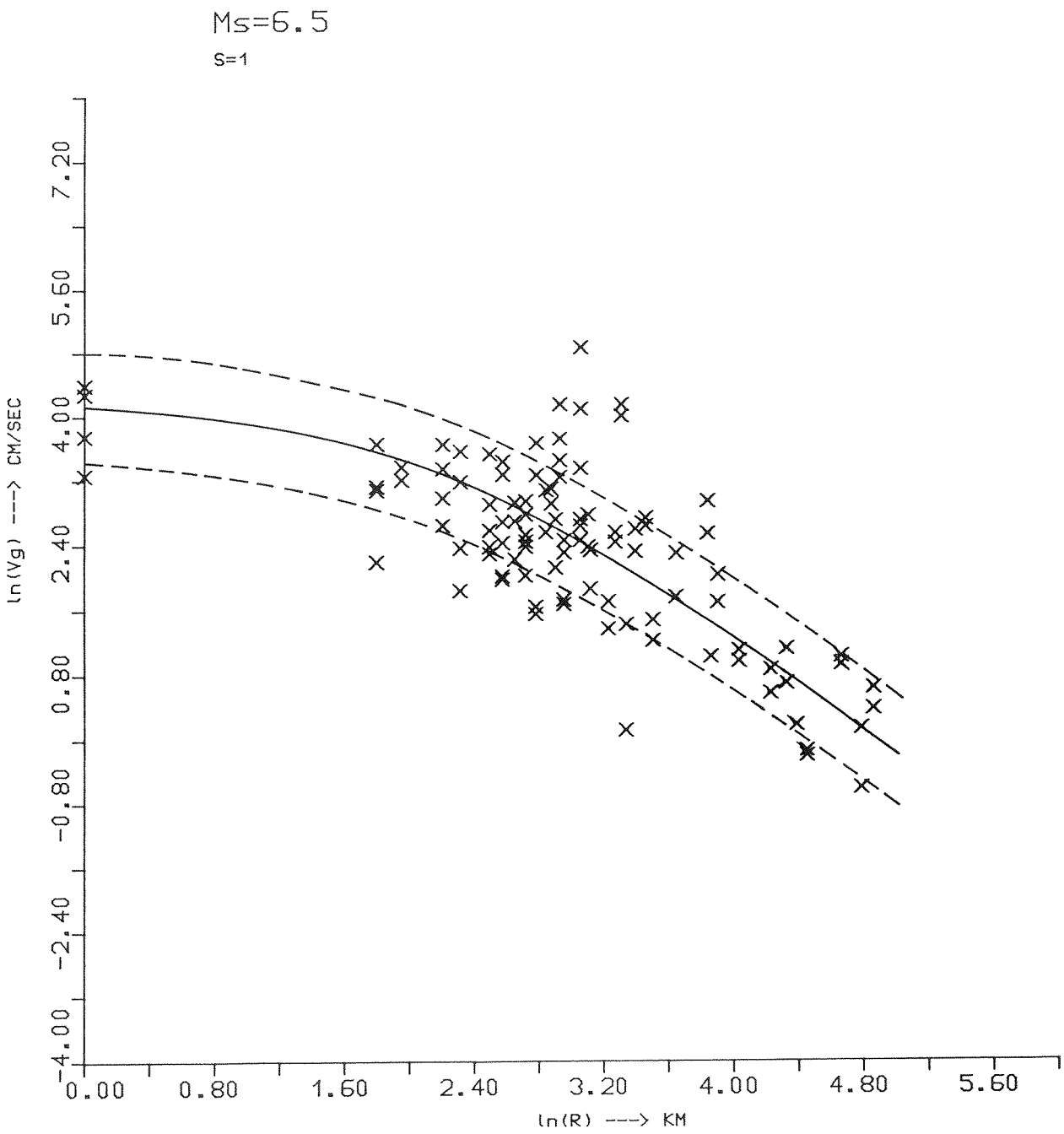
Σχ. 2.15. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης,με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για Ms= 6.5 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



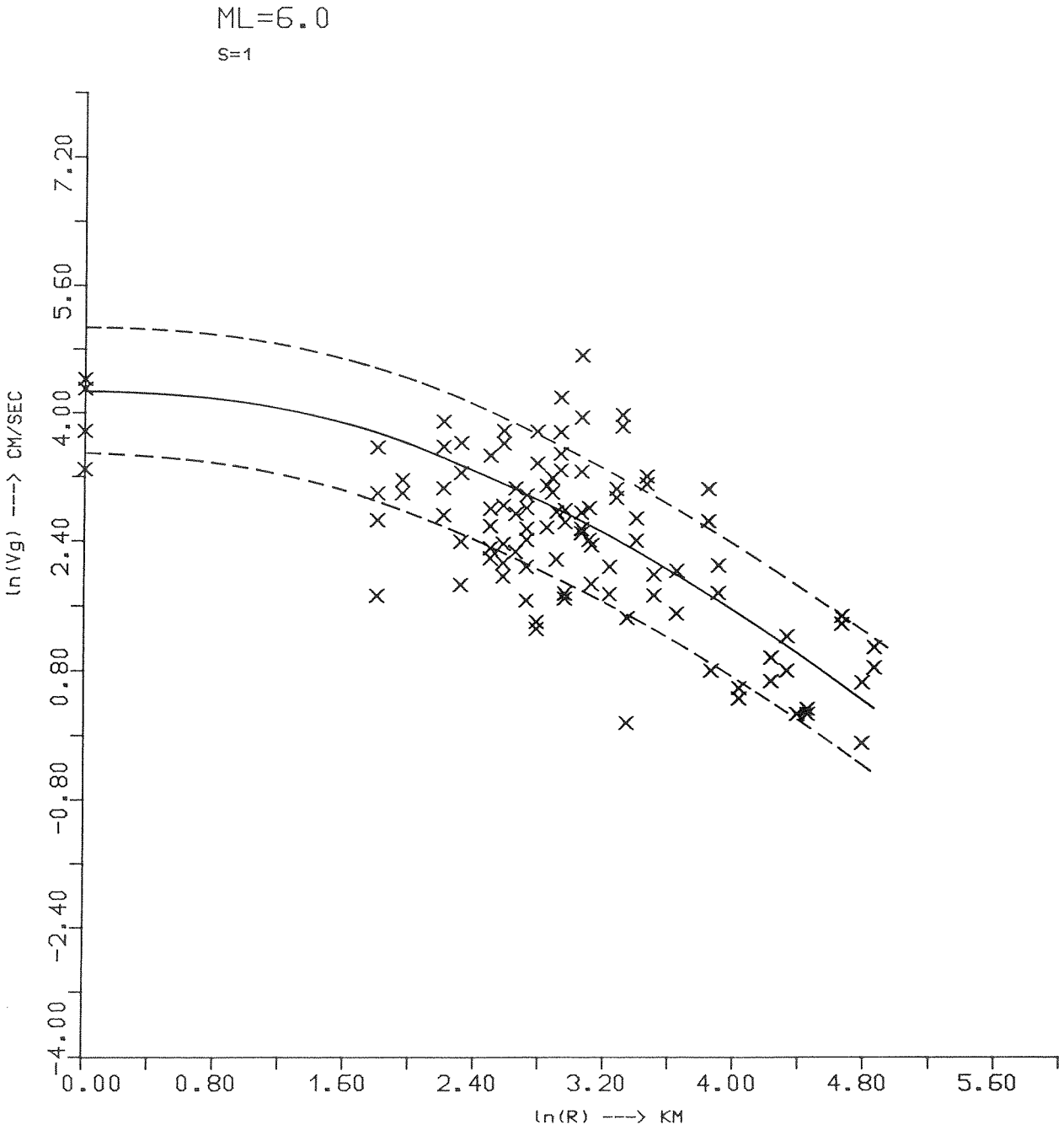
Σχ. 2.16. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_L = 6.0 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

προκύπτει από τους ανάλογους συντελεστές, Cij, της σχέσης (2.14). Στο ίδιο σχήμα φαίνονται και οι ανηγμένες τιμές επιταχύνσεων του συνολικού δείγματος των δεδομένων για το ίδιο μέγεθος και τις ίδιες εδαφικές συνθήκες. Στα σχήματα (2.17) έως (2.20) δίνονται ανάλογα αποτελέσματα για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα και μετάθεση. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για την κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση και δίνεται στα σχήματα (2.21) έως (2.26).

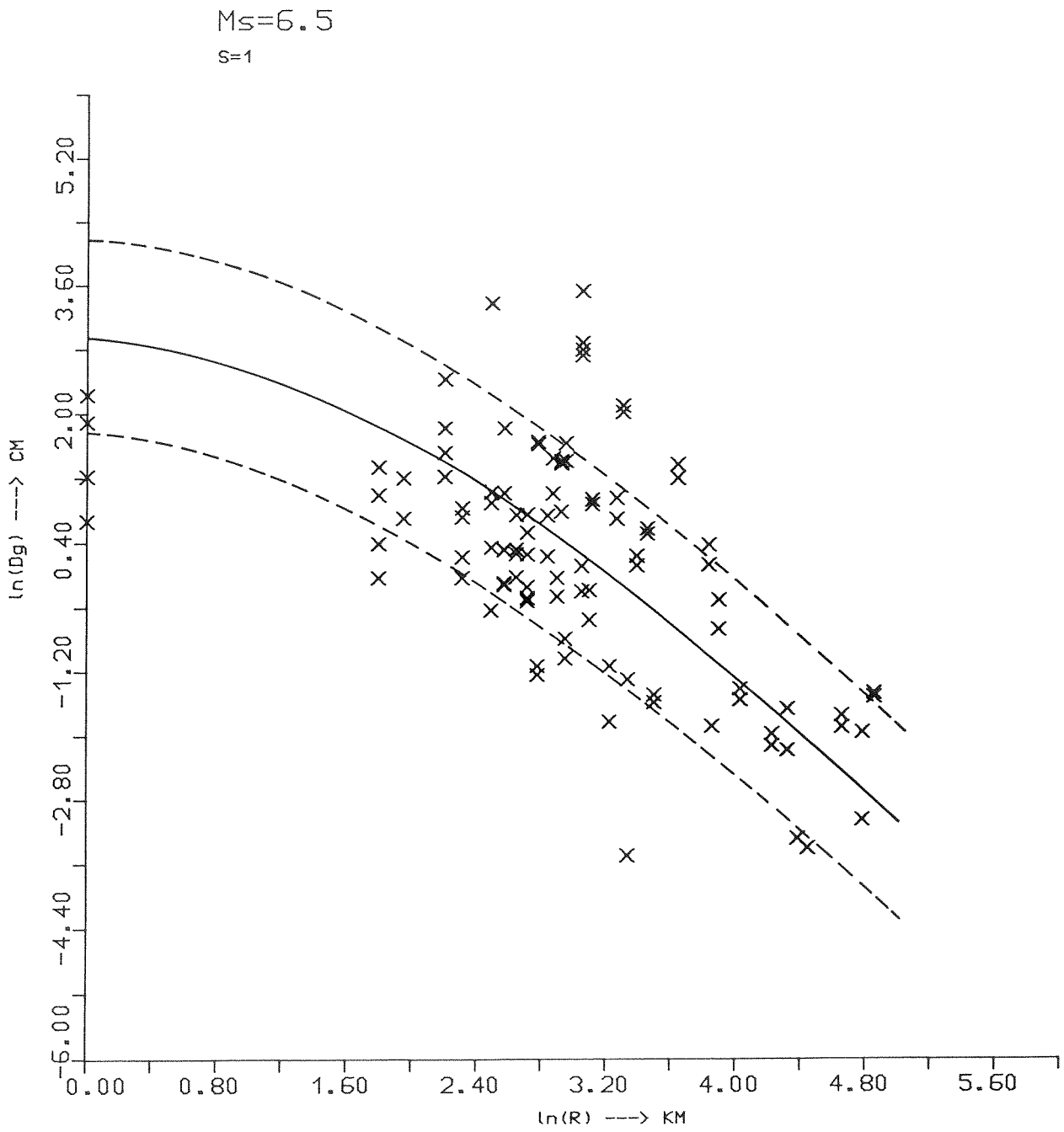
Η συνολική επάρκεια του μοντέλου για την πρόβλεψη της ισχυρής εδαφικής κίνησης ελέγχεται, σ'όρισμένο βαθμό, με την ανάλυση των υπολοίπων. Αυτά προκύπτουν από τις ανάλογες σχέσεις απόσβεσης και αναφέρονται στις διαφορές των υπολογισμένων με τις σχέσεις απόσβεσης μεγίστων τιμών εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, από τις παρατηρημένες, αντίστοιχα, τιμές (Boore and Joyner 1982, Campbell 1985). Σύμφωνα με τους Boore και Joyner (1982), οποιαδήποτε εμπειρική σχέση απόσβεσης δεν μπορεί να θεωρηθεί ακατάλληλη εξαιτίας των βημάτων που χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό της και δεν έχει σημασία εάν τα βήματα τα οποία οδήγησαν σ' αυτή έχουν ή όχι λογική βάση. Δεδομένου ότι λείπουν τα μέσα για να υποβληθεί η σχέση απόσβεσης σε ουσιαστικό έλεγχο, δηλαδή εάν αυτή πράγματι προβλέπει τις μελλοντικές ισχυρές εδαφικές κινήσεις, ο καλύτερος τρόπος για να εκτιμηθεί η επάρκειά της είναι η μελέτη των υπολοίπων γύρω από τη μέση καμπύλη η οποία προέκυψε από τη γραμμική παλινδρόμηση. Στα σχήματα (2.27) έως (2.38) δίνεται η μεταβολή των υπολοίπων, τα οποία έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση, σχέση (2.14), με τη χρήση του συνολικού δείγματος, σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, και το επιφανειακό μέγεθος, Ms, ή το τοπικό μέγεθος, M_L. Αυτό έγινε τόσο για τις σχέσεις απόσβεσης των μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων όσο και για τις ανάλογες σχέσεις των μεγίστων κατακορύφων. Εάν υπήρχαν συστηματικές τάσεις στα δεδομένα οι οποίες δεν έχουν ληφθεί υπόψη κατά τη στατιστική ανάλυση, τότε αυτές θα φαινόταν στα παραπάνω σχήματα (2.27) έως (2.38). Ομως, καμμία εμφανής τάση δεν παρατηρείται στα υπόλοιπα και επομένως το μοντέλο πρόβλεψης και η



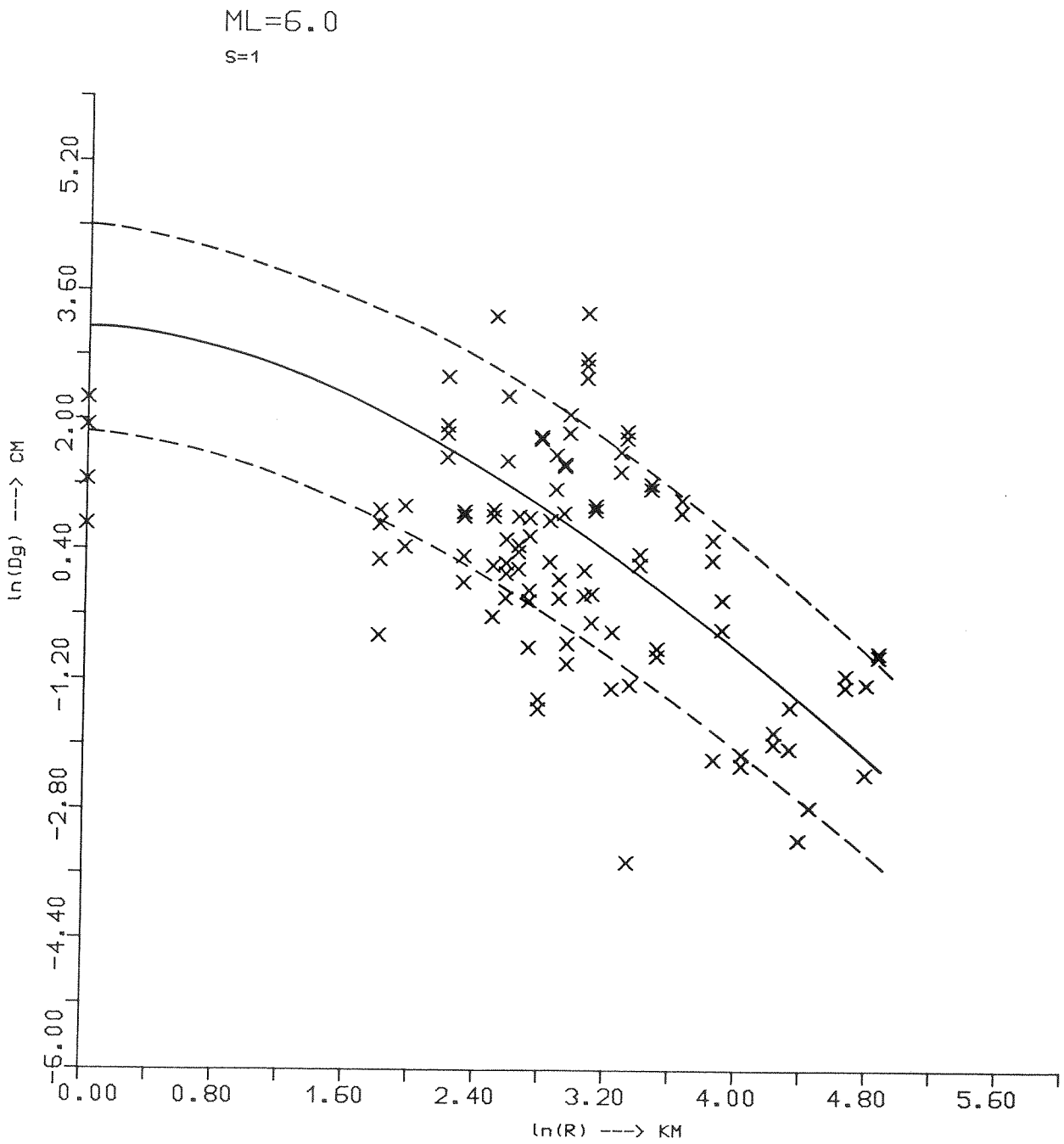
Σχ. 2.17. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας,με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για Ms=6.5 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



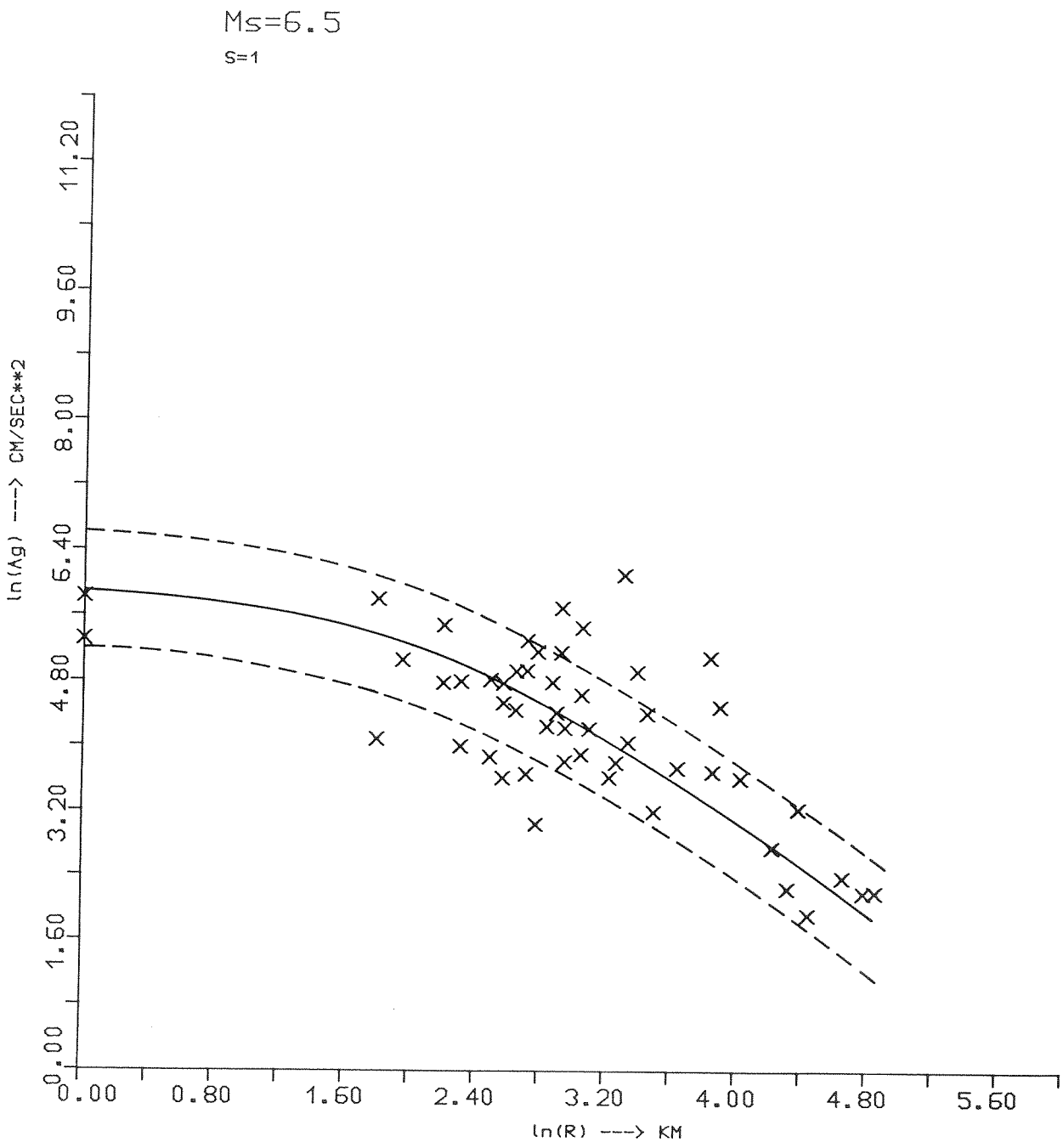
Σχ. 2.18. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_L=6.0 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



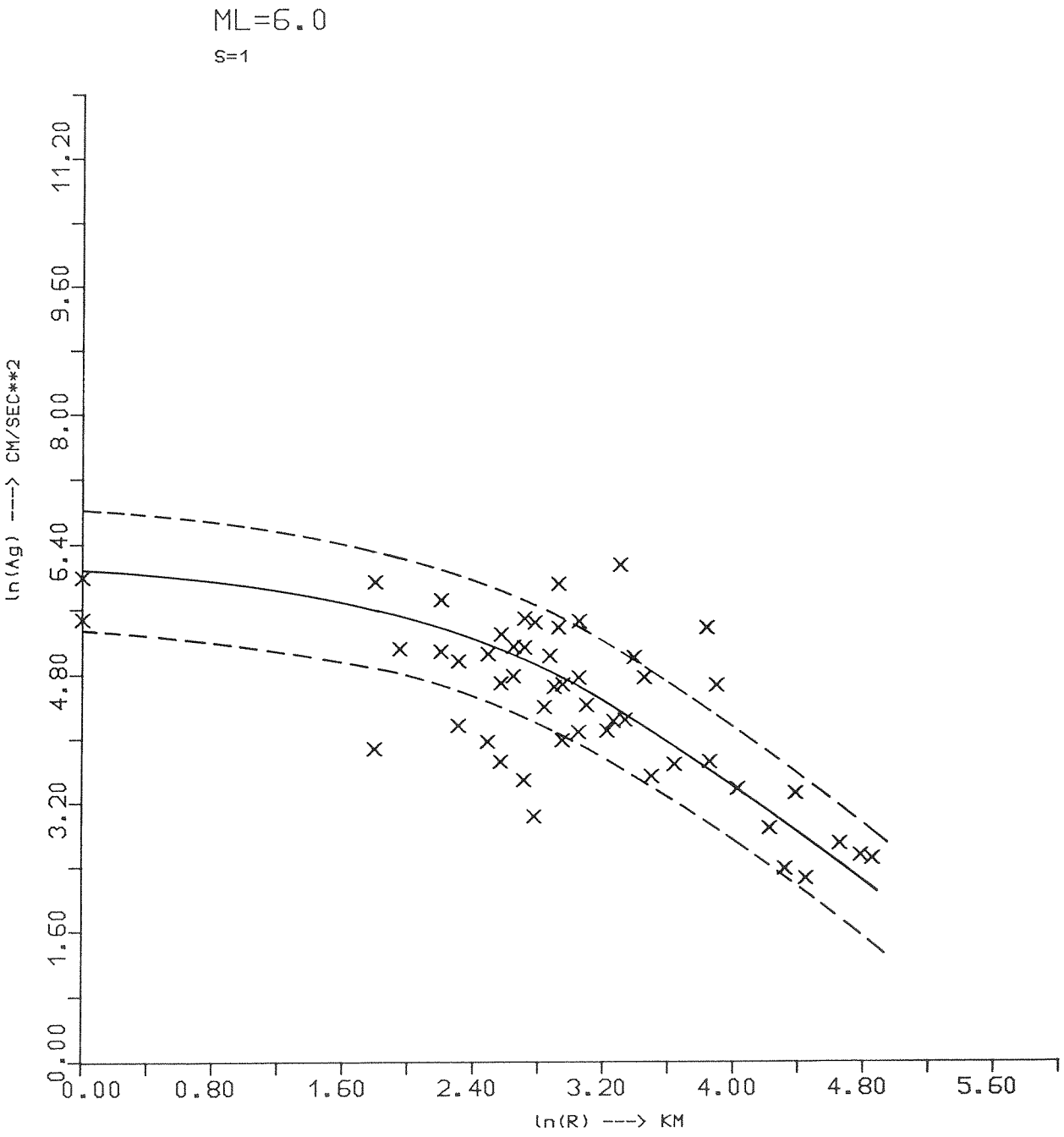
Σχ. 2.19. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για Ms=6.5 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



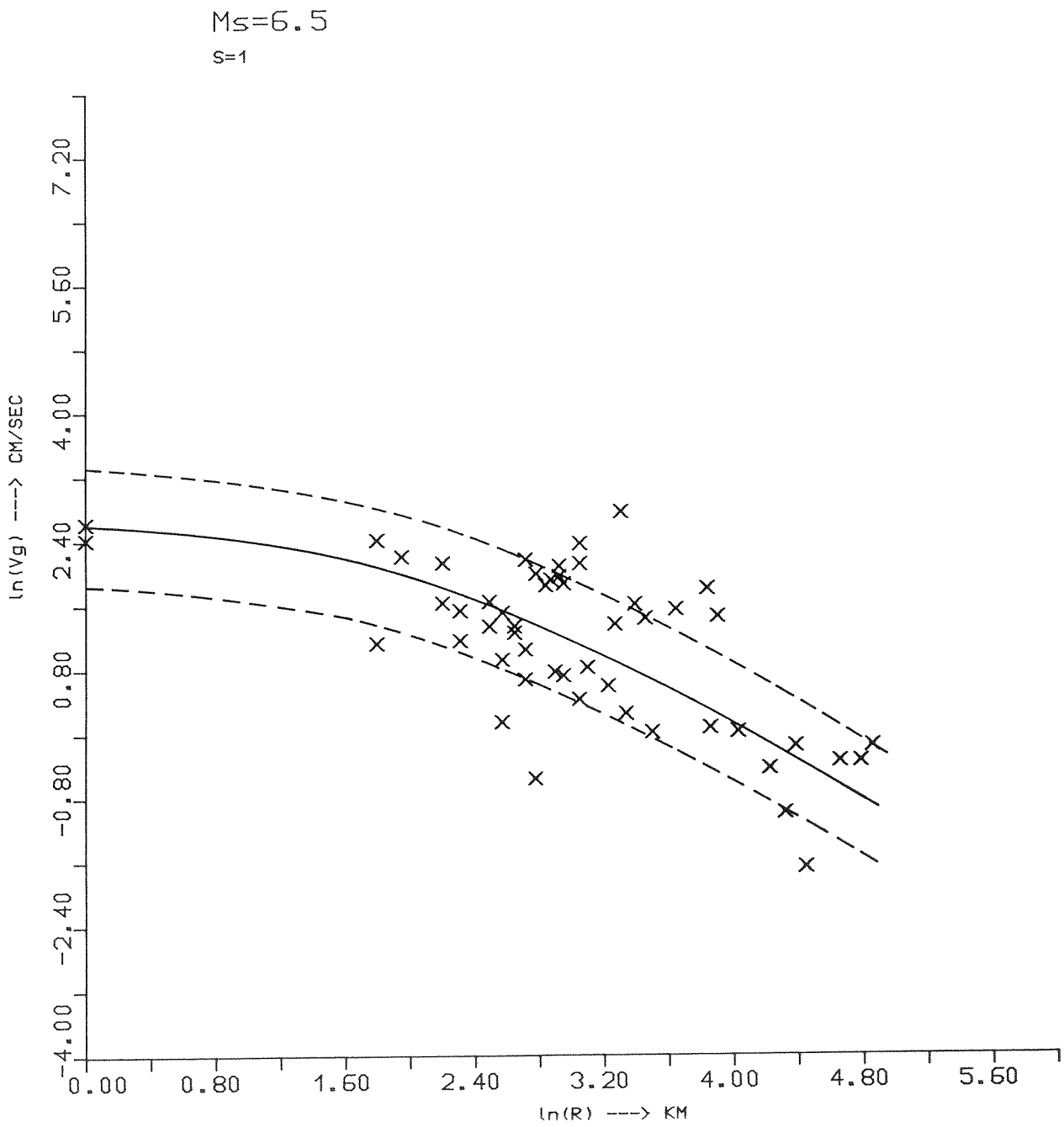
Σχ. 2.20. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_L=6.0 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



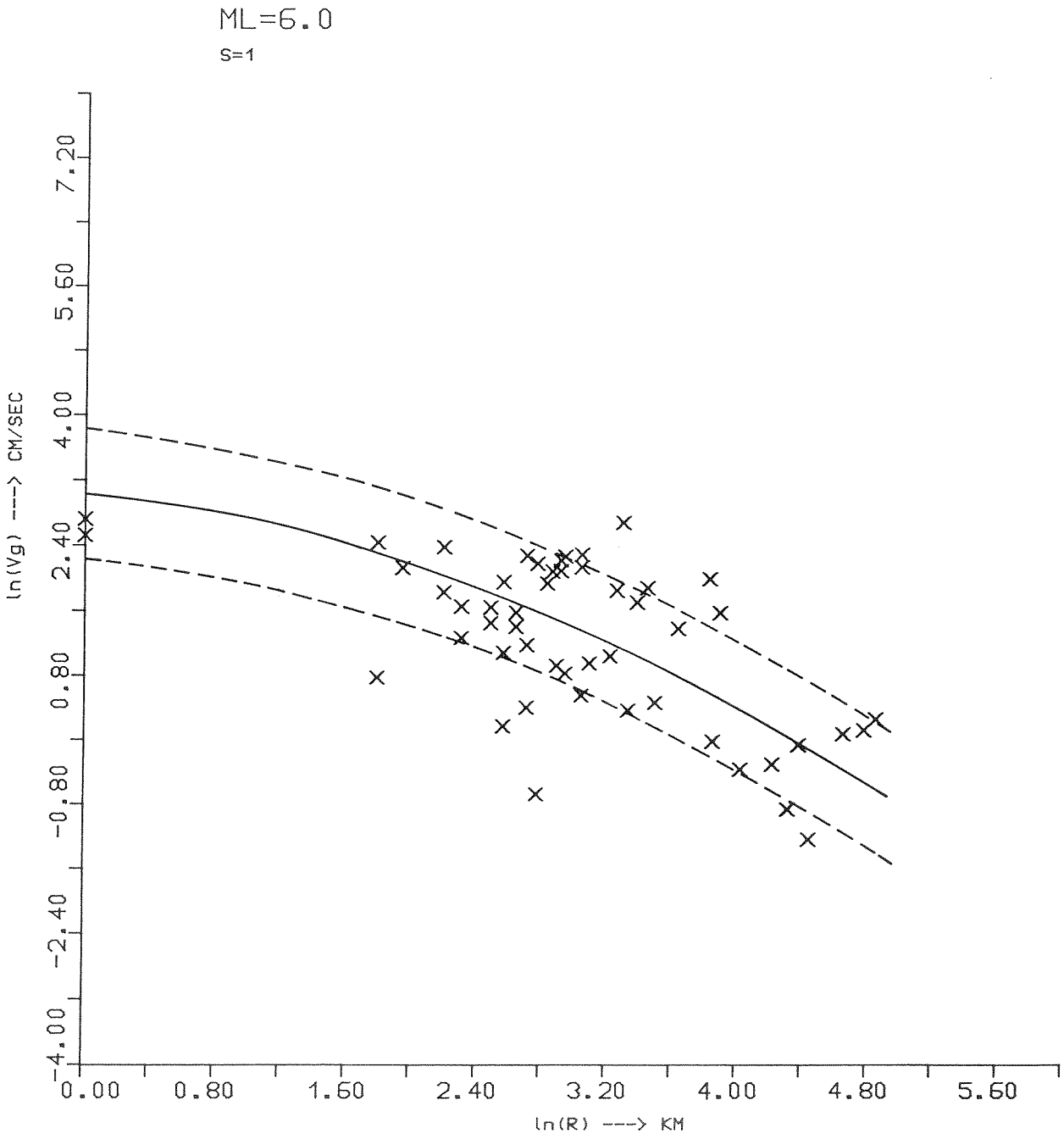
Σχ. 2.21. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για Ms=6.5 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



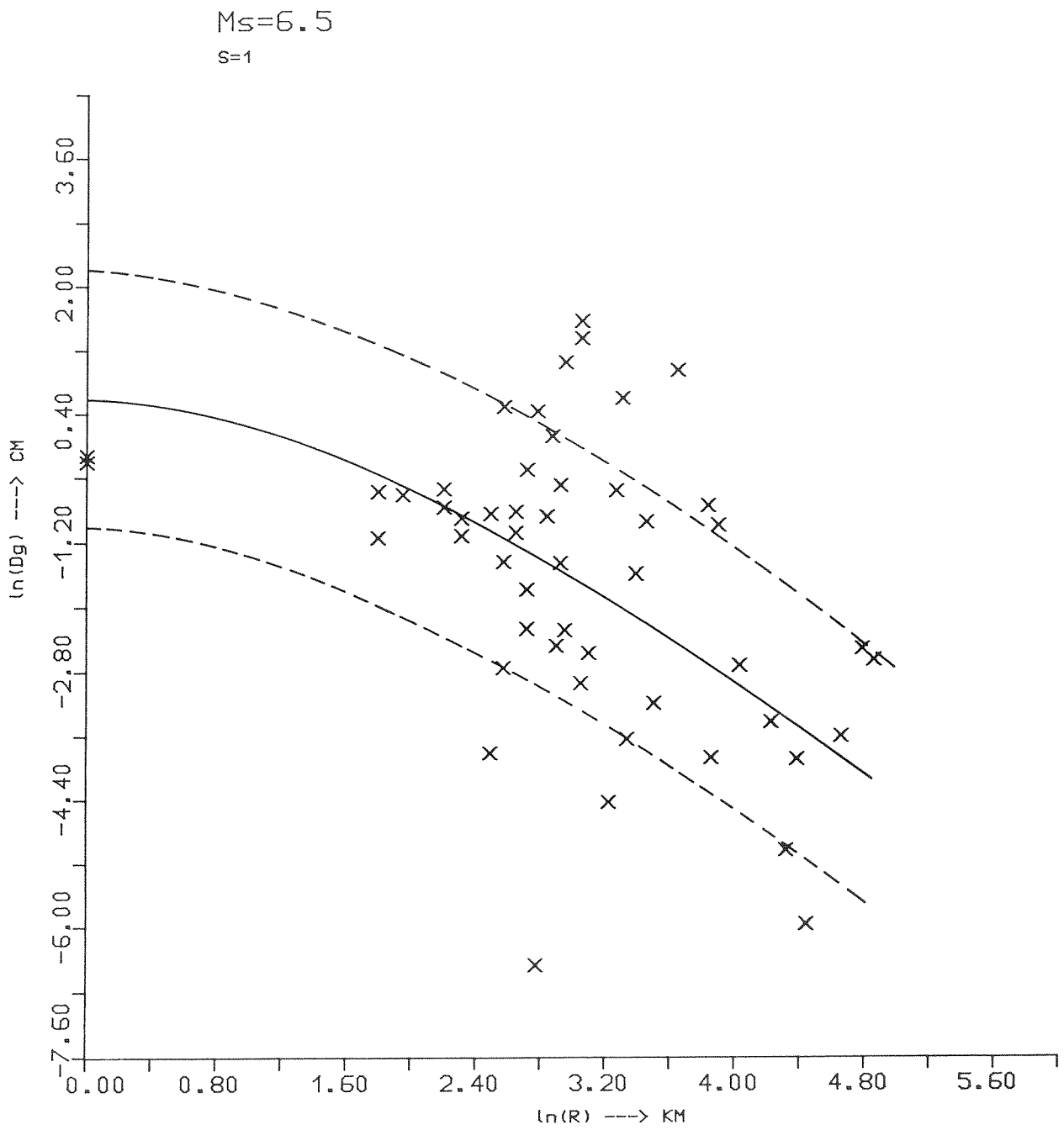
Σχ. 2.22. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_L=6.0 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



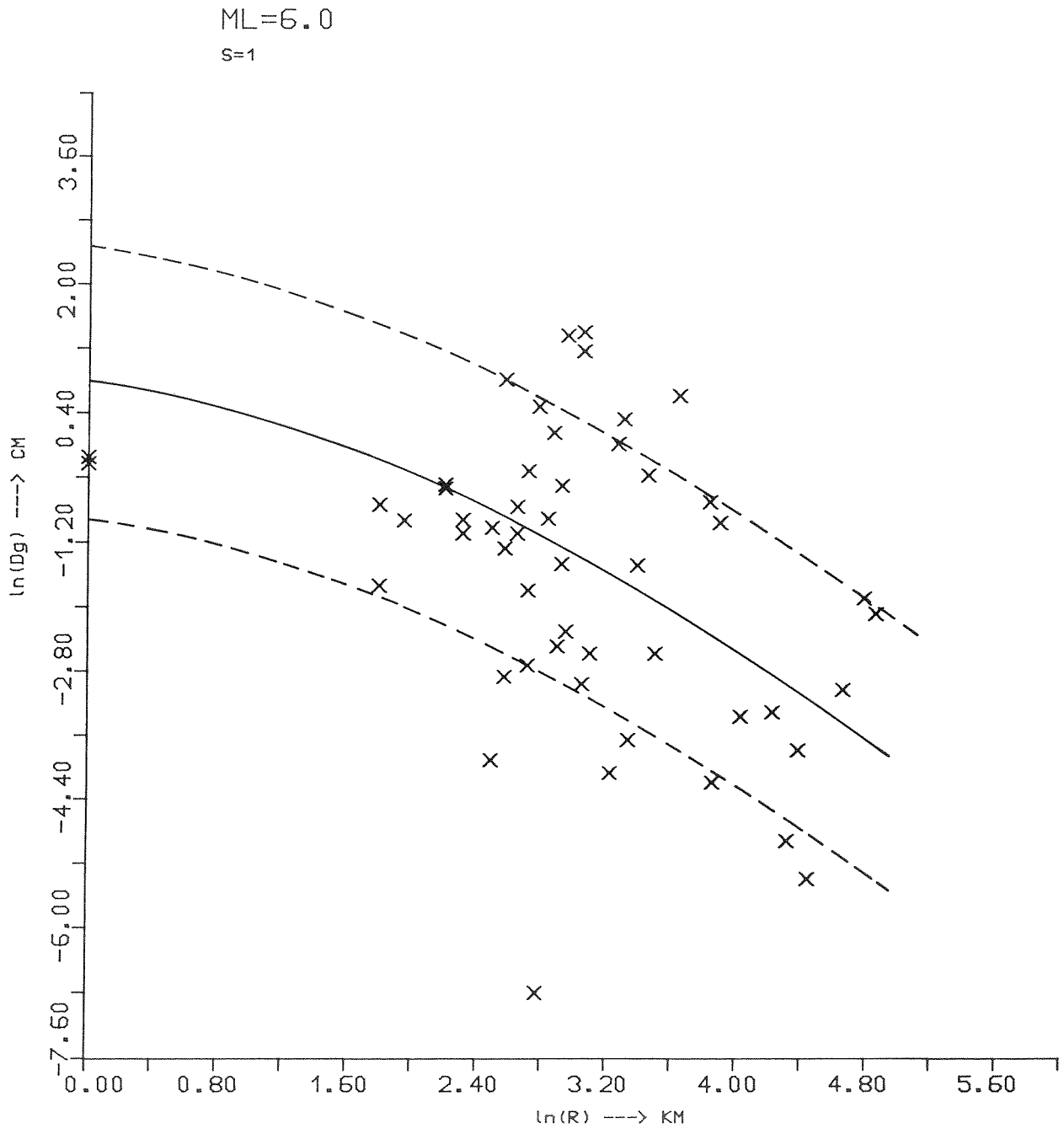
Σχ. 2.23. Μεταβολή της μέγιστης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής ταχύτητας, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για Ms= 6.5 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



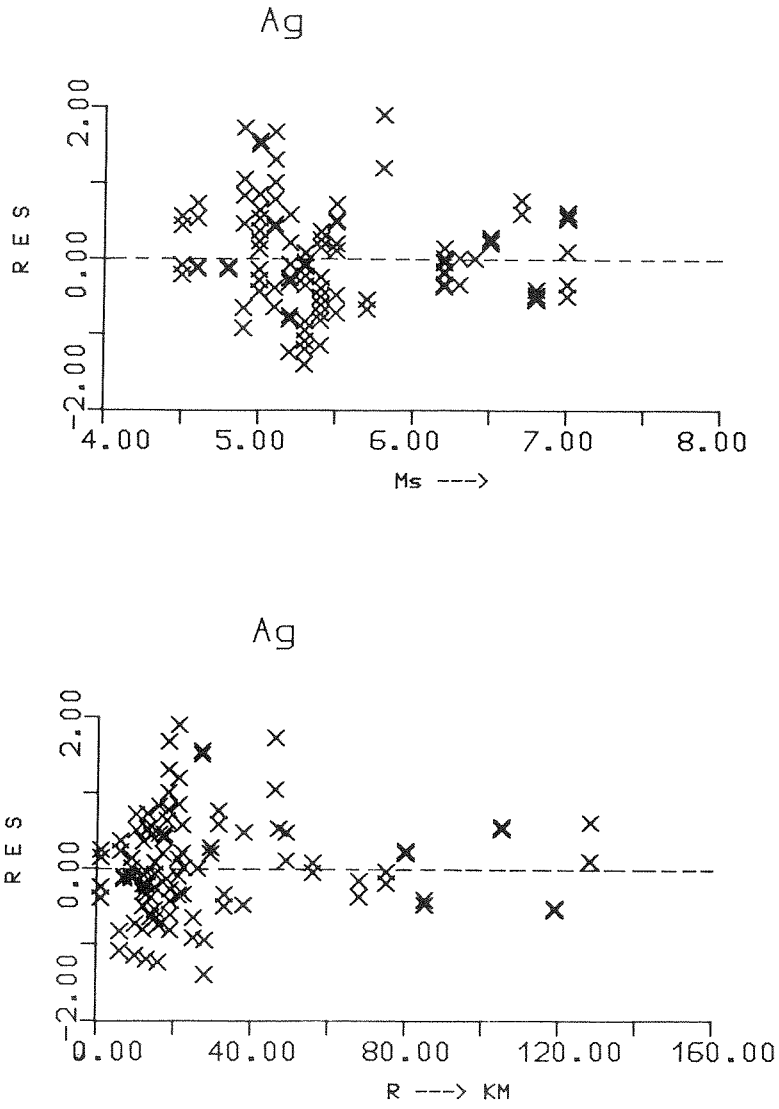
Σχ. 2.24. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής ταχύτητας, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_L = 6.0 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



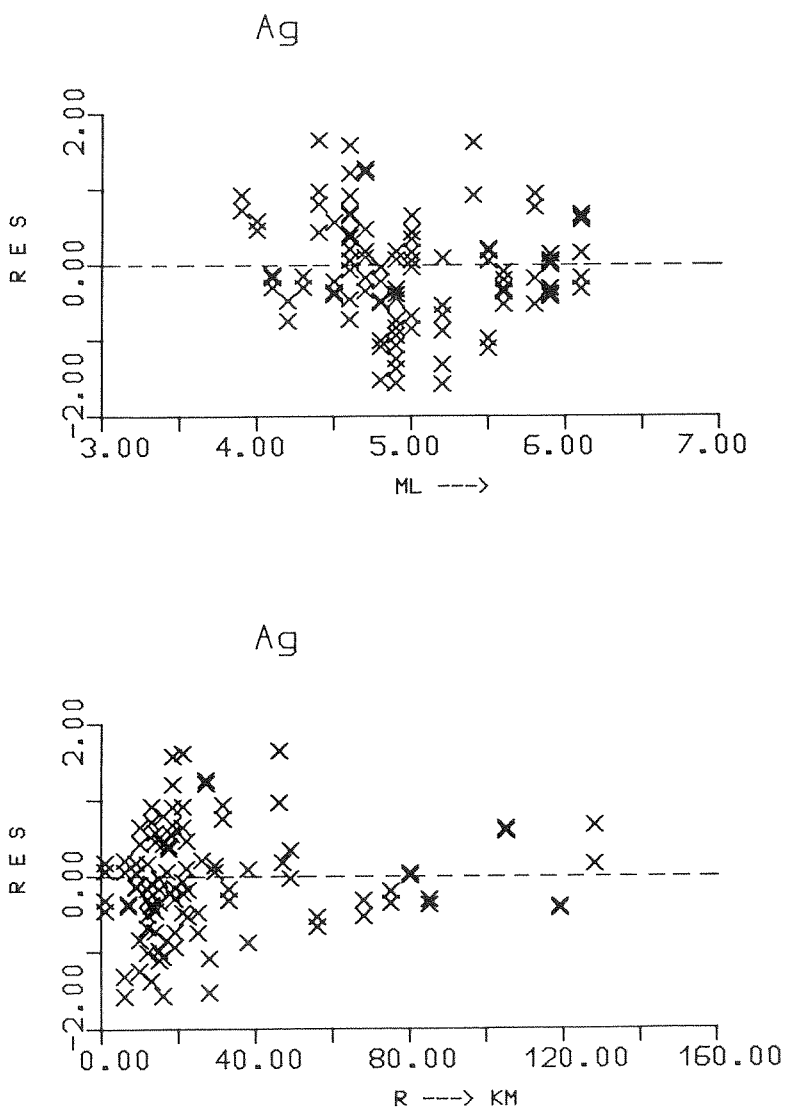
Σχ. 2.25. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής μετάθεσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για Ms= 6.5 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



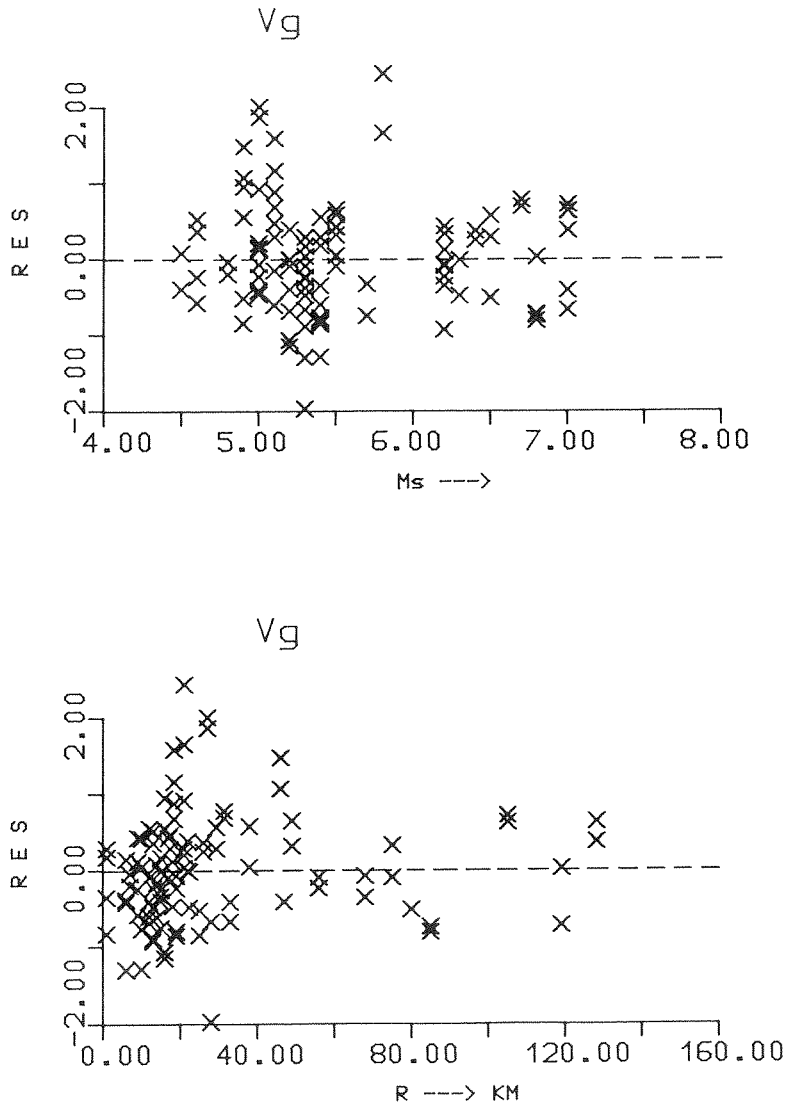
Σχ. 2.26. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής μετάθεσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_L = 6.0 και S=1, των δεδομένων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



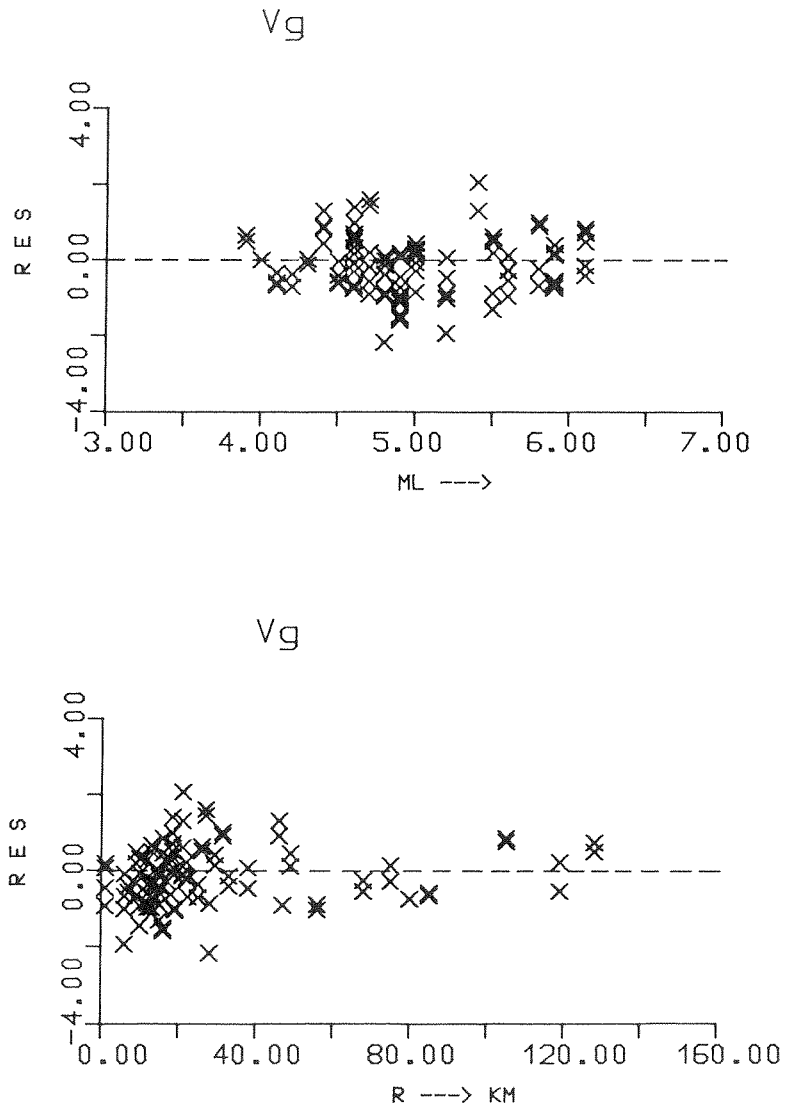
Σχ. 2.27. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



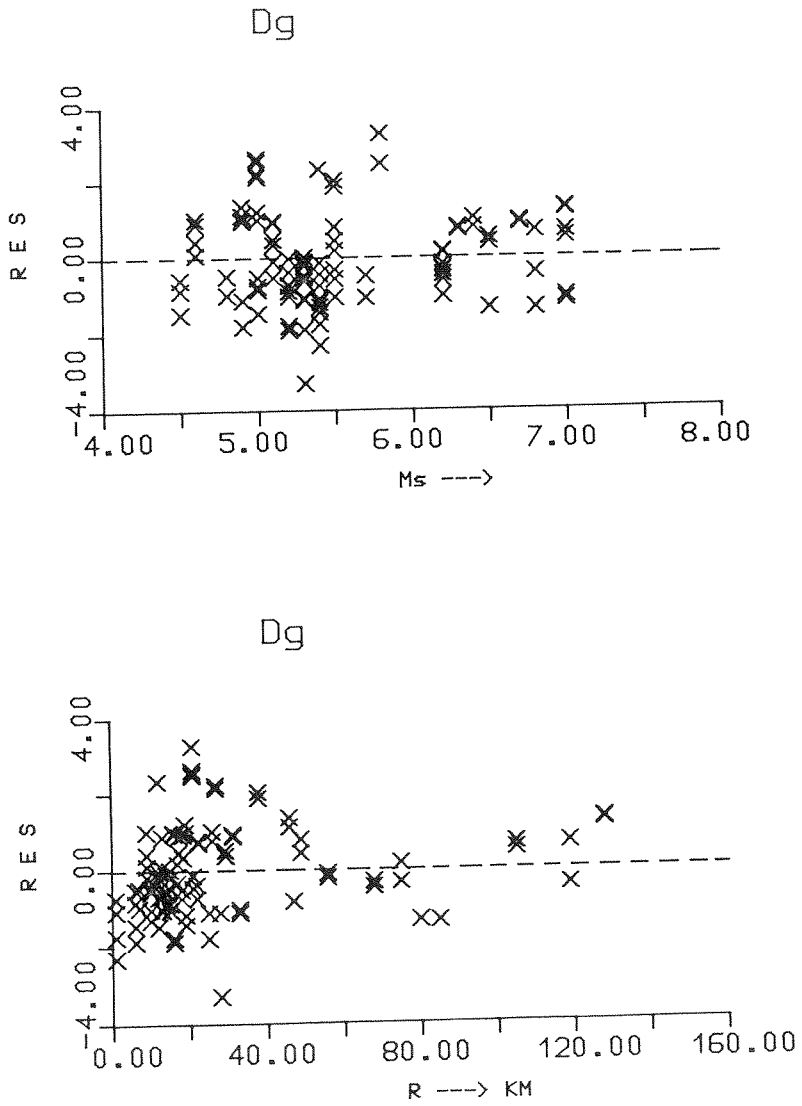
Σχ. 2.28. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το τοπικό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



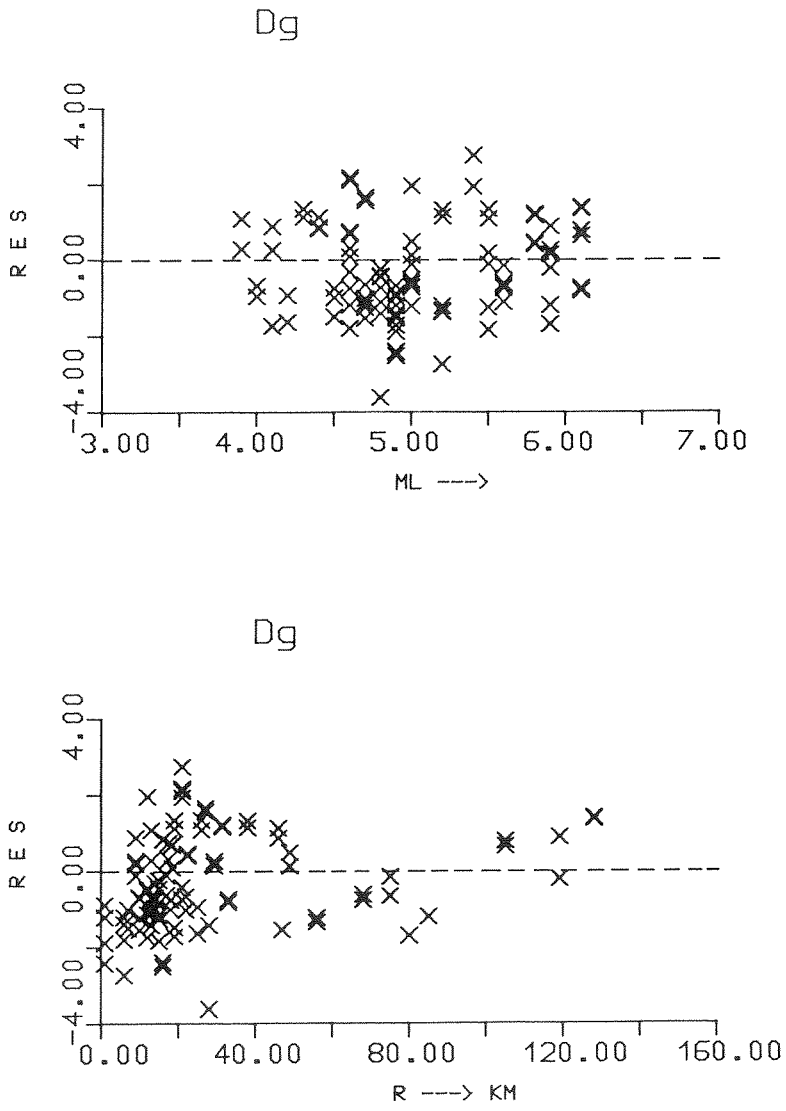
Σχ. 2.29. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



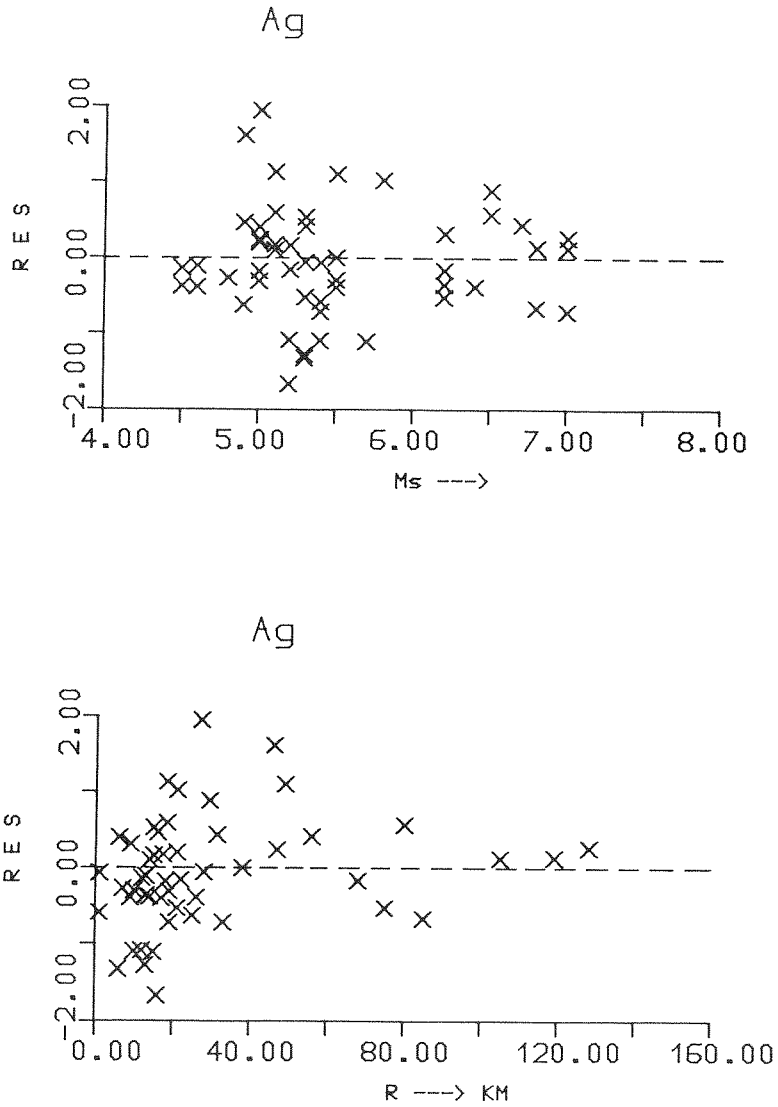
Σχ. 2.30. Υπόλοιπα,RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το τοπικό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



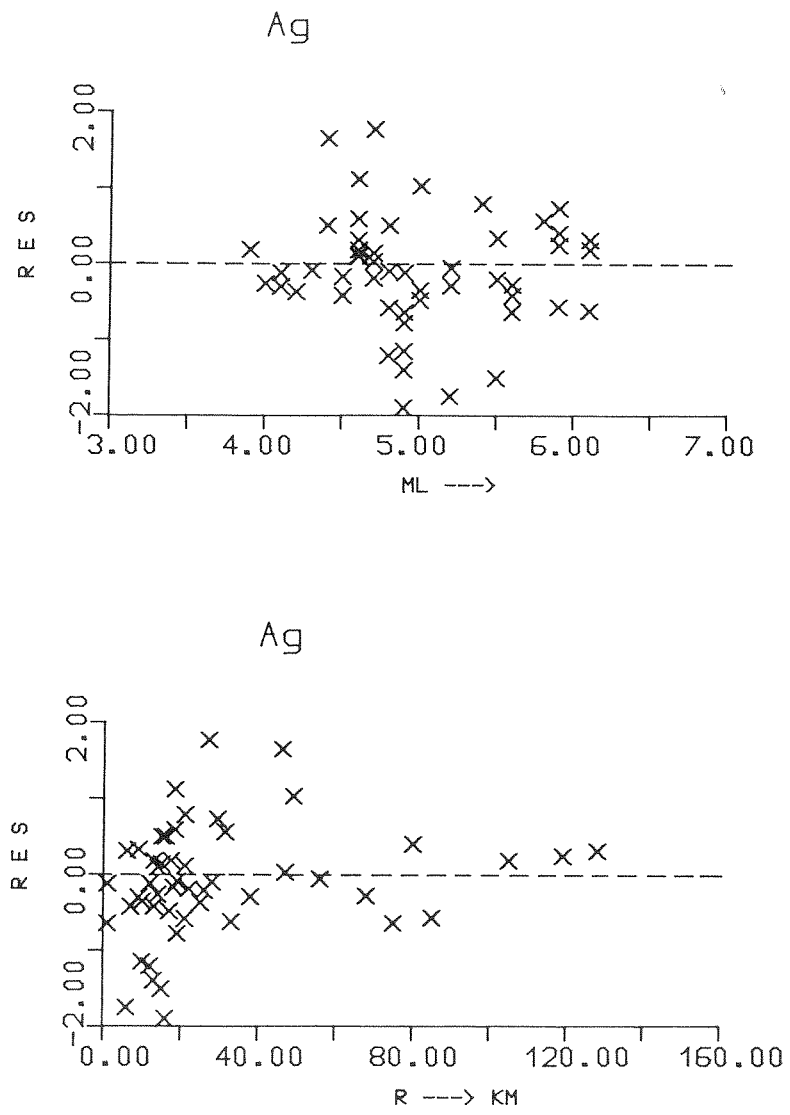
Σχ. 2.31. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



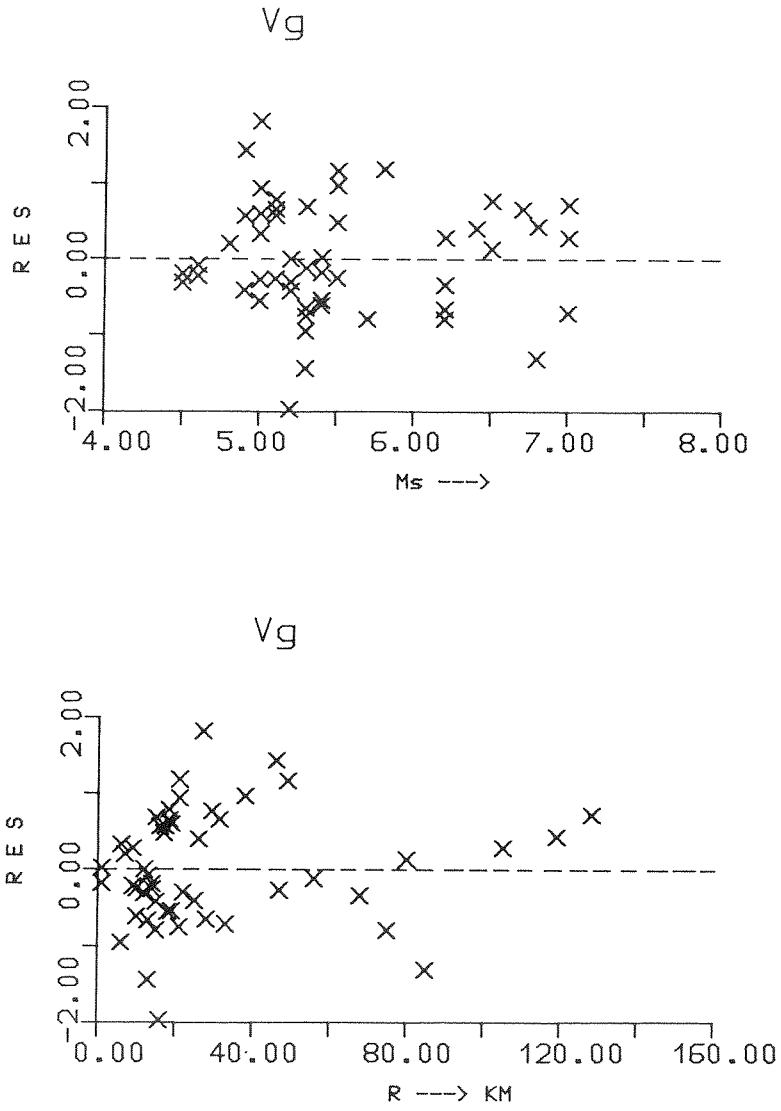
Σχ. 2.32. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το τοπικό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



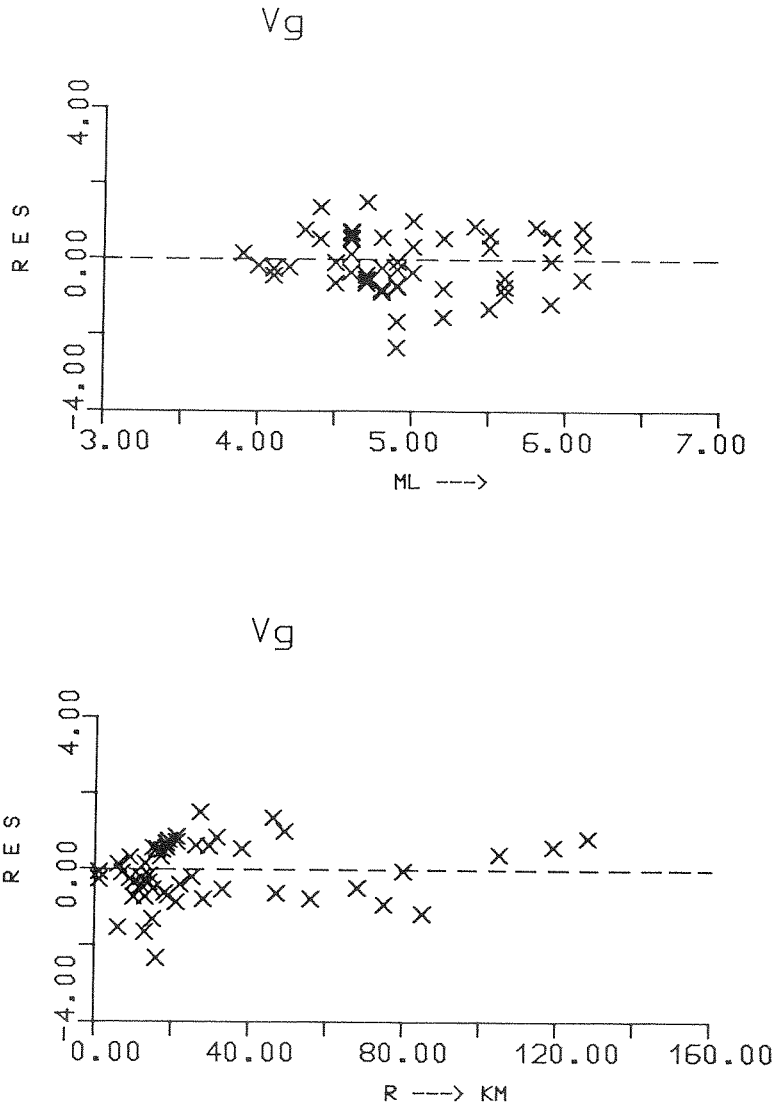
Σχ. 2.33. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



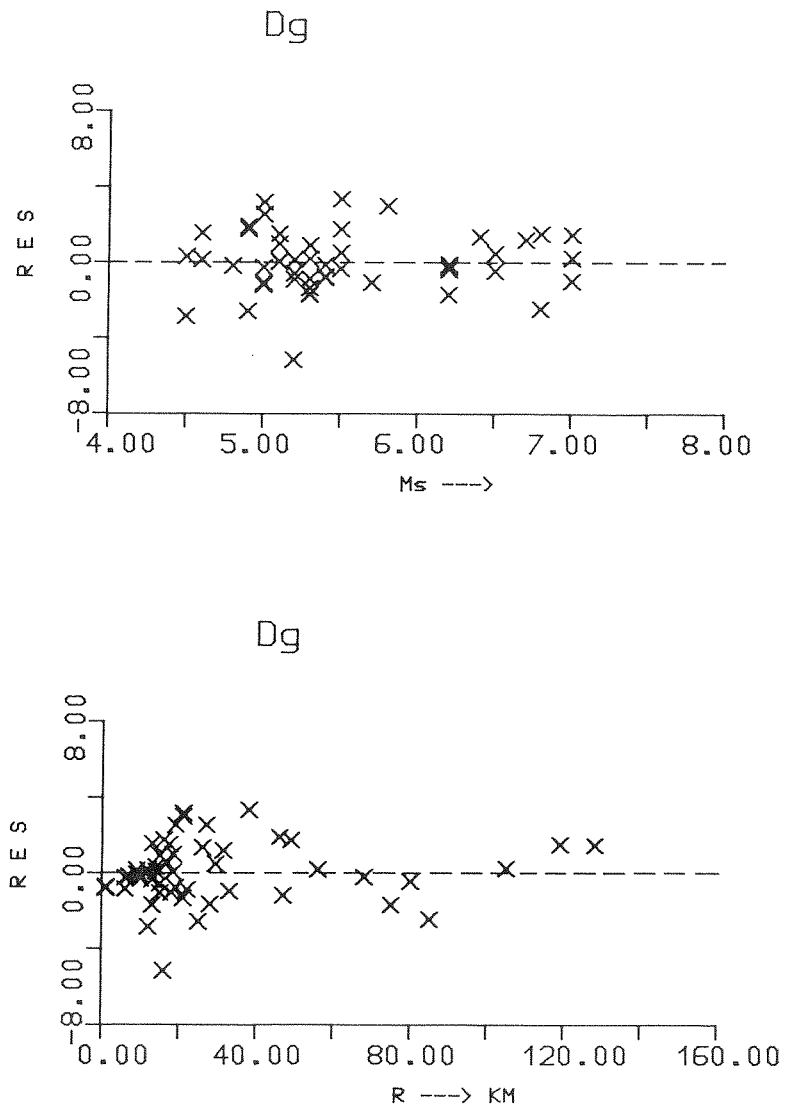
Σχ. 2.34. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το τοπικό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



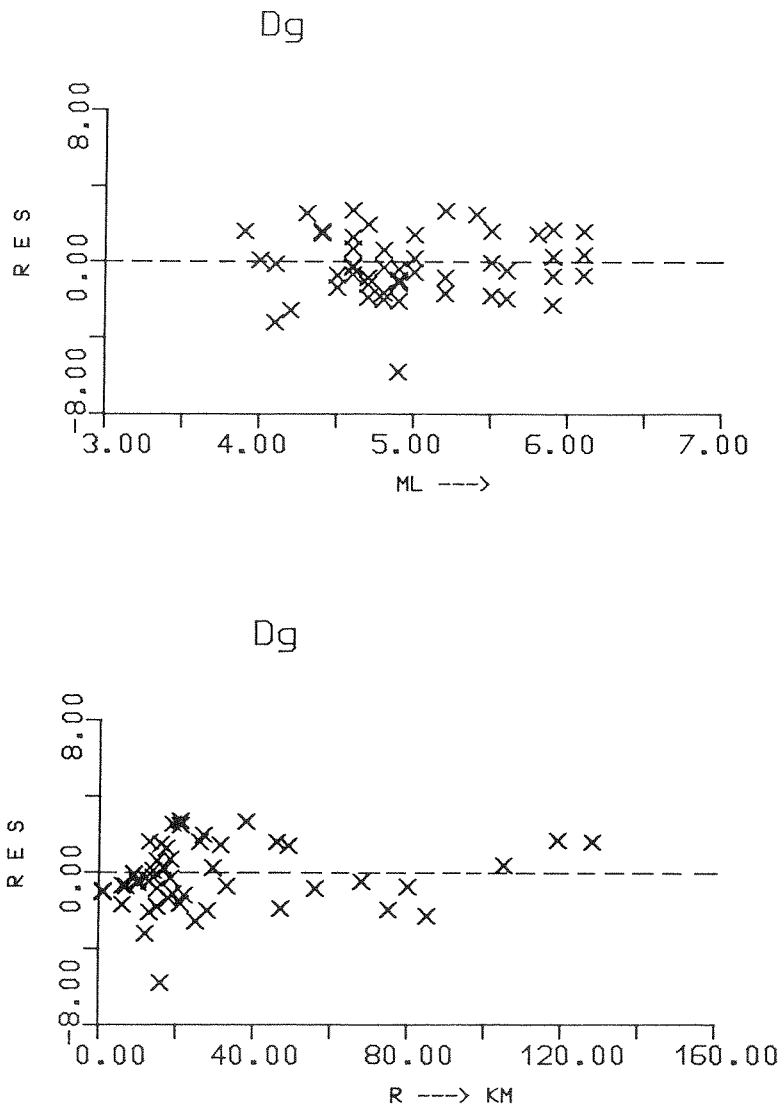
Σχ. 2.35. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής ταχύτητας, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.36. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής ταχύτητας, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το τοπικό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.37. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής μετάθεσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.38. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής μετάθεσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το τοπικό μέγεθος, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.

μέθοδος με την οποία προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές, Cij, με τις σχέσεις (2.12), (2.13), (2.14) μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικά.

Προκειμένου να εξετασθεί η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει από τη σχέση (2.14) με τη χρήση του συνολικού δείγματος των δεδομένων, έχουν γίνει τα ιστογράμματα των σχημάτων (2.39) και (2.40) για τη μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, για επιφανειακό μέγεθος, Ms, και τοπικό μέγεθος, M_L. Από τα ιστογράμματα αυτά μπορεί να γίνει ποιοτική εκτίμηση του είδους της κατανομής την οποία ακολουθούν. Η καμπύλη η οποία προσαρμόζεται καλύτερα στα ιστογράμματα έχει μορφή καμπάνας και είναι εκείνη της κανονικής κατανομής για τη μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα. Το ίδιο δεν ισχύει ικανοποιητικά και για τη μετάθεση γεγονός το οποίο μπορεί να αποδοθεί στις διαφορές των δύο κατηγοριών δεδομένων, όσον αφορά την ψηφιοποίηση και την επεξεργασία, οι οποίες γίνονται σημαντικές στις μεταθέσεις.

Με τη χρησιμοποίηση των συντελεστών των πινάκων (2.6) και (2.7), προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις απόσβεσης για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου,

$$\ln a_g = 4.37 + 1.02Ms - 1.65\ln(R+15) + 0.31S + 0.66P \qquad (2.15)$$

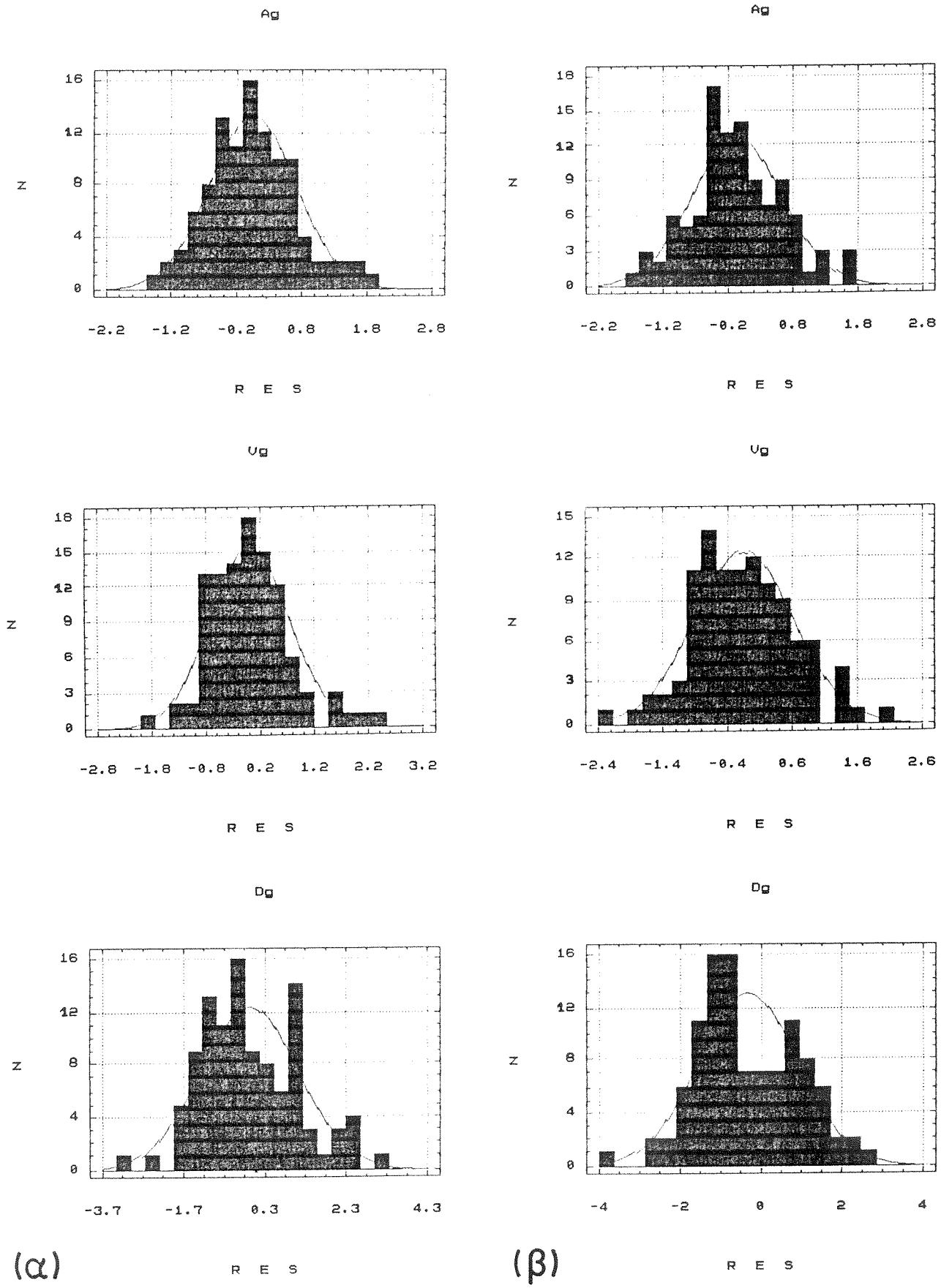
$$\ln a_g = 4.27 + 1.12M_L - 1.58\ln(R+15) + 0.27S + 0.70P \qquad (2.16)$$

$$\ln v_g = -0.18 + 1.29Ms - 1.62\ln(R+10) - 0.22S + 0.73P \qquad (2.17)$$

$$\ln v_g = 0.02 + 1.36M_L - 1.53\ln(R+10) - 0.27S + 0.78P \qquad (2.18)$$

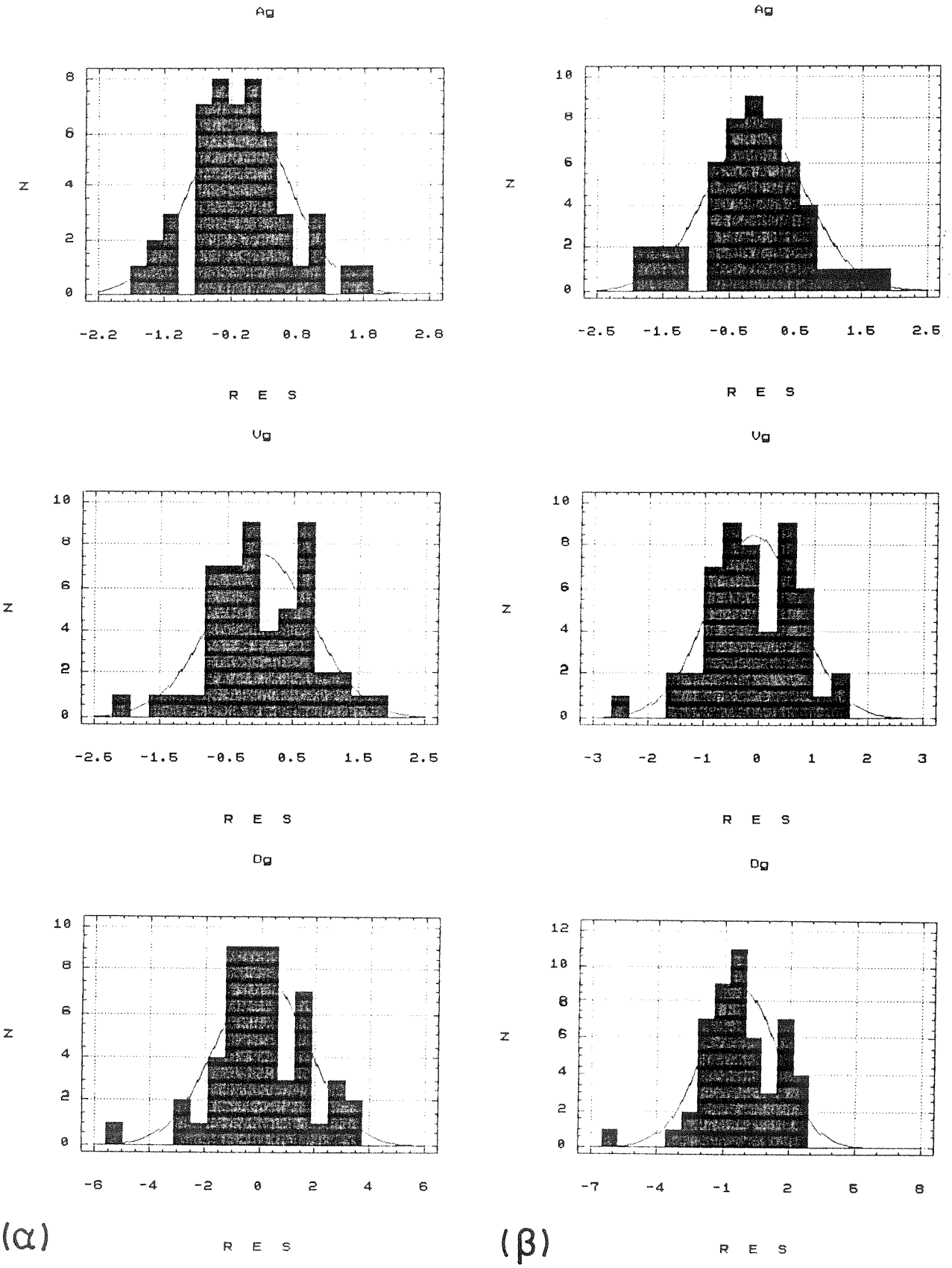
$$\ln d_g = -4.05 + 1.74Ms - 1.85\ln(R+5) - 0.98S + 1.19P \qquad (2.19)$$

$$\ln d_g = -3.73 + 1.84M_L - 1.74\ln(R+5) - 1.05S + 1.27P \qquad (2.20)$$



(α) (β)

Σχ. 2.39. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (2.14), της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης,(α) για επιφανειακό και (β) για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.40. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (2.14), της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης ταχύτητας, μετάθεσης,(α) για επιφανειακό και (β) για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

και οι παρακάτω σχέσεις για τη μέγιστη κατακόρυφη ισχυρή εδαφική κίνηση,

$$\ln a_g = 5.23 + 0.87Ms - 1.81\ln(R+15) + 0.04S + 0.72P \quad (2.21)$$

$$\ln a_g = 4.82 + 1.04M_L - 1.79\ln(R+15) + 0.02S + 0.75P \quad (2.22)$$

$$\ln v_g = -1.05 + 1.13Ms - 1.37\ln(R+10) - 0.41S + 0.75P \quad (2.23)$$

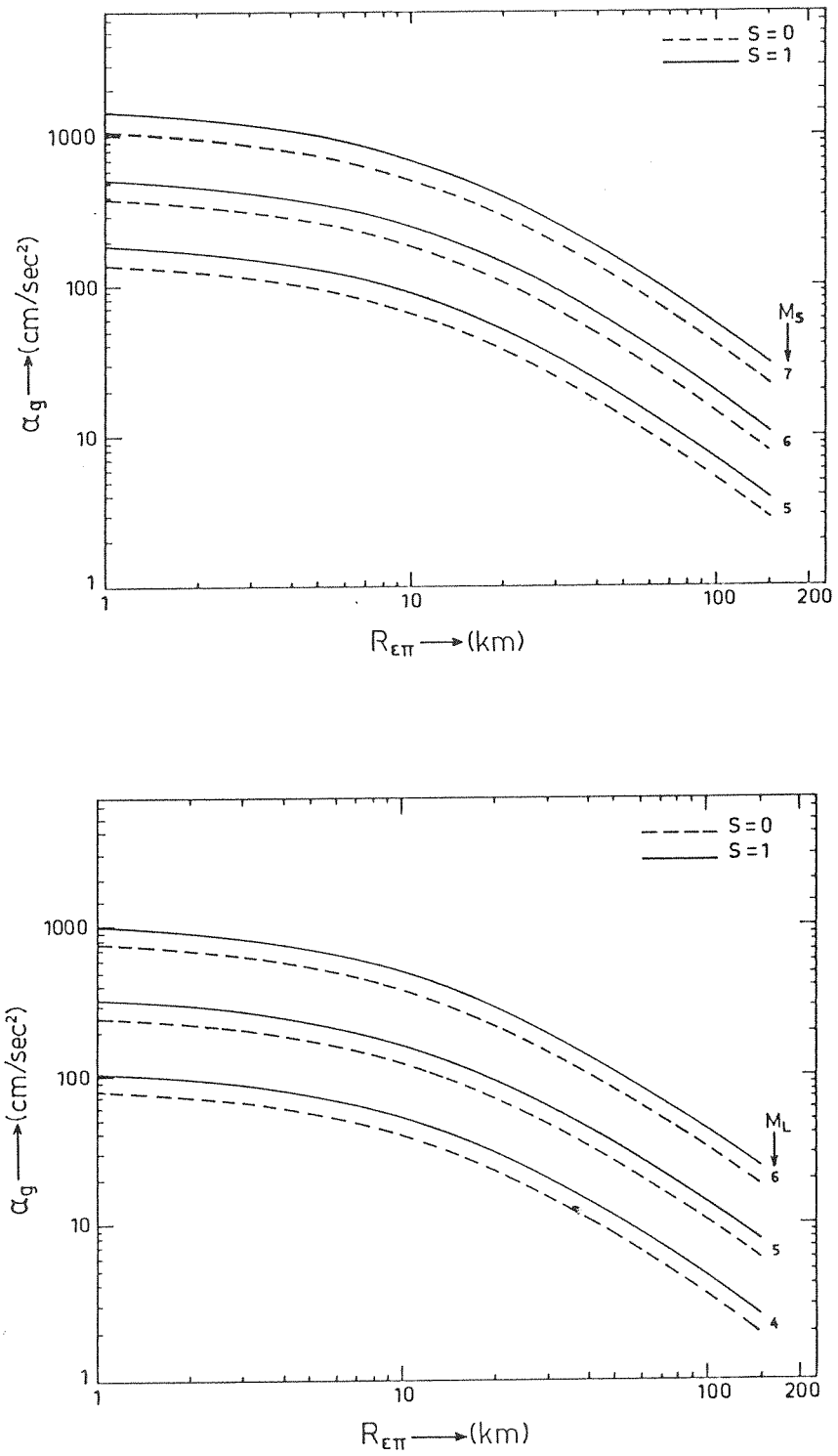
$$\ln v_g = -1.06 + 1.25M_L - 1.33\ln(R+10) - 0.44S + 0.80P \quad (2.24)$$

$$\ln d_g = -5.14 + 1.55Ms - 1.53\ln(R+5) - 1.58S + 1.62P \quad (2.25)$$

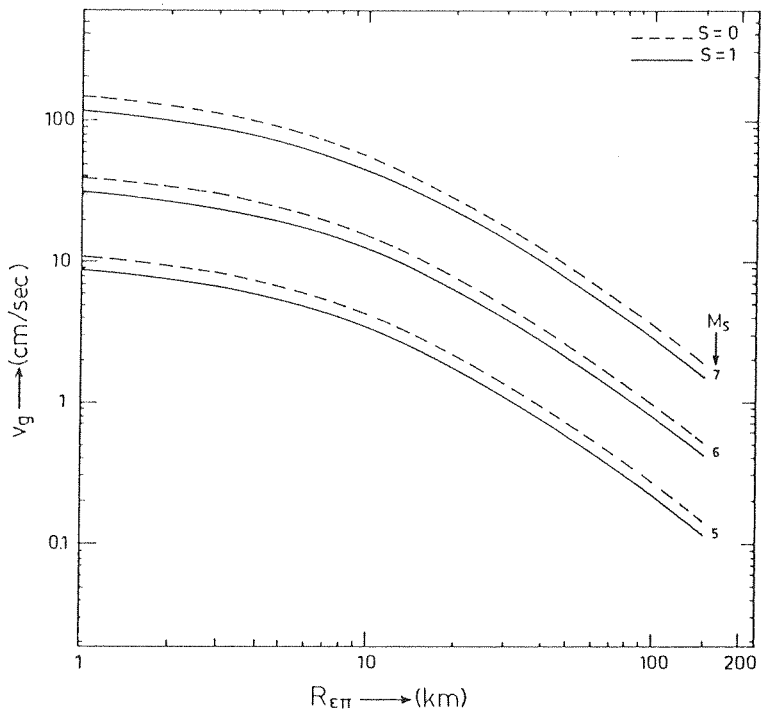
$$\ln d_g = -4.43 + 1.58M_L - 1.45\ln(R+5) - 1.63S + 1.68P \quad (2.26)$$

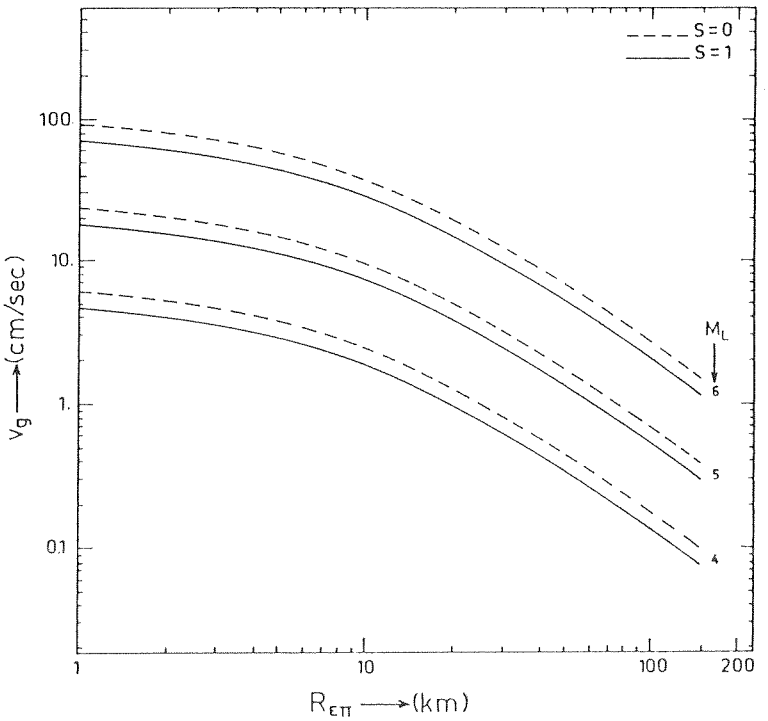
όπου a_g, v_g, d_g σε cm/sec^2, cm/sec, cm, αντίστοιχα, Ms το επιφανειακό μέγεθος, M_L το τοπικό μέγεθος, $R_{\varepsilon\pi}$ η επικεντρική απόσταση, S ο παράγοντας των εδαφικών συνθηκών, 0 για "αλλουβιακές αποθέσεις", 1 για "σκληρό πέτρωμα" και P έχει την τιμή, 0 για το μέοο όρο και 1 για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Στα σχήματα (2.41), (2.42), (2.43),δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, a_g, ταχύτητας, v_g, μετάθεσης, d_g, αντίστοιχα, σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, για μεγέθη σεισμών, Ms=5,6,7 ή M_L=4,5,6 και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, δηλαδή, "αλλουβιακές αποθέσεις" και "σκληρό πέτρωμα". Τα ίδια με τα παραπάνω δίνονται στα σχήματα (2.44), (2.45), (2.46), για τη μέγιστη κατακόρυφη εδαφική κίνηση.

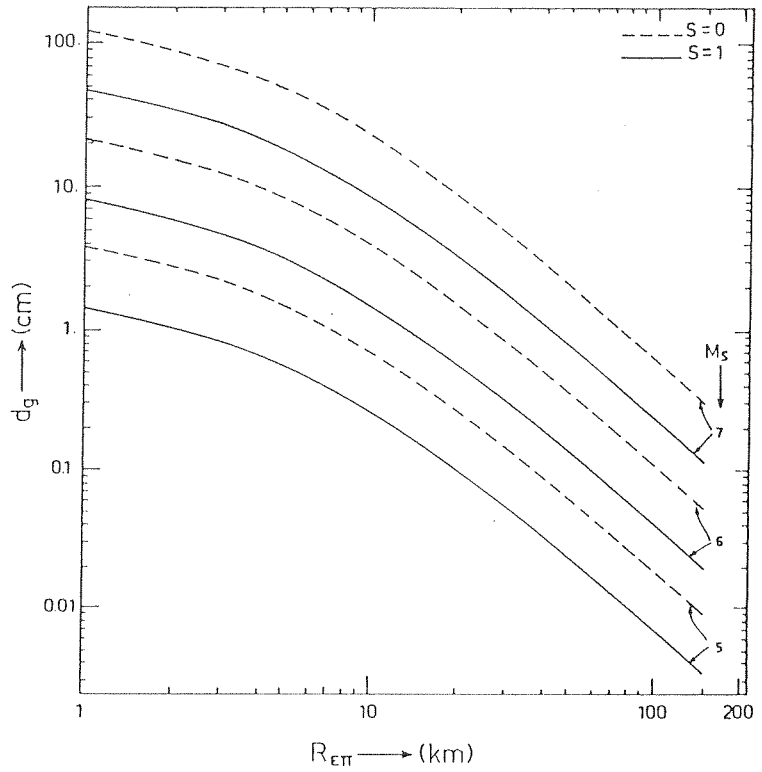


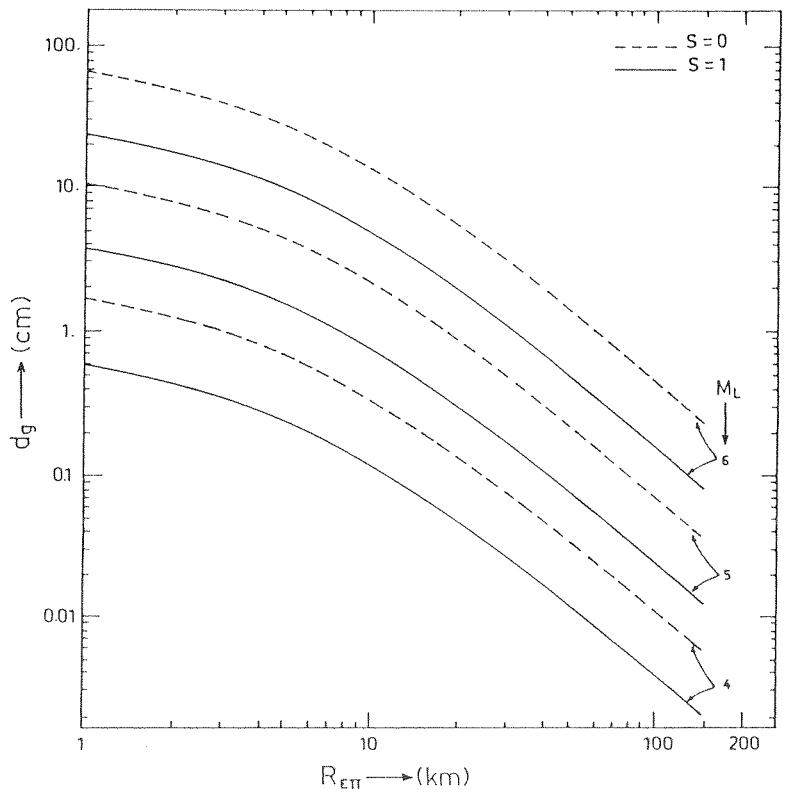
Σχ. 2.41. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος (επιφανειακό – τοπικό), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



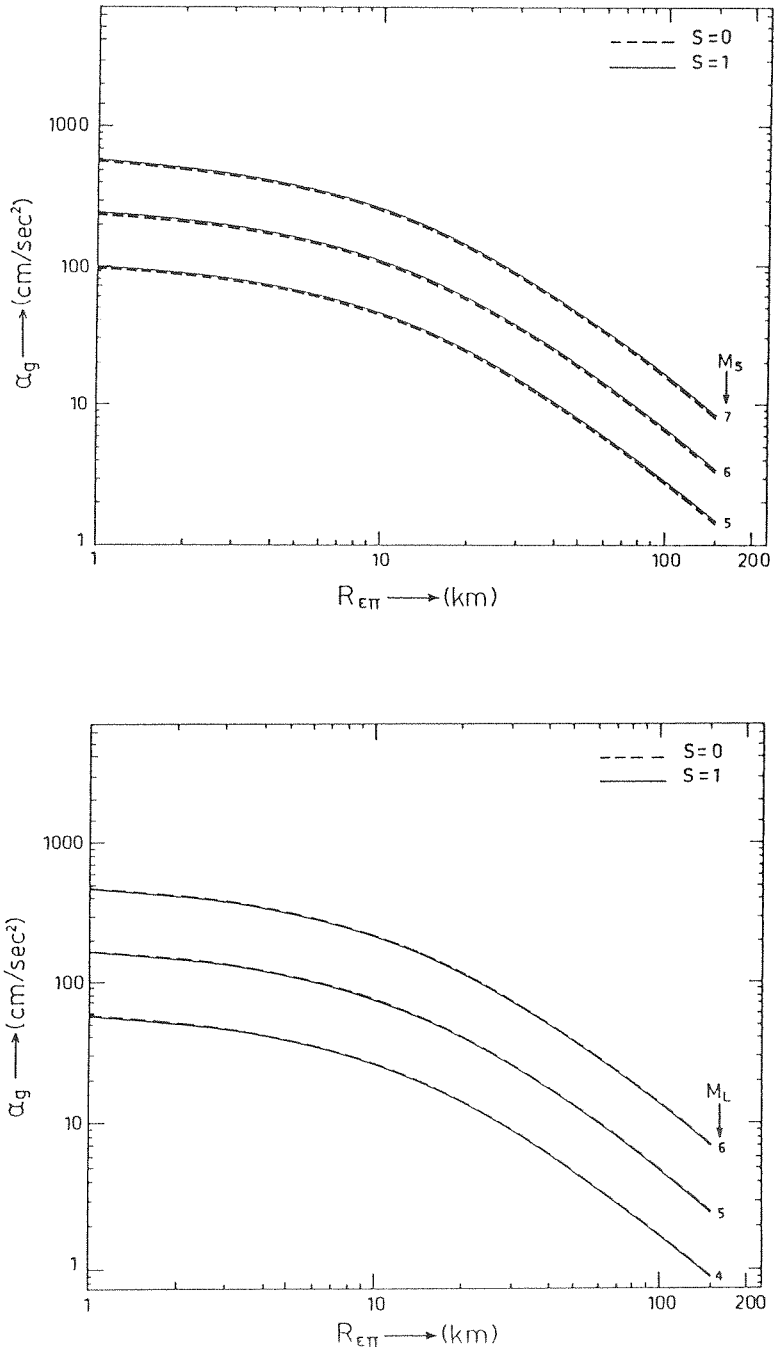


Σχ. 2.42. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος (επιφανειακό – τοπικό), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

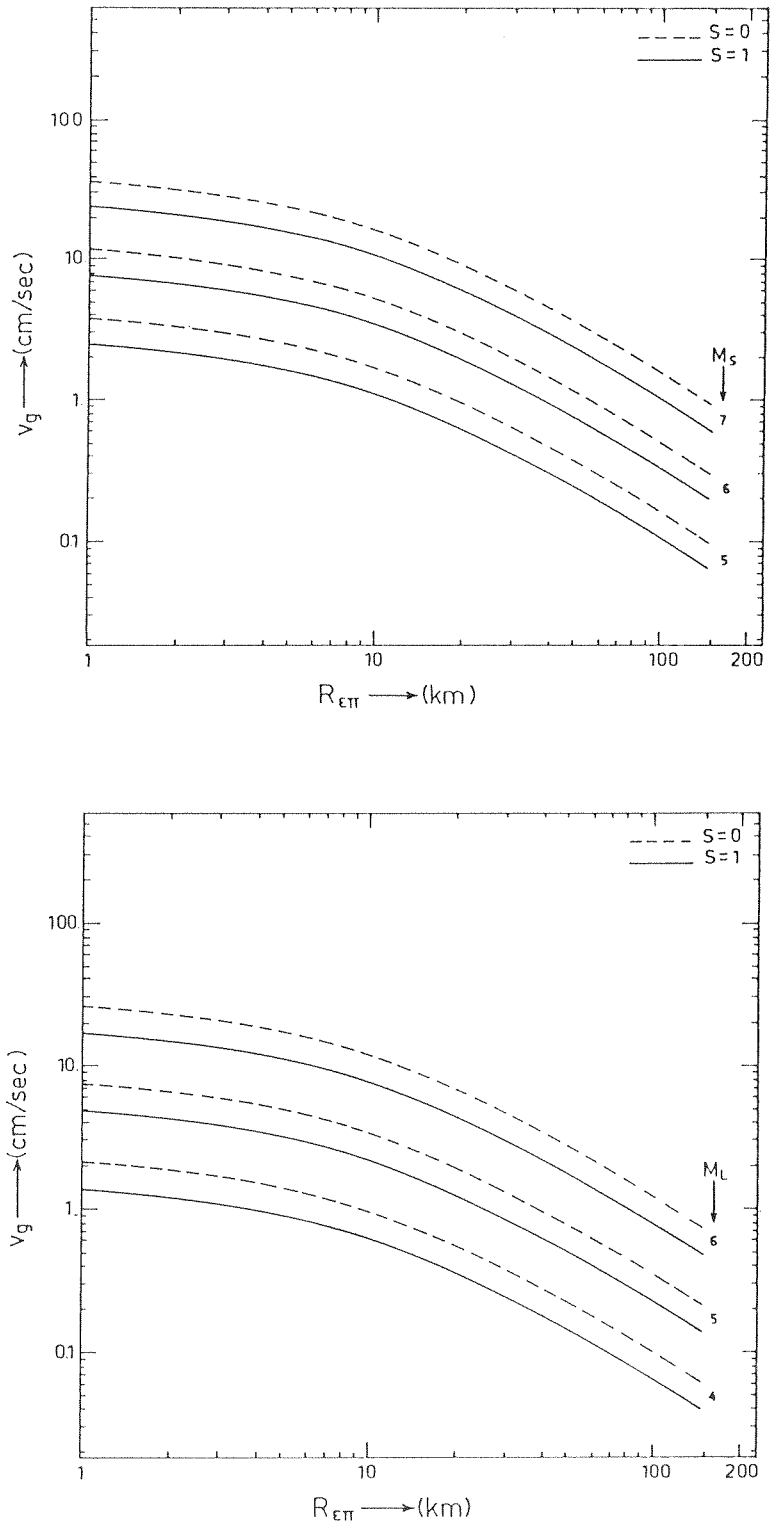




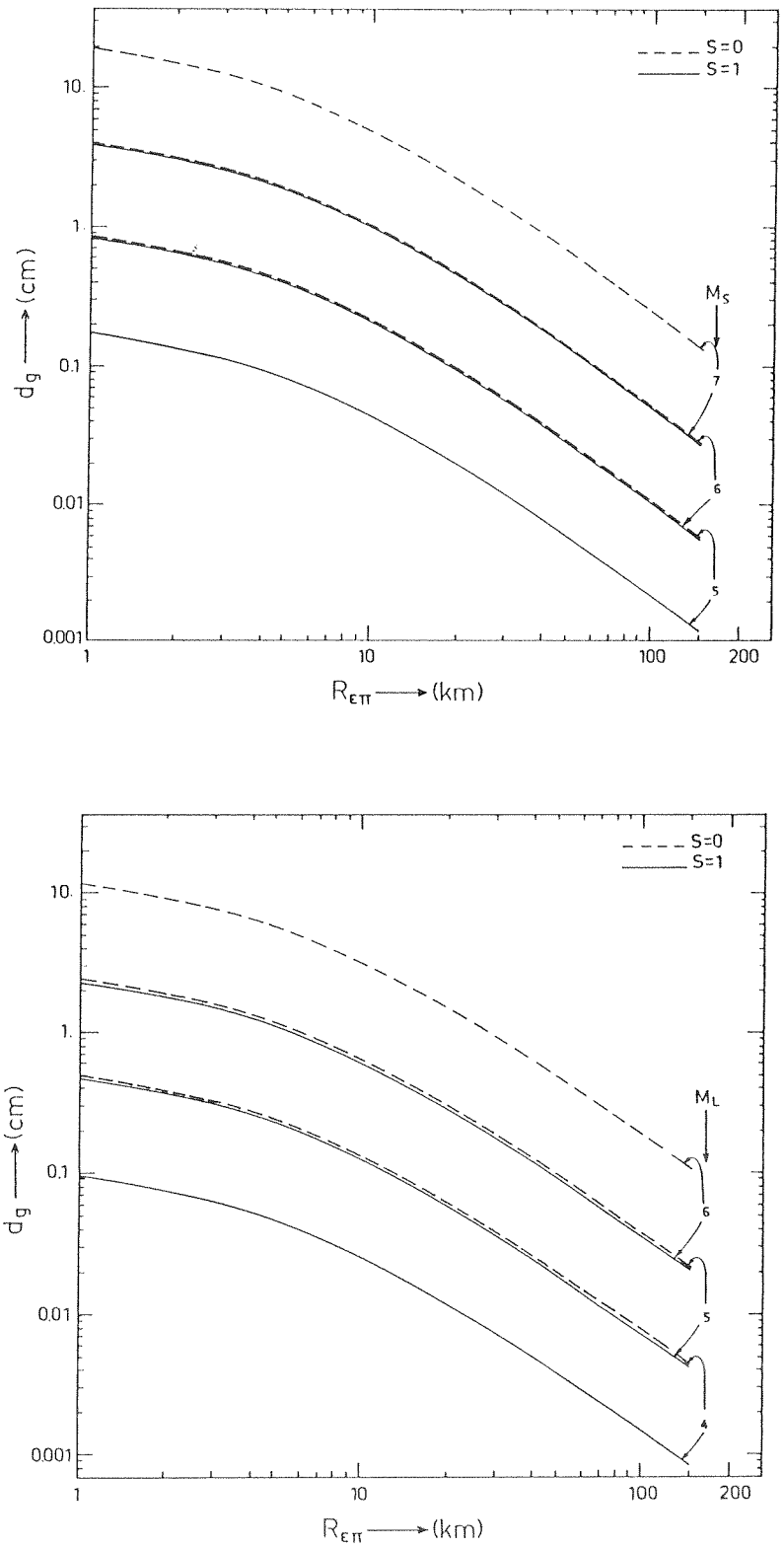
Σχ. 2.43. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος (επιφανειακό–τοπικό), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.44. Απόσβεση της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος (επιφανειακό-τοπικό), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.45. Απόσβεση της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής ταχύτητας σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος (επιφανειακό-τοπικό), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.46. Απόσβεση της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής μετάθεσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος (επιφανειακό-τοπικό), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

2.3 Απόσβεση της Οριζόντιας Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g\}$ Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Δεδομένα Σεισμών Μεγεθών Ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$ από Αλλες Περιοχές.

2.3.1. Κριτήρια επιλογής επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών με μεγέθη ροπής $7.0 < Mw \leq 7.5$

Εχει αναφερθεί ότι το Ελληνικό δείγμα δεδομένων επιταχυνσιογραμμάτων περιορίζεται, μέχρι σήμερα, σε σεισμούς με επιφανειακό μέγεθος $Ms \leq 7.0$. Επιφανειακοί σεισμοί με επιφανειακά μεγέθη μεγαλύτερα από 7.0 και μικρότερα από 8.0 έχουν συμβεί κατά το παρελθόν στον Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές (Papazachos 1990). Για το λόγο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο να προστεθούν στο Ελληνικό δείγμα επιταχυνσιογράμματα επιφανειακών σεισμών παρόμοιων μεγεθών, από διάφορες περιοχές ζωνών κατάδυσης (subduction zones). Η επιλογή τέτοιων επιταχυνσιογραμμάτων έγινε από την τράπεζα δεδομένων του ΙΤΣΑΚ. Τα κριτήρια επιλογής των επιταχυνσιογραμμάτων αυτών ήταν τα εξής:

α) Το βάθος της εστίας του σεισμού να είναι μικρότερο από 35 km.

β) Το μέγεθος του σεισμού, Mw ή M_{JMA}, (JMA:Japan Meteorological Agency) να είναι μεγαλύτερο του 7.0 και μικρότερο του 8.0.

γ) Ο επιταχυνσιογράφος να έχει διεγερθεί πριν από την είσοδο των εγκαρσίων κυμάτων , S.

δ) Οι καταγραφές να είναι ελεύθερου πεδίου.

ε) Να είναι γνωστές τουλάχιστον οι γεωλογικές συνθήκες στο σταθμό καταγραφής.

2.3.2. Δεδομένα παρατήρησης

α. Παράμετροι των σεισμών

Με την εφαρμογή των προαναφερομένων κριτηρίων επιλέχθηκαν 16 οριζόντες συνιστώσες επιταχυνσιογραμμάτων. Οι καταγραφές αυτές προέρχονται από 4 επιφανειακούς σεισμούς, περιβάλλοντος ζωνών κατάδυσης, καλύπτουν διάστημα μεγεθών ροπής, Mw, ή μεγεθών κλίμακας M_{JMA}, μεταξύ του 7.2 και 7.5 και επικεντρικών αποστάσεων μεταξύ των 48 και 236 km.Εχει βρεθεί ότι για επιφανειακά μεγέθη, Ms, μεταξύ του 6 και 8 είναι Mw≈Ms, ενώ για μεγέθη, M_{JMA}, μικρότερα του 8 αυτά προσεγγίζουν ικανοποιητικά το μέγεθος ροπής, Mw (Heaton et al.,1986). Για τον Ελληνικό χώρο βρέθηκε ότι για 5.5≤Ms≤7.2 είναι Ms=Mw (Παπαζάχος 1989). Υστερα από τα παραπάνω θεωρήσαμε ως ενιαία κλίμακα μεγέθους για το δείγμα, εκείνη του επιφανειακού,Ms.

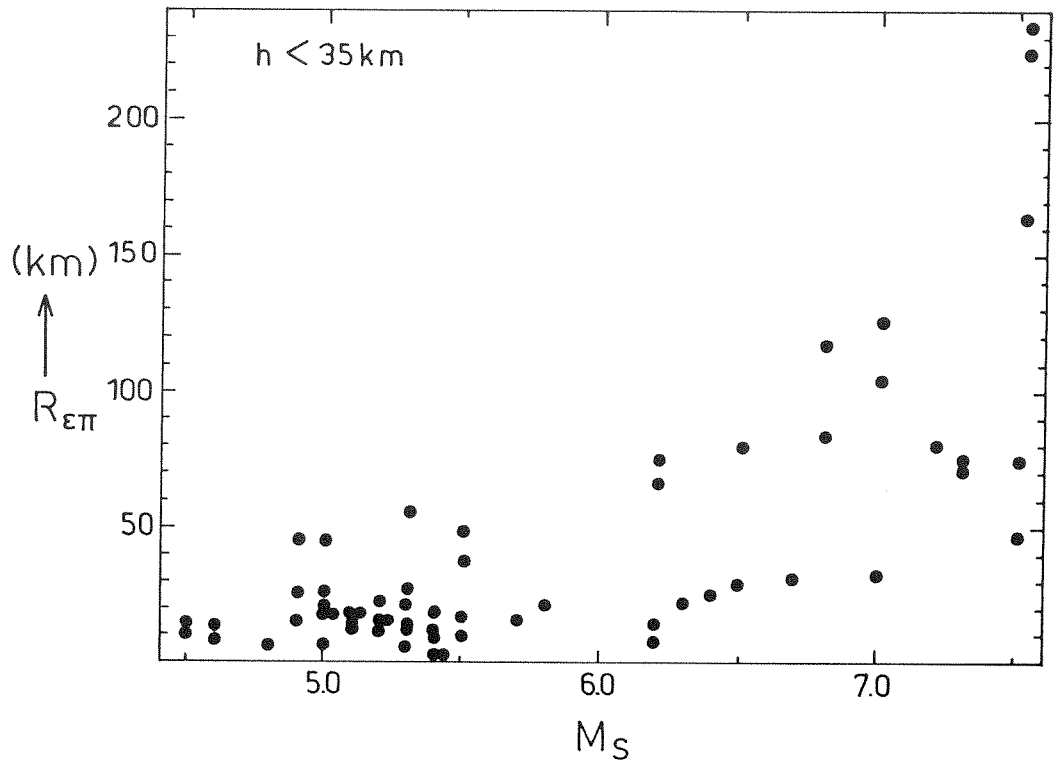
Στον πίνακα (2.8) δίνονται οι παράμετροι των σεισμών του δείγματος και στο σχήμα (2.47) δίνεται συνολικά η κατανομή των δεδομένων αυτών και εκείνων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού δείγματος (πίνακας 2.1), με το μέγεθος, Ms και την επικεντρική απόσταση, $R_{επ}$. Η έλλειψη δεδομένων μεγάλων σεισμών με μέγεθος, Ms>7.0, στο κοντινό πεδίο, $R_{επ}$<30km, είναι εμφανής από το σχήμα (2.47).

β. Επιταχυνσιογράμματα

Τα στοιχεία των επιταχυνσιογραμμάτων τα οποία προστέθηκαν σε εκείνα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου δίνονται στον πίνακα (2.9).

γ. Εδαφικές συνθήκες στις θέσεις καταγραφής

Η διάκριση των εδαφικών συνθηκών των δεδομένων του πίνακα (2.9) έγινε σε δύο κατηγορίες με το χαρακτηρισμό 0 για τις "αλλουβιακές αποθέσεις" και 1 για το "σκληρό πέτρωμα". Ο τρόπος με τον οποίο έγινε αυτή η διάκριση περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω (παράγραφος 2.4.2.γ).



Σχ. 2.47. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με επιταχυνσιογράμματα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$, με το επιφανειακό μέγεθος και την απόσταση.

Πίνακας 2.8. Παράμετροι των επιφανειακών σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης.

No	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΝΕΣ φ°	λ°	ΒΑΘΟΣ h(km)	ΜΕΓΕΘΟΣ M_{JMA}	Mw	ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΠΙΤΑΧ/ΤΩΝ
1	16-05-1968 19:39	41.52N	142.65E	26	7.5		JAPSH1 JAPSH2 JAPSH3
2	12-06-1968 22:42	39.47N	142.88E	31	7.2		JAPSH4
3	30-07-1972 21:45	56.77N	135.91W	29		7.5	ALASH1
4	28-02-1979 21:27	60.64N	141.59W	13		7.3	ALASH2 ALASH3 ALASH4

Πίνακας 2.9. Δεδομένα της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης των επιφανειακών σεισμών από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης.

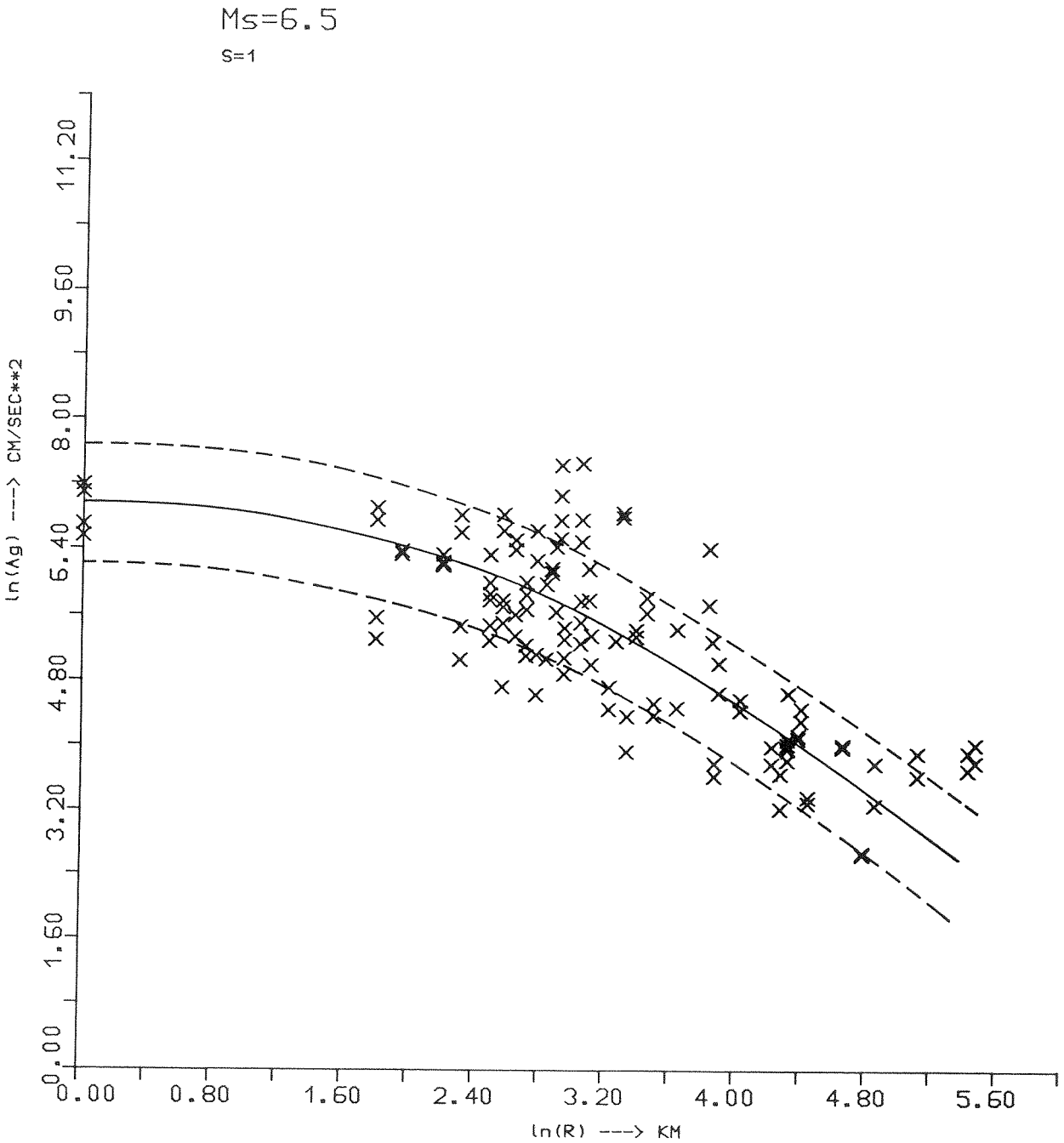
No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓ/ΦΗΣ	ΣΥΝ/ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°	λ°	$R_{επ}$ (km)	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
1	JAPSH1	42.32N	140.97E	236	113.8	6.1	1.0	0	
					90.6	5.6	2.0		
2	JAPSH2	42.07N	143.03E	75	107.0	3.6	1.1	0	
					113.7	5.2	2.0		
3	JAPSH3	39.63N	141.97E	226	154.8	4.4	0.7	1	
					124.4	3.3	0.6		
4	JAPSH4	39.63N	141.97E	81	190.2	5.9	1.2	1	
					163.5	5.1	0.6		
5	ALASH1	57.06N	135.32W	48	76.5	7.5	3.8	0	84
					89.4	6.6	3.0		
6	ALASH2	59.51N	139.65W	166	81.3	24.3	14.4	0	401
					60.8	31.5	22.0		
7	ALASH3	59.97N	141.64W	75	171.4	35.1	11.2	0	208
					96.3	21.0	7.0		
8	ALASH4	60.02N	141.97W	72	62.8	11.2	3.6	0	168
					40.8	6.7	1.9		

2.3.3. Μεθοδολογία

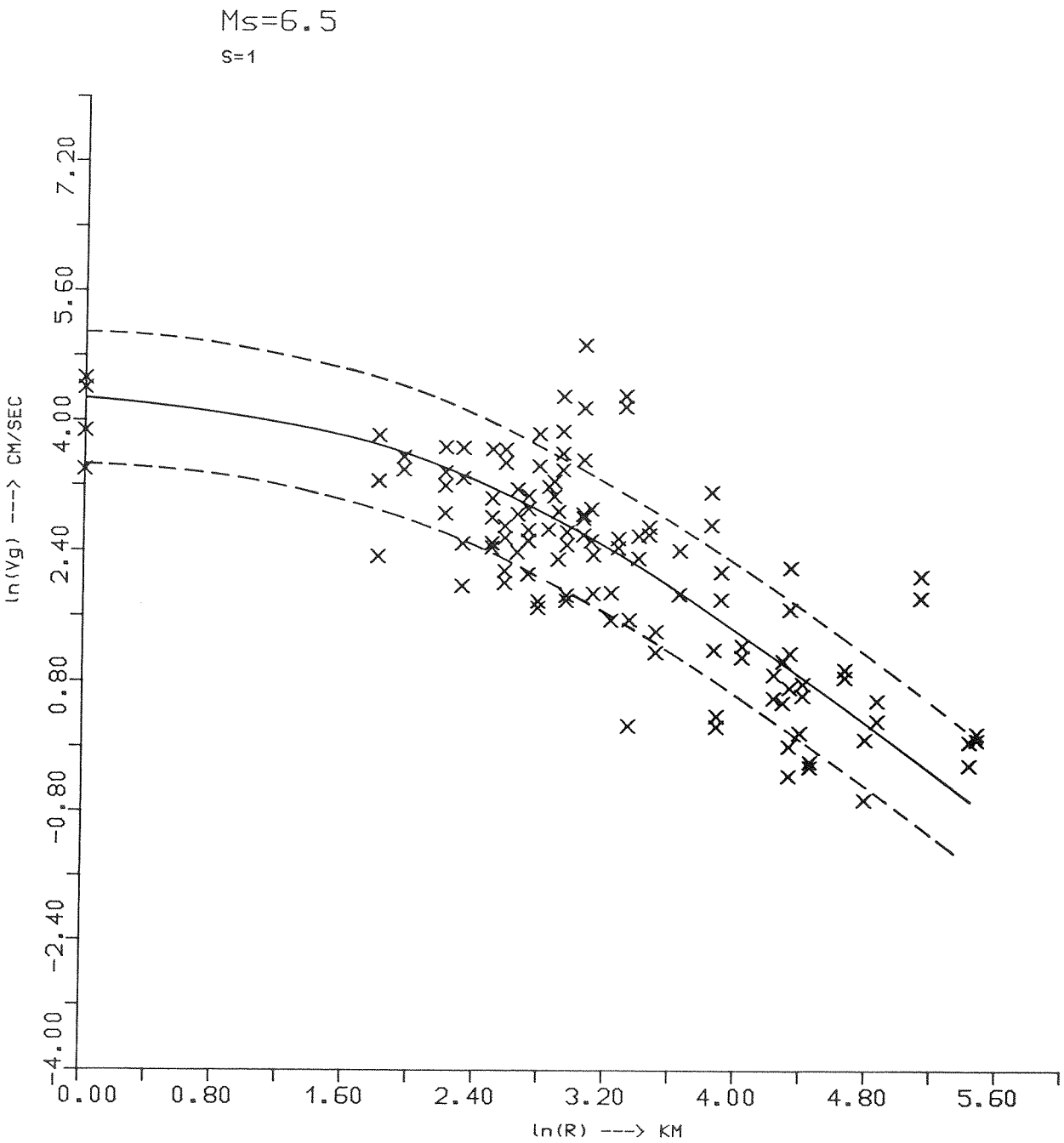
Προκειμένου να υπολογισθούν οι συντελεστές των σχέσεων απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης του συνολικού δείγματος επιταχυνσιογραμμάτων επιφανειακών σεισμών, δηλαδή των 105 οριζοντίων συνιστωσών του Ελληνικού δείγματος και των 16 οριζοντίων συνιστωσών επιφανειακών σεισμών από περιοχές ζωνών κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών, θεωρήθηκε ότι οι συντελεστές γεωμετρικής διασποράς C_{33} και οι C_{41}, έχουν προσδιορισθεί ικανοποιητικά από τα Ελληνικά δεδομένα και μόνο. Βασικός λόγος για την παραδοχή αυτή είναι το γεγονός ότι τα σφάλματα των επικέντρων των σεισμών του Αιγαίου είναι γνωστά με ακρίβεια και οι μικρές τιμές τους ενισχύουν την αξιοπιστία των επικεντρικών αποστάσεων. Επιπλέον οι καταγραφές τους καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επικεντρικών αποστάσεων. Ετσι, οι συντελεστές γεωμετρικής διασποράς C_{33} και οι συντελεστές C_{41}, υιοθετήθηκαν από τα Ελληνικά και μόνο δεδομένα. Για τον υπολογισμό των υπόλοιπων συντελεστών, C_{12}, C_{22}, C_{52} χρησιμοποιήθηκε η σχέση (2.13).

2.3.4. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης $\{a_g, v_g, d_g\}$, επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$, από άλλες περιοχές.

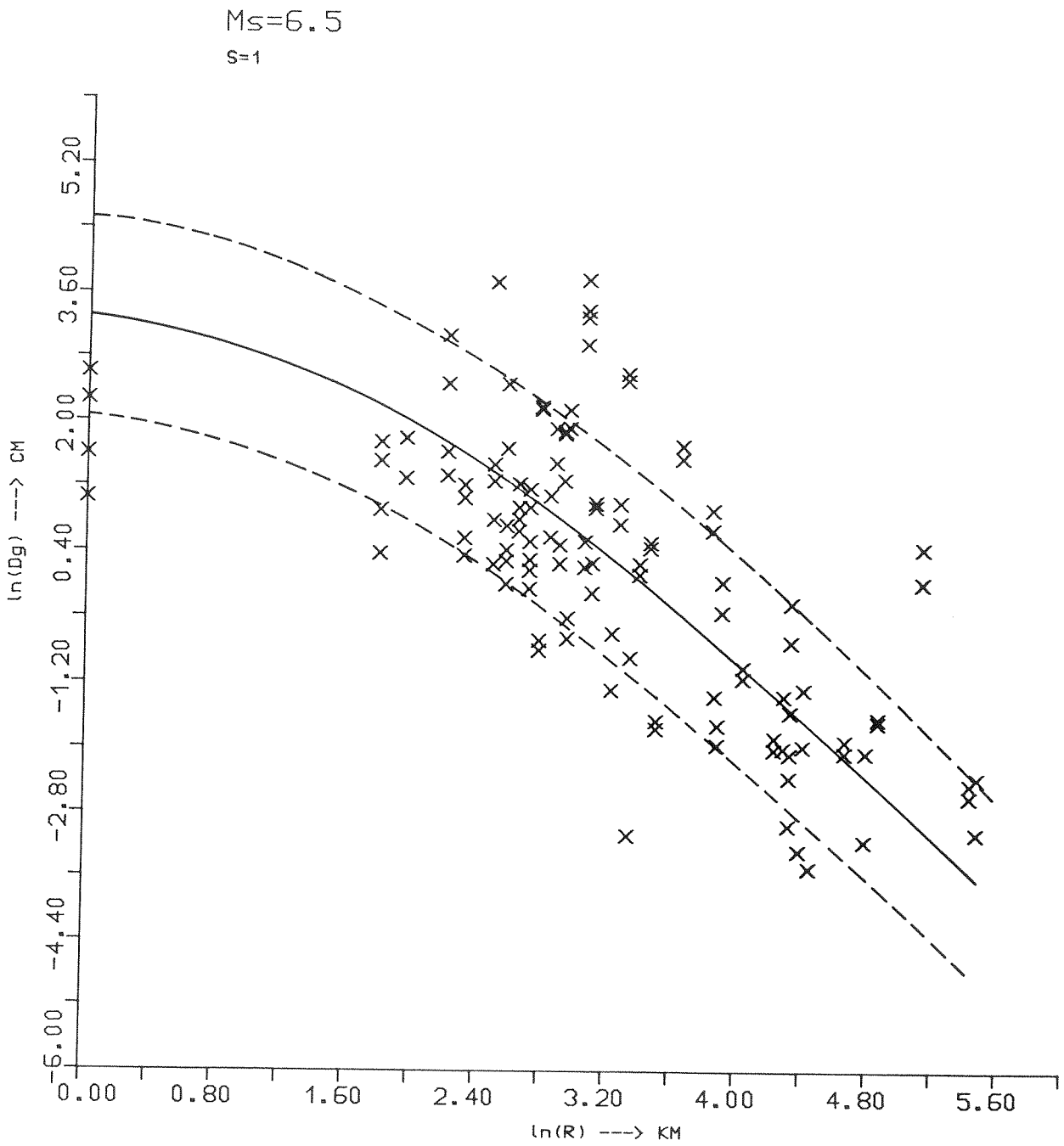
Στον πίνακα (2.10) δίνονται οι τιμές των συντελεστών της σχέσης (2.13) για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση όπως προέκυψαν για το συνολικό δείγμα των επιφανειακών σεισμών του Αιγαίου και των επιφανειακών σεισμών περιβάλλοντος ζωνών κατάδυσης με μεγέθη ροπής, Mw, ή M_{JMA}, μεταξύ του 7.0 και 7.5.



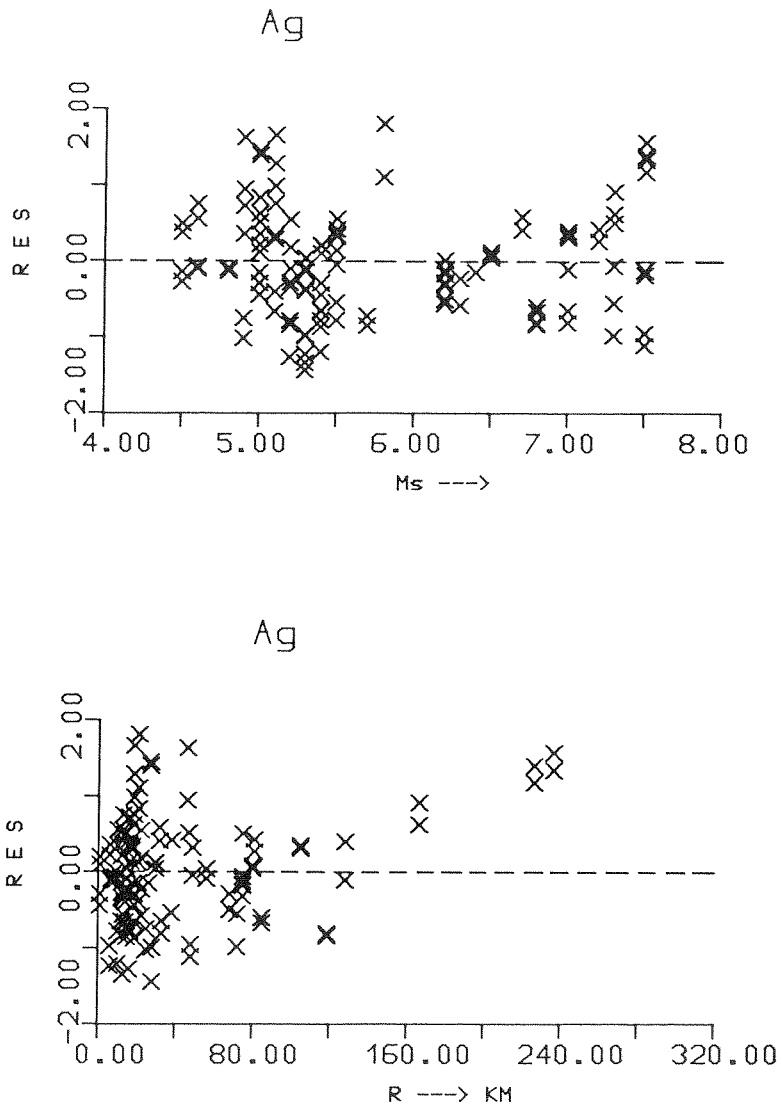
Σχ. 2.48. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για $M_S=6.5$ και $S=1$, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_W\leq 7.5$.



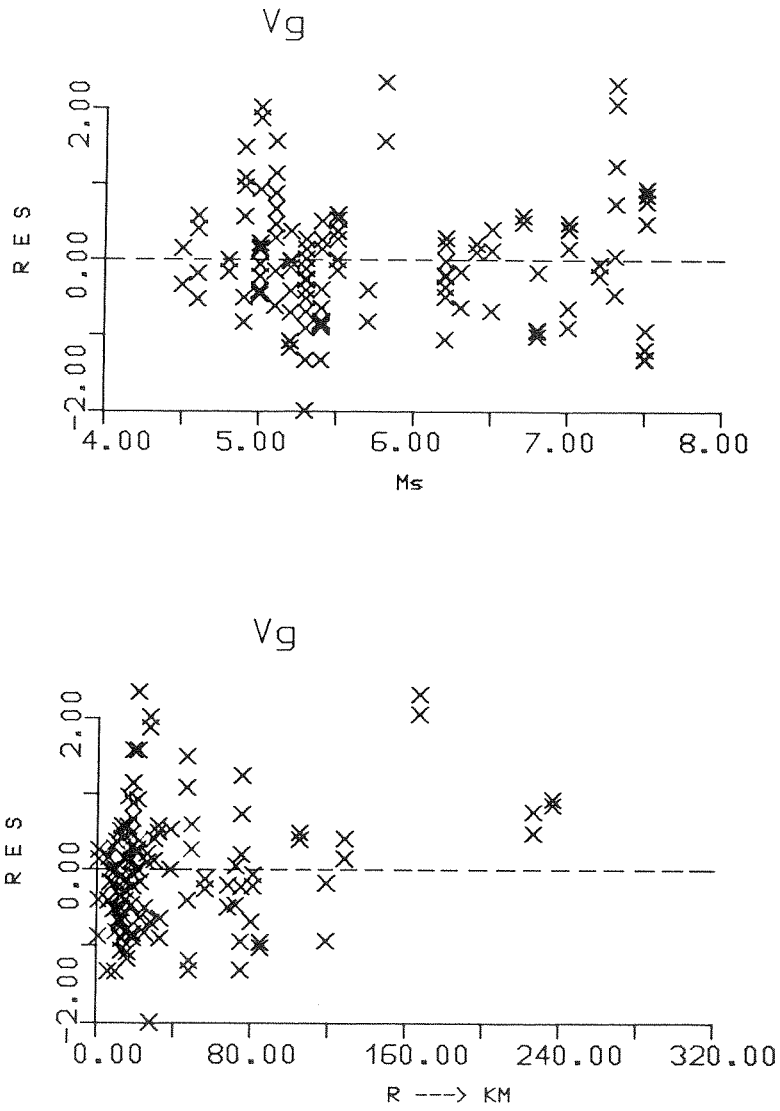
Σχ. 2.49. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_s=6.5 και S=1, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_w\leq 7.5$.



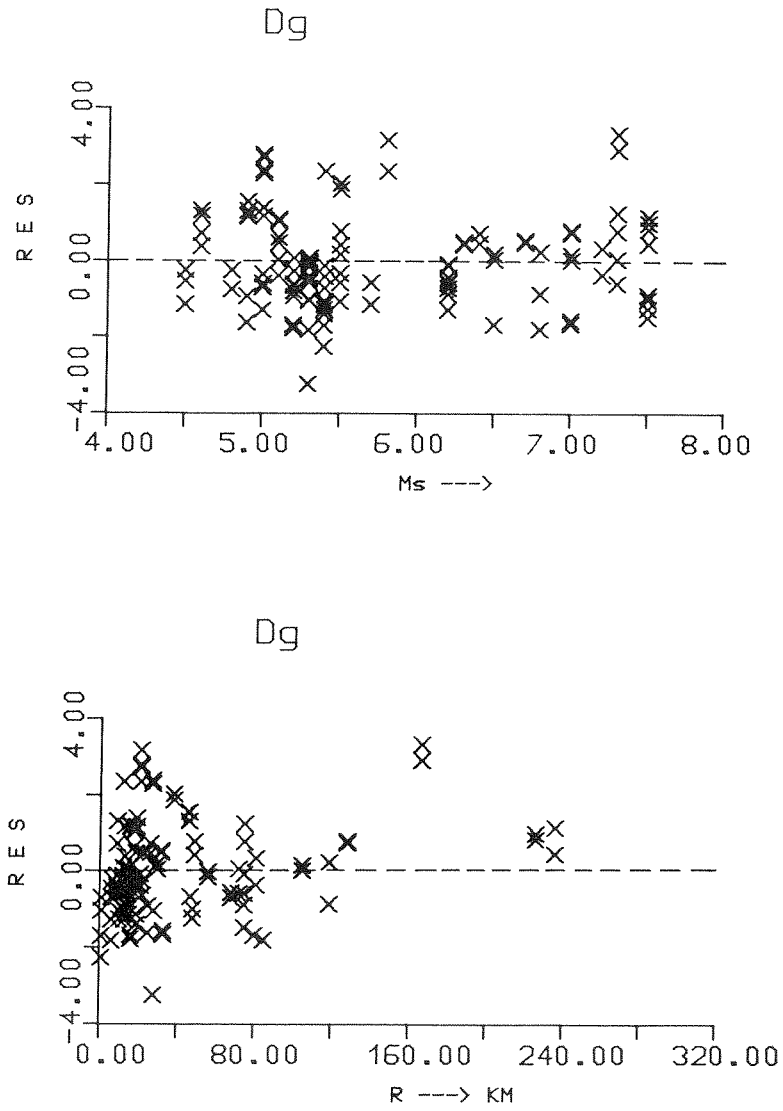
Σχ. 2.50 Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_s=6.5 και S=1, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_w\leq7.5$.



Σχ. 2.51 Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, της σχέσης (2.13), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$.



Σχ. 2.52. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, της σχέσης (2.13), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$.



Σχ. 2.53. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, της σχέσης (2.13), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$.

Πίνακας 2.10. Τιμές των συντελεστών, Cij, της σχέσης (2.13) γιά τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g και των αντίστοιχων μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων, σ_{lnY}, γιά τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου ενισχυμένους με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$.

	a_g	v_g	d_g
C_{12}	3.88	-0.79	-5.92
C_{22}	1.12	1.41	2.08
C_{33}	-1.65	-1.62	-1.85
C_{41}	15	10	5
C_{52}	0.41	-0.22	-0.97
σ_{lnY}	0.71	0.80	1.23

Στα σχήματα (2.48), (2.49), (2.50) δίνεται με συνεχόμενη γραμμή η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, αντίστοιχα, σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, όπως αυτή προέκυψε με τη χρήση των συντελεστών $C_{12}, C_{22}, C_{33}, C_{41}, C_{52}$ του πίνακα (2.10), για επιφανειακό μέγεθος, Ms=6.5, και S=1. Στα ίδια σχήματα φαίνονται και οι ανηγμένες, σε επιφανειακό μέγεθος Ms=6.5 και S=1, μέγιστες τιμές επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων, των 121 οριζοντίων συνιστωσών του δείγματος. Στα παραπάνω σχήματα δίνονται, με διακεκομμένη γραμμή, και οι αντίστοιχες μέσες τιμές με ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Στα σχήματα (2.51), (2.52), (2.53) δίνεται η μεταβολή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (2.13) σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, και το μέγεθος, Ms, για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, αντίστοιχα. Στην περίπτωση της εδαφικής επιτάχυνσης, στην κατανομή των υπολοίπων σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, φαίνεται να υπάρχει κάποια εξάρτηση για αποστάσεις μεγαλύτερες από 130 km. Τα δεδομένα όμως για τις αποστάσεις αυτές είναι ελάχιστα και η τάση αυτή δε λήφθηκε υπόψη. Στις κατανομές των υπολοίπων για την εδαφική ταχύτητα και

μετάθεση δεν παρατηρείται καμμία εμφανής τάση και επομένως το μοντέλο πρόβλεψης της σχέσης (2.13) μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό.

Στα ιστογράμματα του σχήματος (2.54) δίνεται η κατανομή των υπολοίπων για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, αντίστοιχα. Από τα ιστογράμματα αυτά φαίνεται ότι τα υπόλοιπα της σχέσης (2.13) ακολουθούν κανονική κατανομή.

Από τους συντελεστές, Cij, του πίνακα (2.10), προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις απόσβεσης για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου στους οποίους συμπεριλήφθηκαν και επιφανειακοί σεισμοί από περιοχές ζωνών κατάδυσης με μεγέθη, Ms, μεταξύ του 7.0 και 7.5,

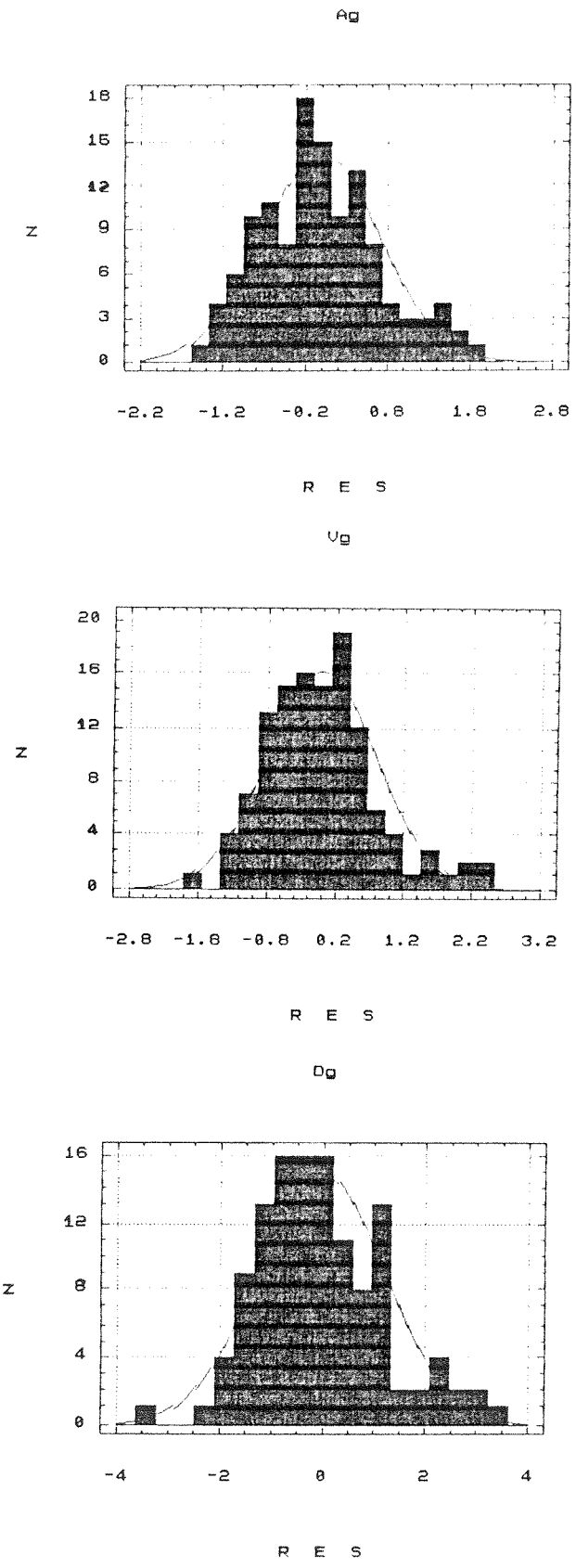
$$\ln a_g = 3.88 + 1.12Ms - 1.65\ln(R_{\varepsilon\pi} + 15) + 0.41S + 0.71P \qquad (2.27)$$

$$\ln v_g = -0.79 + 1.41Ms - 1.62\ln(R_{\varepsilon\pi} + 10) - 0.22S + 0.80P \qquad (2.28)$$

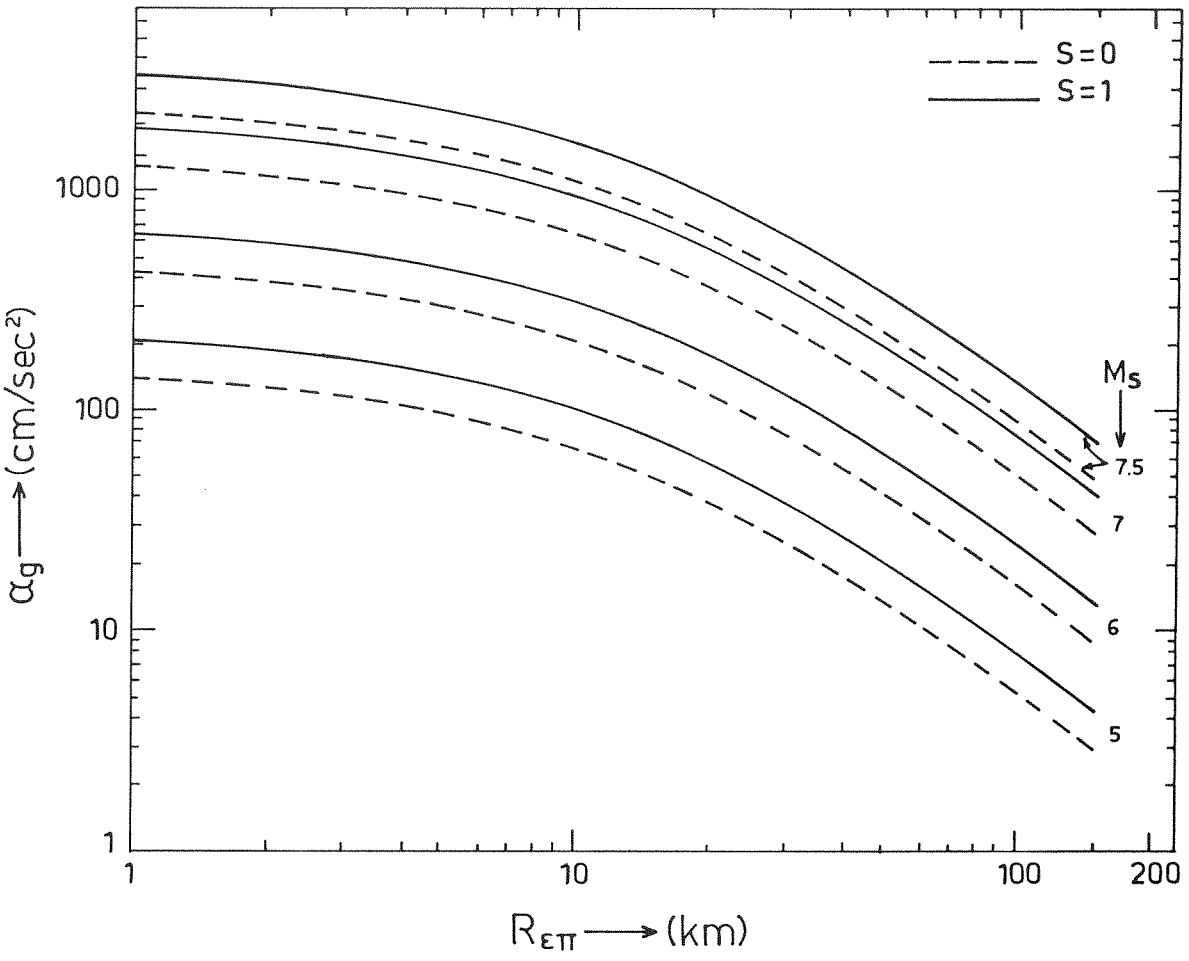
$$\ln d_g = -5.92 + 2.08Ms - 1.85\ln(R_{\varepsilon\pi} + 5) - 0.97S + 1.23P \qquad (2.29)$$

όπου a_g, v_g, d_g σε cm/sec^2, cm/sec, cm, αντίστοιχα, Ms το επιφανειακό μέγεθος, $R_{\varepsilon\pi}$ η επικεντρική απόσταση, S ο παράγοντας των εδαφικών συνθηκών, 0 για "αλλουβιακές αποθέσεις", 1 για "σκληρό πέτρωμα" και P έχει την τιμή, 0 για το μέσο όρο και 1 για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

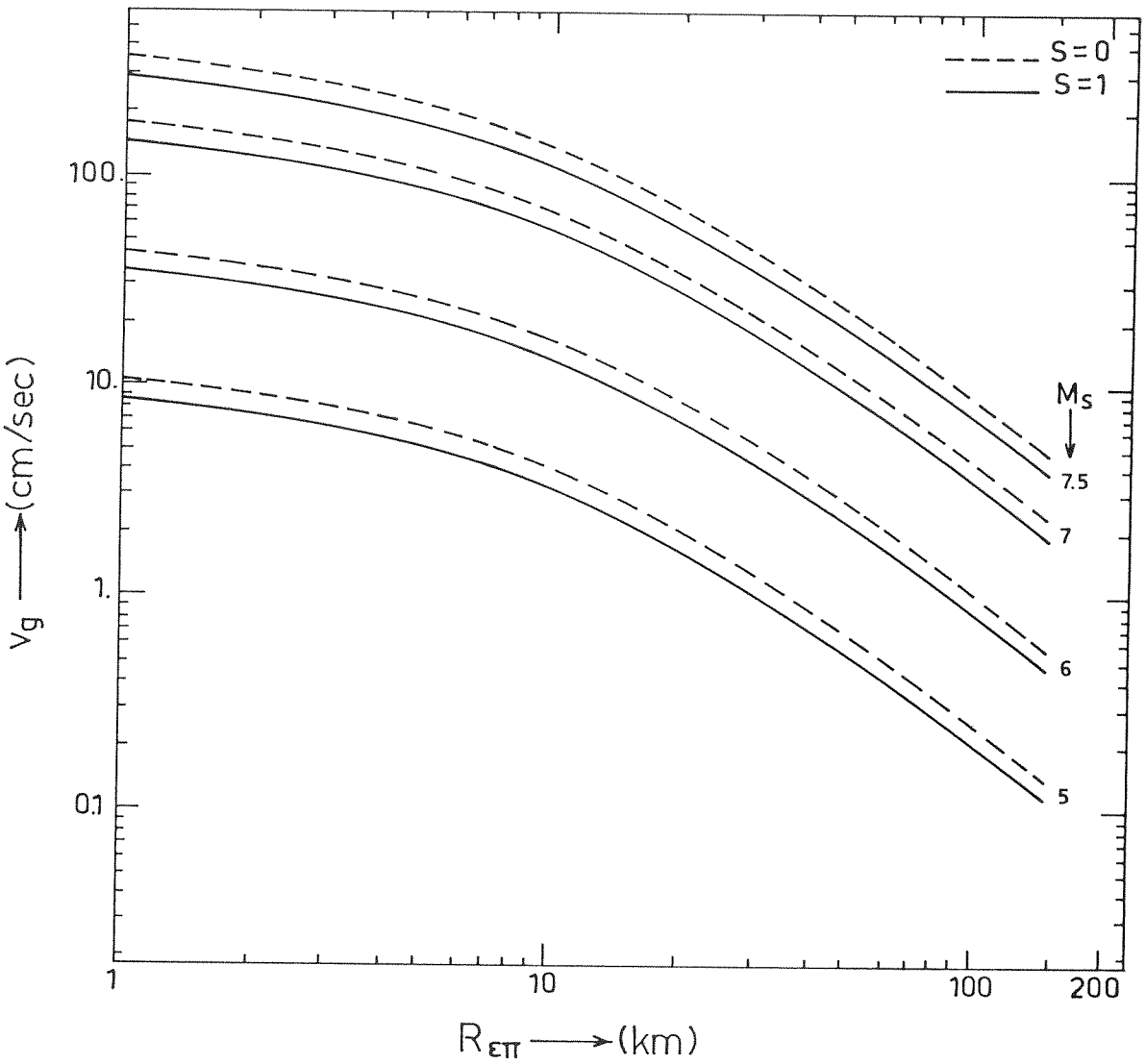
Στα σχήματα (2.55), (2.56), (2.57) δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, a_g, ταχύτητας, v_g, μετάθεσης, d_g, αντίστοιχα, σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, για επιφανειακά μεγέθη σεισμών Ms=5,6,7,7.5 και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, δηλαδή "αλλουβιακές αποθέσεις" και "σκληρό πέτρωμα".



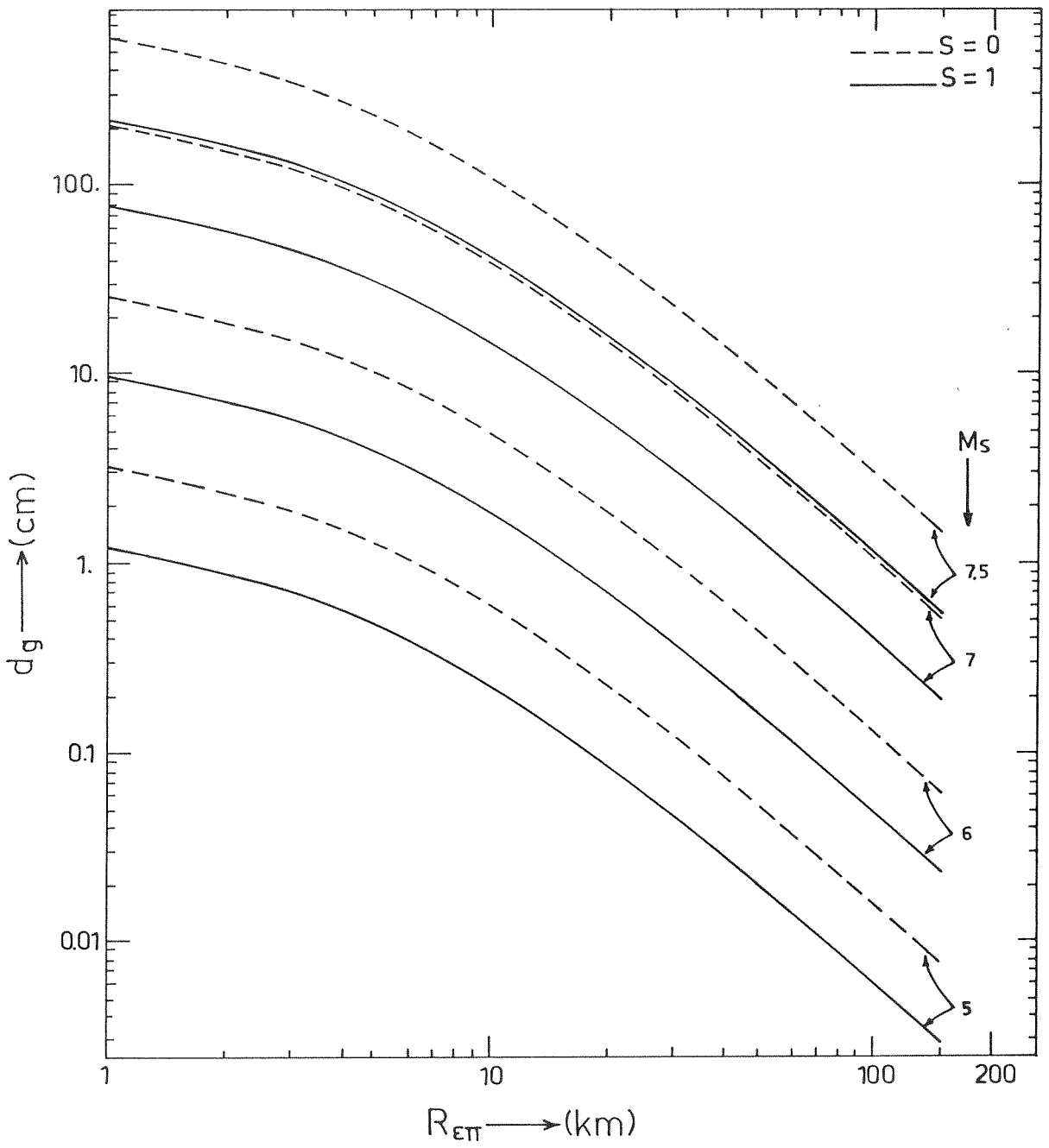
Σχ. 2.54. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (2.13), της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$.



Σχ. 2.55. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.



Σχ. 2.56. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.



Σχ. 2.57. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, τις εδαφικές συνθήκες και το επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.

2.4. Απόσβεση της Οριζόντιας Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, {a_g, v_g, d_g}, Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους.

2.4.1. Κριτήρια επιλογής επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

Είναι γνωστό ότι οι σεισμοί ενδιαμέσου βάθους προκαλούνται στο νότιο Αιγαίο και οι εστίες τους καθορίζουν μια ζώνη Benioff αμφιθεατρικού σχήματος η οποία κλίνει από το κυρτό προς το κοίλο μέρος του Ελληνικού τόξου (Papazachos and Comninakis 1969,1971, Comninakis and Papazachos 1980, Panagiotopoulos et al. 1984). Ορισμένοι από τους σεισμούς αυτούς είναι πολύ μεγάλοι (Ms≈8.0) και κατά συνέπεια αποτελούν σοβαρή απειλή για τον ευρύτερο χώρο της νότιας Ελλάδας.

Η έλλειψη δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης από τους σεισμούς αυτούς μας οδήγησε στη δημιουργία τράπεζας δημοσιευμένων επιταχυνσιογραμμάτων από άλλες περιοχές της Γης με παρόμοιο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον με εκείνο της ζώνης κατάδυσης του Ελληνικού τόξου. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από την Ιαπωνία, την Αλάσκα, τη Ρουμανία, το Περού και τη Νέα Ζηλανδία. Το σύνολο των ψηφιοποιημένων και διορθωμένων επιταχυνσιογραμμάτων αποτελείται από 330 οριζόντιες συνιστώσες (Brady and Perez 1977, Brady et al. 1978, Berg et al. 1980, Crouse et al. 1980, Mori and Crouse 1981, Beavan and Jacob 1984, Beck et al. 1986, Constantinescu and Sandi 1987).

Προκειμένου να επιλεγεί, από το συνολικό δείγμα δεδομένων, το τελικό δείγμα για επεξεργασία, λήφθηκαν υπόψη ορισμένα κριτήρια σχετικά με τα χαρακτηριστικά των εστιών των σεισμών ενδιαμέσου βάθους του Ελληνικού τόξου. Οι σεισμοί παράγονται από ανάστροφα ρήγματα (Ritsema 1974, McKenzie 1972, 1978, Καρακώστας 1988) και για την ερμηνεία της γένεσής τους προτάθηκε λιθοσφαιρικό μοντέλο της καταδυόμενης λιθόσφαιρας της ανατολικής Μεσογείου (Papazachos and Comninakis 1971, Papazachos 1977, Comninakis and Papazachos 1980). Το πάχος του φλοιού στην περιοχή

του νοτίου Αιγαίου έχει βρεθεί ότι είναι 30km≤d≤35km (Παναγιωτόπουλος 1984) και τα εστιακά βάθη των επιφανειακών σεισμών, με σφάλμα στο βάθος, ERZ≤5 km, στο χώρο του Ελληνικού τόξου κατανέμονται από 0 έως 30 km (Καρακώστας 1988). Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω καθώς και την αξιοπιστία του τελικού δείγματος, για την επιλογή αυτού υιοθετήθηκαν τα εξής κριτήρια:

α) Το βάθος,h, της εστίας του σεισμού να είναι μεγαλύτερο από 35 km.

β) Οι σεισμοί να έχουν παραχθεί από ανάστροφα ρήγματα

γ) Ο επιταχυνσιογράφος να έχει διεγερθεί πριν από την είσοδο των εγκαρσίων κυμάτων , S.

δ) Οι καταγραφές να είναι ελευθέρου πεδίου.

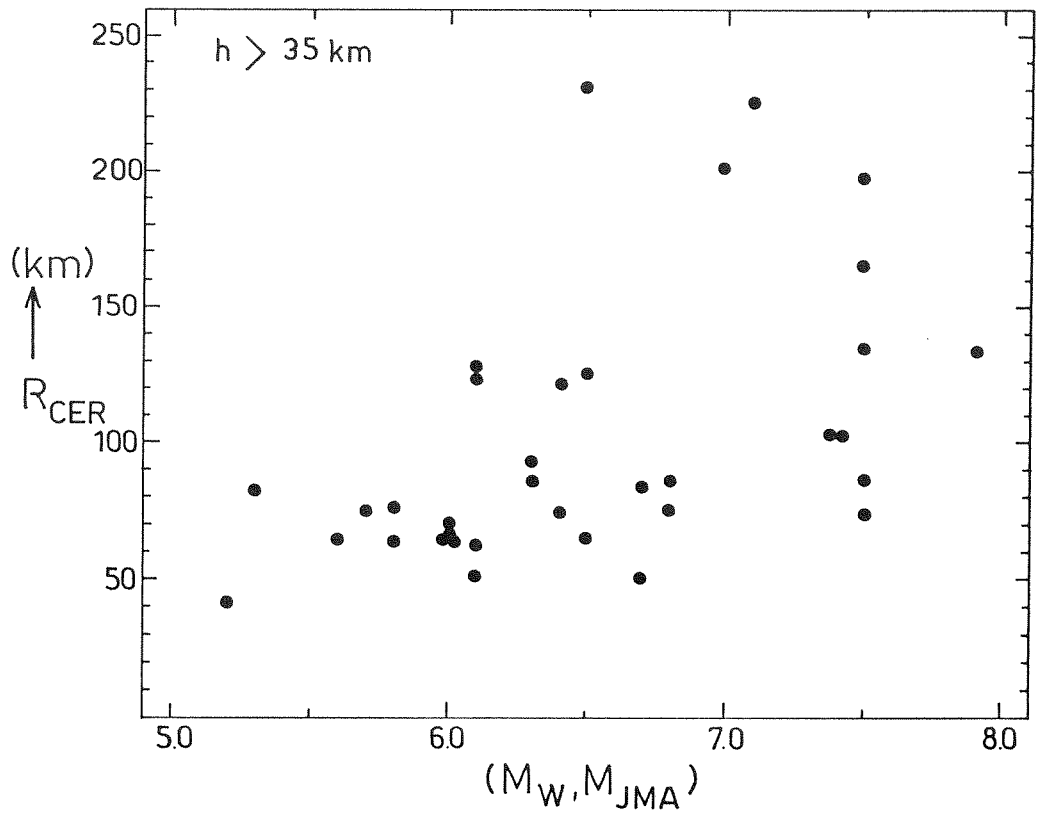
ε) Να είναι γνωστές οι γεωλογικές συνθήκες τουλάχιστον, στο σταθμό καταγραφής.

Με τα κριτήρια αυτά πιστεύουμε ότι έγινε η πλέον ορθολογική επιλογή δεδομένων ισχυρής εδαφικής κίνησης από σεισμούς ενδιαμέσου βάθους τα οποία ικανοποιούν τις προϋποθέσεις για την πρόβλεψη μελλοντικών ισχυρών εδαφικών κινήσεων από ανάλογους σεισμούς του Ελληνικού τόξου.

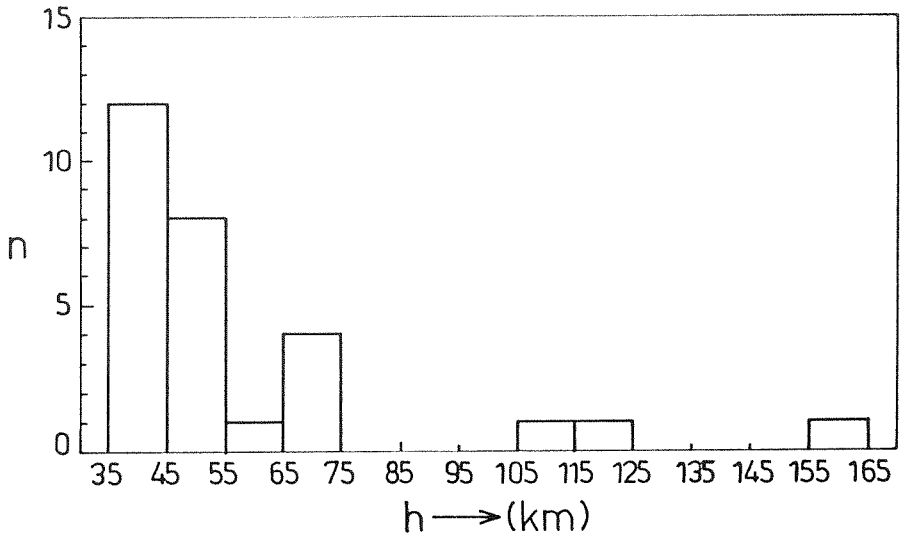
2.4.2. Δεδομένα παρατήρησης

α. Παράμετροι των σεισμών

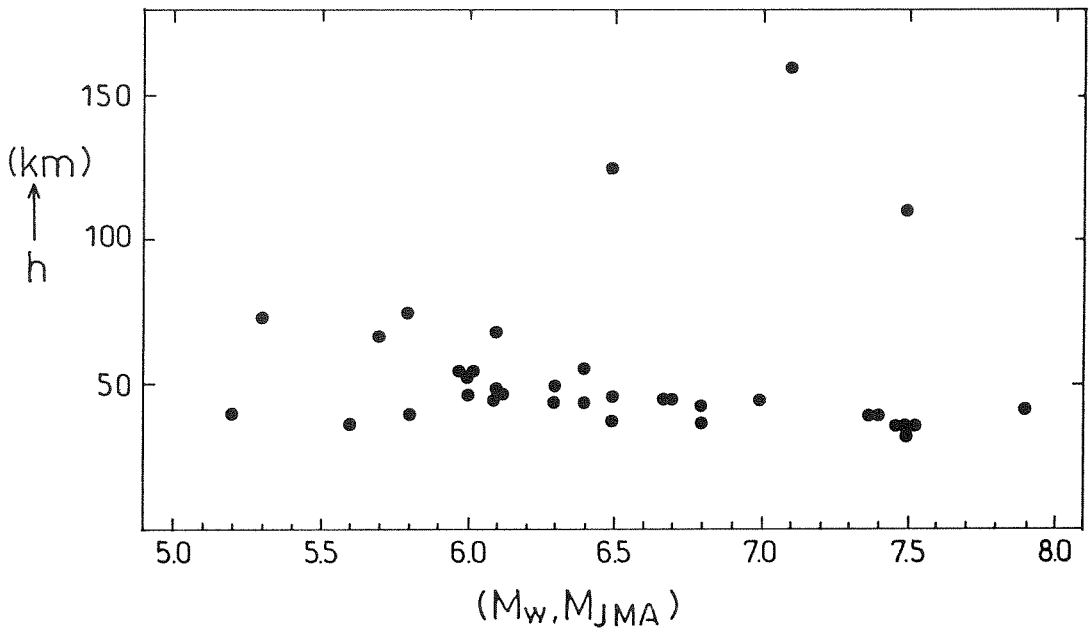
Με την εφαρμογή των προαναφερομένων κριτηρίων, από τις 330 οριζόντιες συνιστώσες επιλέχθηκαν για το τελικό δείγμα οι 70. Οι καταγραφές αυτές προέρχονται από 28 σεισμούς περιβάλλοντος ζωνών κατάδυσης, καλύπτουν διάστημα μεγεθών ροπής, Mw, ή μεγεθών M_{JMA}, 5.2≤M≤7.9, εστιακών βαθών 37≤h≤159 km και αποστάσεων σταθμού από το κέντρο έκλυσης ενέργειας (Center of Energy Release), 42 ≤R_{CER}≤231 km. Στο σχήμα (2.58) φαίνεται η κατανομή των δεδομένων με το μέγεθος, Mw ή M_{JMA}, και την απόσταση, R_{CER}. Η έλλειψη καταγραφών μεγάλων σεισμών, Mw ή M_{JMA}>7.0, στο κοντινό πεδίο, R_{CER}<70 km, είναι εμφανής. Στο σχήμα (2.59) δίνεται ιστόγραμμα



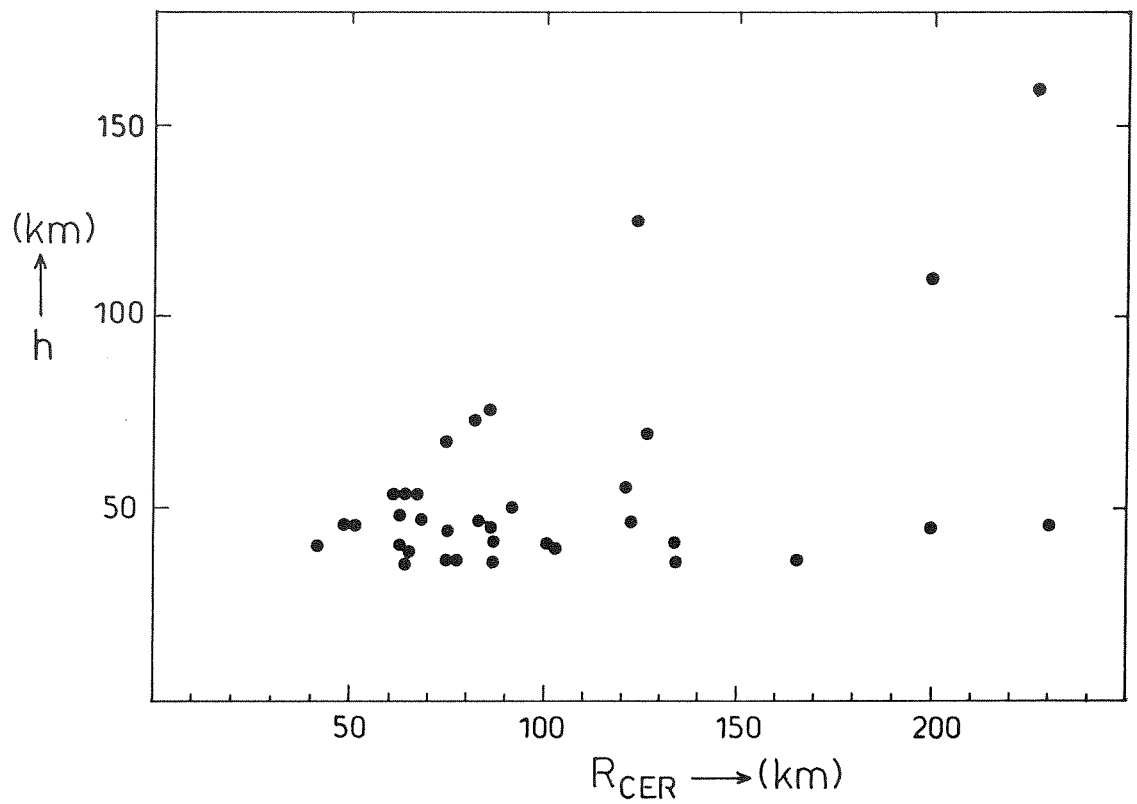
Σχ. 2.58. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με το μέγεθος και την απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας.



Σχ. 2.59. Συχνότητα εμφάνισης των εστιακών βαθών των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 2.60. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με το εστιακό βάθος και το μέγεθος.



Σχ. 2.61. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με το εστιακό βάθος και την απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας.

της κατανομής των εστιακών βαθών, h, των σεισμών του δείγματος από το οποίο φαίνεται ότι περίπου το 90% αυτών έχουν εστιακά βάθη από 35 έως 75 km. Στα σχήματα (2.60) και (2.61) δίνεται η κατανομή των βαθών, h, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με το μέγεθος Mw ή M_{JMA} και με την απόσταση R_{CER}, αντίστοιχα.

Στον πίνακα (2.11) δίνονται οι παράμετροι των σεισμών που επιλέχθηκαν από το συνολικό δείγμα και προέρχονται από την Ιαπωνία (JAP), Αλάσκα (ALA) και Ρουμανία (ROM). Τα μεγέθη των σεισμών αναφέρονται είτε στην Ιαπωνική κλίμακα M_{JMA} είτε στην κλίμακα του μεγέθους ροπής, Mw. Τα μεγέθη ροπής των σεισμών με αύξοντα αριθμό 17 και 26 υπολογίσθηκαν με τη σχέση των Hanks and Kamamori (1979),

$$Mw = 2/3 \log Mo - 10.7 \qquad (2.30)$$

Σύμφωνα με τους Heaton et al. (1986) η κλίμακα μεγέθους M_{JMA} ταυτίζεται περίπου με την κλίμακα Mw, για μεγέθη ροπής μικρότερα του 8. Πάντως για το διάστημα μεγεθών $5.2 \leq M_{JMA} \leq 7.5$ σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές ισχύει $M_{JMA} \approx Mw$.

β. Επιταχυνσιογράμματα

Τα στοιχεία των επιταχυνσιογραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην επεξεργασία δίνονται στον πίνακα (2.12). Στη δεύτερη στήλη δίνεται ο κωδικός της καταγραφής και στην τρίτη οι συντεταγμένες του σταθμού καταγραφής. Στην τέταρτη στήλη δίνεται η απόσταση σταθμού από το κέντρο έκλυσης ενέργειας του σεισμού, R_{CER}, ή όπου αυτή δεν υπήρχε θεωρήθηκε ίση με την υποκεντρική απόσταση, R_{UR}. Η απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, R_{CER}, καθορίσθηκε από τη γνώση της θέσης της επιφάνειας του ρήγματος όπως αυτή ορίζεται από την κατανομή των μετασεισμών ή από δημοσιευμένες μελέτες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της πηγής. Κάθε απόσταση, R_{CER}, μετρήθηκε από το σημείο εκείνο της επιφάνειας του ρήγματος το οποίο θεωρήθηκε ότι συνεισέφερε σημαντικά στα χαρακτηριστικά της εδαφικής κίνησης. Αυτό ισχύει γενικά για τους σεισμούς με μεγέθη,

Πίνακας 2.11. Παράμετροι των σεισμών ενδιαμέσου βάθους από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης.

No	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΝΕΣ φ°	λ°	ΒΑΘΟΣ h(km)	ΜΕΓΕΘΟΣ M_{JMA}	Mw	ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΠΙΤΑΧ/ΤΩΝ
1	5-02-1964 20:30	36.40N	141.07E	54	6.0		JAP1 JAP2 JAP3
2	26-10-1965 07:34	43.73N	145.52E	159	7.1		JAP4
3	22-12-1965 19:41	58.35N	153.13W	42		6.8	ALA2
4	19-11-1967 21:07	36.43N	141.22E	48	6.0		JAP5
5	1-04-1968 09:42	32.28N	132.53E	37	7.5		JAP6 JAP7 JAP8 JAP9
6	23-05-1968 04:29	40.27N	142.33E	50	6.3		JAP16
7	5-07-1968 20:28	38.53N	142.13E	44	6.4		JAP17
8	7-08-1968 17:00	43.02N	144.77E	68	5.7		JAP18
9	8-10-1968 09:50	35.50N	140.10E	73	5.3		JAP19
10	21-04-1969 16:19	32.14N	132.12E	39	6.5		JAP20
11	1-04-1970 23:23	39.75N	142.05E	75	5.8		JAP21
12	26-07-1970 07:41	32.27N	131.78E	47	6.7		JAP22 JAP23
13	26-07-1970 16:10	32.65N	131.83E	47	6.1		JAP24
14	2-05-1971 06:08	51.42N	177.21W	38		6.8	ALA3

(συνεχίζεται)

No	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΧΡΟΝΟΣ ΓΕΝΕΣΗΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤ/ΝΕΣ φ°	λ°	ΒΑΘΟΣ h(km)	ΜΕΓΕΘΟΣ M_{JMA}	Mw	ΚΩΔΙΚΟΙ ΕΠΙΤΑΧ/ΤΩΝ
15	2-08-1971 16:25	41.23N	143.72N	45	7.0		JAP25
16	11-10-1971 19:16	35.90N	140.55E	40	5.2		JAP26
17	17-06-1973 12:55	42.97N	145.95E	41		7.9	JAP27
18	19-11-1973 22:02	38.88N	142.15E	56	6.4		JAP28
19	3-03-1974 13:50	35.57N	140.88E	49	6.1		JAP29
20	6-04-1974 01:53	54.87N	160.29W	37		5.6	ALA5
21	6-04-1974 03:55	54.90N	160.99W	40		5.8	ALA6
22	8-07-1974 14:45	36.42N	141.20E	45	6.3		JAP30
23	13-08-1974 03:46	51.49N	178.11W	47		6.1	ALA7
24	9-11-1974 06:23	42.48N	141.78E	125	6.5		JAP31
25	11-11-1974 05:17	51.59N	178.08W	69		6.1	ALA8
26	4-03-1977 19:21	45.87N	26.75E	110		7.5	ROM1
27	12-06-1978 17:14	38.15N	142.17E	40	7.4		JAP32 JAP33
28	13-02-1979 05:34	55.17N	156.94W	47		6.5	ALA10

Πίνακας 2.12. Δεδομένα της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης.

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓ/ΦΗΣ	ΣΥΝ\ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°	λ°	R_{CER} $R_{u\pi}$ (km)	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
1	JAP1	36.46N	140.61E	65	56.3	2.1	0.3	0	
					39.7	1.7	0.2		
2	JAP2	36.46N	140.61E	65	202.9	8.5	1.3	0	
					136.7	5.9	0.5		
3	JAP3	36.46N	140.61E	65	41.4	1.7	0.3	0	
					31.7	1.6	0.2		
4	JAP4	42.98N	144.38E	227	105.6	4.9	0.6	0	
					66.8	3.8	0.4		
5	ALA2	57.75N	152.40W	88	36.1	4.2	1.5	0	114
					38.0	4.4	1.5		
6	JAP5	36.46N	140.61E	69	464.3	21.6	1.0	0	
					350.2	10.3	0.5		
7	JAP6	32.43N	131.65E	75	288.5	16.5	3.3	0	
					351.3	27.3	6.1		
8	JAP7	31.96N	131.14E	135	32.9	2.8	0.4	0	
					32.4	3.3	0.4		
9	JAP8	33.54N	133.56E	166	70.6	11.0	2.5	0	
					107.2	15.6	2.7		
10	JAP9	33.21N	132.56E	88	193.0	13.2	2.9	0	
					223.9	20.0	4.5		
11	JAP16	39.63N	141.97E	92	132.7	2.4	0.1	1	
					115.2	1.6	0.1		

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓ/ΦΗΣ	ΣΥΝ\ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°	λ°	R_{CER} $R_{υπ}$ (km)	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
12	JAP17	39.07N	141.73E	76	41.3	2.7	0.4	0	
					67.7	4.9	0.7		
13	JAP18	42.98N	144.38E	75	49.0	3.2	0.3	0	
					86.0	5.5	0.5		
14	JAP19	35.45N	137.67E	82	72.9	3.8	0.2	0	
					33.5	1.7	0.2		
15	JAP20	32.43N	131.65E	66	85.7	5.8	0.7	0	
					120.2	6.3	0.8		
16	JAP21	39.63N	141.97E	77	189.7	4.4	0.3	1	
					161.8	3.3	0.3		
17	JAP22	32.43N	131.65E	51	136.7	8.7	1.4	0	
					139.7	13.4	1.5		
18	JAP23	31.96N	131.14E	84	35.9	2.4	0.4	0	
					34.4	3.6	0.7		
19	JAP24	32.43N	131.65E	51	66.9	3.5	0.3	0	
					70.6	2.8	0.3		
20	ALA3	31.88N	176.58W	77	114.6	4.3	1.0	1	34
					203.7	6.3	1.0		
21	JAP25	42.98N	144.38E	201	89.7	7.0	1.4	0	
					76.1	6.8	1.2		
22	JAP26	35.93N	140.70E	42	47.6	2.1	0.2	0	
					169.3	6.9	1.0		
23	JAP27	42.98N	144.38E	134	200.9	27.5	6.4	0	
					126.8	15.7	4.6		

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓ/ΦΗΣ	ΣΥΝ\ΝΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ φ°	λ°	R_{CER} $R_{υπ}$ (km)	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
24	JAP28	38.32N	141.05E	121	52.8	4.3	0.4	0	
					63.6	5.2	0.5		
25	JAP29	35.93N	140.70E	63	37.7	5.3	1.3	0	
					111.6	10.4	2.0		
26	ALA5	55.34N	160.50W	65	75.3	4.6	0.6	1	60
					91.6	5.6	0.9		
27	ALA6	55.34N	160.50W	64	98.3	6.9	1.2	1	57
					117.8	5.3	1.0		
28	JAP30	35.93N	140.70E	87	68.5	3.7	0.6	0	
					51.7	3.2	0.8		
29	ALA7	31.88N	176.58W	123	21.9	1.2	0.2	1	52
					29.2	1.5	0.3		
30	JAP31	42.63N	141.62E	126	88.2	3.5	0.7	0	
					83.8	3.6	0.4		
31	ALA8	31.88N	176.58W	128	30.4	1.6	0.1	1	66
					45.7	3.7	0.6		
32	ROM1	44.45N	26.10E	199	174.5	32.6	10.6	0	274
					201.8	75.1	20.1		
33	JAP32	39.01N	141.74E	102	206.7	12.8	2.2	1	
					222.1	14.1	5.1		
34	JAP33	38.32N	141.05E	102	314.3	28.6	6.5	0	
					288.5	52.9	10.7		
35	ALA10	55.34N	160.50W	231	22.4	1.2	0.2	1	56
					41.4	2.5	0.3		

$M_{JMA} \geq 7.0$ (Mori and Crouse 1981). Στην πέμπτη, έκτη και έβδομη στήλη δίνονται οι διορθωμένες τιμές της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετάθεσης, αντίστοιχα. Στην όγδοη στήλη δίνεται ο χαρακτηρισμός των εδαφικών συνθηκών στη θέση καταγραφής με 0 ή 1 και για ορισμένες καταγραφές ο λόγος v_g/a_g. Για τις εδαφικές συνθήκες γίνεται συζήτηση στην επόμενη παράγραφο.

γ. Εδαφικές συνθήκες στις θέσεις καταγραφής

Ο χαρακτηρισμός των εδαφικών συνθηκών στις θέσεις καταγραφής των επιταχυνσιογραμμάτων έγινε με 0 και 1, που όπως προαναφέρθηκε εκφράζουν "αλλουβιακές αποθέσεις" και "σκληρό πέτρωμα", αντίστοιχα. Η διάκριση αυτή προτιμήθηκε προκειμένου να είναι ανάλογη με εκείνη των Ελληνικών επιταχυνσιογραμμάτων καθώς επίσης να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ομοιότητα στις κατηγορίες των εδαφικών συνθηκών μεταξύ των δύο δειγμάτων.

Για τα Ιαπωνικά δεδομένα του πίνακα (2.12), με πρόθεμα κωδικού JAP, δίνεται η παρακάτω κατάταξη των συνθηκών εδάφους των σταθμών καταγραφής (Mori and Crouse 1981):

Κατηγορία εδάφους	Γεωλογικά Χαρακτηριστικά
1	Τριτογενή ή παλαιότερα πετρώματα (οριζόμενα ως σκληρό πέτρωμα), ή διλλούβια με πάχος H<10m*.
2	Διλλούβια με H>10m, ή αλλούβια με H<10m.
3	Αλλούβια με H<25m με μαλακές εν-στρώσεις ** πάχους μικροτέρου από 5m.
4	Τα υπόλοιπα εδάφη, συνήθως μαλακά αλλούβια ή αποξηραμένη γή.

* Το βάθος μέχρι το σκληρό πέτρωμα

** Ενστρώσεις άμμου ευπρόσβλητης σε ρευστοποίηση ή εξαιρετικά μαλακά συνεκτικά εδαφικά στρώματα.

Με βάση την παραπάνω κατάταξη, οι κατηγορίες εδαφών 2,3 οι οποίες περιλαμβάνονται στο δείγμα, θεωρήθηκαν ως "αλλουβιακές αποθέσεις" και χαρακτηρίσθηκαν στον πίνακα (2.12) ως 0, ενώ η κατηγορία 1 θεωρήθηκε ως "σκληρό πέτρωμα" και χαρακτηρίσθηκε ως 1. Για τις υπόλοιπες καταγραφές, για τις οποίες δεν υπήρχε συστηματική κατάταξη παρά μόνο επιφανειακά γεωλογικά στοιχεία, έγινε διάκριση στις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών με βάση τη μεθοδολογία του Seed και των συνεργατών του (1976b). Σύμφωνα με αυτούς τους ερευνητές ο λόγος της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας προς την επιτάχυνση είναι ένα μέτρο διάκρισης των εδαφικών συνθηκών στις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

Γεωλογικές Συνθήκες	v_g/a_g (cm/sec/g)
1. Σκληρό Πέτρωμα	66
2. Σκληρές εδαφικές συνθήκες	114
3. Βαθειά μη συνεκτικά εδάφη	140

Οπως φαίνεται στον πίνακα (2.12) οι μέσοι όροι των λόγων, v_g/a_g (cm/sec/g), των δύο οριζοντίων συνιστωσών των 8 επιταχυνσιογραμμάτων, μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη με τιμές του λόγου v_g/a_g μικρότερες ή ίσες του 66 cm/sec/g η οποία χαρακτηρίσθηκε ως "σκληρό πέτρωμα" και η δεύτερη με τιμές μεγαλύτερες ή ίσες του 114 cm/sec/g η οποία χαρακτηρίσθηκε ως "αλλουβιακές αποθέσεις".

2.4.3. Μεθοδολογία

Προκειμένου να προσδιορισθούν οι συντελεστές των σχέσεων απόσβεσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους εφαρμόσθηκε η ίδια μεθοδολογία με εκείνη της απόσβεσης των καταγραφών των Ελληνικών επιφανειακών σεισμών. Στο πρώτο βήμα χρησιμοποιήθηκαν οι συνιστώσες εκείνες που προέρχονται από τους σεισμούς με μεγέθη M_{JMA} ή $Mw \geq 7.0$. Οι αποστάσεις, R_{CER}, για τους σεισμούς αυτούς είναι με μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμένες και κατανέμονται σε μεγάλο διάστημα τιμών. Ο συντελεστής C_{41} δεν λήφθηκε υπόψη επειδή πρόκειται για αποστάσεις από το κέντρο έκλυσης ενέργειας ή από το

υπόκεντρο. Επιπλέον, η διερεύνηση για τη μεταβολή του μέσου σφάλματος της σχέσης (2.12) για διάφορες τιμές του C_{41}=0, 10, 20,....50 km, έδειξε ότι αυτό αυξάνεται με την αύξηση της τιμής του C_{41}, έχοντας τη μικρότερη τιμή του για C_{41}=0. Στο δεύτερο βήμα υπολογίσθηκαν οι συντελεστές του μεγέθους και των εδαφικών συνθηκών C_{22}, C_{52}, αντίστοιχα, με τη χρήση του συνολικού δείγματος των δεδομένων. Στο τρίτο βήμα επανυπολογίσθηκαν οι συντελεστές της σταθεράς και της γεωμετρικής διασποράς, C_{13} και C_{33} αντίστοιχα με τη χρήση των συνιστωσών με μεγέθη M_{JMA} ή Mw≥7.0.

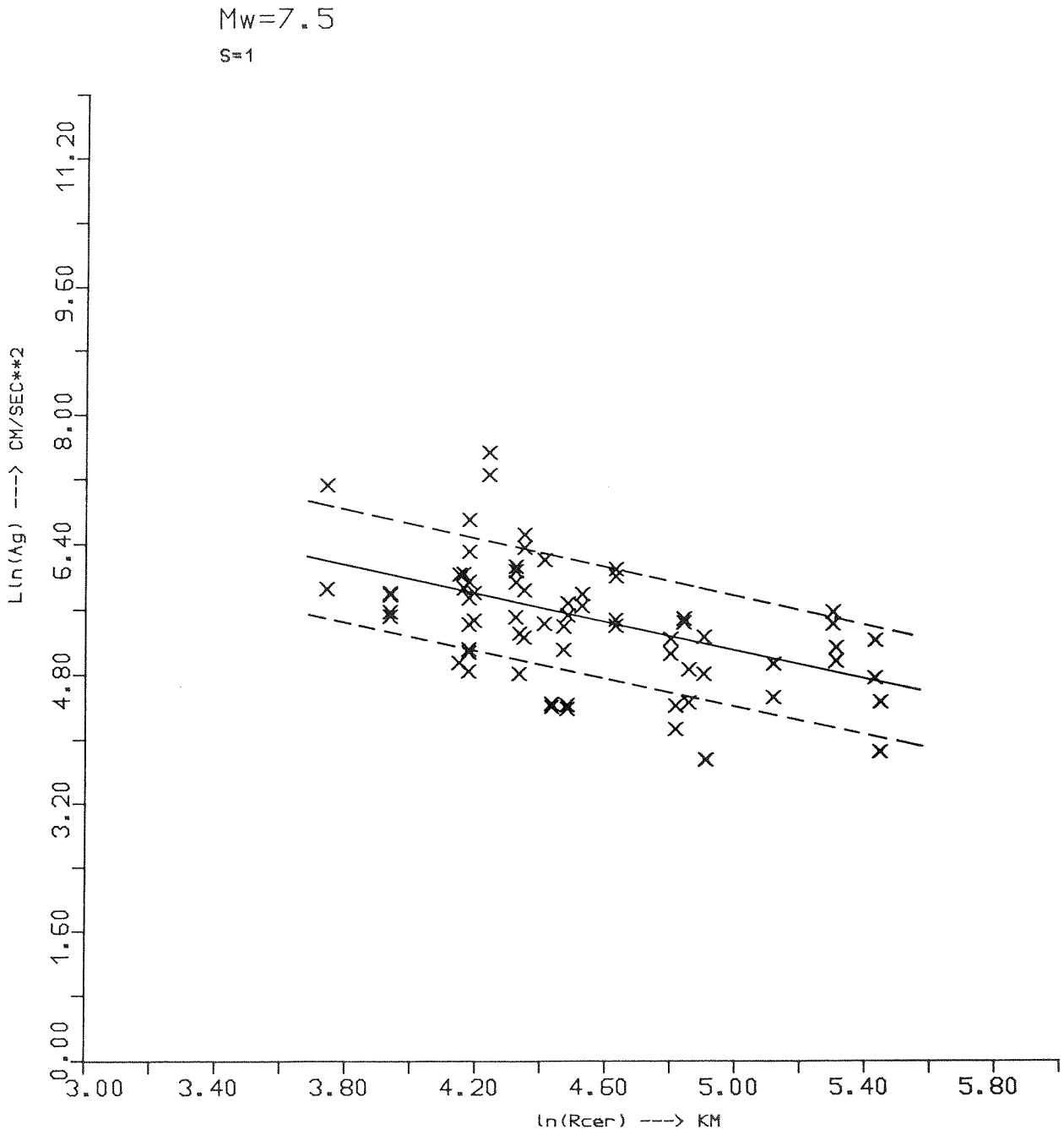
2.4.4. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g\}$, σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

Στον πίνακα (2.13) δίνονται οι τιμές των συντελεστών των σχέσεων (2.12), (2.13) και (2.14) για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση όπως προέκυψαν για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους. Στον ίδιο πίνακα δίνονται και τα αντίστοιχα μέσα τετραγωνικά σφάλματα όπως έχουν προκύψει με τη χρήση των συντελεστών της σχέσης (2.14) και του συνολικού δείγματος των δεδομένων.

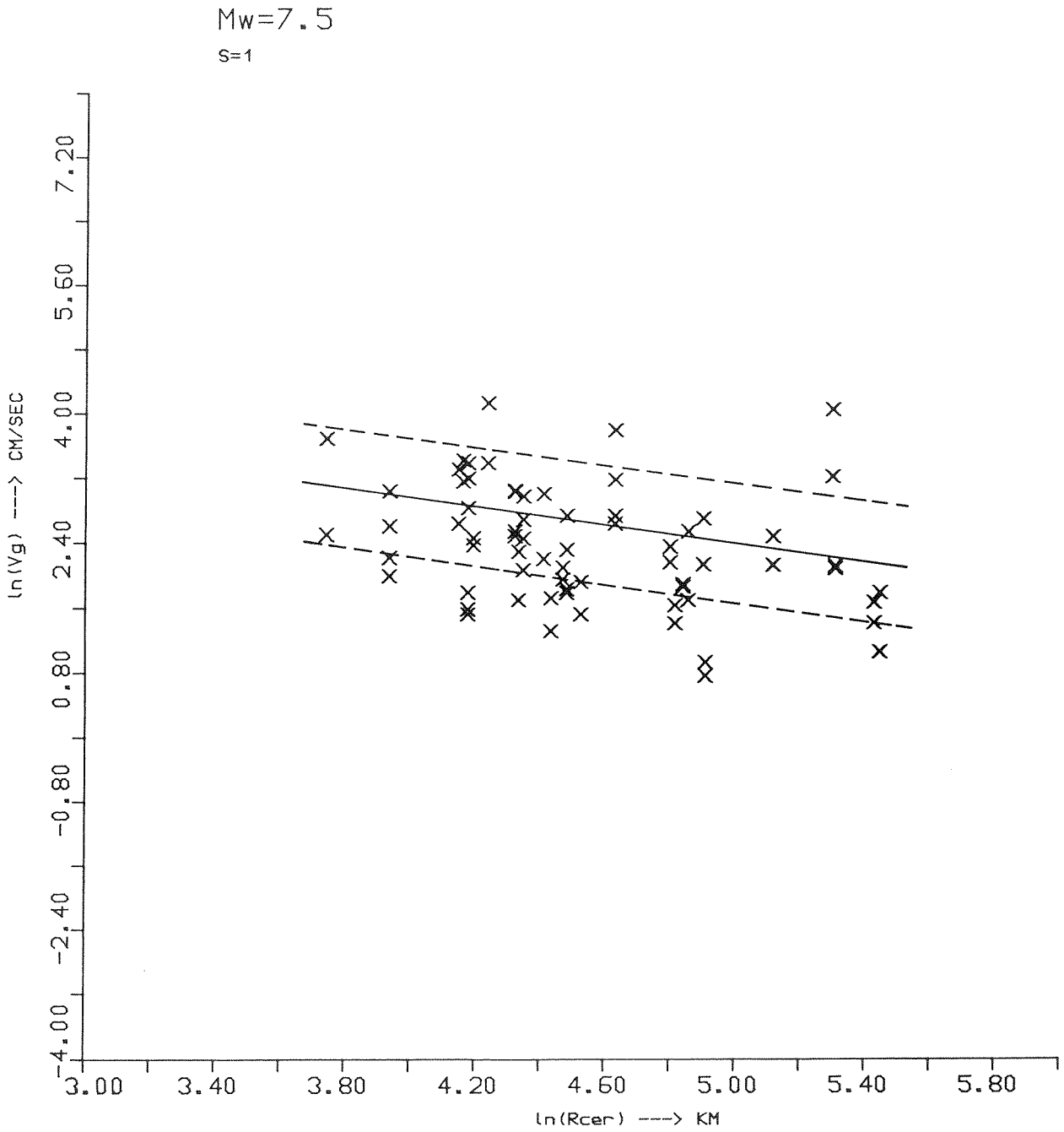
Πίνακας 2.13. Τιμές των συντελεστών, Cij, των σχέσεων (2.12), (2.13), (2.14) γιά τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, και των αντίστοιχων μέσων τετραγωνικών σφαλμάτων, σ_{lnY}, γιά τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.

	a_g	v_g	d_g
C_{11}	10.47	-5.31	-10.59
C_{21}	-0.01	1.33	1.89
C_{31}	-1.11	-0.40	- 0.50
C_{41}	0.0	0.0	0.0
C_{12}	4.54	-2.13	-6.35
C_{22}	0.75	0.88	1.30
C_{52}	0.27	-0.26	-0.23
C_{13}	3.47	-1.05	-5.13
C_{33}	-0.85	-0.58	-0.71
σ_{lnY}	0.66	0.75	0.86

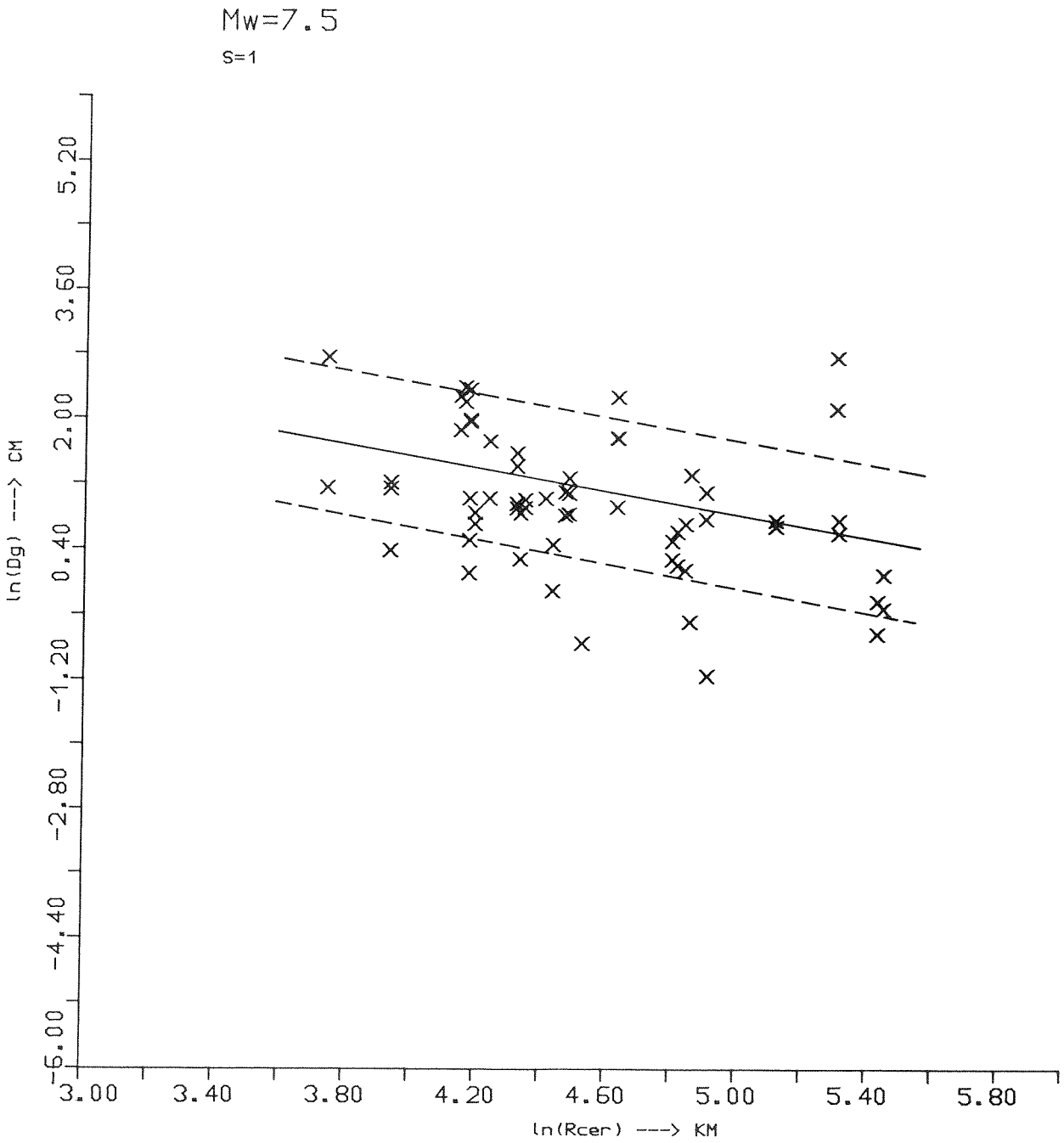
Στο σχήμα (2.62) δίνεται με συνεχόμενη γραμμή η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την απόσταση R_{CER}, για μέγεθος ροπής, Mw=7.5, και για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος", S=1, όπως προκύπτει από τους ανάλογους συντελεστές, Cij, της σχέσης (2.14). Στο ίδιο σχήμα φαίνονται και οι ανηγμένες, στο ίδιο μέγεθος και τις ίδιες εδαφικές συνθήκες, μέγιστες τιμές επιταχύνσεων των 70 οριζοντίων συνιστωσών του δείγματος. Με διακεκομμένες γραμμές δίνονται οι μέσες τιμές ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα και μετάθεση των οριζοντίων συνιστωσών των σεισμών ενδιαμέσου βάθους και φαίνεται στα σχήματα (2.63) και (2.64).



Σχ. 2.62. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_w=7.5 και S=1, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 2.63. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_w=7.5 και S=1, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 2.64. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, με το φυσικό λογάριθμο της απόστασης και παρουσίαση των ανηγμένων τιμών, για M_w=7.5 και S=1, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

Στα σχήματα (2.65), (2.66), (2.67) δίνεται η μεταβολή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (2.14) σε συνάρτηση με την απόσταση, R_{CER}, και το μέγεθος ροπής, Mw, για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, αντίστοιχα, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους. Από τα σχήματα αυτά δεν παρατηρείται καμμία εμφανής εξάρτηση των υπολοίπων από αυτές τις παραμέτρους και επομένως το μοντέλο πρόβλεψης και η μέθοδος με την οποία προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές, Cij, με τις σχέσεις (2.12), (2.13), (2.14) μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικά.

Στα ιστογράμματα του σχήματος (2.68) δίνεται η κατανομή των υπολοίπων για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση των σεισμών ενδιαμέσου βάθους. Από τα ιστογράμματα αυτά φαίνεται ότι τα υπόλοιπα ακολουθούν την κανονική κατανομή. Σύμφωνα με τους συντελεστές του πίνακα (2.13), προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις απόσβεσης για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.

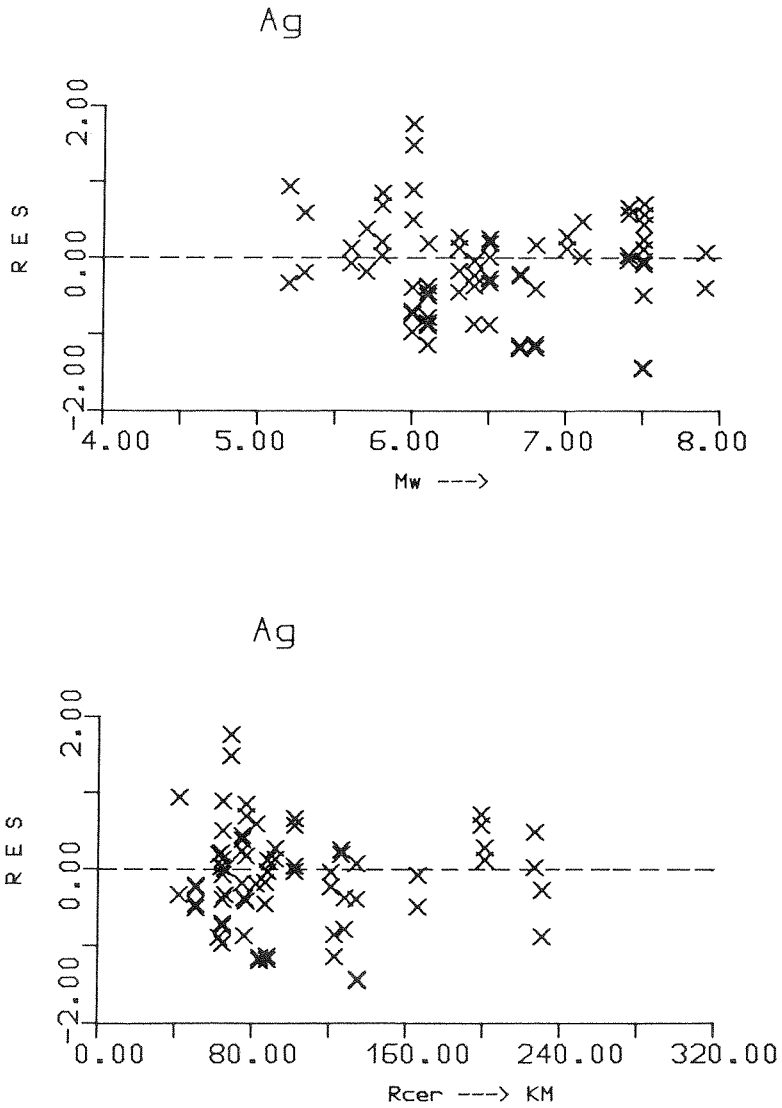
$$\ln a_g = 3.47 + 0.75Mw - 0.85 \ln R_{CER} + 0.27S + 0.66P \qquad (2.31)$$

$$\ln v_g = -1.05 + 0.88Mw - 0.58 \ln R_{CER} - 0.26S + 0.75P \qquad (2.32)$$

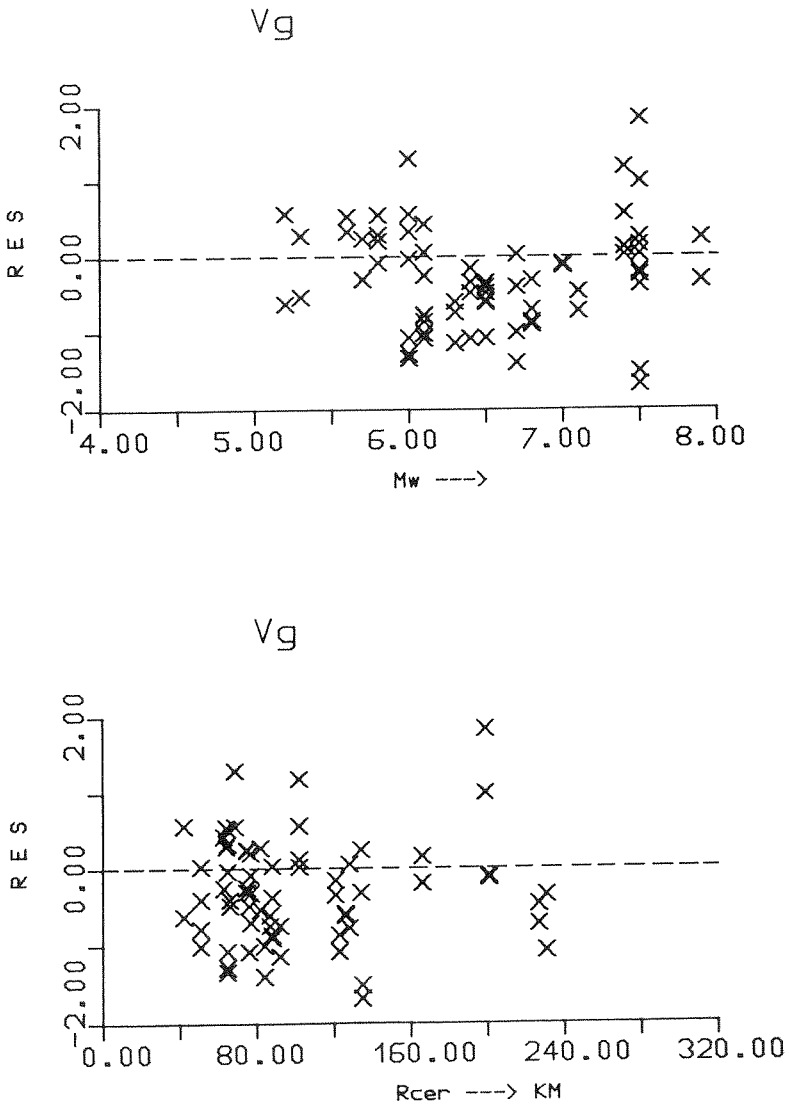
$$\ln d_g = -5.13 + 1.30Mw - 0.71 \ln R_{CER} - 0.23S + 0.86P \qquad (2.33)$$

όπου a_g, v_g, d_g, σε cm/sec^2, cm/sec, cm, αντίστοιχα, Mw το μέγεθος ροπής, R_{CER} η απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, S ο παράγοντας των εδαφικών συνθηκών, 0 για "αλλουβιακές αποθέσεις", 1 για "σκληρό πέτρωμα" και P έχει την τιμή, 0 για το μέσο όρο και 1 για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

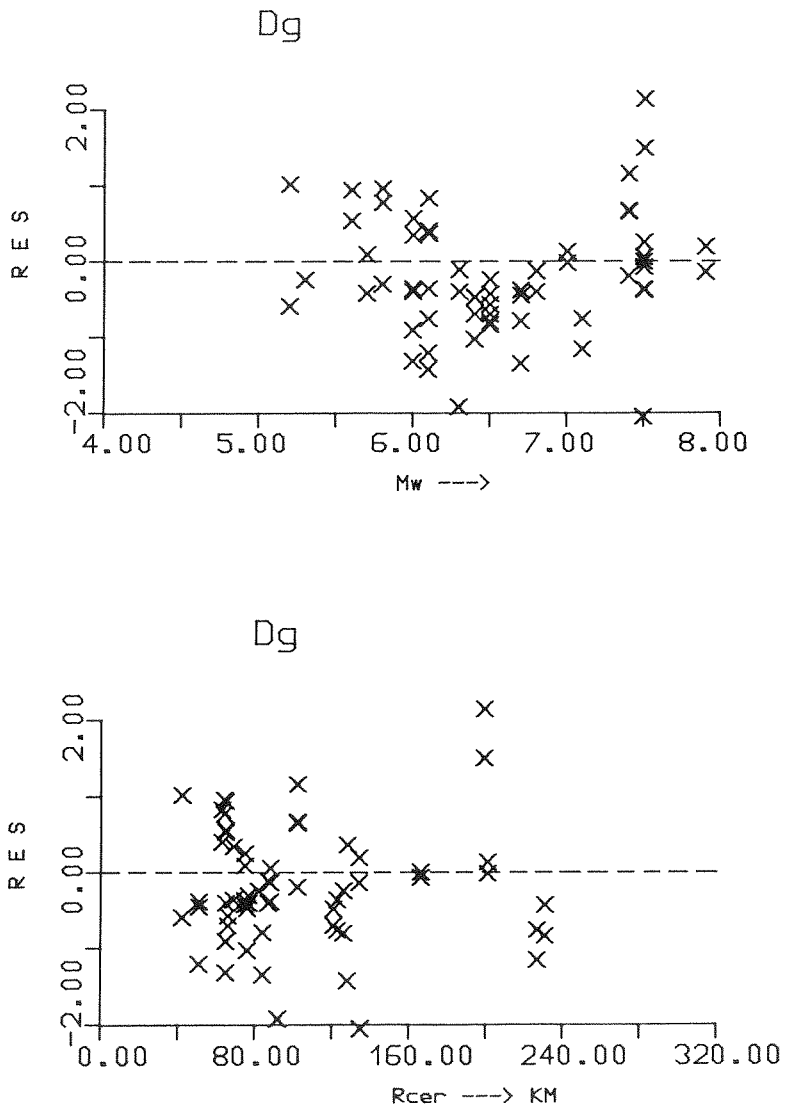
Στα σχήματα (2.69), (2.70), (2.71), δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, a_g, ταχύτητας, v_g, μετάθεσης, d_g, αντίστοιχα, σε συνάρτηση με την απόσταση, R_{CER}, για



Σχ. 2.65. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το μέγεθος ροπής, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

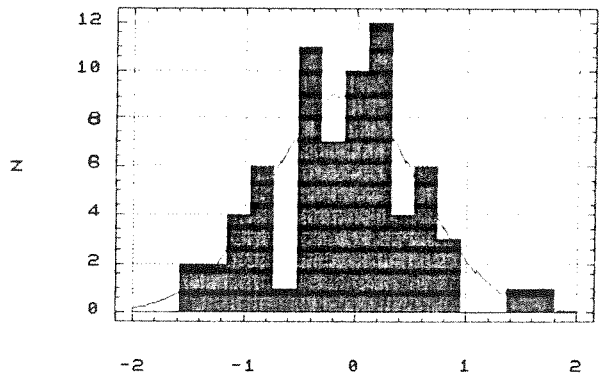


Σχ. 2.66. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το μέγεθος ροπής, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

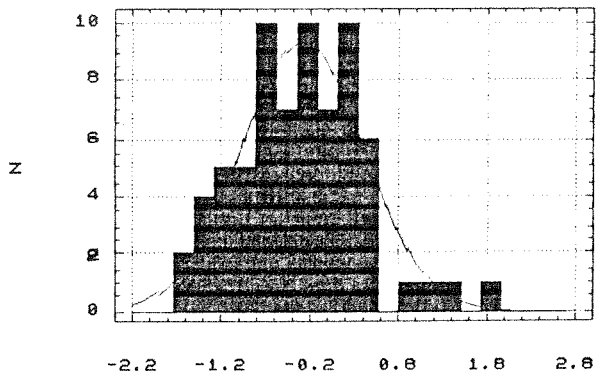


Σχ. 2.67. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, της σχέσης (2.14), σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση και το μέγεθος ροπής, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

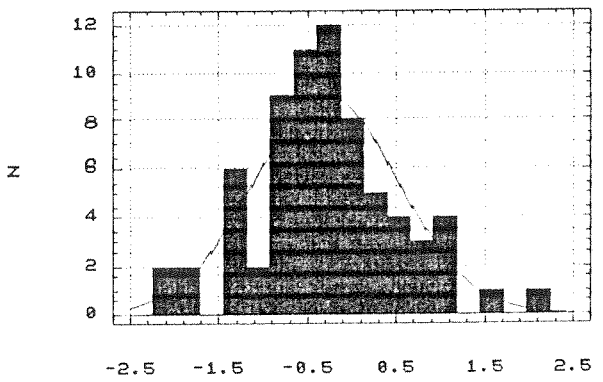
Ag



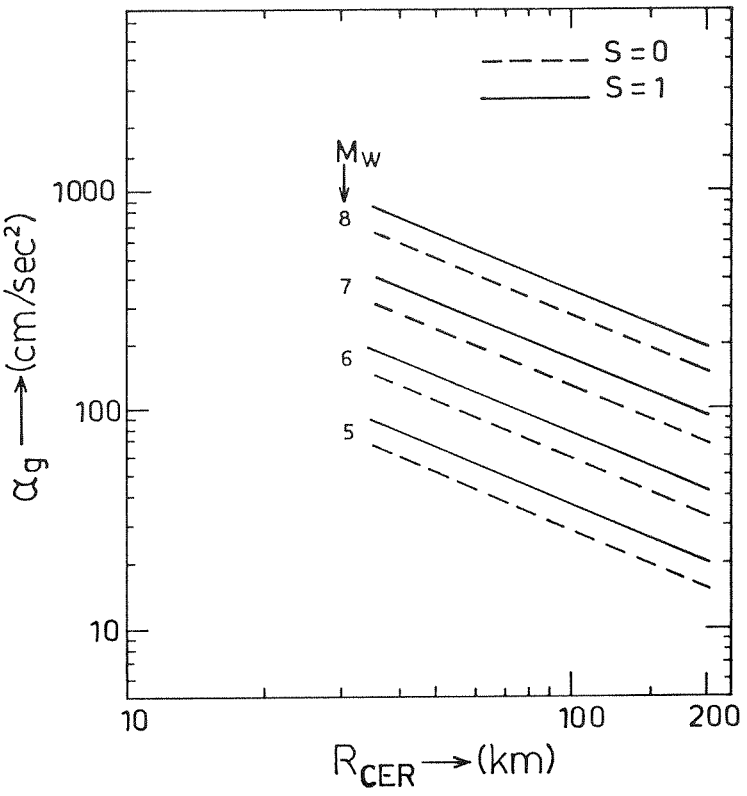
Vg



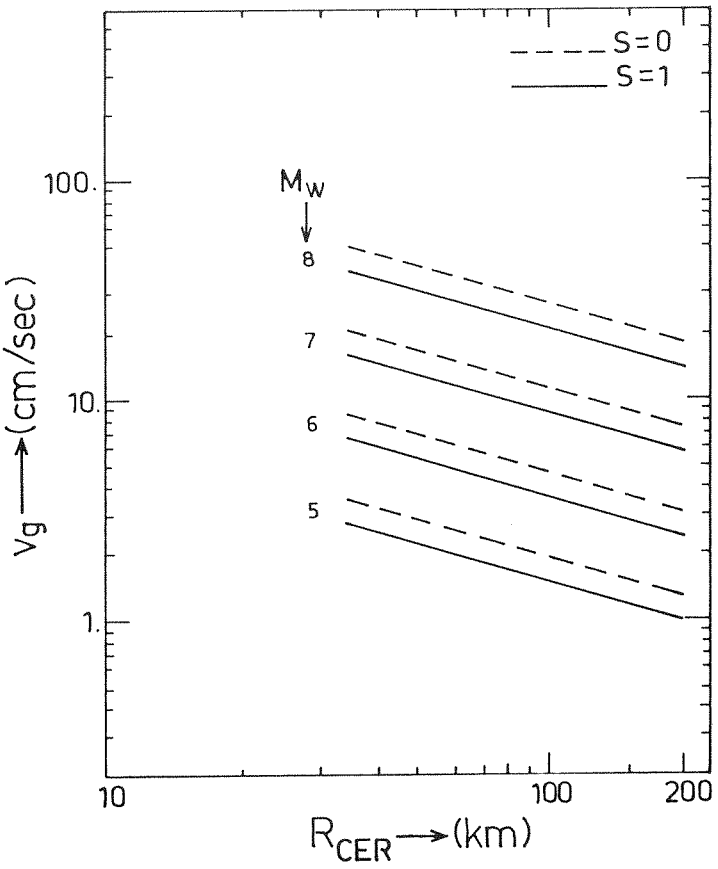
Dg



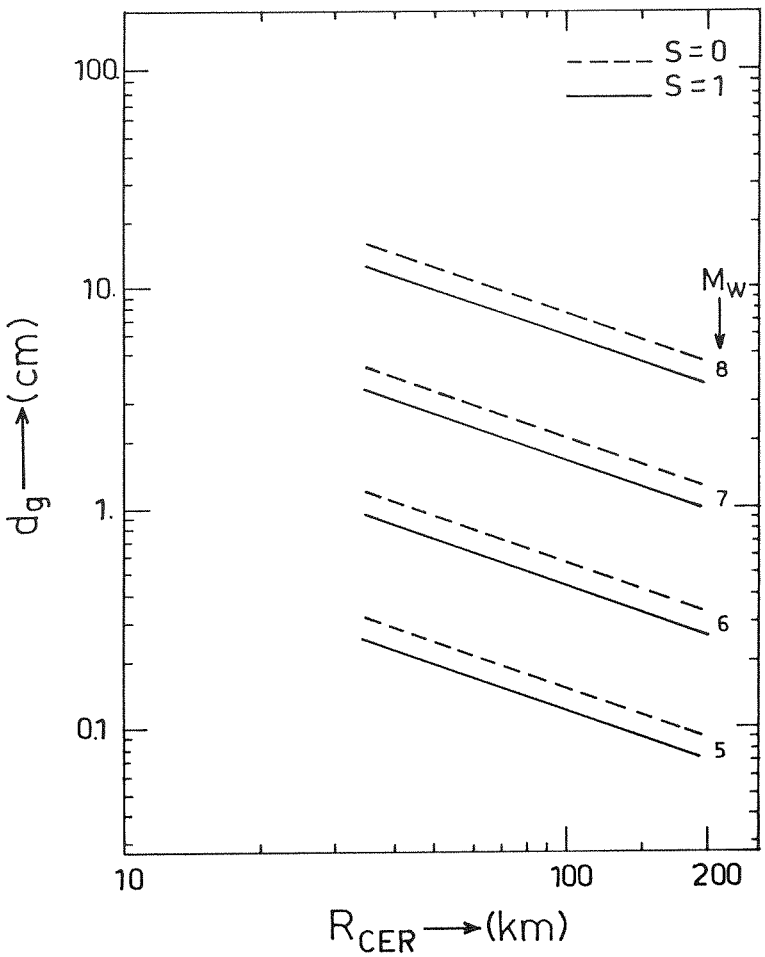
Σχ. 2.68. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (2.14), της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 2.69. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με την απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος ροπής, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 2.70. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας σε συνάρτηση με την απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος ρο-πής, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 2.71. Απόσβεση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης σε συνάρτηση με την απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, τις εδαφικές συνθήκες και το μέγεθος ρο-πής, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

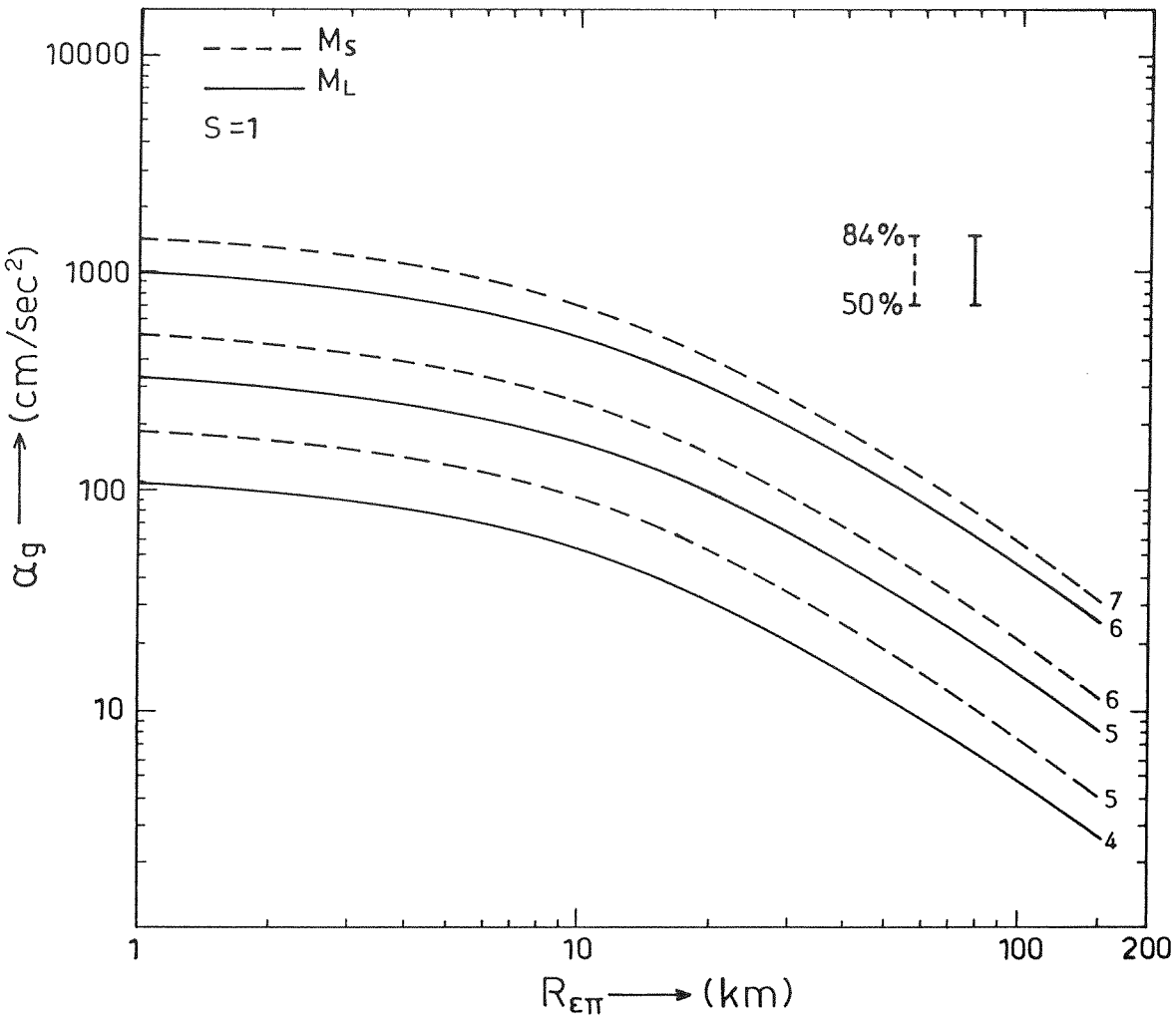
μεγέθη ροπής Mw=5.0, 6.0, 7.0, 8.0 και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, δηλαδή, "αλλουβιακές αποθέσεις" και "σκληρό πέτρωμα".

2.5. Συγκρίσεις Σχέσεων Απόσβεσης της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Εδαφικής Κίνησης και Συμπεράσματα.

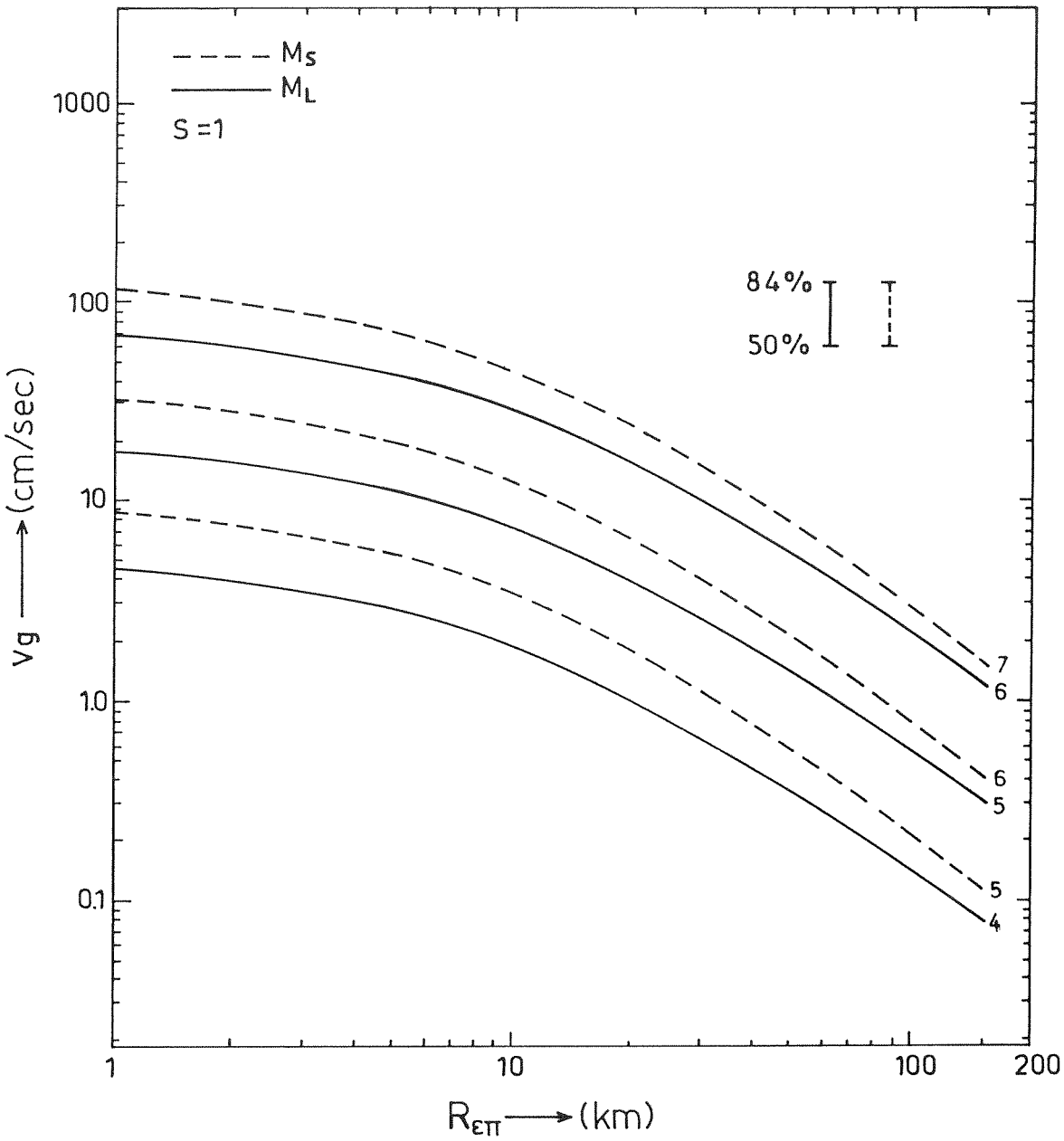
Η κλίμακα μεγέθους η οποία χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των σχέσεων απόσβεσης πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομοιογενής. Για το λόγο αυτό , η επεξεργασία των 105 οριζοντίων και 51 κατακορύφων συνιστωσών του Ελληνικού δείγματος έγινε ανεξάρτητα τόσο για την κλίμακα του επιφανειακού μεγέθους, Ms, όσο και για εκείνη του τοπικού μεγέθους, M_L. Στα σχήματα (2.72), (2.73), (2.74) δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση για επιφανειακά μεγέθη Ms=5,6,7 και τοπικά μεγέθη M_L=4,5,6. Οπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα οι τιμές των μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων για τοπικό μέγεθος M_L=5, είναι μεγαλύτερες από τις ανάλογες για επιφανειακό μέγεθος Ms=5 και μικρότερες εκείνων για Ms=6. Επίσης οι ανάλογες τιμές για M_L=6, είναι μεγαλύτερες από εκείνες για επιφανειακό μέγεθος Ms= 6 και μικρότερες εκείνων για Ms=7.

Για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος", S=1, συγκρίθηκαν το Ms με το M_L και την επικεντρική απόσταση R, για την ίδια μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, με βάση τις σχέσεις (2.15) έως (2.20). Στα σχήματα (2.75), (2.76), (2.77) φαίνεται η συσχέτιση του Ms με το M_L για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση, αντίστοιχα, για το κοντινό πεδίο, R=1 km, και για το μακρινό πεδίο, R=100 km.Στα ίδια σχήματα δίνεται και η σχέση (Κυρατζή 1984),

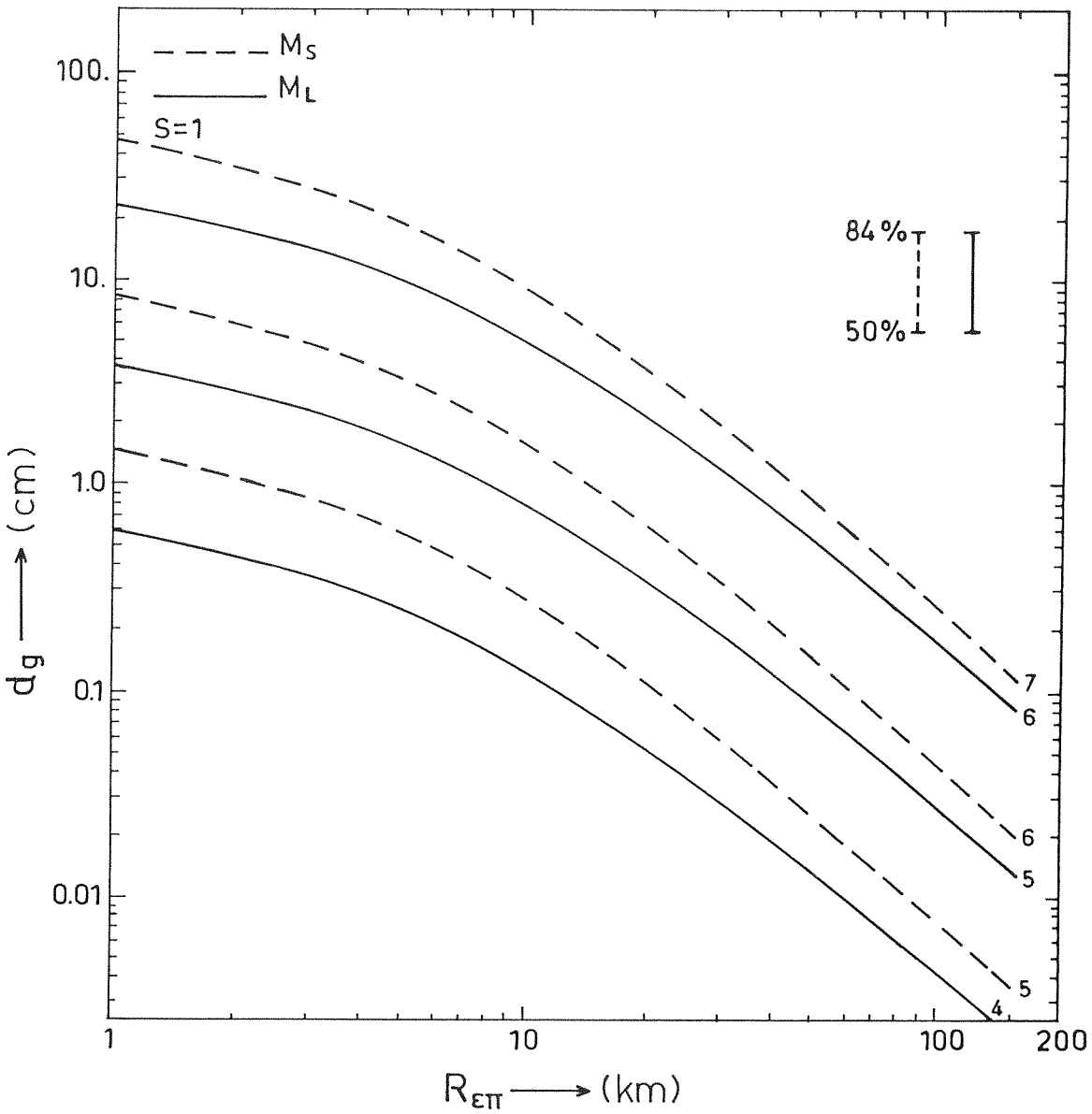
$$Ms=M_L+0.5 \qquad (2.34)$$



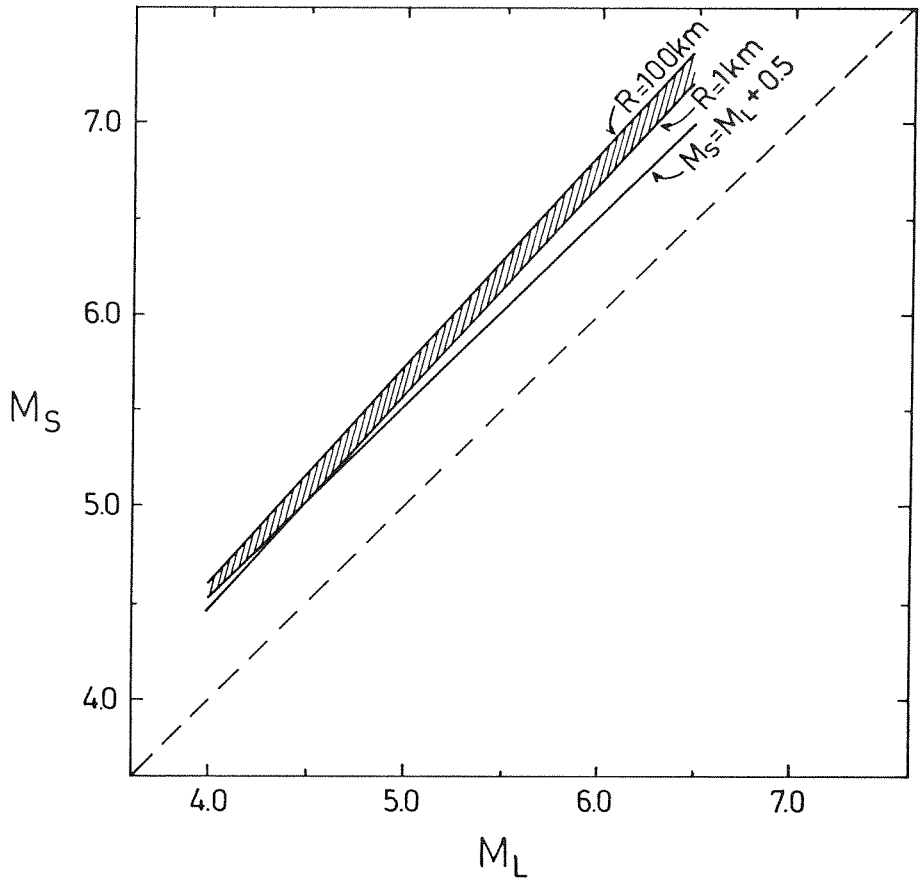
Σχ. 2.72. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για επιφανειακό (Ms) και τοπικό μέγεθος (M_L) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



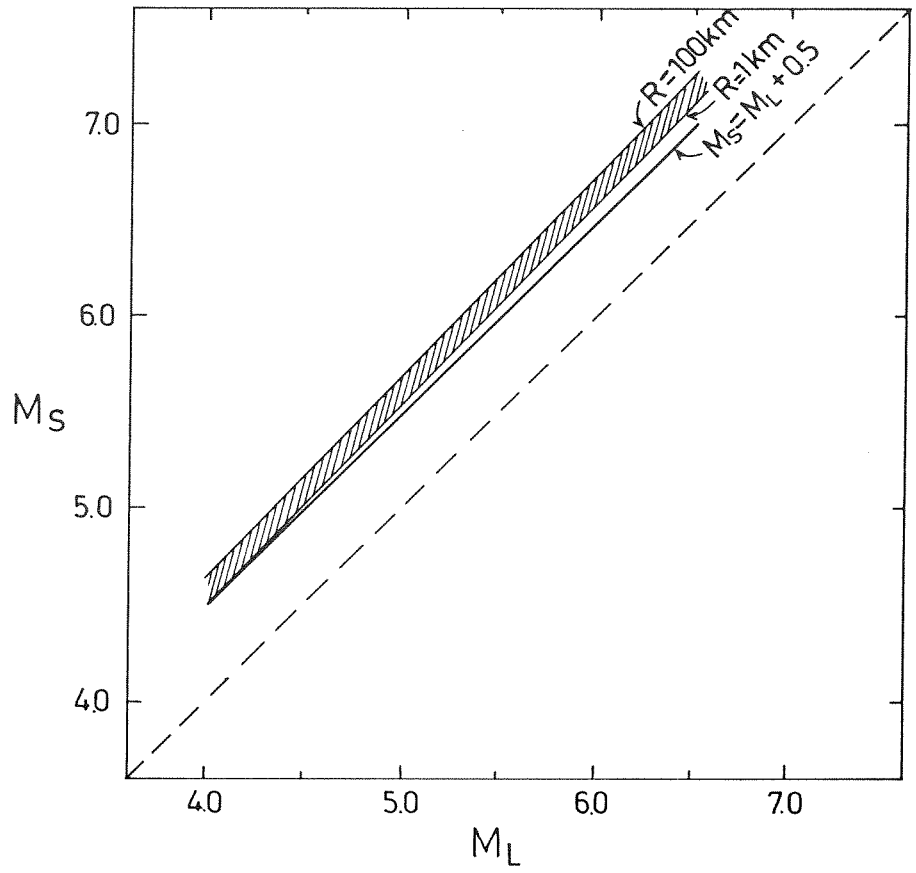
Σχ. 2.73. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας για επιφανειακό (Ms) και τοπικό μέγεθος (M_L) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



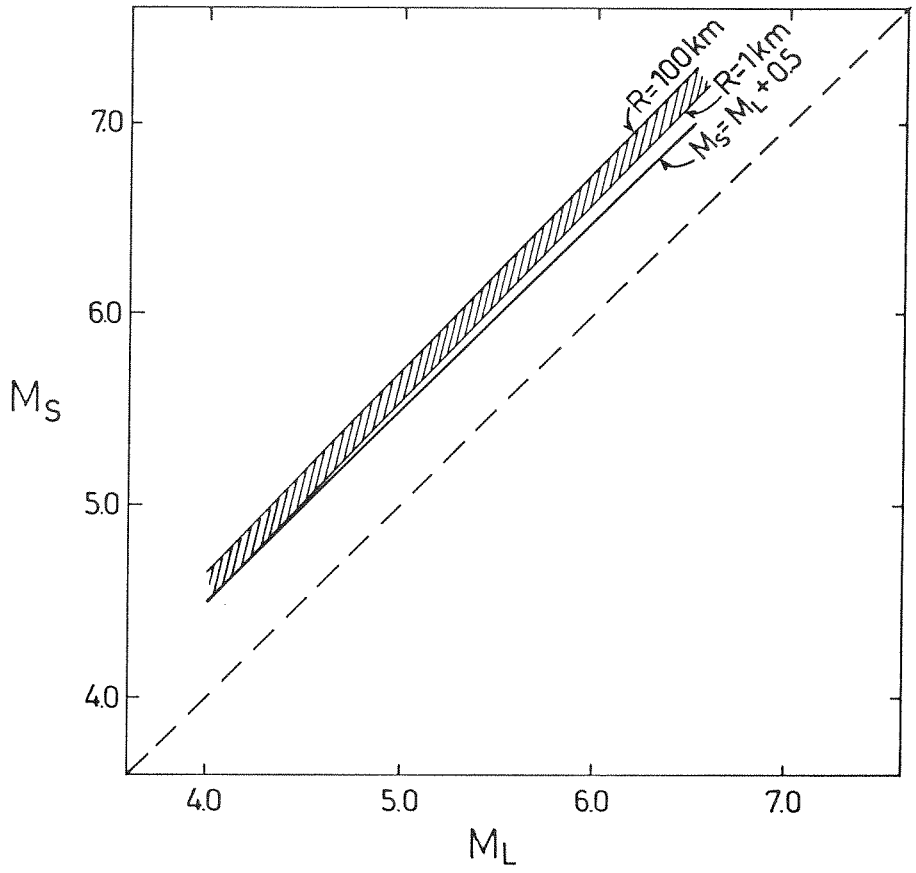
Σχ. 2.74. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης για επιφανειακό (Ms) και τοπικό μέγεθος (M_L) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.75. Συσχέτιση του επιφανειακού (Ms) με το τοπικό μέγεθος (M_L) όπως προκύπτει από τις ανάλογες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και η σχέση $Ms=M_L+0.5$ (Kiratzi and Papazachos 1984).



Σχ. 2.76. Συσχέτιση του επιφανειακού (Ms) με το τοπικό μέγεθος (M_L) όπως προκύπτει από τις ανάλογες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και η σχέση $M_S=M_L+0.5$ (Kiratzi and Papazachos 1984).

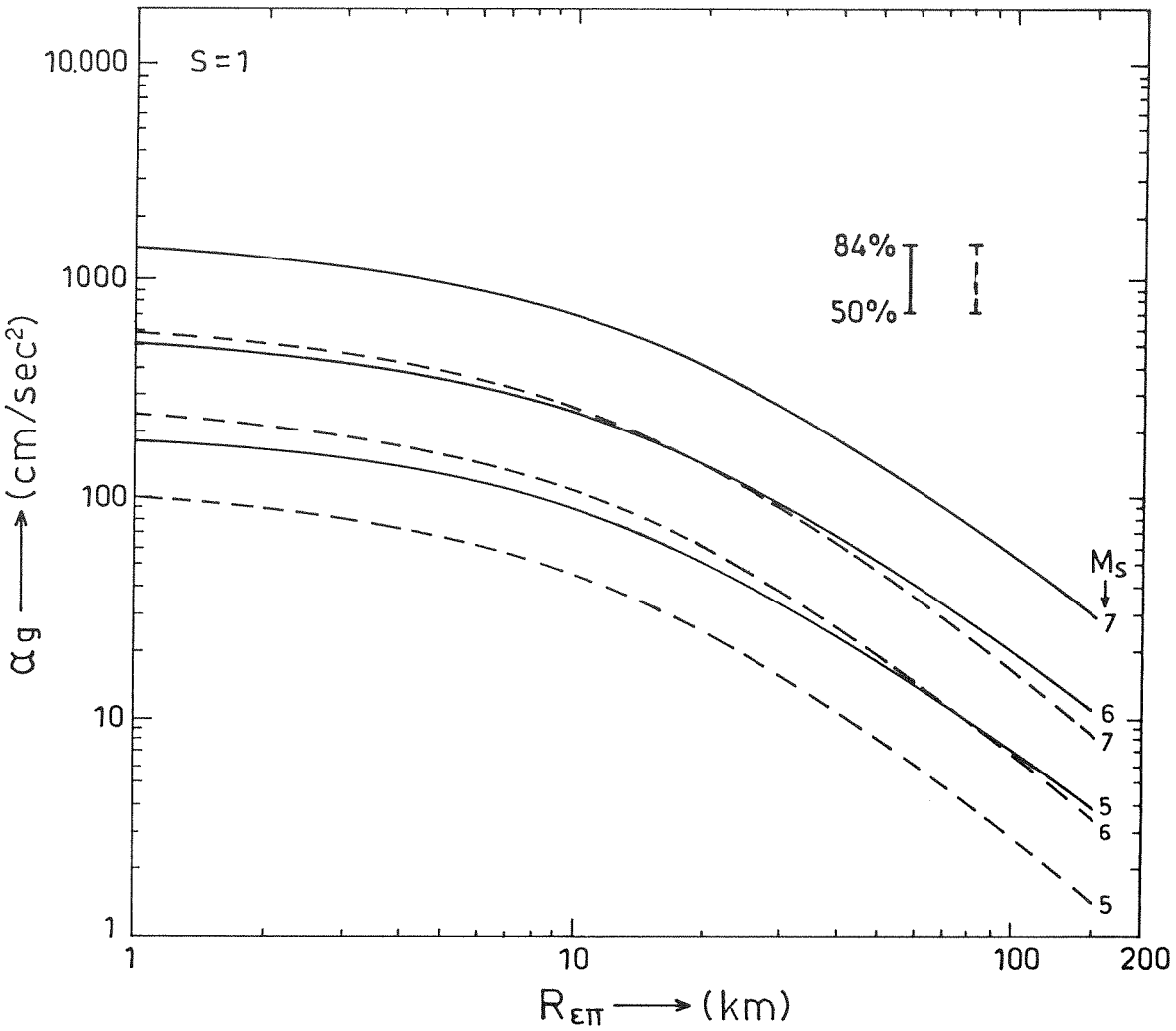


Σχ. 2.77. Συσχέτιση του επιφανειακού (Ms) με το τοπικό μέγεθος (M_L) όπως προκύπτει από τις ανάλογες σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και η σχέση $Ms=M_L+0.5$ (Kiratzi and Papazachos 1984).

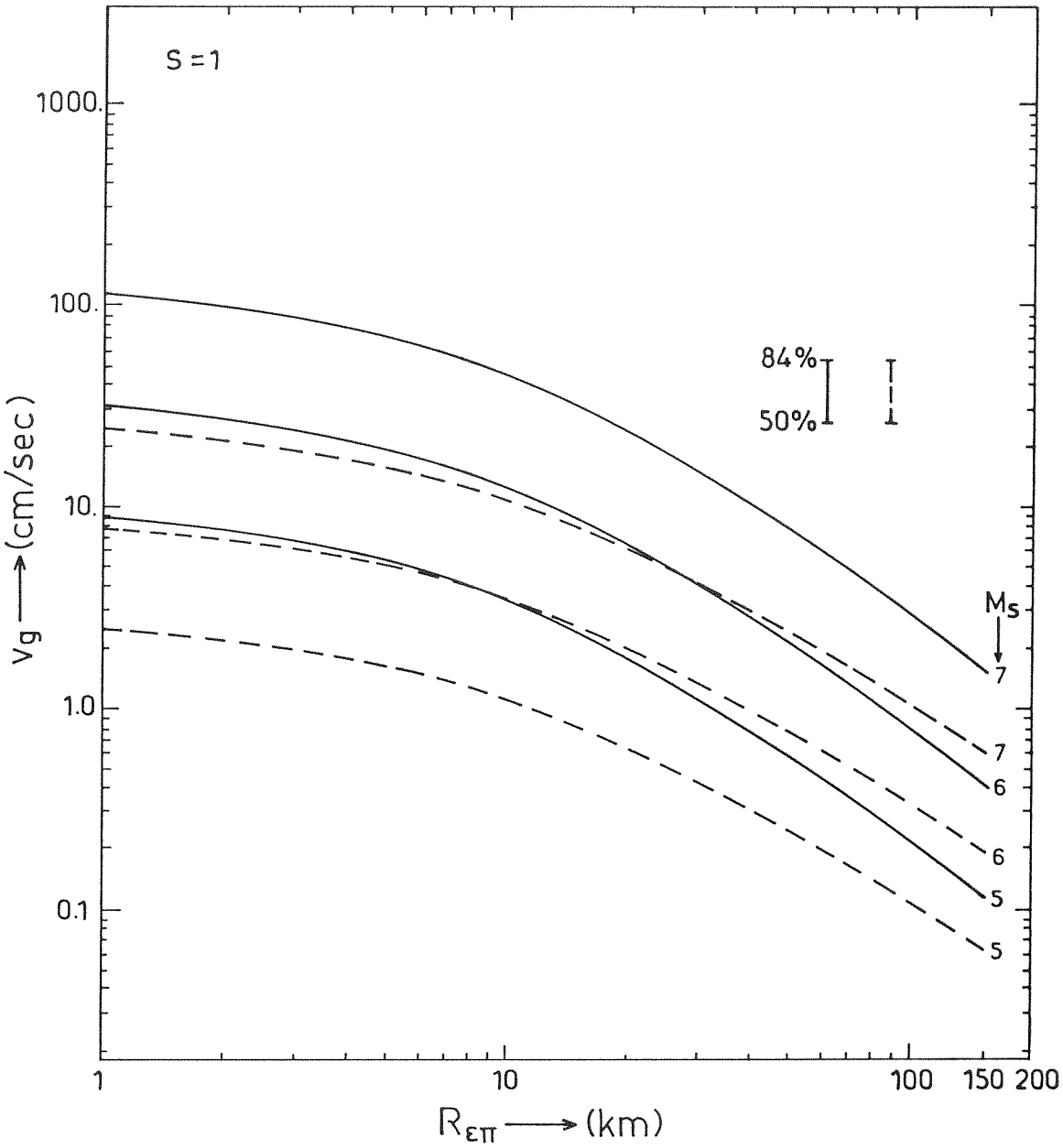
Οπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα η συσχέτιση των Ms και M_L, όπως έχει προκύψει από την επεξεργασία των δεδομένων, βρίσκεται σε ικανοποιητικό βαθμό σύμφωνη με εκείνη της σχέσης (2.34) ιδιαίτερα στο κοντινό πεδίο. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουμε και για την κατακόρυφη εδαφική κίνηση.

Εγινε σύγκριση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, με τις αντίστοιχες παραμέτρους της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής κίνησης για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου και για την κλίμακα του επιφανειακού μεγέθους, Ms. Από τα σχήματα (2.78),(2.79),(2.80) φαίνεται ότι η κατακόρυφη ισχυρή εδαφική κίνηση είναι μικρότερη από την οριζόντια περίπου κατά μια μονάδα επιφανειακού μεγέθους, Ms. Στο σχήμα (2.81) δίνεται η μεταβολή του λόγου της κατακόρυφης προς την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, a^v/a^h, σε συνάρτηση με την επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$, για μεγέθη Ms=5,6,7 και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, S=0,1. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι ο λόγος, a^v/a^h, μειώνεται με την αύξηση της επικεντρικής απόστασης, γεγονός το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με ανάλογη συσχέτιση των Abrahamson και Literhiser (1989) με τη χρήση δείγματος παγκοσμίων δεδομένων. Φαίνεται ακόμη ότι ο λόγος αυτός μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους, συμπέρασμα το οποίο βρίσκεται σε αντίθεση με το ανάλογο των παραπάνω ερευνητών. Από το σχήμα (2.81) συμπεραίνεται ακόμη ότι ο λόγος a^v/a^h είναι μεγαλύτερος στις "αλλουβιακές αποθέσεις". Στο ίδιο σχήμα απεικονίζεται και η γραμμή με λόγο της κατακόρυφης προς την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση ίσο προς 2/3, ο οποίος χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον υπολογισμό της κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης (Newmark et al. 1973, Abrahamson and Literhiser 1989). Ο λόγος αυτός περιβάλλει τους αναμενόμενους λόγους (Σχ.2.81) για αποστάσεις $R_{\varepsilon\pi}>10$ km και μεγέθη $5.0\leq Ms\leq 7.0$. Ασφαλώς η έλλειψη δεδομένων στο κοντινό πεδίο από μεγάλους σεισμούς περιορίζει την αξιοπιστία της παρατήρησης αυτής.

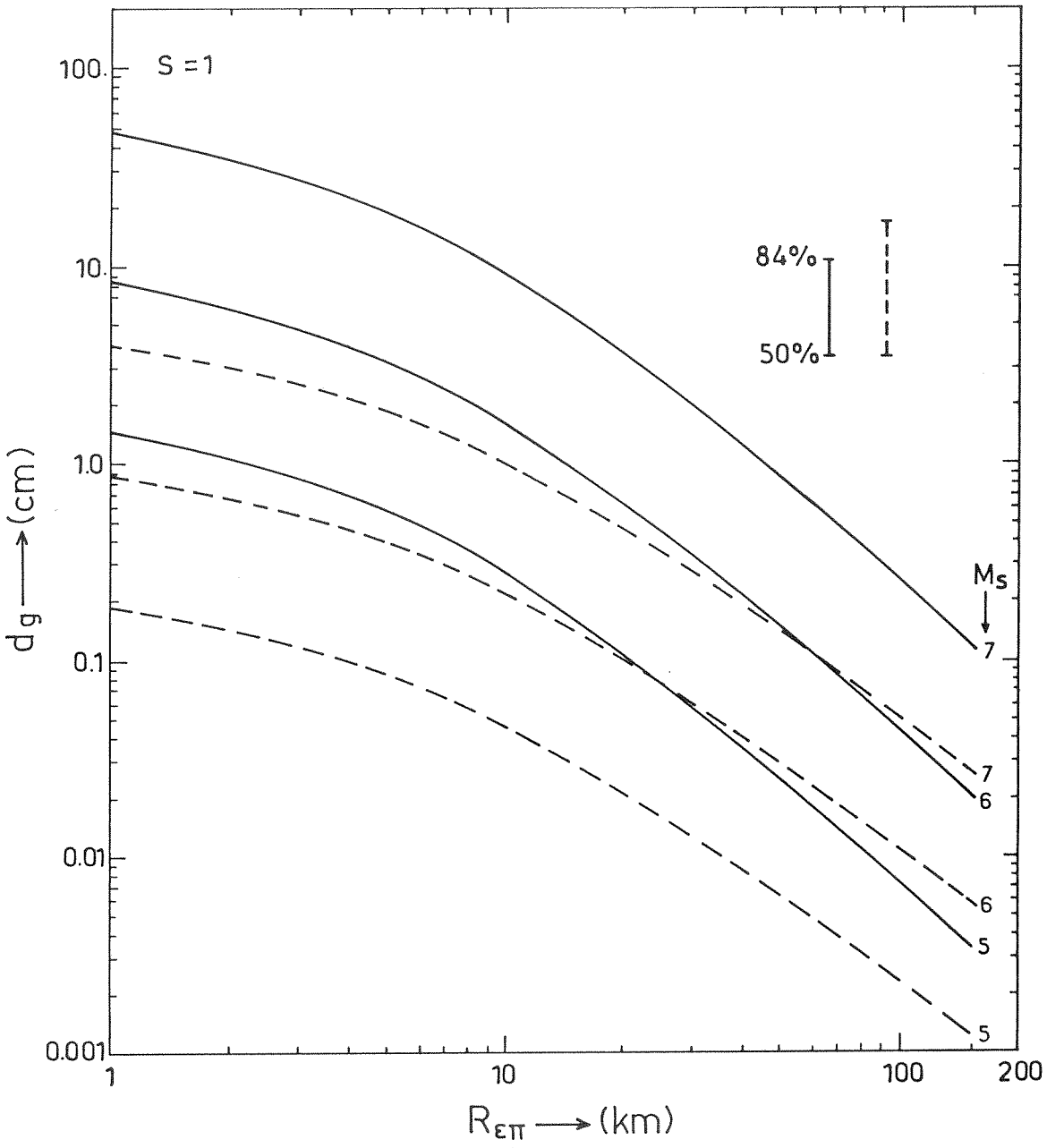
Οι σχέσεις απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης οι οποίες έχουν προκύψει από την ενίσχυση των δεδομένων επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού



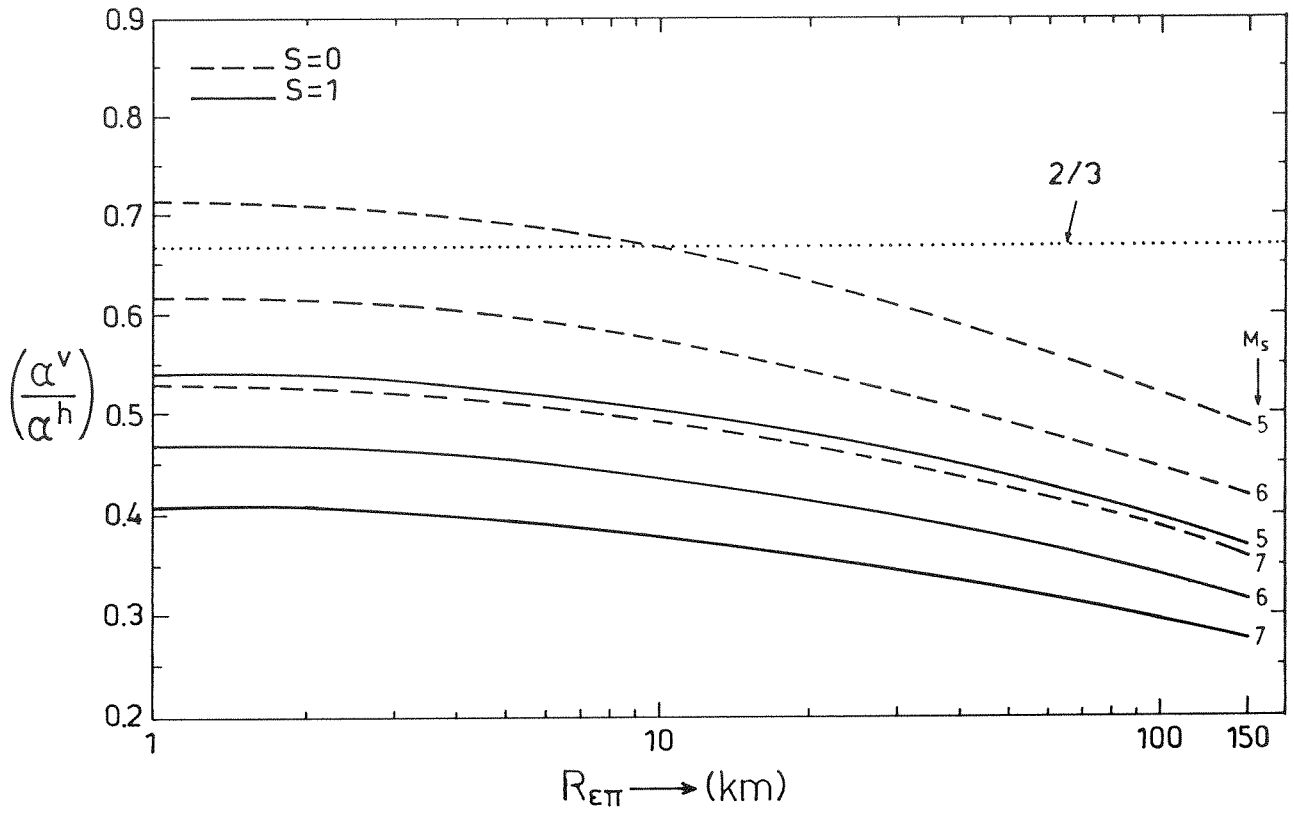
Σχ. 2.78. Σύγκριση της απόσβεσης της οριζόντιας (συνεχόμενη γραμμή) με την κατακόρυφη (διακεκομμένη γραμμή) εδαφικής επιτάχυνση για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



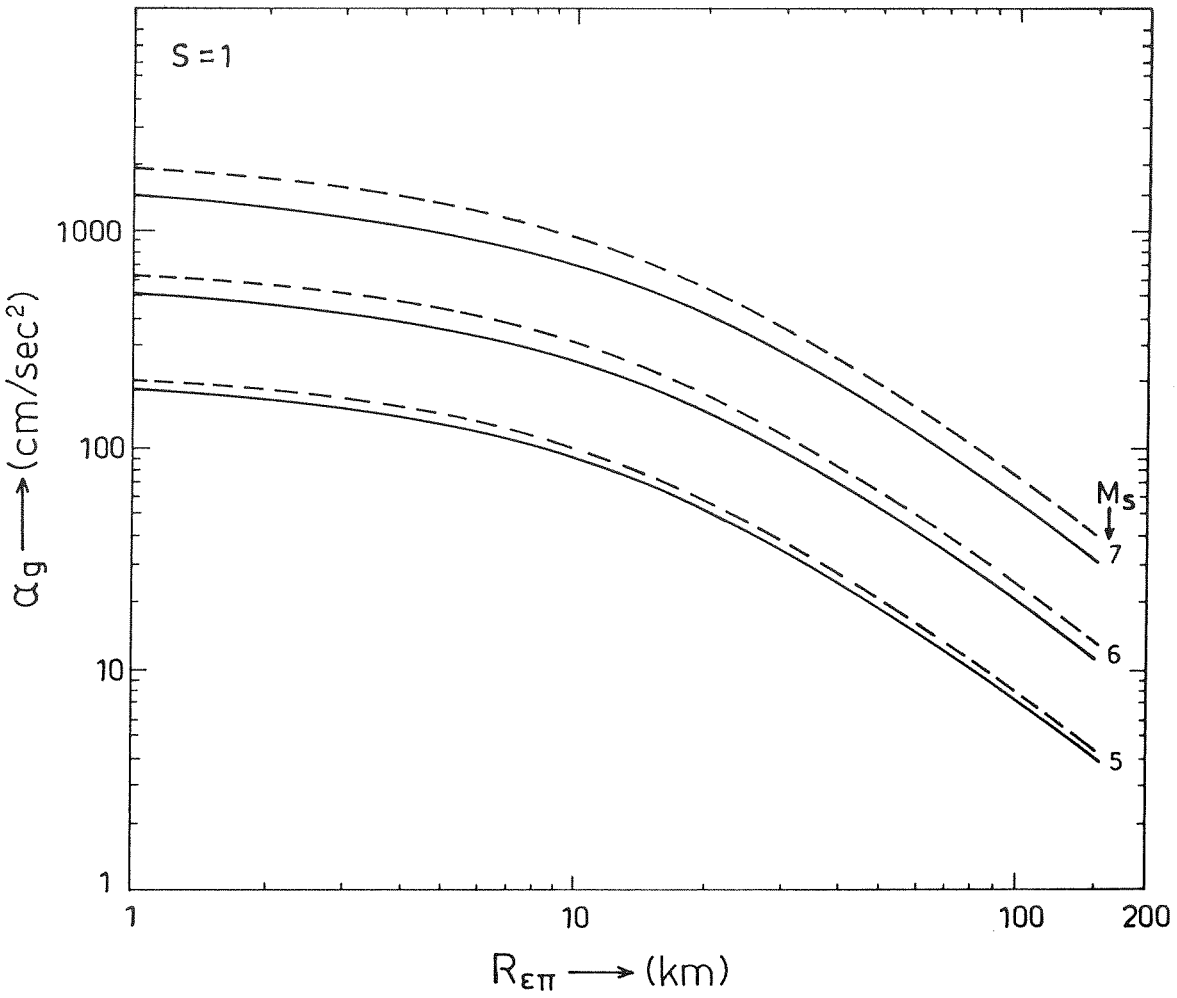
Σχ. 2.79. Σύγκριση της απόσβεσης της οριζόντιας (συνεχόμενη γραμμή) με την κατακόρυφη (διακεκομμένη γραμμή) εδαφικής ταχύτητα για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



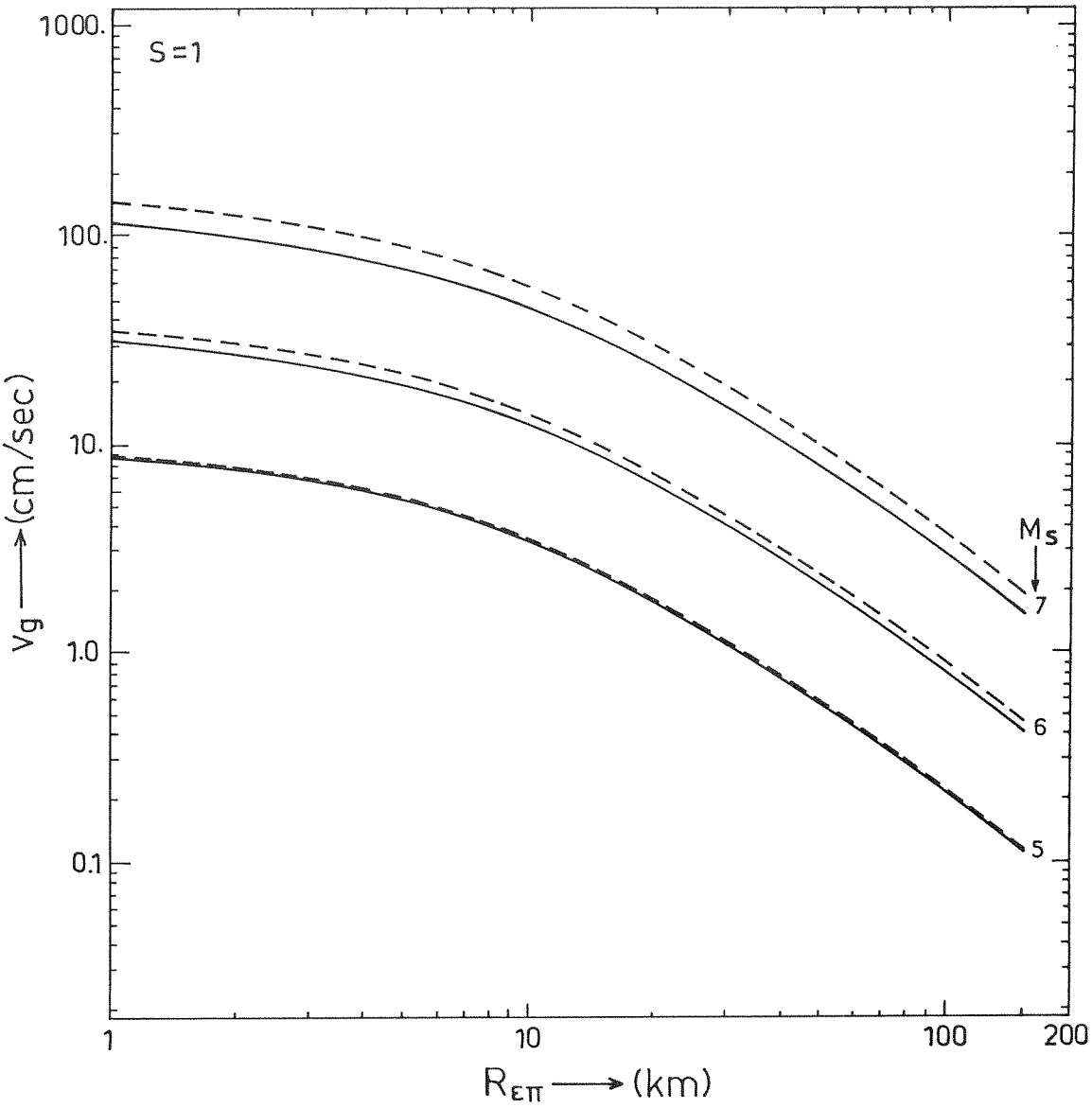
Σχ. 2.80. Σύγκριση της απόσβεσης της οριζόντιας (συνεχόμενη γραμμή) με την κατακόρυφη (διακεκομμένη γραμμή) εδαφικής μετάθεση για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 2.81. Μεταβολή του λόγου της κατακόρυφης προς την οριζόντια εδαφική επιτάχυνση με την επικεντρική απόσταση, το επιφανειακό μέγεθος και τις εδαφικές συνθήκες, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



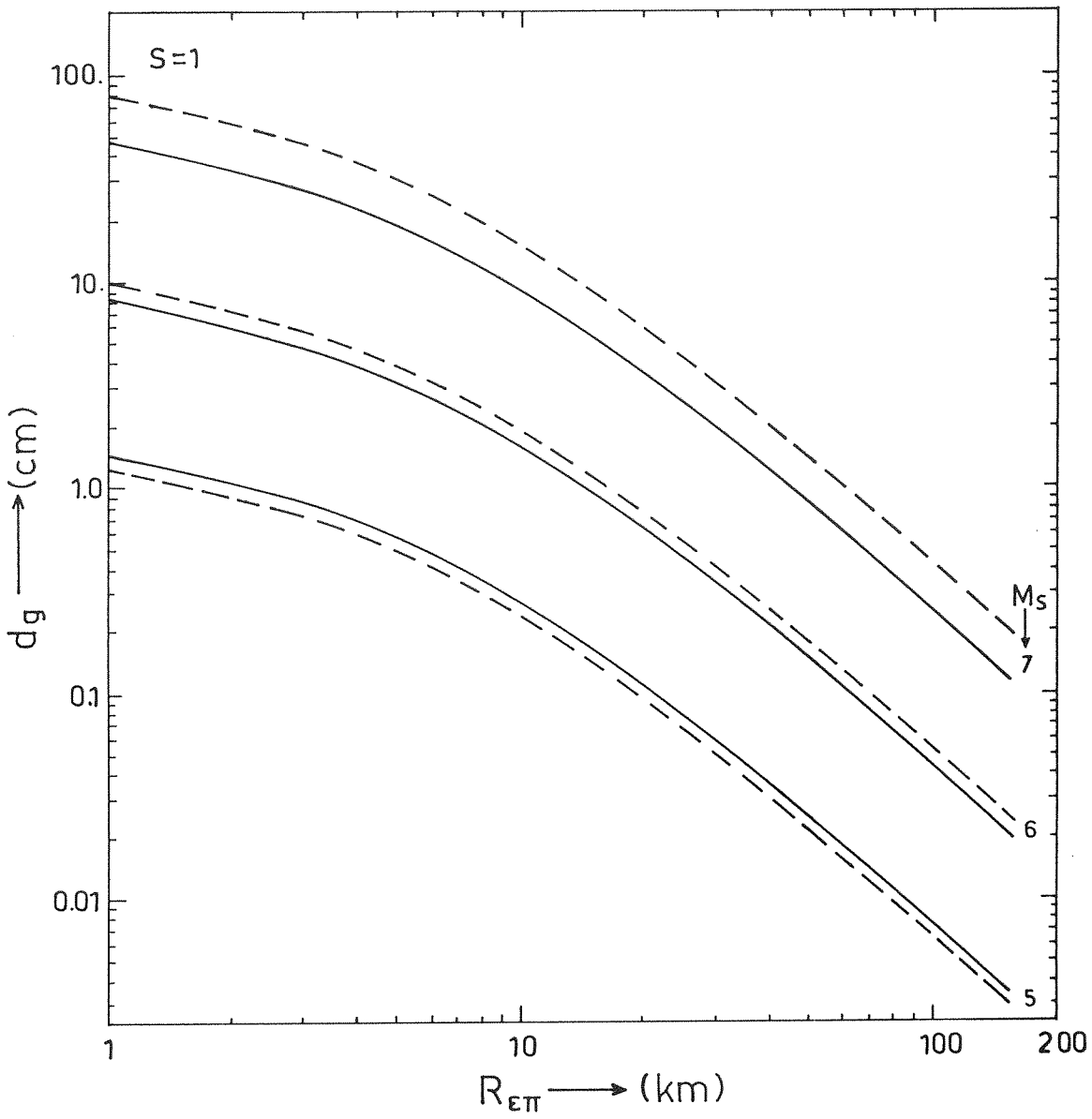
Σχ. 2.82. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με εκείνη του ίδιου δείγματος ενισχυμένου με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$ (διακεκομμένη γραμμή).



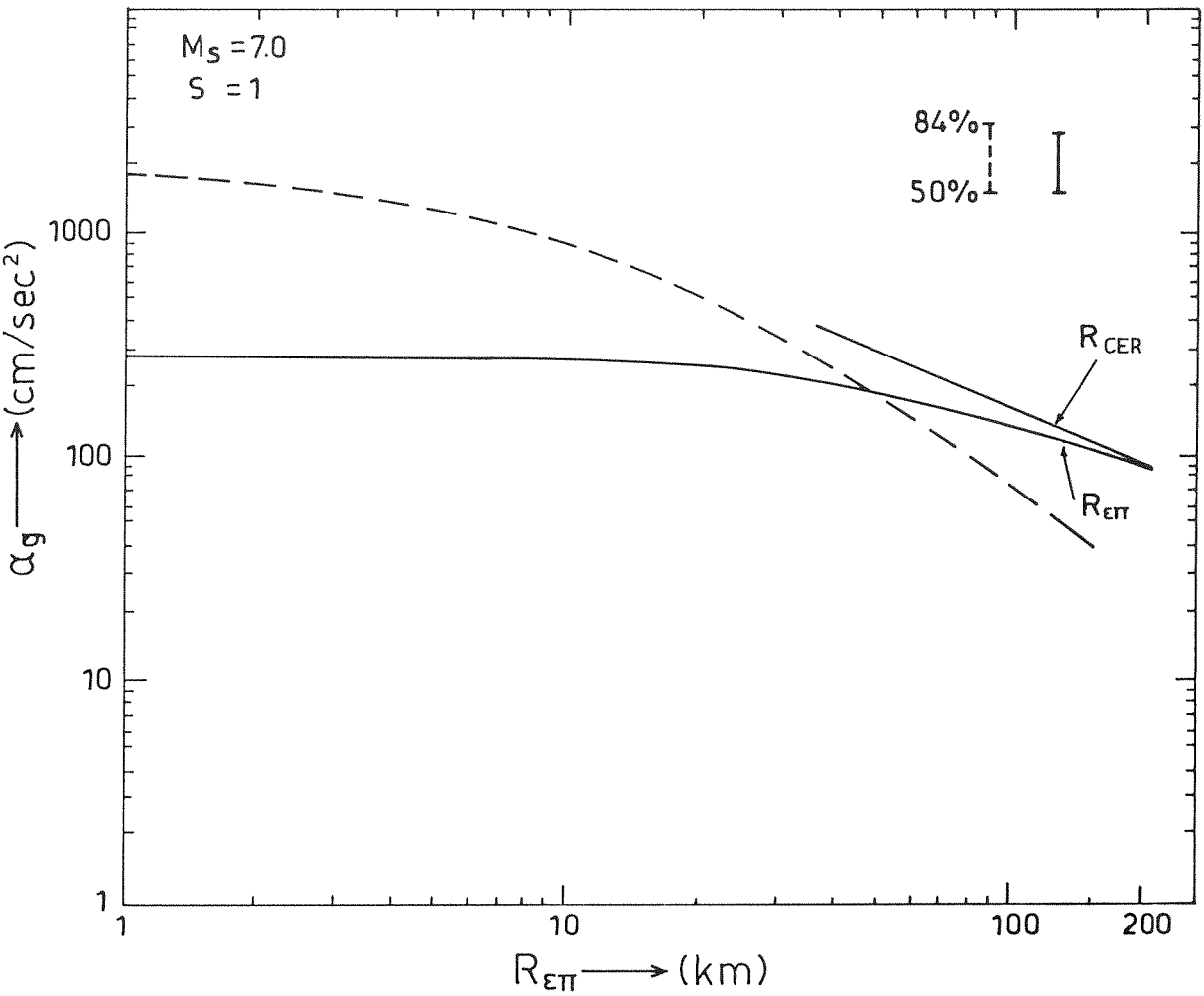
Σχ. 2.83. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με εκείνη του ίδιου δείγματος ενισχυμένου με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_w\leq 7.5$ (διακεκομμένη γραμμή).

χώρου με δεδομένα ισχυρής εδαφικής κίνησης μεγεθών ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$, συγκρίνονται με τις ανάλογες σχέσεις οι οποίες έχουν προκύψει από τα Ελληνικά και μόνο δεδομένα στα σχήματα (2.82), (2.83), (2.84). Για επιφανειακά μεγέθη $Ms\leq6.0$ οι διαφορές των σχέσεων απόσβεσης είναι ελάχιστες, της τάξης του 20% και μικρότερες για την εδαφική επιτάχυνση, της τάξης του 10% και μικρότερες για την ταχύτητα, και της τάξης του 20% και μικρότερες για τη μετάθεση. Για μεγέθη $Ms>6.5$ αυξάνουν οι διαφορές λιγότερο για την εδαφική επιτάχυνση και ταχύτητα και περισσότερο για τη μετάθεση. Τα δεδομένα του δείγματος των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου είναι σχετικά λίγα για μεγέθη $Ms>6.5$ και αυτά λείπουν για $7.0<Ms\leq7.5$. Τα δεδομένα τα οποία προστέθηκαν, για το λόγο αυτό, προέρχονται από σεισμούς σεισμοτεκτονικού περιβάλλοντος παρόμοιου με εκείνο του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου. Για τους παραπάνω λόγους, θεωρείται ότι για ένα ευρύ διάστημα επιφανειακών μεγεθών $4.5\leq Ms\leq7.5$ και για επικεντρικές αποστάσεις $1km\leq R\leq130$ km οι σχέσεις (2.27), (2.28),(2.29), για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, αντίστοιχα, προσεγγίζουν καλύτερα την απόσβεση της ισχυρής εδαφικής κίνησης των επιφανειακών σεισμών στον Ελληνικό χώρο.

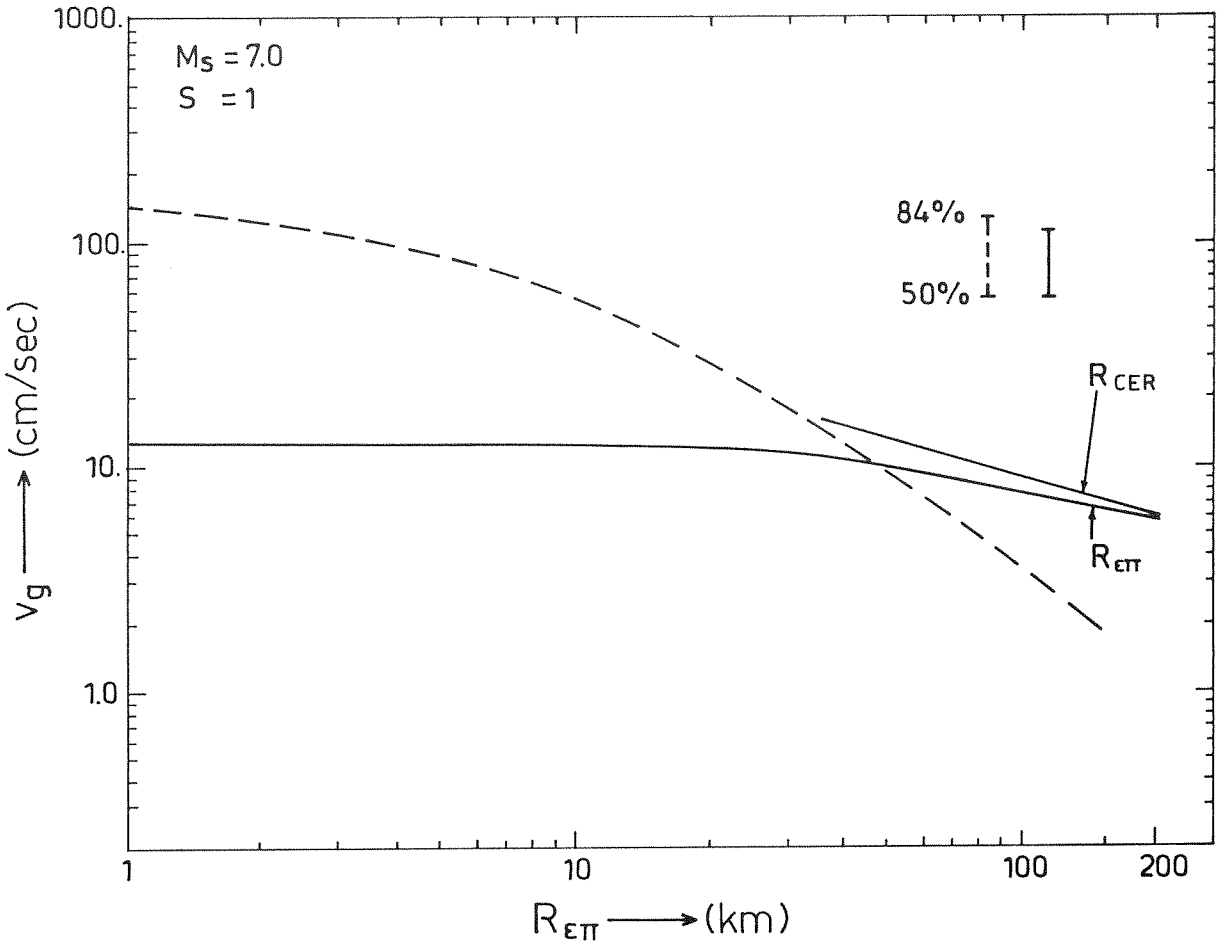
Στο σχήμα (2.85) γίνεται σύγκριση της απόσβεσης της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, ενισχυμένων με επιφανειακά μεγέθη $7.0<Ms\leq7.5$, όπως δίνεται από τη σχέση (2.27), με την ανάλογη σχέση (2.31) των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, για $Ms=Mw=7.0$ και $S=1$. Η δεύτερη σχέση έχει τροποποιηθεί έτσι ώστε η απόσταση από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, R_{CER}, να μετατραπεί σε επικεντρική απόσταση. Αυτή η τροποποίηση έγινε υποθέτοντας ένα μέσο βάθος των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, $h=55km$, όπως προκύπτει από τα δεδομένα του πίνακα (2.11). Οπως φαίνεται από το σχήμα (2.85), για αποστάσεις μικρότερες των 50 km οι επιφανειακοί σεισμοί δίνουν υψηλότερες τιμές επιταχύνσεων ενώ το αντίθετο συμβαίνει για μεγαλύτερες αποστάσεις. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουμε και για την οριζόντια εδαφική ταχύτητα και μετάθεση όπως φαίνεται από τα σχήματα (2.86), (2.87), αντίστοιχα. Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός



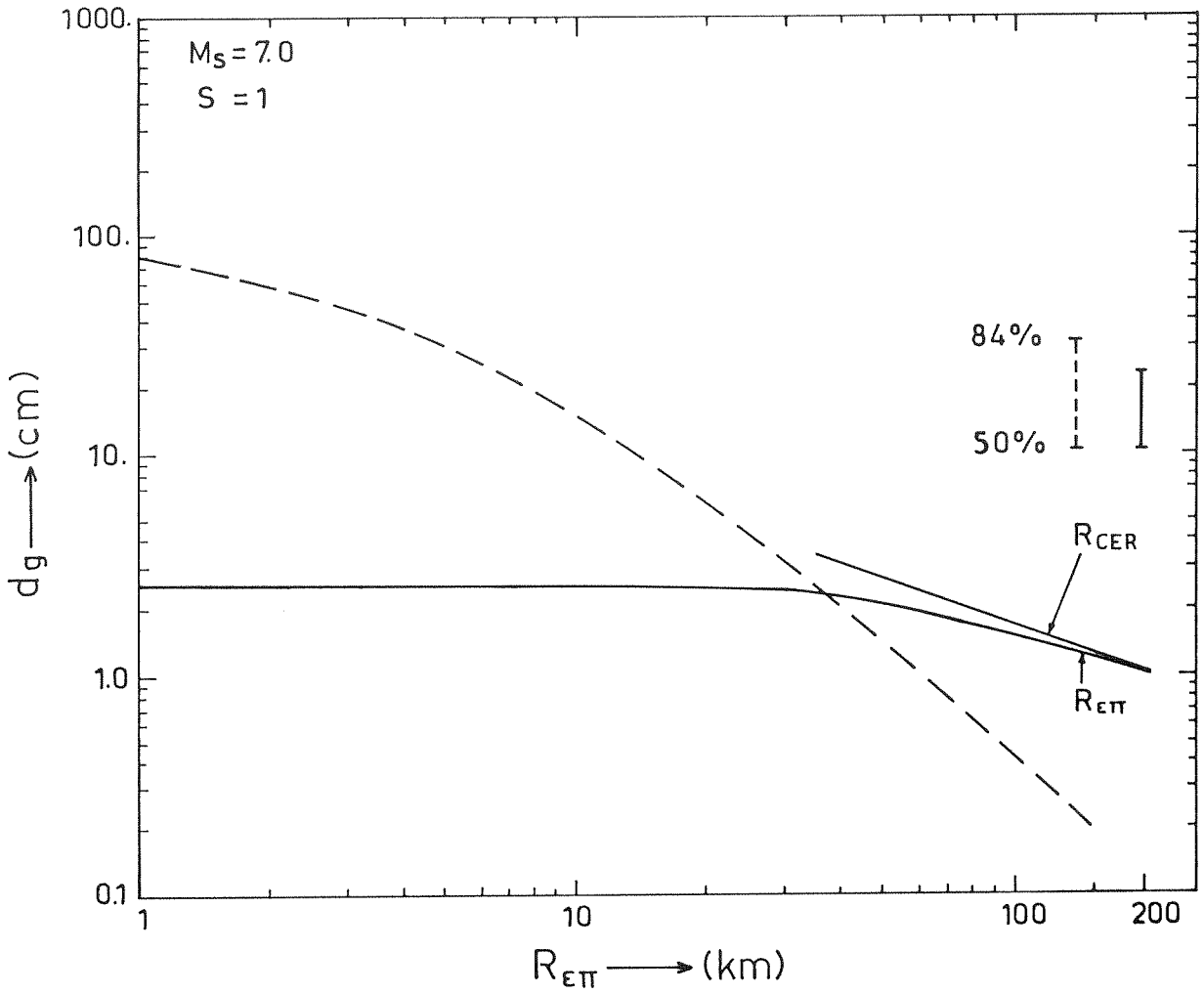
Σχ. 2.84. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με εκείνη του ίδιου δείγματος ενισχυμένου με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_w\leq 7.5$ (διακεκομμένη γραμμή).



Σχ. 2.85. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, 7.0<Mw≤7.5 (διακεκομμένη γραμμή), με εκείνη των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (συνεχόμενη γραμμή).



Σχ. 2.86. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$ (διακεκομμένη γραμμή), με εκείνη των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (συνεχόμενη γραμμή).

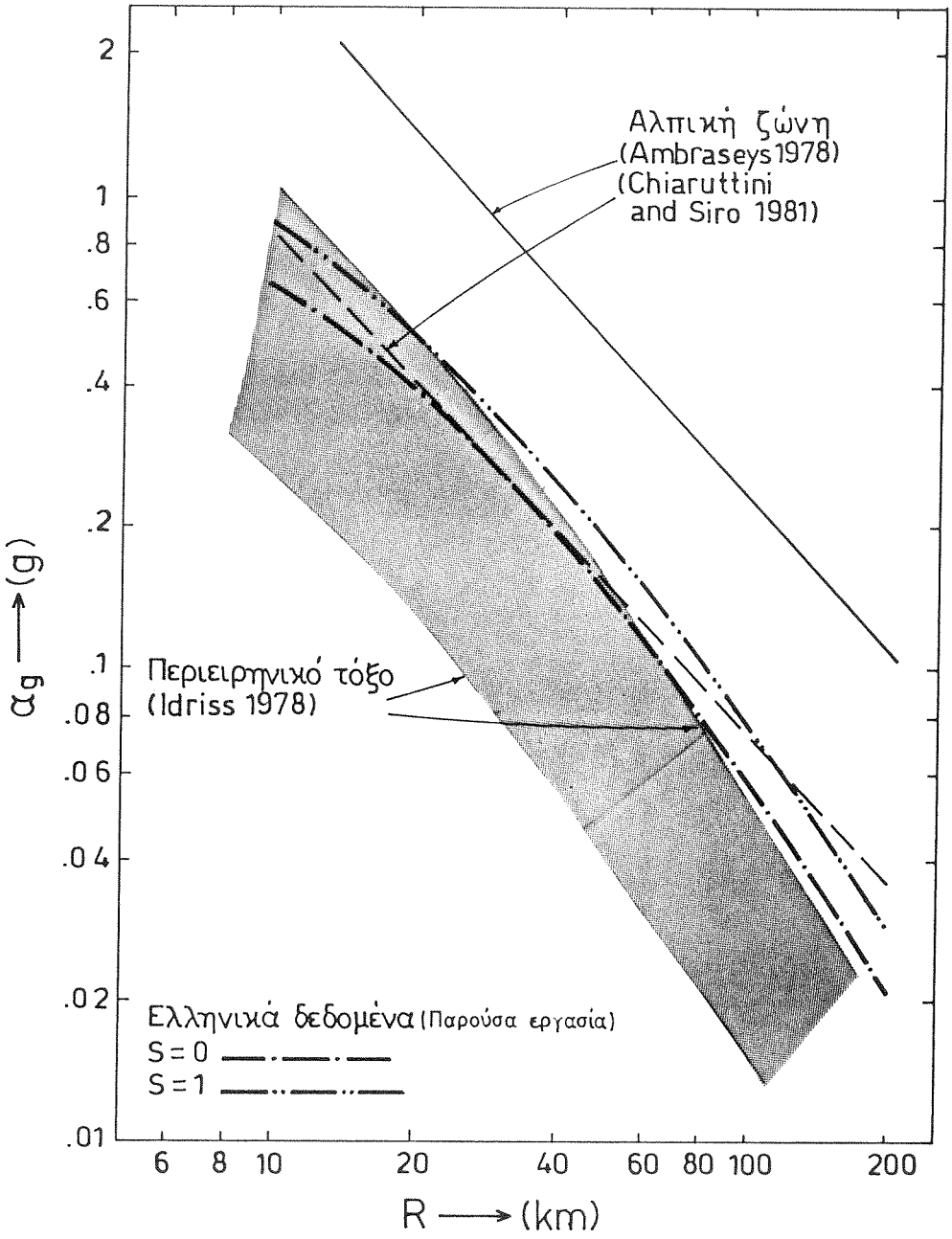


Σχ. 2.87. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_W \leq 7.5$ (διακεκομμένη γραμμή), με εκείνη των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (συνεχόμενη γραμμή).

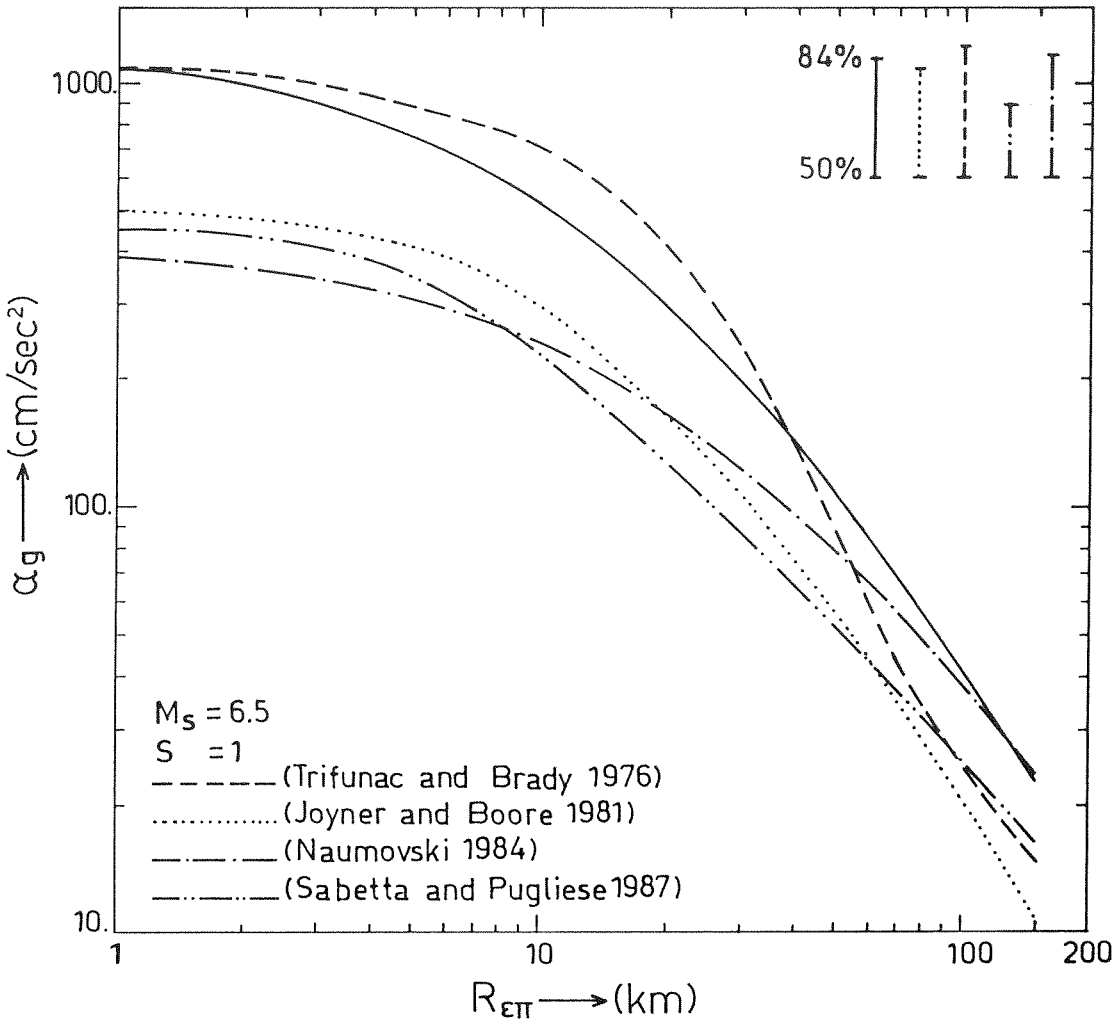
ότι ενώ στο κοντινό πεδίο,R=1 km, η οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, για Mw=7.0 και S=1 μπορούν να έχουν τιμές 7,11,33 φορές, αντίστοιχα , μικρότερες, στο μακρυνό πεδίο, R=150 km, μπορούν να έχουν τιμές 2.5, 3.5, 6 φορές, αντίστοιχα, μεγαλύτερες από τις ανάλογες τιμές των επιφανειακών σεισμών.

Σύγκριση της απόσβεσης της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για τοπικό μέγεθος, M_L=6.5, με ανάλογες σχέσεις από δεδομένα του Αλπικού τόξου (Ambraseys 1978, Chiaruttini and Siro 1981) και του Περιειρηνικού τόξου (Idriss 1978) δίνεται στο σχήμα (2.88). Η σχέση απόσβεσης για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου συμφωνεί ικανοποιητικά με την ανάλογη του Αλπικού τόξου των Chiaruttini και Siro (1981), δίνει γενικά υψηλότερες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης από τις σχέσεις απόσβεσης του Περιειρηνικού τόξου και πολύ χαμηλότερες από τη σχέση απόσβεσης του Αλπικού τόξου του Ambraseys (1978). Σύμφωνα με τους Chiaruttini και Siro (1981) αυτή η υπερεκτίμηση της εδαφικής επιτάχυνσης του Αλπικού τόξου από τον Ambraseys (1978) οφείλεται κυρίως στην ανομοιογένεια των χρησιμοποιουμένων κλιμάκων μεγέθους. Η συμφωνία της σχέσης απόσβεσης των ερευνητών αυτών με την προτεινόμενη για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου καθώς και η ομοιογένεια στην κλίμακα του τοπικού μεγέθους την οποία χρησιμοποιήσαμε, ενισχύει την παραπάνω άποψή τους.

Στο σχήμα (2.89) γίνεται σύγκριση της προτεινόμενης για τον Ελληνικό χώρο σχέσης απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, για Ms=6.5 και εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα", με ανάλογες σχέσεις των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. (Trifunac and Brady 1976, Joyner and Boore 1981), καθώς και του νότιου Ευρωπαϊκού χώρου (Naumovski 1984, Sabetta and Pugliese 1987). Η προτεινόμενη για τον Ελληνικό χώρο σχέση απόσβεσης δίνει υψηλότερες τιμές επιτάχυνσης για αποστάσεις μεγαλύτερες των 40 km από όλες τις υπόλοιπες σχέσεις. Γενικά όμως φαίνεται ότι όλες οι σχέσεις καλύπτονται ικανοποιητικά από τη ζώνη η οποία σχηματίζεται από τη μέση προτεινόμενη για τον Ελληνικό χώρο με ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Ανάλογη σύγκριση γίνεται για την



Σχ. 2.88. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με εκείνη του Αλπικού και του Περιειρηνικού τόξου για τοπικό μέγεθος M_L=6.5.

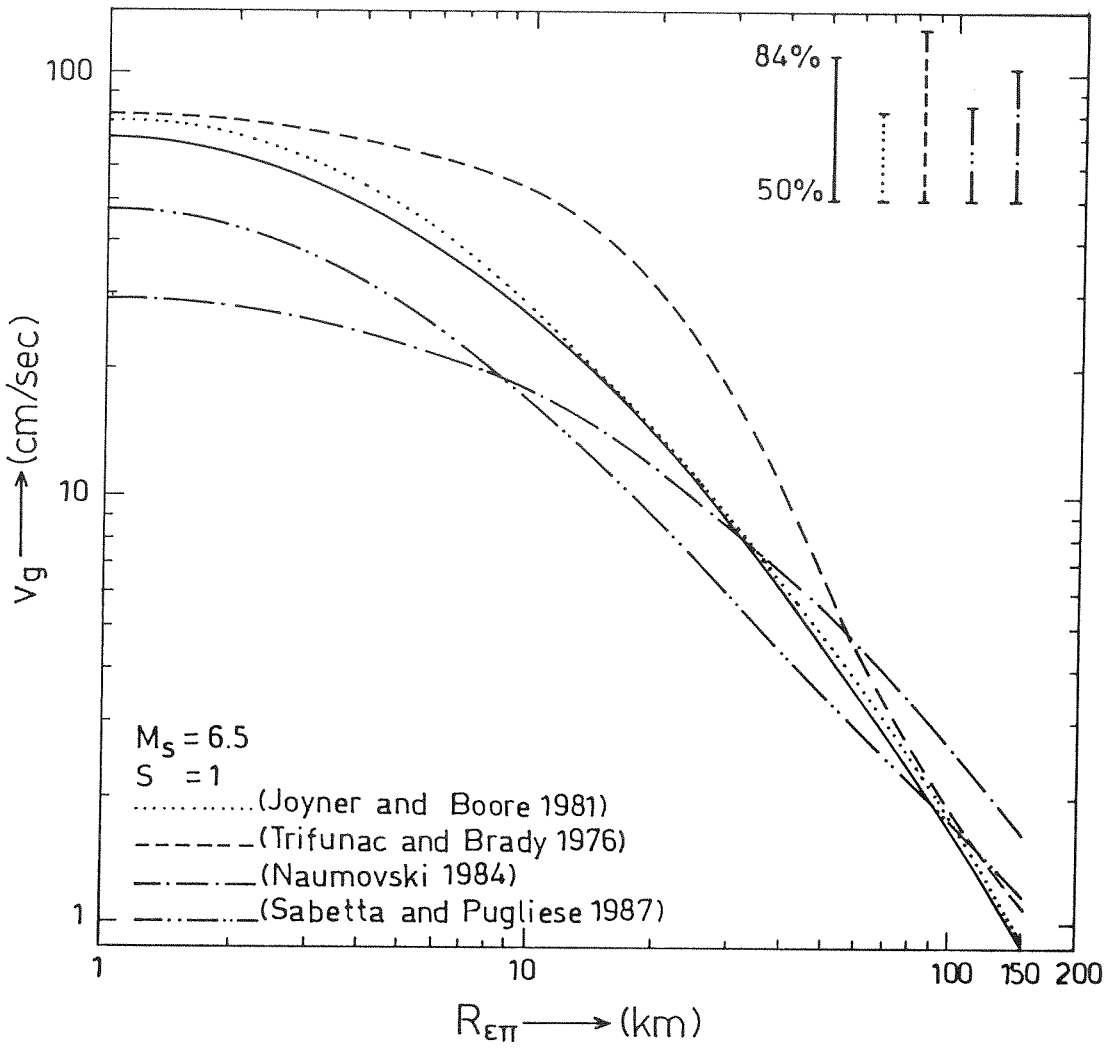


Σχ. 2.89. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$ (συνεχόμενη γραμμή), με ανάλογες αποσβέσεις δεδομένων της νότιας Ευρώπης και των δυτικών ακτών των Η.Π.Α.

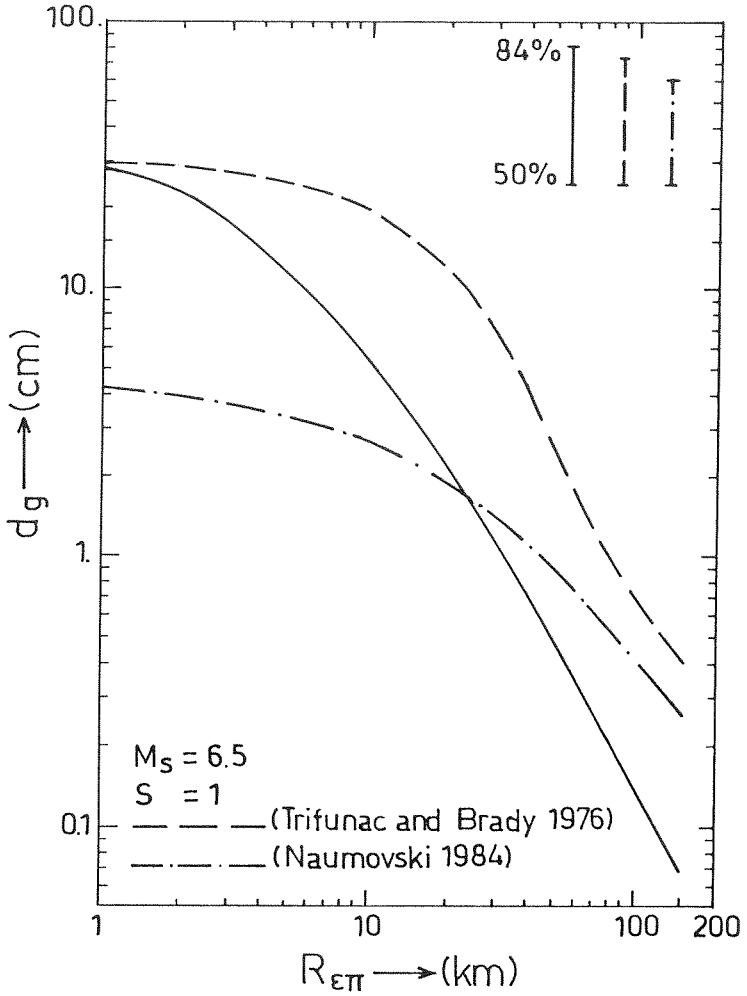
προτεινόμενη σχέση απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας στο σχήμα (2.90). Από τη σύγκριση αυτή φαίνεται ότι η προτεινόμενη για τον Ελληνικό χώρο σχέση σχεδόν ταυτίζεται με εκείνη των Joyner και Boore (1981), ενώ οι υπόλοιπες βρίσκονται μέσα στη ζώνη της μέσης τιμής της με ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Στο σχήμα (2.91) γίνεται επίσης ανάλογη σύγκριση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης. Για αποστάσεις μεγαλύτερες των 20 km περίπου η προτεινόμενη για τον Ελληνικό χώρο σχέση δίνει μικρότερες τιμές μετάθεσης από τις άλλες δύο ακόμη και για τη μέση τιμή της ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Στο σχήμα (2.92) γίνεται σύγκριση της προτεινόμενης για τον Ελληνικό χώρο σχέσης απόσβεσης της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, για Ms=6.5 και εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα", με ανάλογη των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. (Trifunac and Brady 1976), του Βαλκανικου χώρου (Naumovski 1984) και των Abrahamson και Literhiser (1989) η οποία προέκυψε από τη χρήση παγκόσμιων δεδομένων. Αν εξαιρεθεί η απόκλιση στο κοντινό πεδίο, $R_{\varepsilon\pi}$<40 km, της σχέσης των Trifunac και Brady (1976) η οποία δίνει υψηλότερες τιμές επιτάχυνσης, οι άλλες σχέσεις συμφωνούν ικανοποιητικά με αυτή του Ελληνικού χώρου.

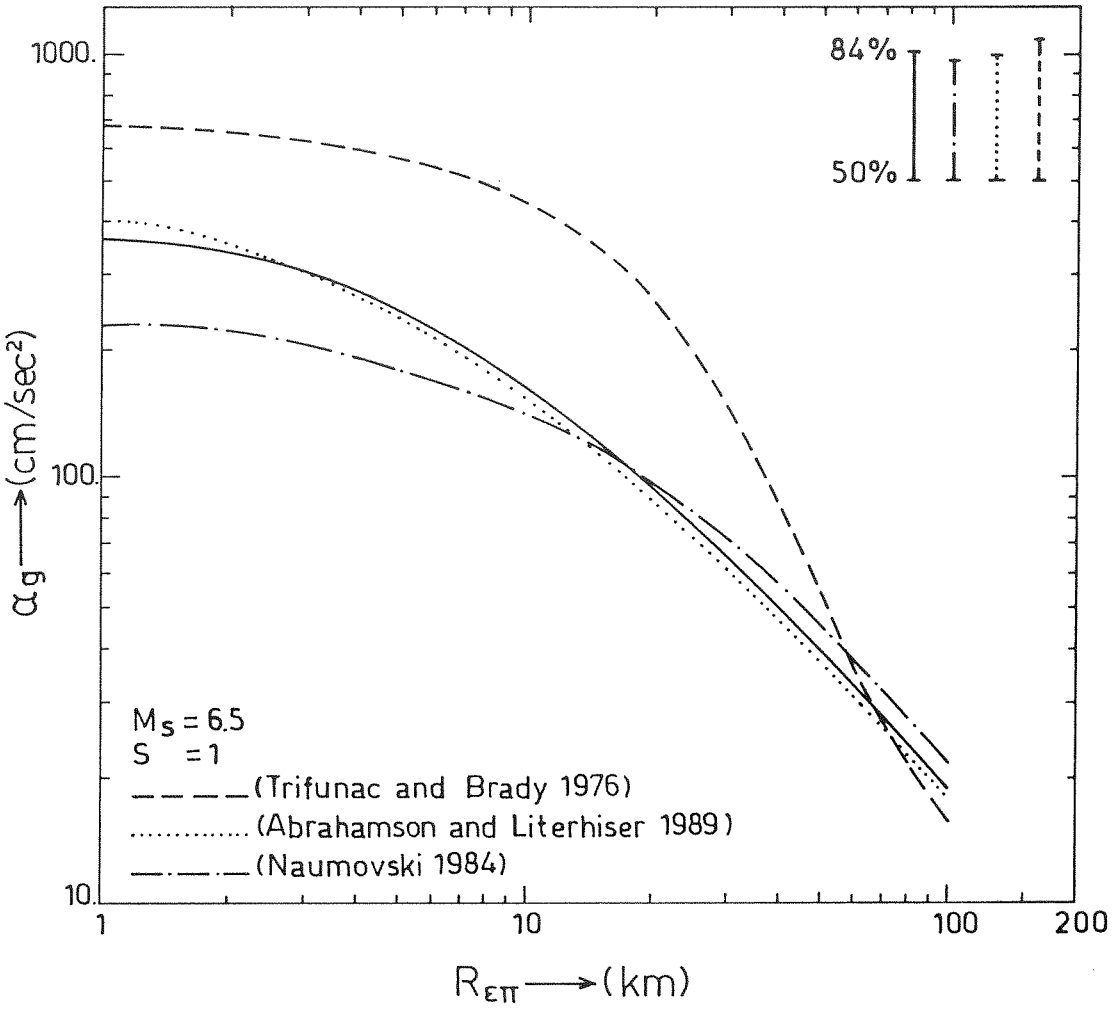
Σύγκριση της προτεινόμενης για τον Ελληνικό χώρο σχέσης απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με ανάλογη σχέση των Woodward-Clyde (1982) δίνεται στο σχήμα (2.93). Η απόσταση,R_{CL}, που χρησιμοποίησαν για τον καθορισμό της σχέσης απόσβεσης αναφέρεται σε εκείνη του σταθμού καταγραφής από το πλέον κοντινό τμήμα της επιφάνειας του ρήγματος. Οι γενικά χαμηλότερες τιμές επιταχύνσεων που προβλέπονται από τη σχέση των Woodward-Clyde για Mw=7.5 και S=1, μπορεί να οφείλονται στο διαφορετικό δείγμα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε, στο οποίο περιλαμβάνονται και δεδομένα επιφανειακών σεισμών (h>6 km). Παρόλα αυτά ο μέσος όρος της προτεινόμενης από αυτούς σχέσης απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, τοποθετείται μέσα στη ζώνη η οποία σχηματίζεται από το μέσο όρο ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα της προτεινόμενης για τον Ελληνικό χώρο ανάλογης σχέσης απόσβεσης.



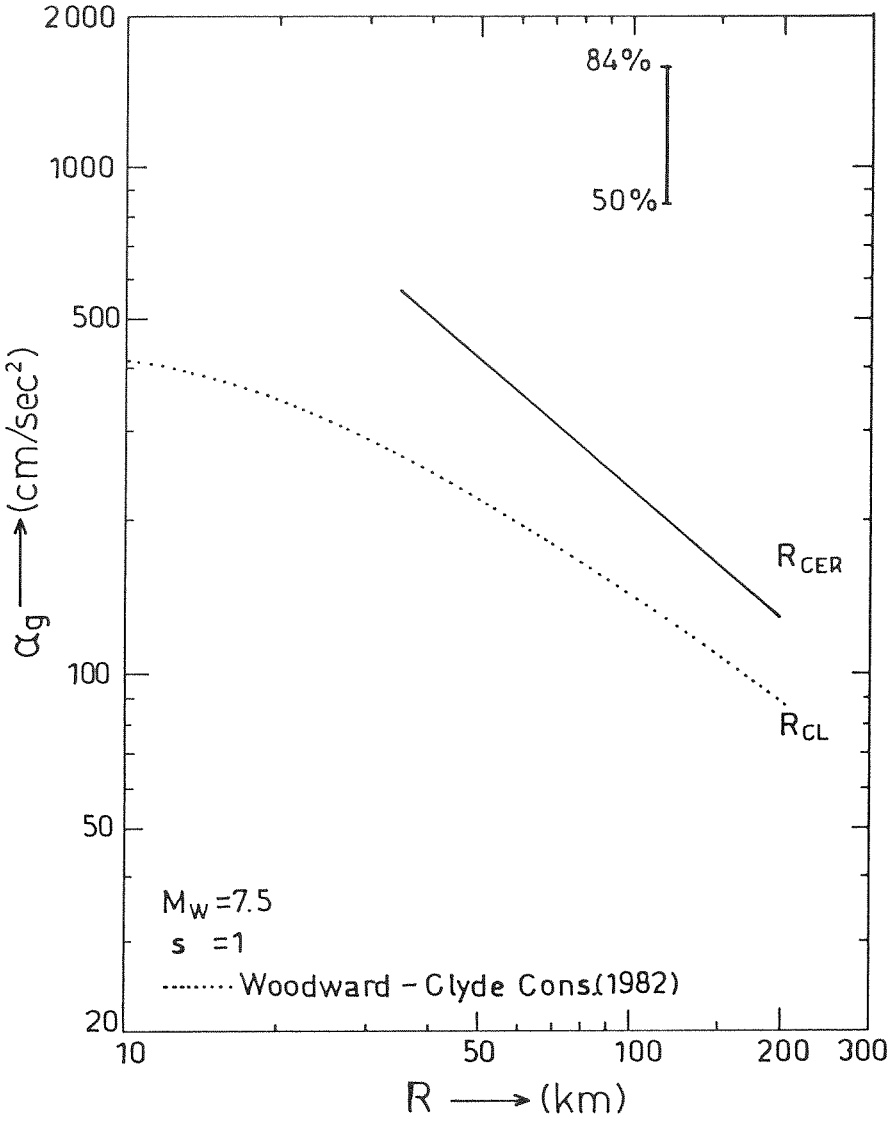
Σχ. 2.90. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$ (συνεχόμενη γραμμή), με ανάλογες αποσβέσεις δεδομένων της νότιας Ευρώπης και των δυτικών ακτών των Η.Π.Α.



Σχ. 2.91 Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, 7.0<Mw≤7.5 (συνεχόμενη γραμμή), με ανάλογες αποσβέσεις δεδομένων της νότιας Ευρώπης και των δυτικών ακτών των Η.Π.Α.



Σχ. 2.92. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογες αποσβέσεις παγκόσμιων δεδομένων και δεδομένων της νότιας Ευρώπης.



Σχ. 2.93. Σύγκριση της απόσβεσης της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με ανάλογη από δεδομένα σεισμών ζωνών κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

3.1. Εισαγωγή

Η μακροσεισμική ένταση είναι μια ποσότητα η οποία μετράει τη σφοδρότητα της ισχυρής εδαφικής κίνησης σε μια θέση αλλά δεν υπάρχει άμεσος φυσικός νόμος που να δείχνει ότι αυτή θα μπορούσε να συσχετισθεί με τις μέγιστες τιμές της ισχυρής εδαφικής κίνησης (Trifunac and Brady 1975b). Παρόλα αυτά, η μακροσεισμική ένταση αντιπροσωπεύει, ακόμη και σήμερα, το μόνο διαθέσιμο μέτρο σφοδρότητας των ιστορικών σεισμών το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του επιπέδου της σεισμικής δραστηριότητας σε μια περιοχή. Συνεπώς, η κατά το δυνατόν ακριβέστερη συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, η οποία θα περιλαμβάνει και τις εγγενείς αβεβαιότητες, είναι χρήσιμη ιδιαίτερα για περιοχές οι οποίες στερούνται ενόργανων μετρήσεων ισχυρής εδαφικής κίνησης.

Για τον Ελληνικό χώρο έχει καθορισθεί η παρακάτω σχέση μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, a_g, και της μακροσεισμικής έντασης, I, με τη χρήση 14 επιταχυνσιογραμμάτων επιφανειακών σεισμών και αντίστοιχων θεωρητικά αναμενόμενων μακροσεισμικών εντάσεων από τον Παπαιωάννου (1984),

$$\log a_g = -0.04 + 0.32I \qquad (3.1)$$

όπου a_g σε cm/sec^2.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται συσχέτιση μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης και της μακροσεισμικής έντασης I_{MM}, στην κλίμακα Modified Mercalli, για επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου. Ανάλογη συσχέτιση γίνεται και για

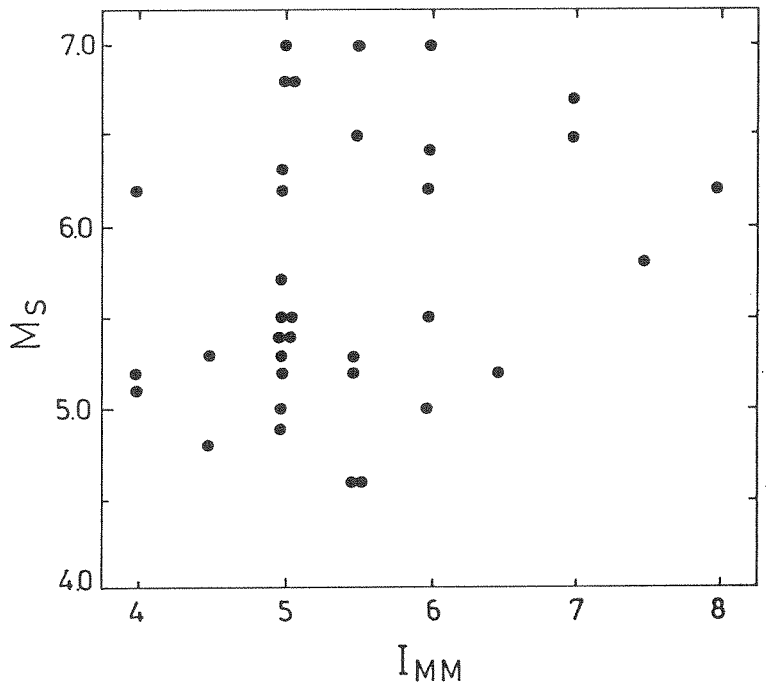
επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου ύστερα από την ενίσχυσή τους με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$ από άλλες περιοχές της Γης, καθώς και για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους της ζώνης κατάδυσης του Ελληνικού τόξου.

3.2. Συσχέτιση της Μέγιστης Οριζόντιας και Κατακόρυφης Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g\}$, με τη Μακροσεισμική Ενταση, I_{MM}, Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου.

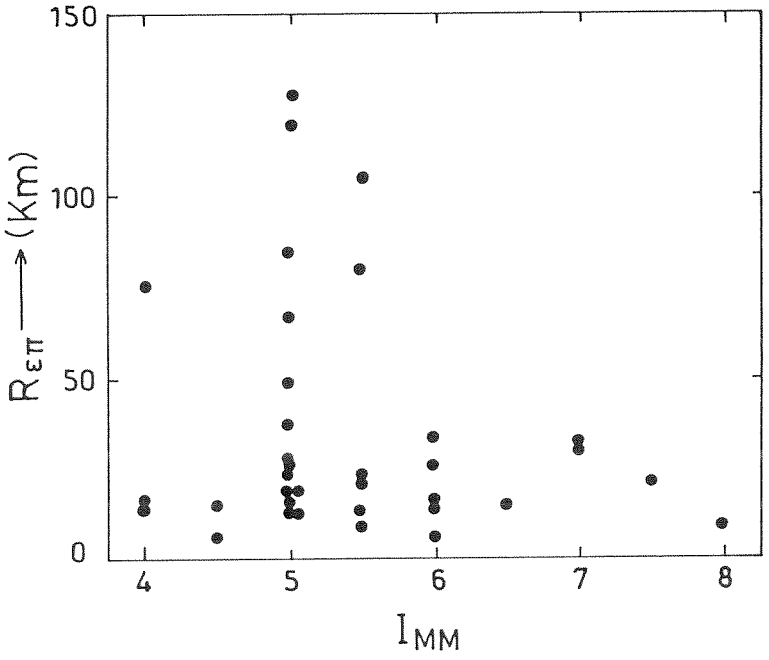
3.2.1. Δεδομένα παρατήρησης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συσχέτιση της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g,\}$ με τη μακροσεισμική ένταση, I_{MM}, δίνονται στον πίνακα (3.1). Στην πρώτη στήλη του πίνακα αυτού δίνεται ο αύξοντας αριθμός της καταγραφής, στη δεύτερη ο κωδικός της όπως αναφέρεται και στον πίνακα (2.2). Στην τρίτη στήλη δίνονται οι παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις, στην κλίμακα Modified Mercalli στη θέση καταγραφής και βρίσκονται στα μηνιαία δελτία του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (1972-1985), εκτός από εκείνη που αντιστοιχεί στην καταγραφή KAL86-1 και βρίσκεται στη μελέτη της κατανομής των ισοβλαβών για την πόλη της Καλαμάτας, του σεισμού της 13-9-1986 (Κυρατζή και Λεκίδης 1987). Στις τρεις επόμενες στήλες δίνονται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, αντίστοιχα. Στην έβδομη στήλη δίνεται το είδος της συνιστώσας. Στην τελευταία στήλη δίνεται ο χαρακτηρισμός, των εδαφικών συνθηκών, 0 για τις "αλλουβιακές αποθέσεις" και 1 για το "σκληρό πέτρωμα" όπως εξηγήθηκε στο κεφάλαιο 2.

Στα σχήματα (3.1), (3.2) δίνεται η κατανομή των μεγεθών και αποστάσεων, αντίστοιχα, του πίνακα (3.1), σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση. Το μεγαλύτερο ποσοστό των παρατηρήσεων αντιστοιχεί στις μακροσεισμικές εντάσεις 5 και 6. Από το σχήμα



Σχ. 3.1. Κατανομή των επιφανειακών μεγεθών με τη μακροσεισμική ένταση για τα επιταχυνσιογράμματα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 3.2. Κατανομή των επικεντρικών αποστάσεων με τη μακροσεισμική ένταση για τα επιταχυνσιογράμματα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Πίνακας 3.1. Δεδομένα μακροσεισμικών εντάσεων (Modified Mercalli) και των αντίστοιχων μεγίστων οριζοντίων και κατακορύφων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	I_{MM} ΣΤΑΘΜΟΥ	a_g (cm/sec²)	v_g (cm/sec)	d_g (cm)	S 0,1
1	ARG72-1A	5.0	170.0	8.0	1.8	L 1
			120.0	5.0	1.7	T
			-	-	-	V
2	ARG72-2A	5.0	165.0	8.2	4.3	L 1
			70.0	2.6	0.36	T
			-	-	-	V
3	LEF73-1A	7.5	530.0	65.0	26.8	L 0
			263.0	30.0	12.0	T
			123.0	7.3	6.4	V
4	PAT74-1A	5.5	41.0	1.5	0.6	L 0
			40.0	2.1	1.1	T
			22.0	0.9	0.15	V
5	PAT75-1A	5.0	19.0	2.0	1.55	L 0
			50.0	3.4	1.83	T
			17.0	2.3	2.70	V
6	XYL75-1A	5.5	73.0	3.3	0.6	L 0
			60.0	2.8	0.27	T
			22.0	0.8	0.42	V
7	KOR75-1A	5.0	25.0	2.1	0.8	L 0
			29.0	1.8	1.0	T
			18.0	1.8	1.37	V
8	THE78-1A	7.0	139.6	12.7	3.0	L 0
			151.5	16.7	3.4	T
			133.1	7.6	1.0	V
9	GEV78-1Y	5.5	41.4	1.5	0.1	L 0
			39.8	1.5	0.1	T
			24.6	1.3	0.1	V
10	SHO78-1Y	4.0	29.2	3.0	0.49	L 0
			38.0	1.9	0.32	T
			39.2	1.1	0.19	V
11	ALM80-2U	6.0	123.9	6.9	0.53	L 0
			107.1	3.9	0.29	T
			86.9	3.1	0.27	V

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	I_{MM} ΣΤΑΘΜΟΥ	a_g (cm/sec²)	v_g (cm/sec)	d_g (cm)	S 0,1
12	ALM80-4U	4.5	69.6	3.3	0.56	L 0
			69.9	5.0	0.7	T
			68.0	3.4	0.56	V
13	ALM80-5U	4.5	56.3	3.4	0.28	L 0
			58.5	4.0	0.46	T
			34.6	2.0	0.19	V
14	KOR81-1A	7.0	234.0	22.5	6.7	L 0
			281.0	24.6	6.3	T
			94.0	8.0	2.6	V
15	KOR81-2A	6.0	118.5	12.5	4.5	L 0
			118.2	14.0	5.8	T
			39.8	5.3	2.4	V
16	AGR83-1	5.0	30.6	3.5	1.4	L 0
			51.1	4.5	1.47	T
			13.4	2.3	0.75	V
17	LEF83-1	5.5	64.7	6.0	0.96	L 0
			62.2	6.6	1.11	T
			16.1	1.9	0.29	V
18	ARG83-1	6.0	162.1	6.5	0.54	L 1
			139.3	8.4	0.49	T
			38.0	1.8	0.09	V
19	ARG83-4	5.0	67.5	2.7	0.18	L 1
			77.0	4.1	0.32	T
			19.4	0.8	0.03	V
20	ZAK83-2	5.0	31.4	1.7	0.18	L 0
			25.6	1.6	0.14	T
			16.8	0.9	0.09	V
21	LEF83-2	4.0	26.0	1.1	0.08	L 0
			15.9	1.2	0.09	T
			6.5	0.2	0.00	V
22	LEF83-3	5.0	50.7	4.2	0.77	L 0
			30.9	2.3	0.39	T
23	ZAK83-3	5.0	20.7	2.0	0.22	L 0
			25.6	1.5	0.19	T
			11.6	0.7	0.10	V
			14.9	1.8	0.28	V

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	I_{MM} ΣΤΑΘΜΟΥ	a_g (cm/sec²)	v_g (cm/sec)	d_g (cm)	S 0,1
24	LEF83-4	4.0	21.7	1.7	0.18	L 0
			25.3	2.6	0.30	T
			7.0	0.4	0.02	V
25	ARG83-7	6.0	177.0	4.9	0.54	L 1
			234.0	9.9	0.82	T
			72.0	1.8	0.15	V
26	POL83-1	5.0	20.3	0.8	0.08	L 1
			19.7	1.7	0.24	T
			11.6	1.0	0.13	V
27	IER83-2	5.0	27.0	1.5	0.15	L 0
			25.1	1.6	0.15	T
			8.5	0.4	0.02	V
28	POL84-1	5.0	18.9	0.7	0.02	L 1
			14.4	0.5	0.01	T
			9.3	0.3	0.00	V
29	EDE84-1	5.5	33.4	3.1	0.27	L 0
			43.1	4.0	0.37	T
			16.8	0.6	0.04	V
30	VER84-1	5.0	13.7	1.1	0.09	L 0
			8.8	0.3	0.01	T
			19.6	0.5	0.02	V
31	LEF85-1	5.5	73.6	3.7	0.23	L 0
			50.9	2.5	0.16	T
			21.2	0.8	0.05	V
32	PRE85-1	6.5	45.2	2.5	0.21	L 0
			54.2	3.7	0.24	T
			43.0	1.0	0.11	V
33	DRA85-1	6.0	34.6	4.4	0.59	L 0
			86.2	7.4	0.98	T
			28.2	3.1	0.43	V
34	KAV85-1	5.0	49.7	2.1	0.13	L 1
			34.7	1.5	0.09	T
			37.7	1.4	0.08	V
35	KAL86-1	8.0	235.3	32.3	7.19	L 0
			268.0	23.7	5.34	T
			178.4	9.0	1.43	V

(3.2) φαίνεται ότι οι παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις καλύπτουν κυρίως αποστάσεις μικρότερες των 50 km, δηλαδή είναι παρατηρήσεις κοντινού πεδίου.

3.2.2. Μεθοδολογία

Η φυσική βάση για τη συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με ενόργανες μετρήσεις της ισχυρής εδαφικής κίνησης είναι σε μεγάλο βαθμό ασαφής. Παρόλα αυτά, από διάφορους ερευνητές έχει προταθεί σχέση η οποία συνδέει τα παραπάνω μεγέθη και είναι της μορφής,

$$\ln Y = C_1 + C_2 I_{MM} + \sigma_{\ln Y} P \qquad (3.2)$$

όπου Y είναι παράμετρος της ισχυρής εδαφικής κίνησης, όπως μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, I_{MM} η μακροσεισμική ένταση, C_1, C_2 συντελεστές αναγωγής που υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, και $\sigma_{\ln Y}$ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Η παράμετρος P παίρνει τιμή 0 για το μέσο όρο της προβλεπόμενης εξαρτημένης μεταβλητής, lnY, και 1 για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα όταν τα υπόλοιπα της σχέσης (3.2) ακολουθούν κανονική κατανομή.

Σε περιπτώσεις όπου ήταν γνωστές και οι εδαφικές συνθήκες στη θέση καταγραφής της ισχυρής εδαφικής κίνησης, έγινε συσχέτιση αυτής με τη μακροσεισμική ένταση και τις εδαφικές συνθήκες, (Trifunac and Brady 1975b, Trifunac 1976a, Chiaruttini and Siro 1981). Με τη χρήση των δεδομένων του πίνακα (3.1) και με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων υπολογίσθηκαν οι συντελεστές C_1, C_2 της σχέσης (3.2). Προκειμένου να ληφθεί υπόψη και η επίδραση των εδαφικών συνθηκών, S, ο συντελεστής της μακροσεισμικής έντασης, C_2, θεωρήθηκε δεδομένος, όπως υπολογίσθηκε από τη σχέση (3.2) και προέκυψε η σχέση,

$$\ln Y - C_2 I_{MM} = C_1' + C_3 S + \sigma'_{\ln Y} P \qquad (3.3)$$

της οποίας οι συντελεστές C'_1 , C_3 υπολογίσθηκαν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, σ_{lnY}, υπολογίσθηκε με τη χρήση των συντελεστών C'_1, C_2, C_3.

Εξετάσθηκε επίσης η σχέση της μορφής,

$$lnY=C_1+C_2 I_{MM}+C_3 S+\sigma_{lnY} P \qquad (3.4)$$

στην οποία γίνεται ταυτόχρονα προσδιορισμός του συντελεστή της μακροσεισμικής έντασης, C_2, της επίδρασης των εδαφικών συνθηκών, C_3, και του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, σ_{lnY}.

3.2.3. Σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης ισχυρής κίνησης, $\{a_g, v_g, d_g\}$, και της μακροσεισμικής έντασης, I_{MM}, επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Στον πίνακα (3.2), δίνονται οι τιμές των συντελεστών των σχέσεων (3.2), (3.3) για τη μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, a_g, ταχύτητα, v_g, μετάθεση, d_g, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

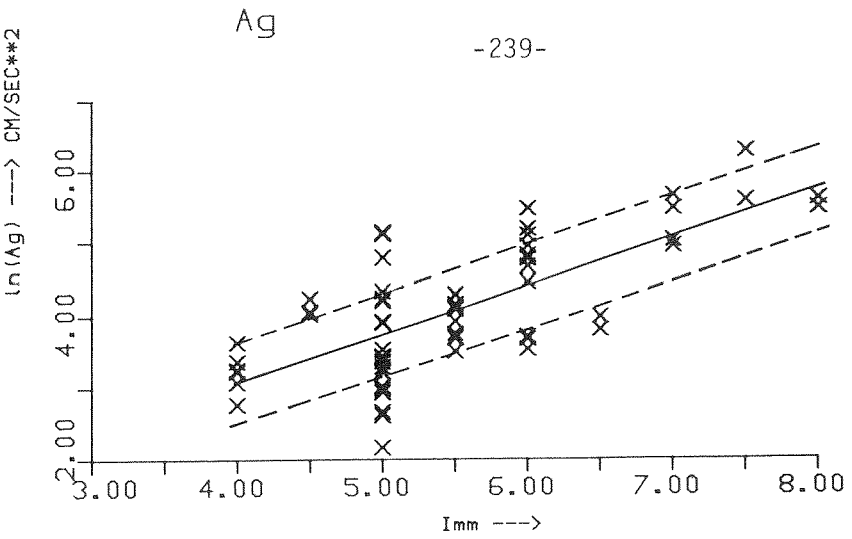
Πίνακας 3.2. Τιμές των συντελεστών των σχέσεων (3.2), (3.3) για τη μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση.

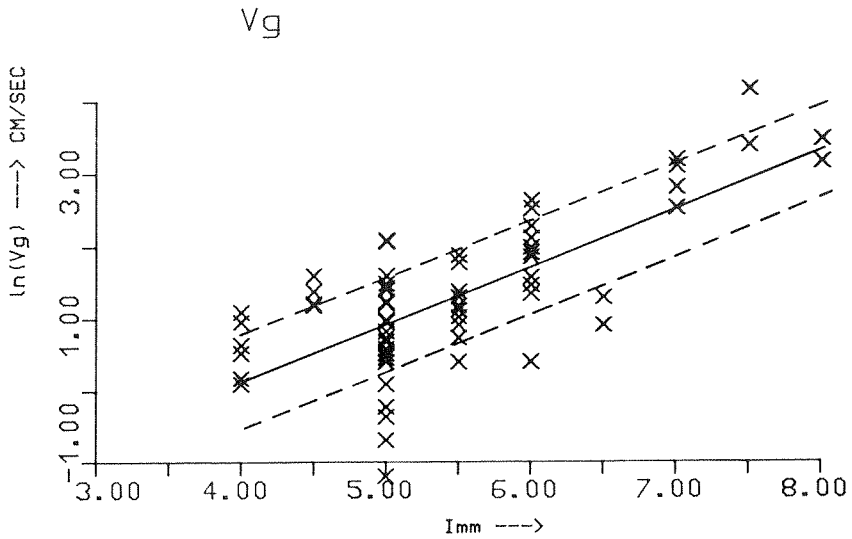
	Οριζόντια εδαφική κίνηση			Κατακόρυφη εδαφική κίνηση		
	a_g	v_g	d_g	a_g	v_g	d_g
C_1	0.40	-3.02	-5.92	-0.44	-3.51	-8.02
C_2	0.67	0.79	0.96	0.68	0.71	1.14
σ_{lnY}	0.61	0.70	1.26	0.56	0.68	1.66
C'_1	0.28	-3.02	-5.82	-0.43	-3.45	-7.76
C_3	0.42	-0.04	-0.49	0.002	-0.32	-1.53
σ'_{lnY}	0.59	0.70	1.24	0.56	0.67	1.55

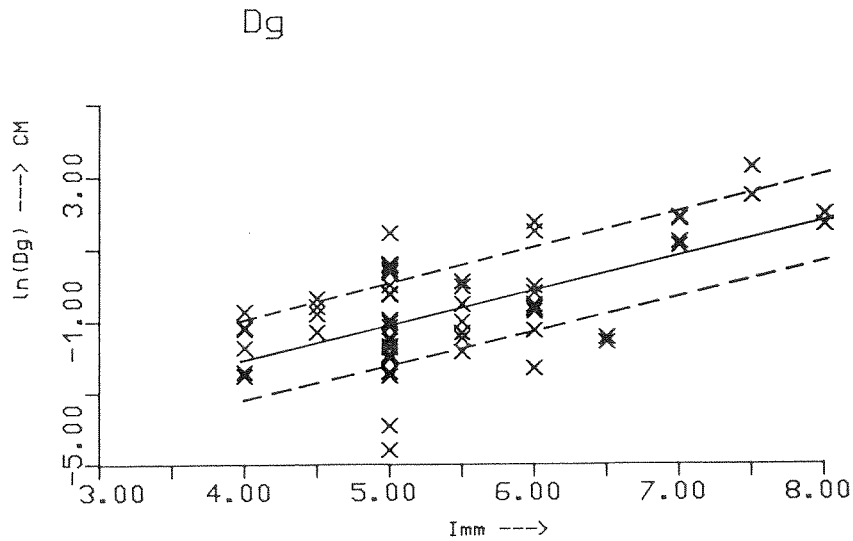
Στο σχήμα (3.3), δίνεται με συνεχόμενη γραμμή η μεταβολή του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση όπως προέκυψε από τη σχέση (3.2) κατά την προσαρμογή της στα αντίστοιχα δεδομένα. Ανάλογα αποτελέσματα για τη μέγιστη κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση δίνονται στο σχήμα (3.4). Στα παραπάνω σχήματα δίνονται, με διακεκομμένη γραμμή, και οι μέσες τιμές με ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα των ανάλογων σχέσεων που χρησιμοποιήθηκαν.

Στα σχήματα (3.5), (3.6) δίνεται η μεταβολή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (3.3), σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τις οριζόντιες και τις κατακόρυφες συνιστώσες της ισχυρής εδαφικής κίνησης, αντίστοιχα. Δεν παρατηρείται καμμία εμφανής τάση μεταβολής στα υπόλοιπα και επομένως το μοντέλο πρόβλεψης της σχέσης (3.3) μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και για τα υπόλοιπα της σχέσης (3.2).

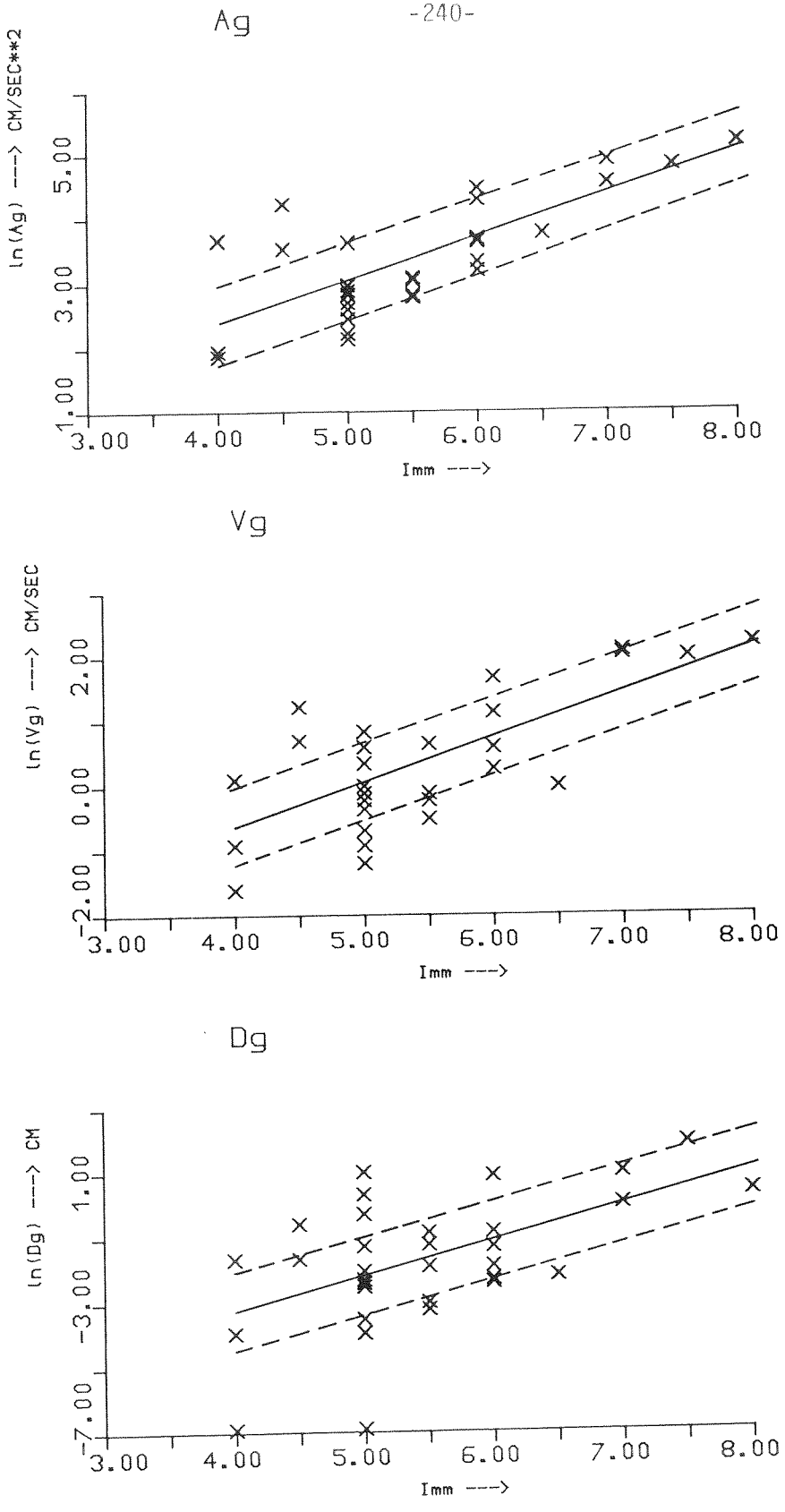
Στα ιστογράμματα των σχημάτων (3.7), (3.8) δίνεται, αντίστοιχα, η κατανομή των υπολοίπων για τη μέγιστη οριζόντια και κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση της σχέσης



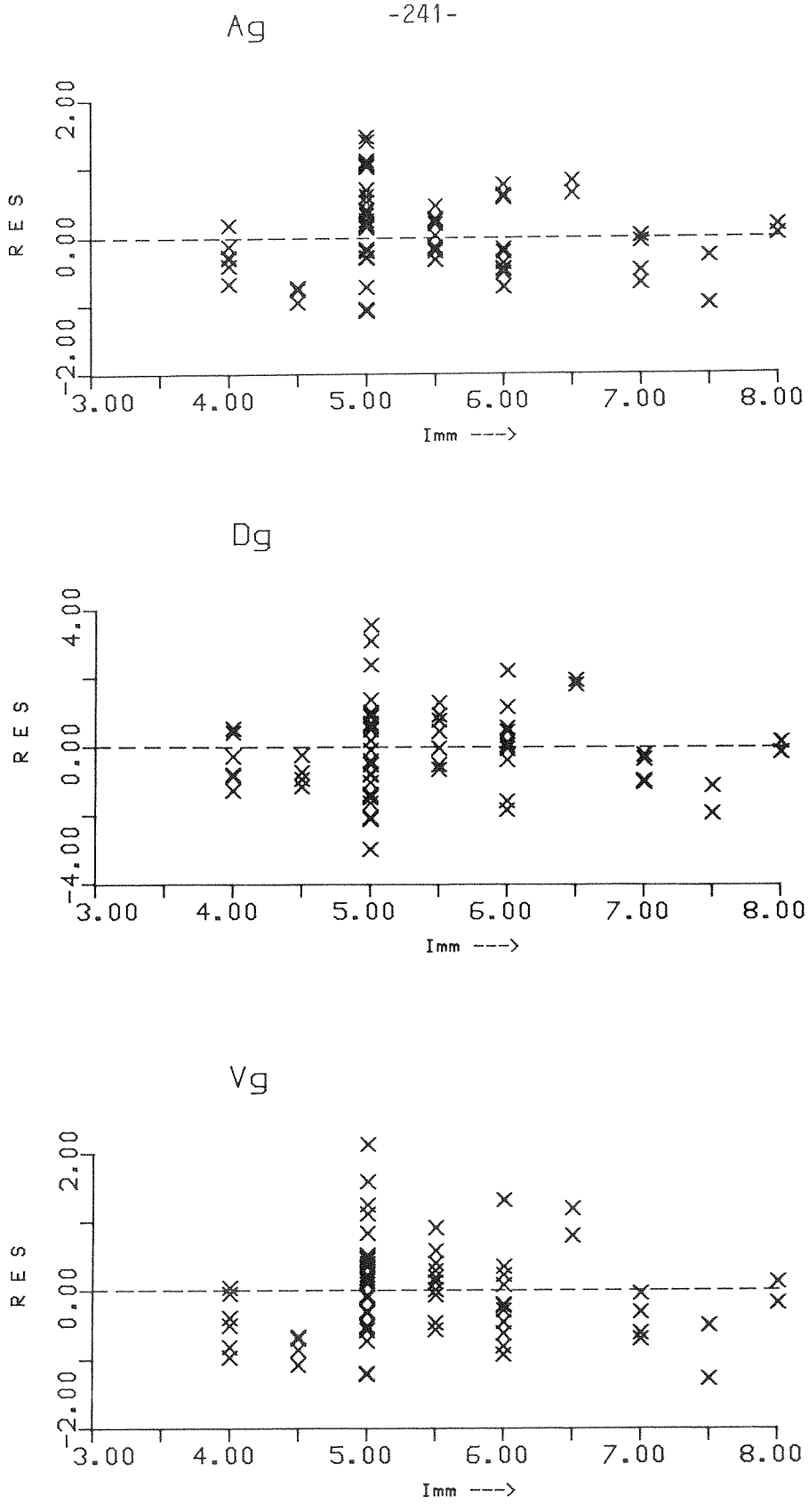




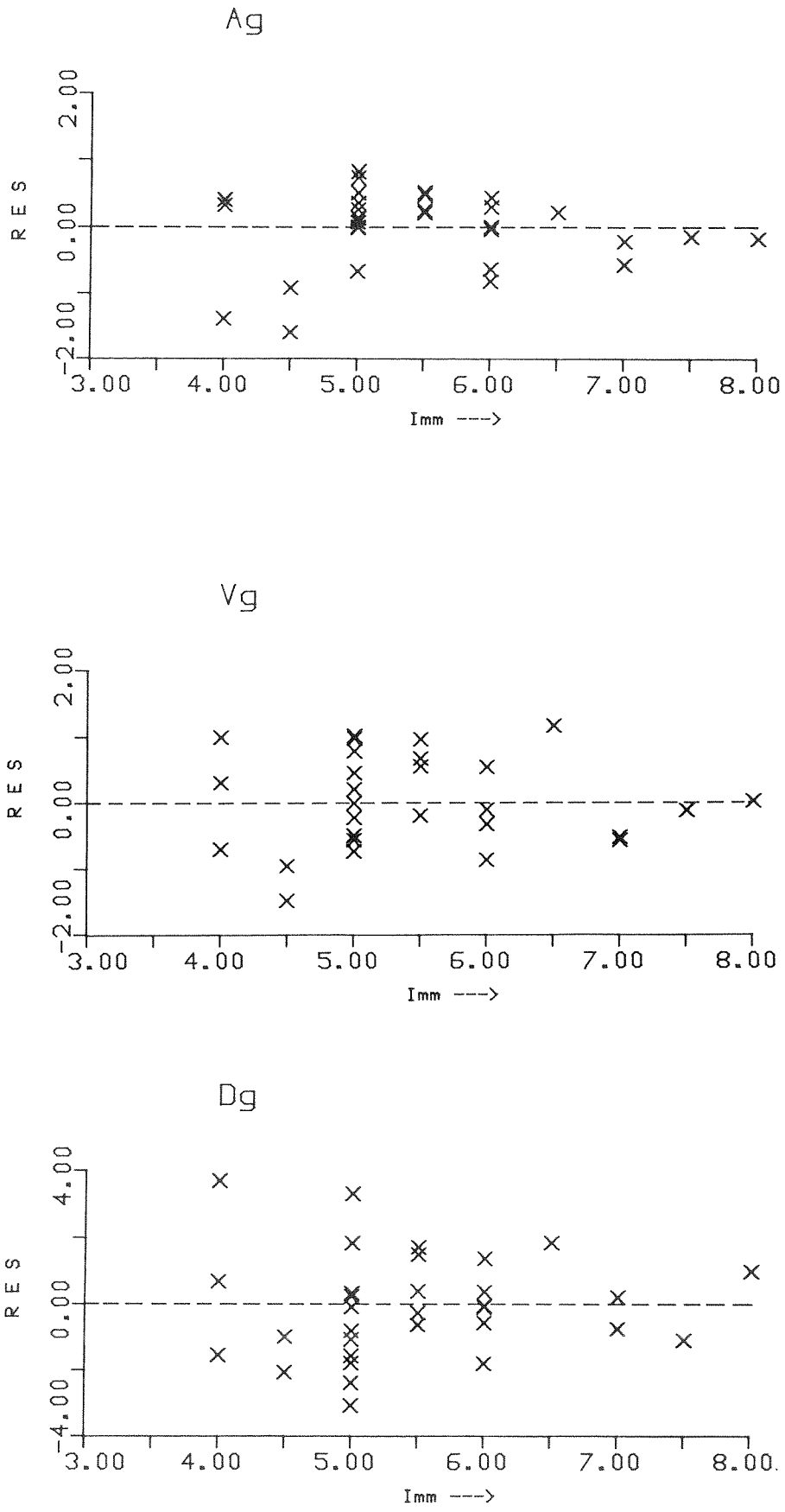
Σχ. 3.3. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, με τη μακροσεισμική ένταση, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



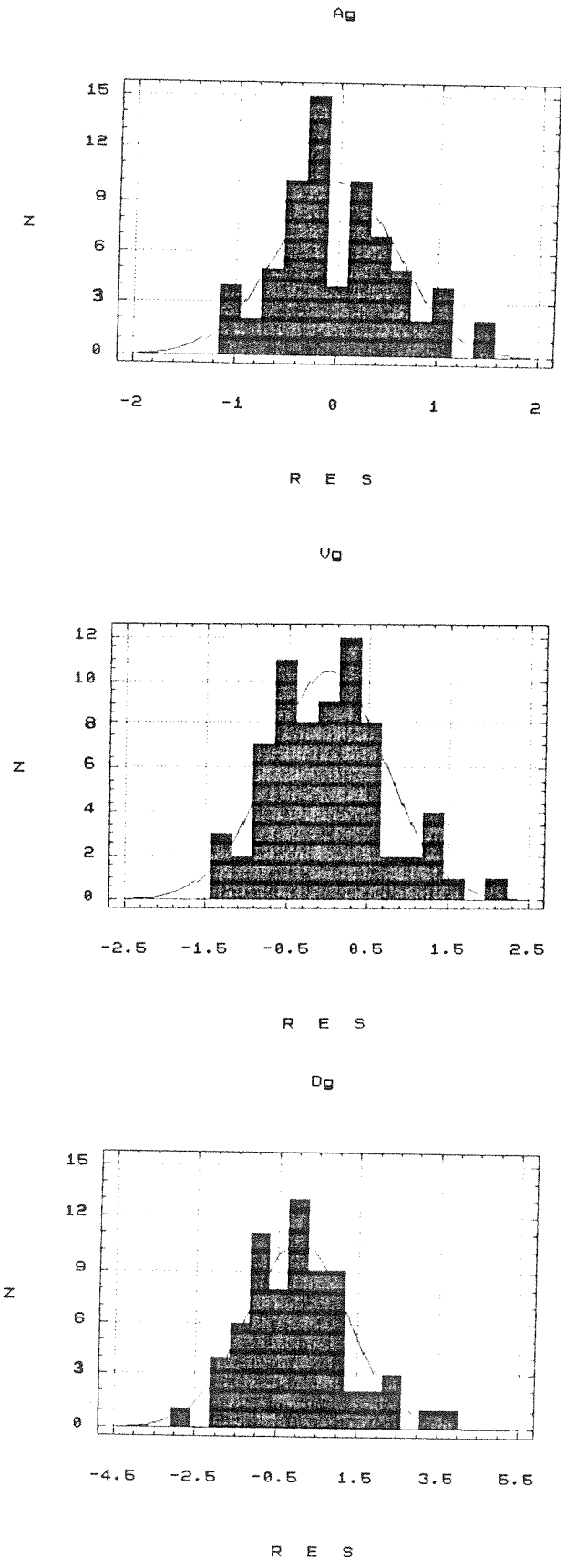
Σχ. 3.4. Μεταβολή της μέσης τιμής ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος του φυσικού λογάριθμου της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, με τη μακροσεισμική ένταση, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



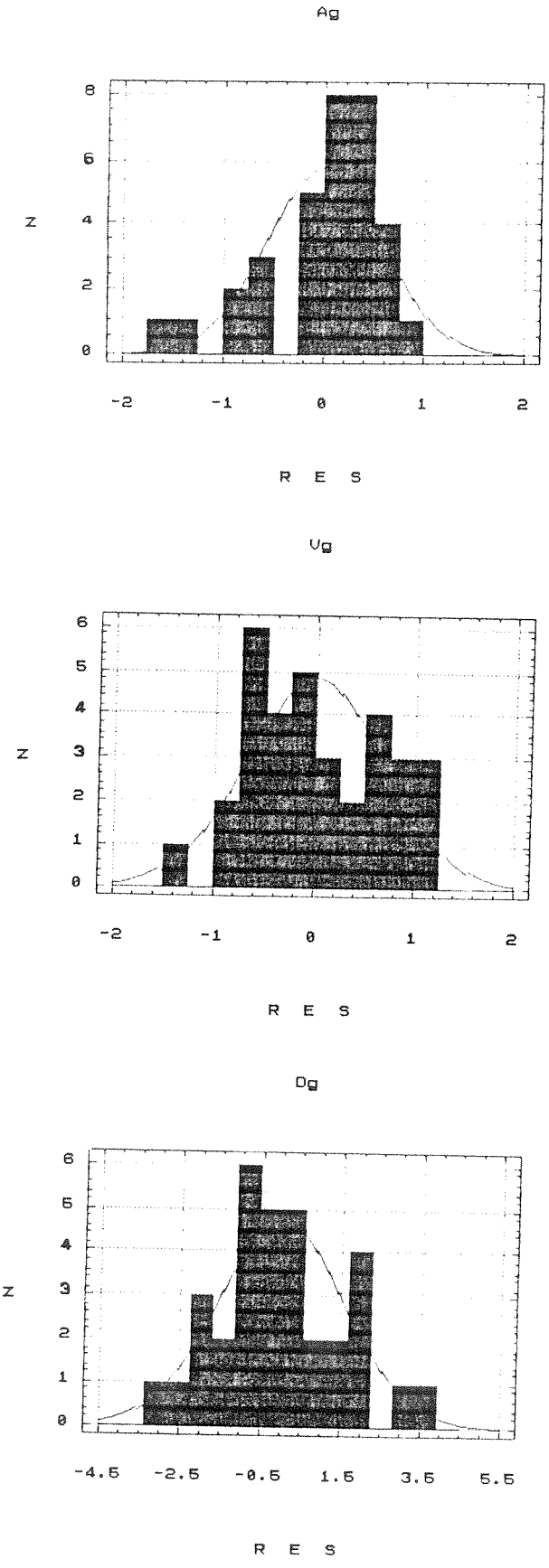
Σχ. 3.5. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, της σχέσης (3.3), σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 3.6. Υπόλοιπα, RES, της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, της σχέσης (3.3), σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 3.7. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (3.3), της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 3.8. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (3.3), της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου.

(3.3). Τα υπόλοιπα, που αναφέρονται στις οριζόντιες συνιστώσες, φαίνεται ότι ακολουθούν κανονική κατανομή. Αντίθετα, δεν μπορεί ανεπιφύλακτα να υποστηριχθεί το ίδιο και για τις κατακόρυφες συνιστώσες. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στο μικρό αριθμό δεδομένων των κατακορύφων συνιστωσών. Μεγαλύτερος αριθμός δεδομένων θα βοηθούσε στην εξακρίβωση του είδους της κατανομής που ακολουθούν τα υπόλοιπα των κατακορύφων συνιστωσών της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και για τις κατανομές των υπολοίπων της σχέσης (3.2).

Επειδή το μοντέλο της σχέσης (3.3) λαμβάνει υπόψη και τον παράγοντα των εδαφικών συνθηκών, προτείνονται οι παρακάτω σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, a_g, ταχύτητας, v_g, μετάθεσης, d_g, και της μακροσεισμικής έντασης, I_{MM}, για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου,

$$\ln a_g = 0.28+0.67I_{MM}+0.42S+0.59P \qquad (3.5)$$

$$\ln v_g = -3.02+0.79I_{MM}-0.04S+0.70P \qquad (3.6)$$

$$\ln d_g = -5.82+0.96I_{MM}-0.49S+1.24P \qquad (3.7)$$

και οι παρακάτω σχέσεις για τη μέγιστη κατακόρυφη ισχυρή εδαφική κίνηση,

$$\ln a_g = -0.43+0.68I_{MM}+0.002S+0.56P \qquad (3.8)$$

$$\ln v_g = -3.45+0.71I_{MM}-0.32S+0.67P \qquad (3.9)$$

$$\ln d_g = -7.76+1.14I_{MM}-1.53S+1.55P \qquad (3.10)$$

όπου a_g, v_g, d_g σε cm/sec², cm/sec, cm, αντίστοιχα, I_{MM} η μακροσεισμική ένταση στην κλίμακα Modified Mercalli, S ο παράγοντας των εδαφικών συνθηκών, 0 για "αλλουβιακές αποθέσεις" και 1 για "σκληρό πέτρωμα" και P έχει την τιμή, 0 για το μέσο όρο και 1 για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα.

Ο προσδιορισμός των συντελεστών C_1, C_2, C_3 της σχέσης (3.4) έδωσε πρακτικά τις ίδιες τιμές με τους ανάλογους των σχέσεων (3.2), (3.3) τόσο για την οριζόντια όσο και για την κατακόρυφη ισχυρή εδαφική κίνηση.

Παρατηρούμε ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει από τη συσχέτιση της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης με τη μακροσεισμική ένταση, στη σχέση (3.5), είναι μικρότερο από τα αντίστοιχα σφάλματα στις σχέσεις (3.6) και (3.7). Επίσης, όπως έχει αναφερθεί, τα σφάλματα κατά την επεξεργασία και διόρθωση των επιταχυνσιογραμμάτων εμπεριέχονται στα πλάτη των μεγάλων περιόδων της εδαφικής κίνησης όπου εμφανίζεται κυρίως η μέγιστη μετάθεση. Για τους λόγους αυτούς ο συντελεστής της μακροσεισμικής έντασης, C_2, (σχέση 3.3) για τη συσχέτιση αυτής με τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα και μετάθεση, θεωρήθηκε ίδιος με εκείνον που προέκυψε για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση. Οι σχέσεις που προέκυψαν ύστερα από αυτήν την παραδοχή για την εδαφική ταχύτητα, v_g, και μετάθεση, d_g, είναι,

$$\ln v_g = -2.36 + 0.67 I_{MM} - 0.07 S + 0.71 P \qquad (3.11)$$

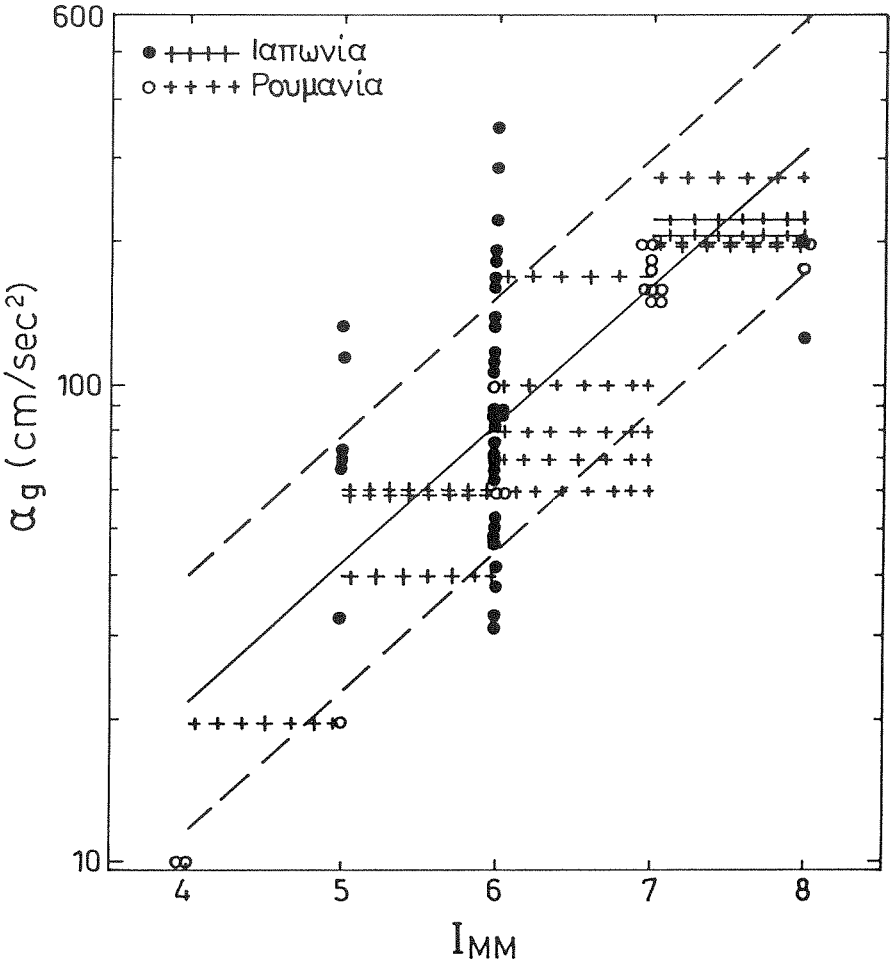
$$\ln d_g = -4.22 + 0.67 I_{MM} - 0.57 S + 1.26 P \qquad (3.12)$$

Οι διαφορές που προκύπτουν κατά τη σύγκριση των σχέσεων (3.6) και (3.11) για τη μέση μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα είναι ασήμαντες για το διάστημα μακροσεισμικών εντάσεων $4 \le I_{MM} \le 8$, λαμβανομένου υπόψη του μέσου τετραγωνικού σφάλματος της σχέσης (3.6). Αντίθετα, αξιοσημείωτες είναι οι διαφορές που προκύπτουν κατά τη σύγκριση των σχέσεων (3.7) και (3.12) για τη μέση μέγιστη οριζόντια εδαφική μετάθεση, ιδιαίτερα για τις μεγάλες τιμές μακροσεισμικών εντάσεων, $I_{MM} > 7$.

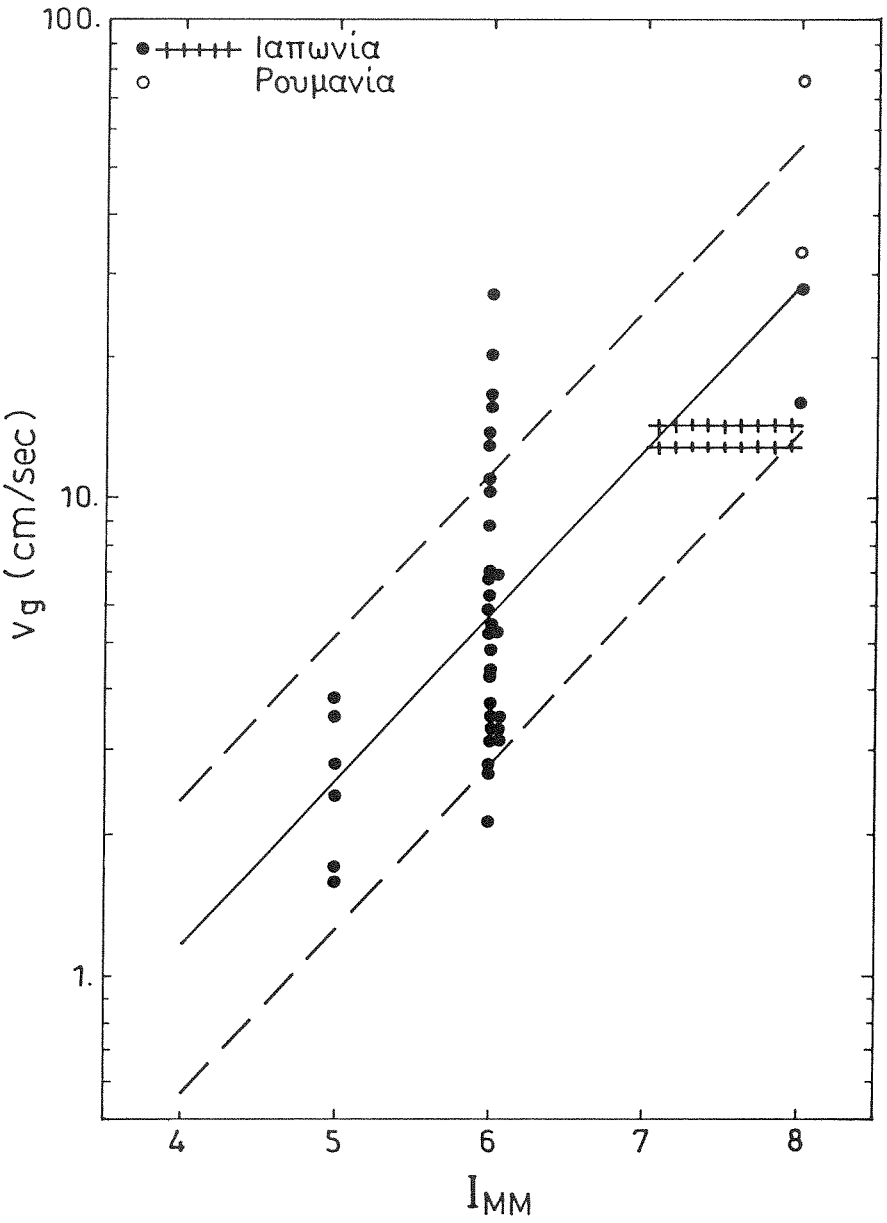
3.3. Συσχέτιση της Μέγιστης Οριζόντιας Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης, { a_g, v_g, d_g}, με τη Μακροσεισμική Ένταση, I_{MM}, (α) Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους και (β) Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Δεδομένα Σεισμών Μεγεθών Ροπής $7.0<Mw\leq7.5$, από Άλλες Περιοχές.

3.3.1. Σεισμοί ενδιαμέσου βάθους

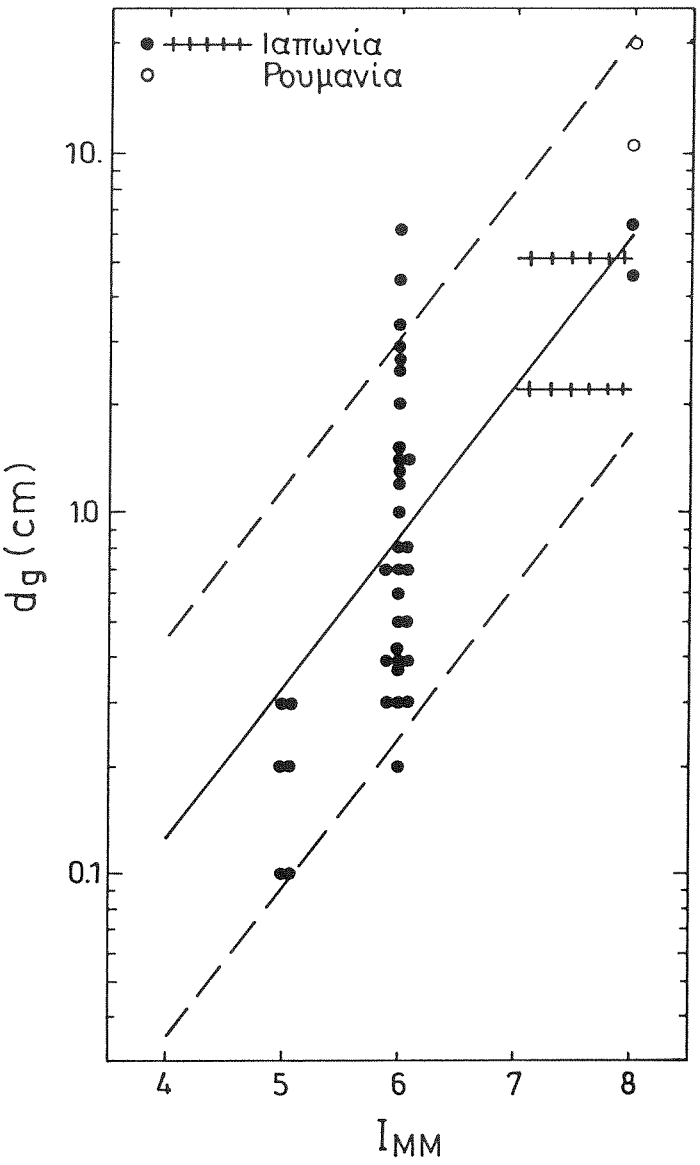
Τα κριτήρια επιλογής επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών ενδιαμέσου βάθους έχουν ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2. Στον πίνακα (3.3) δίνεται το ανάλογο δείγμα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους. Για ένα ποσοστό 40% των σεισμών αυτών δεν υπάρχει η παρατηρημένη μακροσεισμική ένταση. Στα δεδομένα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους προστέθηκαν και τα ζεύγη τιμών παρατηρημένης μακροσεισμικής έντασης-μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης (πίνακας 3.4) που προέρχονται από το σεισμό ενδιαμέσου βάθους της 30 Αυγούστου 1986, 21:29 GMT, στη Ρουμανία, μεγέθους ροπής Mw=7.0 (Constantinesku and Sandi 1987). Λόγω της έλλειψης παρατηρημένων εντάσεων από το συνολικό δείγμα, δεν επιχειρήθηκε απ'ευθείας συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση των σεισμών ενδιαμέσου βάθους. Έτσι, θεωρήθηκε αρχικά ότι αυτή η συσχέτιση πρέπει να είναι παρόμοια με εκείνη των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Για το λόγο αυτό χαρτογραφήθηκαν στα σχήματα (3.9), (3.10), (3.11) οι τιμές των μεγίστων οριζόντιων εδαφικών επιταχύνσεων, των πινάκων (3.3), (3.4) και των ταχυτήτων, μεταθέσεων του πίνακα (3.3), σε συνάρτηση με τις παρατηρημένες τιμές μακροσεισμικής έντασης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους. Στα ίδια σχήματα δίνονται με συνεχόμενη γραμμή και οι μέσες σχέσεις της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση όπως προέκυψαν από τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου μόνον, ανεξάρτητα εδαφικών συνθηκών (σχέση (3.2)). Με διακεκομμένη γραμμή δίνονται



Σχ. 3.9. Τιμές της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και η μέση τιμή (συνεχόμενη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (διακεκομμένη γραμμή) της σχέσης (3.2), για τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ανεξάρτητα εδαφικών συνθηκών.



Σχ. 3.10. Τιμές της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και η μέση τιμή (συνεχόμενη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (διακεκομμένη γραμμή) της σχέσης (3.2), για τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ανεξάρτητα εδαφικών συνθηκών.



Σχ. 3.11. Τιμές της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους. Στο ίδ ο σχήμα δίνεται και η μέση τιμή (συνεχόμενη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (διακεκομμένη γραμμή) της σχέσης (3.2), για τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ανεξάρτητα εδαφικών συνθηκών.

Πίνακας 3.3. Δεδομένα μακροσεισμικών εντάσεων (Modified Mercalli) και των αντίστοιχων μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων, για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους περιβάλλοντος ζωνών κατάδυσης.

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΥ I_{MM}	ΣΤΑΘΜΟΥ I^*_{MM} ±1TA	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
1	JAP1	-	4.9 ± 0.38	56.3 39.7	2.1 1.7	0.3 0.2	0	
2	JAP2	-	6.5 ± 0.51	202.9 136.7	8.5 5.9	1.3 0.5	0	
3	JAP3	-	4.7 ± 0.21	41.4 31.7	1.7 1.6	0.3 0.2	0	
4	JAP4	-	5.7 ± 0.37	105.6 66.8	4.9 3.8	0.6 0.4	0	
5	ALA2	-	5.7 ± 0.61	36.1 38.0	4.2 4.4	1.5 1.5	0	114
6	JAP5	-	7.2 ± 1.14	464.3 350.2	21.6 10.3	1.0 0.5	0	
7	JAP6	6.0	7.9 ± 0.24	288.5 351.3	16.5 27.3	3.3 6.1	0	
8	JAP7	6.0	5.0 ± 0.17	32.9 32.4	2.8 3.3	0.4 0.4	0	
9	JAP8	6.0	6.8 ± 0.38	70.6 107.2	11.0 15.6	2.5 2.7	0	
10	JAP9	6.0	7.5 ± 0.09	193.0 223.9	13.2 20.0	2.9 4.5	0	
11	JAP16	5.0	5.0 ± 0.79	132.7 115.2	2.4 1.6	0.1 0.1	1	
12	JAP17	6.0	5.5 ± 0.05	41.3 67.7	2.7 4.9	0.4 0.7	0	
13	JAP18	6.0	5.6 ± 0.34	49.0 86.0	3.2 5.5	0.3 0.5	0	
14	JAP19	5.0	5.1 ± 0.37	72.9 33.5	3.8 1.7	0.2 0.2	0	

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΥ I_{MM}	ΣΤΑΘΜΟΥ I^*_{MM} ±1TA	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
15	JAP20	6.0	6.1 ± 0.29	85.7 120.2	5.8 6.3	0.7 0.8	0	
16	JAP21	6.0	5.9 ± 0.60	189.7 161.8	4.4 3.3	0.3 0.3	1	
17	JAP22	6.0	6.8 ± 0.19	136.7 139.7	8.7 13.4	1.4 1.5	0	
18	JAP23	-	5.2 ± 0.21	35.9 34.4	2.4 3.6	0.4 0.7	0	
19	JAP24	5.0	5.3 ± 0.45	66.9 70.6	3.5 2.8	0.3 0.3	0	
20	ALA3	-	6.4 ± 0.26	114.6 203.7	4.3 6.3	1.0 1.0	1	34
21	JAP25	6.0	6.3 ± 0.05	89.7 76.1	7.0 6.8	1.4 1.2	0	
22	JAP26	6.0	5.9 ± 0.48	47.6 169.3	2.1 6.9	0.2 1.0	0	
23	JAP27	8.0	7.6 ± 0.26	200.9 126.8	27.5 15.7	6.4 4.6	0	
24	JAP28	6.0	5.5 ± 0.25	52.8 63.6	4.3 5.2	0.4 0.5	0	
25	JAP29	6.0	6.3 ± 0.25	37.7 111.6	5.3 10.4	1.3 2.0	0	
26	ALA5	-	5.9 ± 0.29	75.3 91.6	4.6 5.6	0.6 0.9	1	60
27	ALA6	-	6.3 ± 0.33	98.3 117.8	6.9 5.3	1.2 1.0	1	57
28	JAP30	6.0	5.6 ± 0.14	68.5 51.7	3.7 3.2	0.6 0.8	0	
29	ALA7	-	4.4 ± 0.54	21.9 29.2	1.2 1.5	0.2 0.3	1	52

(συνεχίζεται)

No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΥ I_{MM}	I^*_{MM} ±1TA	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
30	JAP31	6.0	5.7	88.2	3.5	0.7	0	
			± 0.38	83.8	3.6	0.4		
31	ALA8	-	4.9	30.4	1.6	0.1	1	66
			± 0.33	45.7	3.7	0.6		
32	ROM1	8.0	8.4	174.5	32.6	10.6	0	274
			± 0.71	201.8	75.1	20.1		
33	JAP32	7.0-8.0	7.4	206.7	12.8	2.2	1	
			± 0.39	222.1	14.1	5.1		
34	JAP33	-	8.3	314.3	28.6	6.5	0	
			± 0.16	288.5	52.9	10.7		
35	ALA10	-	4.6	22.4	1.2	0.2	1	56
			± 0.41	41.4	2.5	0.3		

I^*_{MM} : Υπολογισμένη μακροσεισμική ένταση
1TA : Μία τυπική απόκλιση

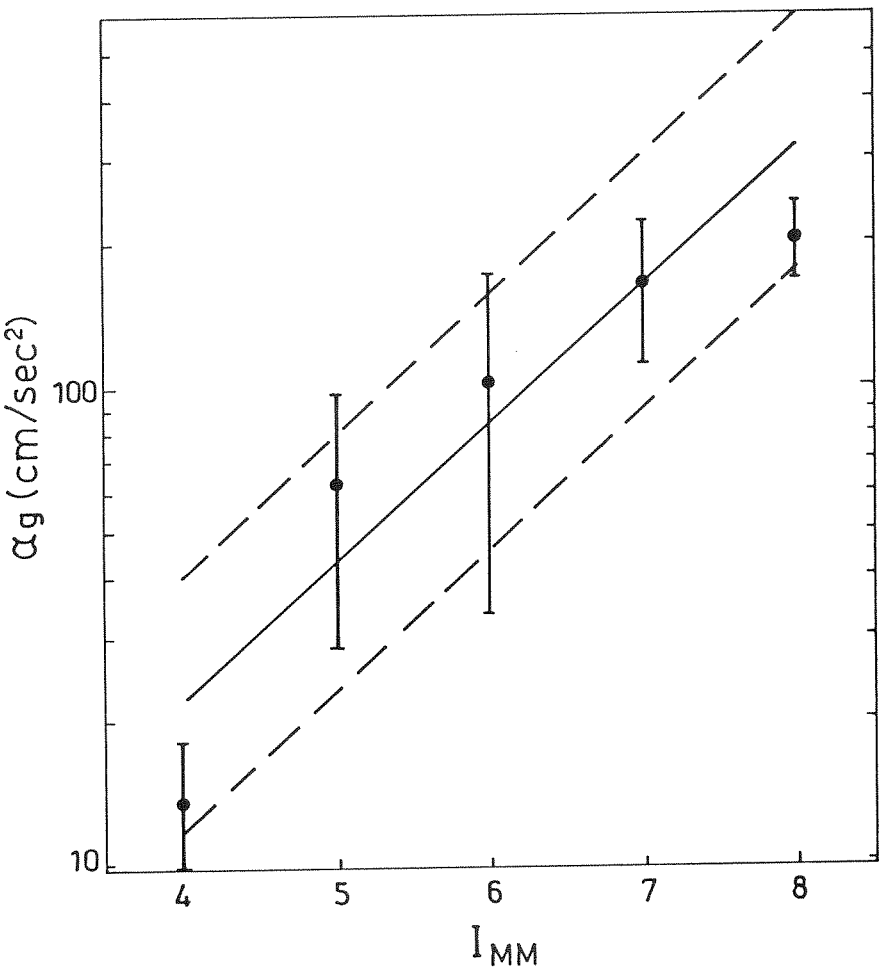
Πίνακας 3.4. Δεδομένα μακροσεισμικών εντάσεων (Modified Mercalli) και των αντίστοιχων μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων από το σεισμό ενδιαμέσου βάθους της Ρουμανίας στις 30-8-1986 (Constantinesku and Sandi 1987).

a_g(% g)	I_{MM}	a_g(% g)	I_{MM}
0.02	4-5	0.20	7-8
0.16	7	0.18	7
0.01	4	0.08	6-7
0.20	7	0.06-0.17	6-7
0.06	6	0.04	5-6
0.18	7	0.02	5
0.15	7	0.06	6
0.28	7-8	0.20	7
0.16	7	0.07	6-7
0.10	6-7	0.06	5-6
0.16	7	0.06	5-6
0.20	7-8	0.10	6
0.15	7	0.01	4

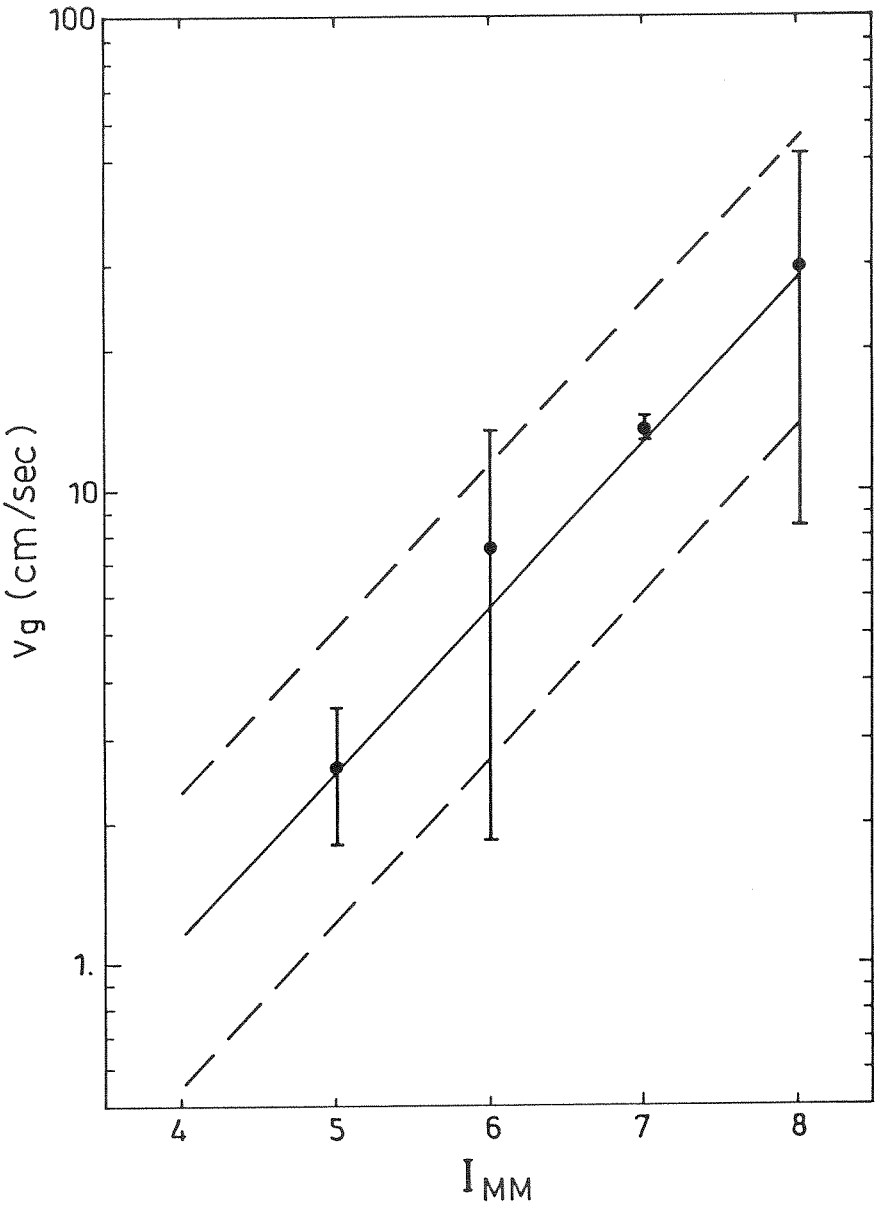
οι μέσες σχέσεις ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Παρατηρείται ότι το πλήθος των μακροσεισμικών εντάσεων βρίσκεται μέσα στη ζώνη που σχηματίζουν οι διακεκομμένες γραμμές του ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Στα σχήματα (3.12), (3.13), (3.14) δίνονται ομαδοποιημένοι ανά μονάδα έντασης, οι μέσοι όροι των παρατηρημένων μακροσεισμικών εντάσεων σεισμών ενδιαμέσου βάθους, όπως σχεδιάσθηκαν στα σχήματα (3.9), (3.10), (3.11), με ± μια τυπική απόκλιση, αντίστοιχα, για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση. Οπως φαίνεται από τα σχήματα αυτά, οι μέσοι όροι ακολουθούν ικανοποιητικά τις μέσες τιμές των σχέσεων της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση όπως προέκυψαν από τα δεδομένα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ανεξάρτητα εδαφικών συνθηκών (σχέση (3.2)).

Υστερα από τα παραπάνω ενισχύεται η αρχική μας υπόθεση ότι η συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση των σεισμών ενδιαμέσου βάθους είναι παρόμοια με εκείνη των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Για το λόγο αυτό, οι θεωρητικά αναμενόμενες μακροσεισμικές εντάσεις, I^*_{MM}, του πίνακα (3.3) υπολογίσθηκαν με βάση τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7) της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης ταχύτητας και μετάθεσης αντίστοιχα και δόθηκε ο μέσος όρος των τριών τιμών, και η ± μια τυπική απόκλιση. Στο ιστόγραμμα των τυπικών αυτών αποκλίσεων του σχήματος (3.15) φαίνεται ότι αυτές κατανέμονται, σε ποσοστό 80%, μεταξύ 0 και 0.5, δηλαδή με σφάλμα μικρότερο από μισή μονάδα έντασης. Ομως, αυτής της τάξης μπορεί να είναι και το σφάλμα μέτρησης της παρατηρημένης μακροσεισμικής έντασης.

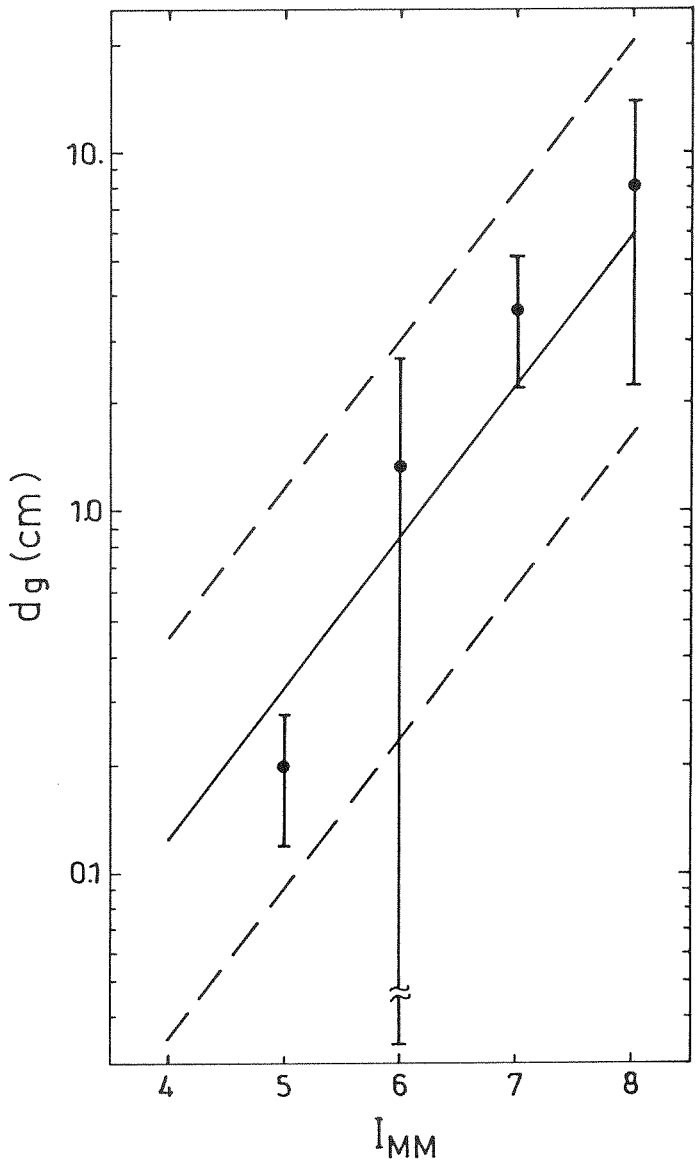
Στο σχήμα (3.16) φαίνεται η συσχέτιση των θεωρητικά αναμενόμενων μακροσεισμικών εντάσεων, I^*_{MM}, των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, όπως δίνονται στον πίνακα (3.3), με τις παρατηρημένες, I_{MM}. Οι μέσοι όροι των μακροσεισμικών εντάσεων, I^*_{MM}, φαίνεται ότι συμφωνούν ικανοποιητικά με την ευθεία για την οποία ισχύει $I_{MM}=I^*_{MM}$. Παρά το γεγονός ότι το πλήθος των παρατηρήσεων είναι μικρό,φαίνεται να υπάρχει τάση η οποία



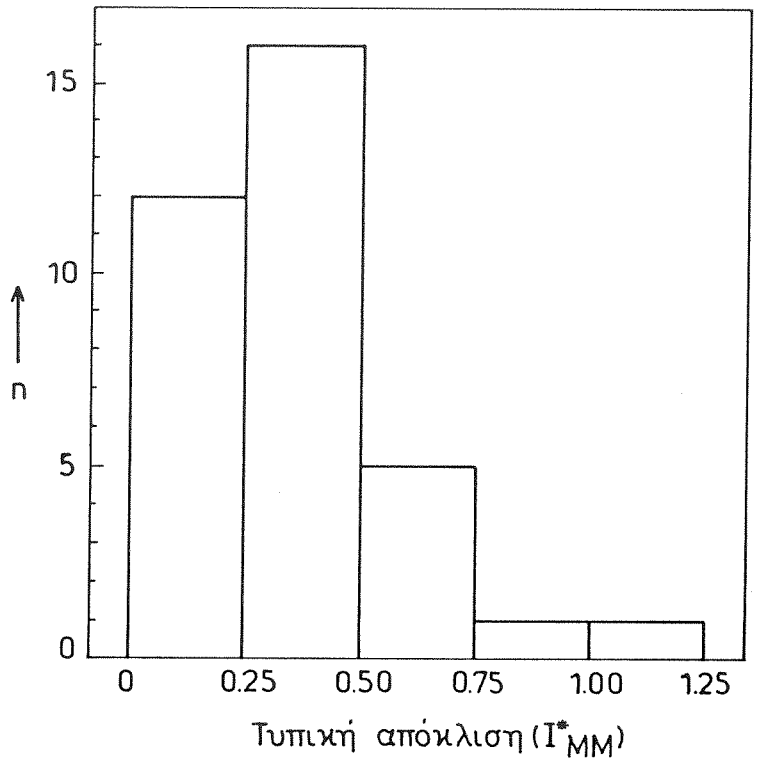
Σχ. 3.12. Μέσοι όροι των τιμών της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, του σχήματος (3.9), ± μια τυπική απόκλιση, σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.



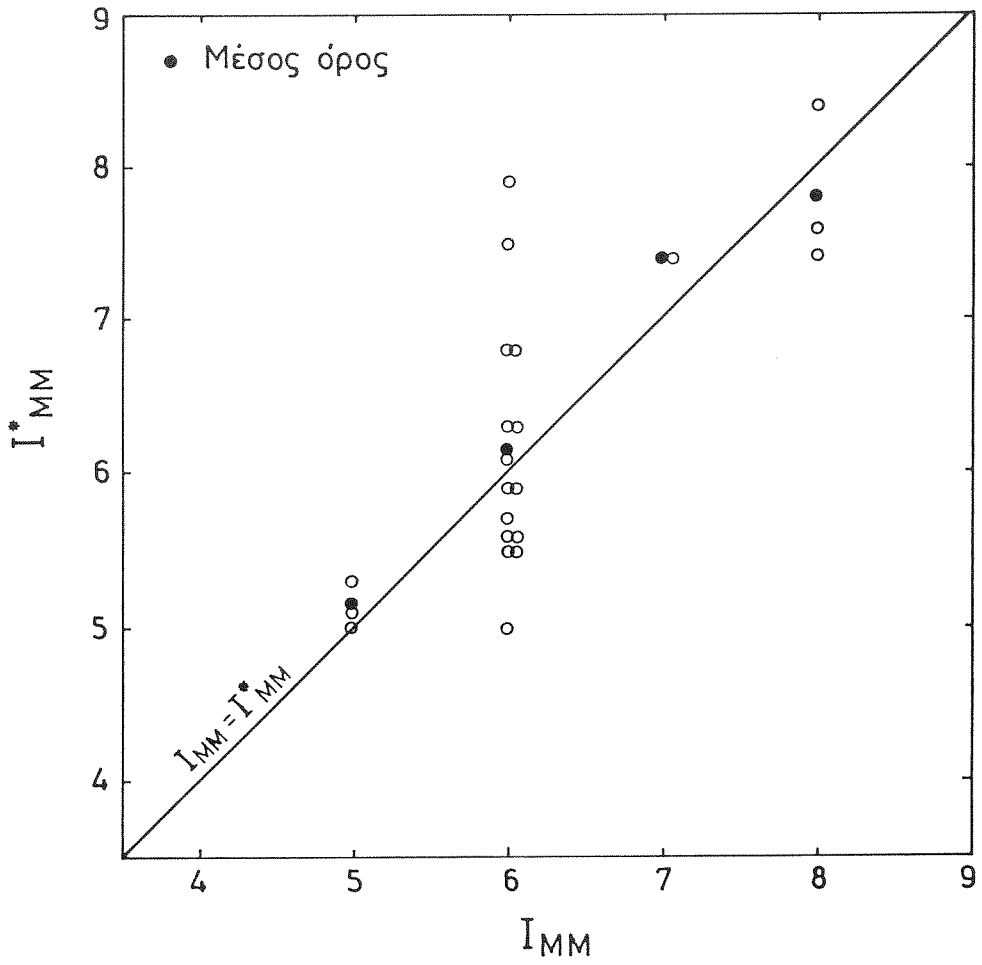
Σχ. 3.13. Μέσοι όροι των τιμών της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας, του σχήματος (3.10), ± μια τυπική απόκλιση, σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 3.14. Μέσοι όροι των τιμών της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης, του σχήματος (3.11), ± μια τυπική απόκλιση, σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 3.15. Ιστόγραμμα κατανομής των τυπικών αποκλίσεων της υπολογισμένης μακροσεισμικής έντασης για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους του πίνακα (3.3).



Σχ. 3.16. Συσχέτιση των θεωρητικά αναμενόμενων με τις παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους του πίνακα (3.3).

ενισχύει την αρχική μας παραδοχή ότι οι σχέσεις μεταξύ της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης και της μακροσεισμικής έντασης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, ισχύουν ικανοποιητικά και για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους. Για τους παραπάνω λόγους προτείνονται ως σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους οι ανάλογες των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, δηλαδή οι σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7), αντίστοιχα.

3.3.2. Στοιχεία επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένα με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$ άλλων περιοχών.

Τα κριτήρια επιλογής επιταχυνσιογραμμάτων επιφανειακών σεισμών, $h<35$ km, από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης με μεγέθη ροπής $7.0<Mw\leq7.5$ έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 2. Στον πίνακα (3.5) δίνονται οι παράμετροι των επιταχυνσιογραμμάτων αυτών όπου φαίνεται ότι ο αριθμός των παρατηρημένων μακροσεισμικών εντάσεων είναι ελάχιστος. Έτσι, δεν επιχειρήθηκε απ'ευθείας συσχέτιση της μακροσεισμικής έντασης με το σύνολο των εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου και εκείνων του πίνακα (3.5). Αντίθετα, θεωρήθηκε ικανοποιητική η προσέγγιση ότι ως συντελεστές αναγωγής των σχέσεων (3.2), (3.3) μπορούν να ληφθούν εκείνοι που προέκυψαν από δεδομένα μόνον των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Συνεπώς ο υπολογισμός της θεωρητικά αναμενόμενης μακροσεισμικής έντασης, I^*_{MM}, στον πίνακα (3.5) έγινε με τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7) και υπολογίσθηκε ο μέσος όρος των τριών τιμών και η ± μια τυπική απόκλιση.

Πίνακας 3.5. Δεδομένα μακροσεισμικών εντάσεων (Modified Mercali) και και των αντίστοιχων μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων, ταχυτήτων, μεταθέσεων, για τους επιφανειακούς σεισμούς περιβάλλοντος ζωνών κατάδυσης.

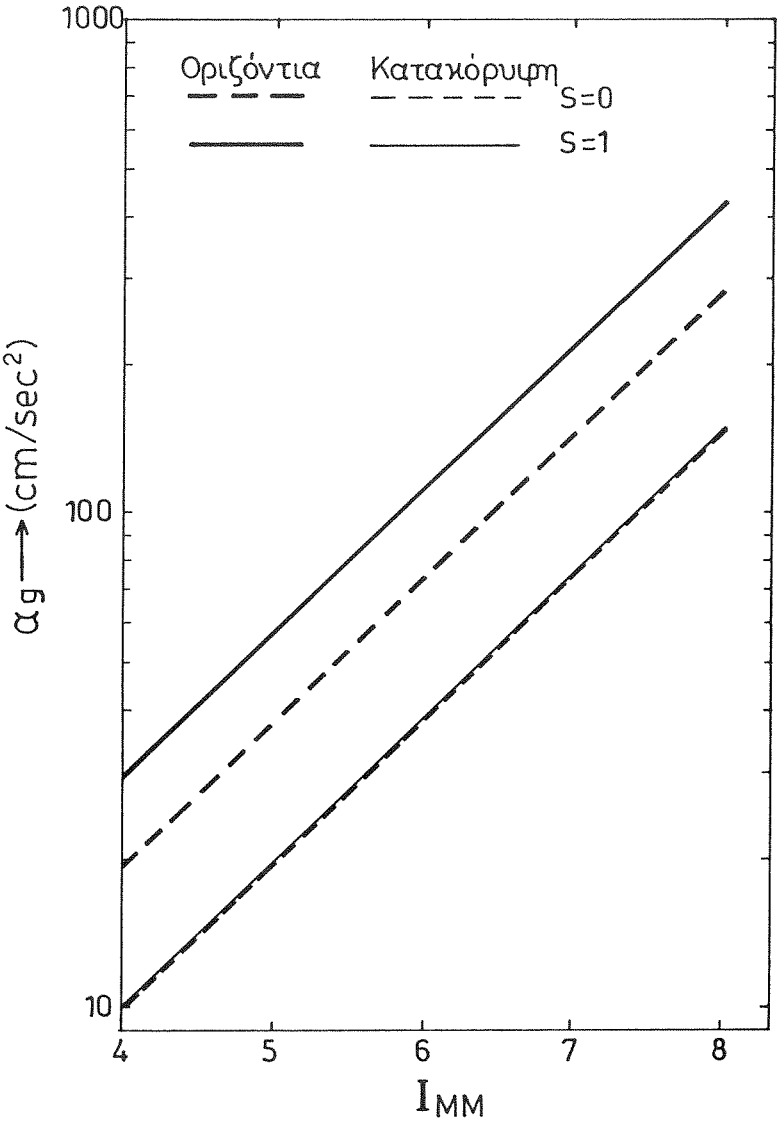
No	ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΣΤΑΘΜΟΥ I_{MM}	ΣΤΑΘΜΟΥ I^*_{MM} ±1ΤΑ	ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ a_g cm/sec²	v_g cm/sec	d_g cm	S 0,1	v_g/a_g cm/sec/g
1	JAPSH1	5.0	6.4 ±0.19	113.8 90.6	6.1 5.6	1.0 2.0	0	
2	JAPSH2	7.0-8.0	6.3 ±0.40	107.0 113.7	3.6 5.2	1.1 2.0	0	
3	JAPSH3	5.0	6.0 ±0.29	154.8 124.4	4.4 3.3	0.7 0.6	1	
4	JAPSH4	-	6.4 ±0.29	190.2 163.5	5.9 5.1	1.2 0.6	1	
5	ALASH1	-	6.6 ±0.49	76.5 89.4	7.5 6.6	3.8 3.0	0	84
6	ALASH2	-	7.6 ±1.29	81.3 60.8	24.3 31.5	14.4 22.0	0	401
7	ALASH3	-	7.8 ±0.63	171.4 96.3	35.1 21.0	11.2 7.0	0	208
8	ALASH4	-	6.4 ±0.67	62.8 40.8	11.2 6.7	3.6 1.9	0	168

3.4. Συγκρίσεις Σχέσεων Μεταξύ της Μέγιστης Οριζόντιας - Κατακόρυφης Ισχυρής Εδαφικής Κίνησης και της Μακροσεισμικής Έντασης και Συμπεράσματα.

Το δείγμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη συσχέτιση της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης ισχυρής εδαφικής κίνησης με τη μακροσεισμική ένταση μολονότι είναι σχετικά μικρό, μπορεί να θεωρηθεί ότι καθορίζει ικανοποιητικά τις τάσεις οι οποίες εκφράζονται με τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7) για την οριζόντια και (3.8), (3.9), (3.10) για την κατακόρυφη ισχυρή εδαφική κίνηση.

Στο σχήμα (3.17) δίνεται η μεταβολή της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση. Οπως φαίνεται στο σχήμα αυτό η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, για την ίδια μακροσεισμική ένταση, είναι περίπου 2 φορές μεγαλύτερη από την ανάλογη κατακόρυφη για τις "αλλουβιακές αποθέσεις" και 3 φορές για το "σκληρό πέτρωμα", για μακροσεισμικές εντάσεις $4 \leq I_{MM} \leq 8$. Η παρατήρηση αυτή βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με ανάλογη για δεδομένα του νότιου Ευρωπαϊκού χώρου (Ambraseys 1974) όπου βρέθηκε ότι η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση είναι 1.5 έως 2.5 φορές μεγαλύτερη από τη μέγιστη κατακόρυφη. Για τα δεδομένα των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. ο αντίστοιχος λόγος οριζόντιας προς κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση είναι 1.8 έως 1.9 (Trifunac 1976a).

Η επίδραση των εδαφικών συνθηκών στην οριζόντια ισχυρή εδαφική κίνηση εκφράζεται από τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7) από τις οποίες συμπεραίνεται ότι η μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση για "σκληρό πέτρωμα" είναι 1.5 φορές μεγαλύτερη από εκείνη σε "αλλουβιακές αποθέσεις", η ταχύτητα περίπου η ίδια στις δύο κατηγορίες και η μετάθεση 1.6 φορές μεγαλύτερη στις "αλλουβιακές αποθέσεις" από εκείνη στο "σκληρό πέτρωμα". Η παρατήρηση αυτή όσον αφορά τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση βρίσκεται σε ικανοποιητική συμφωνία με ανάλογα συμπεράσματα άλλων ερευνητών (Ambraseys 1974, Trifunac and Brady 1975b, Trifunac 1976a, Murphy and O'Brien 1977, Kouskouna et al.

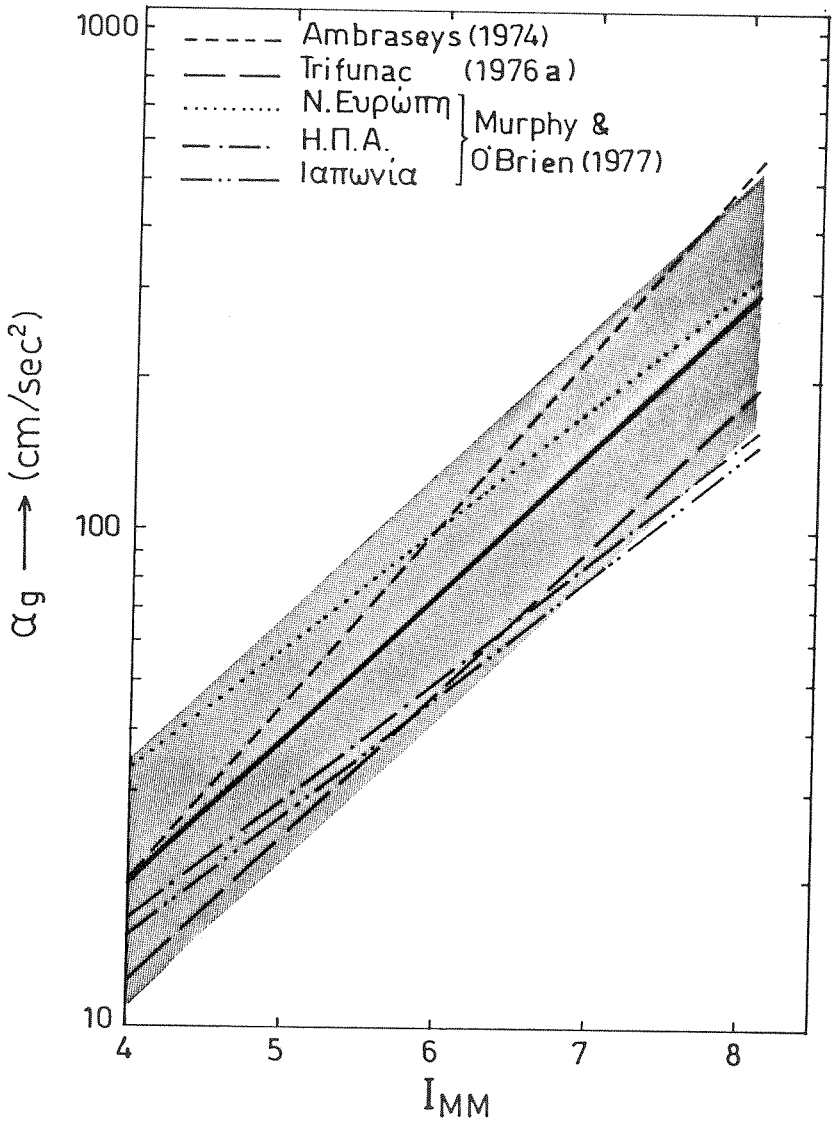


Σχ. 3.17. Σύγκριση της οριζόντιας με την κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης και για δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

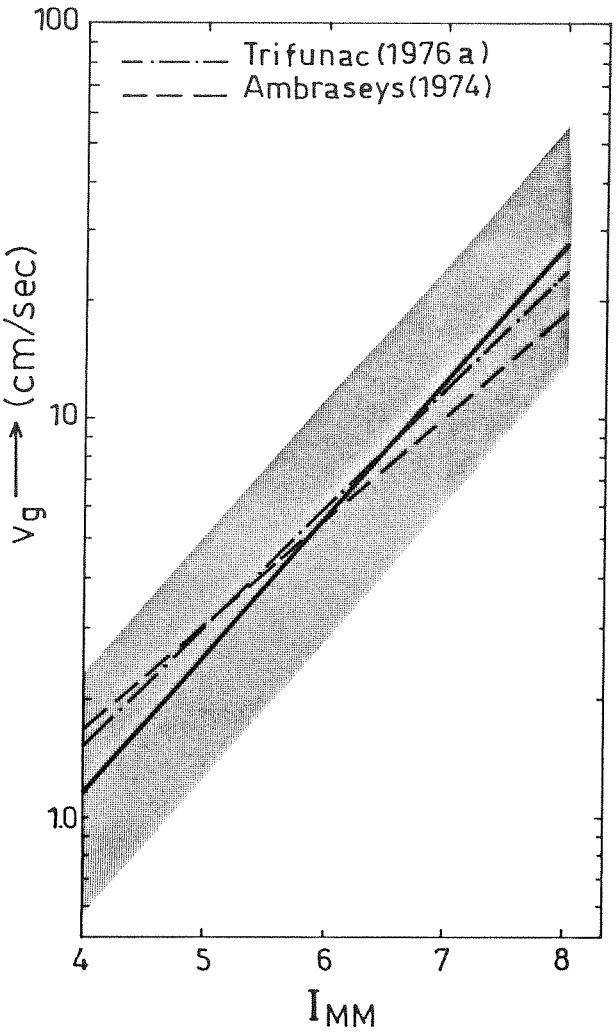
1988). Οσον αφορά τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα και μετάθεση παρόμοια αποτελέσματα δίνονται από τους Trifunac και Brady (1975b), Trifunac (1976a). Για τη μέγιστη κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, τα αποτελέσματα της επίδρασης των εδαφικών συνθηκών δεν είναι συγκρίσιμα με εκείνα της οριζόντιας ισχυρής εδαφικής κίνησης. Ο σχετικά μικρός αριθμός των δεδομένων της κατακόρυφης ισχυρής εδαφικής κίνησης, (μισές περίπου συνιστώσες) ίσως δεν αποδίδει αξιόπιστα το συντελεστή των εδαφικών συνθηκών στις σχέσεις (3.8), (3.9), (3.10).

Στο σχήμα (3.18) γίνεται σύγκριση της σχέσης (3.5) για "αλλουβιακές αποθέσεις" με ανάλογες δημοσιευμένες σχέσεις της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τη μακροσεισμική ένταση, για εντάσεις $4 \leq I_{MM} \leq 8$. Η σχέση η οποία προτείνεται για το Αλπικό τόξο, (Ambraseys 1974), δίνει, για την ίδια τιμή μακροσεισμικής έντασης, υψηλότερες τιμές οριζόντιας επιτάχυνσης μέχρι 1.8 φορές μεγαλύτερες από τη μέση τιμή της σχέσης (3.5) που προκύπτει από τα Ελληνικά δεδομένα. Η σχέση η οποία προτείνεται από τους Murphy και O'Brien (1977) για τις δυτικές ακτές των Η.Π.Α. και τη Ιαπωνία και εκείνη του Trifunac (1976a) για τις δυτικές ακτές των Η.Π.Α., για την ίδια μακροσεισμική ένταση, δίνουν 1.5 έως 2.0 φορές χαμηλότερες τιμές οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης από τη μέση τιμή της σχέσης (3.5). Η προτεινόμενη για τη νότια Ευρώπη σχέση των Murphy και O'Brien (1977) συμφωνεί ικανοποιητικά με τη μέση τιμή της σχέσης (3.5) για μακροσεισμικές εντάσεις $6 < I_{MM} \leq 8$. Γενικά όμως για το διάστημα μακροσεισμικών εντάσεων $4 \leq I_{MM} \leq 8$ όλες οι παραπάνω σχέσεις δίνουν τιμές οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης οι οποίες βρίσκονται μέσα στη ζώνη η οποία σχηματίζεται από τις τιμές ± ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος της σχέσης (3.5) των Ελληνικών δεδομένων .

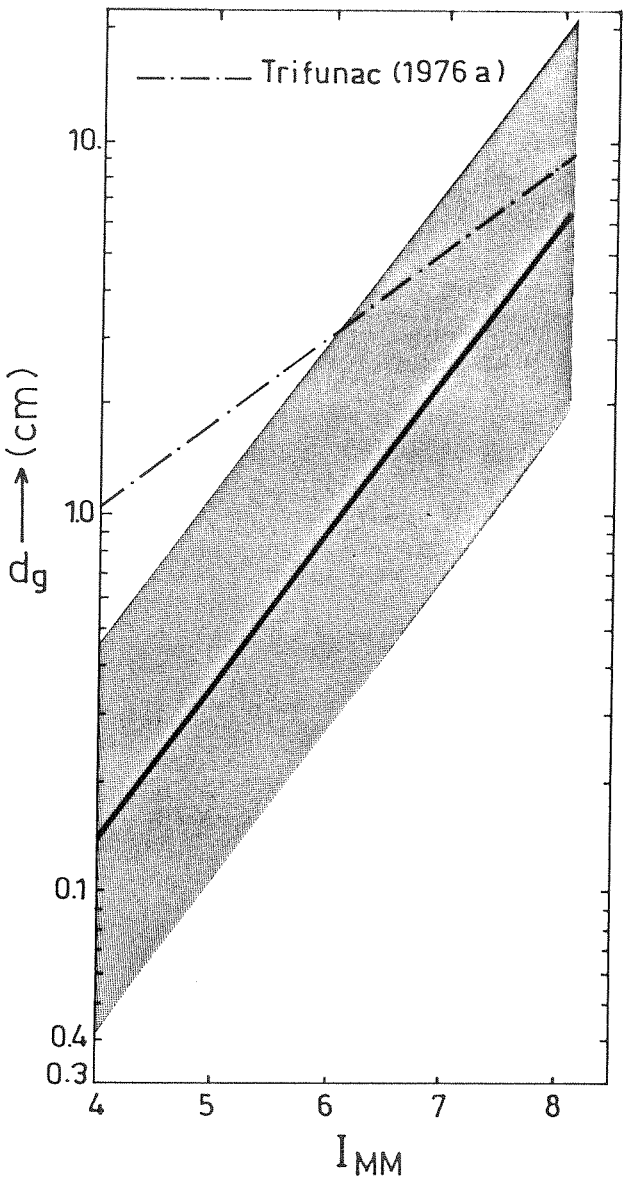
Παρόμοια σύγκριση γίνεται στο σχήμα (3.19) για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική ταχύτητα όπου φαίνεται ότι η μέση τιμή της σχέσης (3.6) συμφωνεί ικανοποιητικά με ανάλογες σχέσεις άλλων ερευνητών (Ambraseys 1974, Trifunac 1976a). Τέλος στη σύγκριση του σχήματος (3.20) για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική μετάθεση όπως προβλέπεται για τα Ελληνικά δεδομένα από τη σχέση (3.7), με



Σχ. 3.18. Σύγκριση της μέσης τιμής της οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (σκιασμένη ζώνη) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με ανάλογες σχέσεις διαφόρων περιοχών της Γης.



Σχ. 3.19. Σύγκριση της μέσης τιμής της οριζόντιας εδαφικής ταχύτητας για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (σκιασμένη ζώνη) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με ανάλογες σχέσεις διαφόρων περιοχών της Γης.



Σχ. 3.20. Σύγκριση της μέσης τιμής της οριζόντιας εδαφικής μετάθεσης για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (σκιασμένη ζώνη) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, με ανάλογη σχέση των δυτικών ακτών των Η.Π.Α.

την ανάλογη του Trifunac (1976a), παρατηρείται σημαντική απόκλιση στις μικρές τιμές μακροσεισμικών εντάσεων η οποία μειώνεται αισθητά στις μεγαλύτερες, $I_{MM}>6$. Πιθανό αίτιο αυτής της διαφοράς είναι ο διαφορετικός τρόπος επεξεργασίας των Ελληνικών επιταχυνσιογραμμάτων από εκείνον των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. με αποτέλεσμα να υπάρχουν έντονες διαφορές στη μετάθεση της ισχυρής εδαφικής κίνησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΑΣ, PSV(T), ΤΗΣ ΙΣΧΥΡΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

4.1. Εισαγωγή

Η έλλειψη ικανοποιητικού αριθμού φασμάτων απόκρισης σεισμών του Ελληνικού χώρου μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980 δεν επέτρεψε την αξιόπιστη στατιστική επεξεργασία προκειμένου να προταθούν εμπειρικά μοντέλα πρόβλεψης των φασματικών τιμών τους. Εγιναν όμως αρκετές προσπάθειες για την αξιοποίηση του μικρού δείγματος των φασμάτων απόκρισης και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την Αντισεισμική Τεχνολογία.

Με βάση μικρό σχετικά αριθμό επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών του Ελληνικού χώρου, επιχειρήθηκε μια πρώτη διερεύνηση των χαρακτηριστικών των αντίστοιχων φασμάτων απόκρισης (Carydis 1977). Η έρευνα αυτή έδειξε μεταξύ των άλλων ότι οι συντελεστές ενίσχυσης της φασματικής επιτάχυνσης και ταχύτητας ενός φάσματος απόκρισης είναι σχεδόν ανεξάρτητοι των αντίστοιχων μεγίστων τιμών της εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας για παράγοντες απόσβεσης $D \geq 0.05$.

Με τη χρήση 8 φασμάτων απόκρισης σεισμών του Ελληνικού χώρου κανονικών ρηγμάτων και με παράμετρο αναγωγής τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, επιχειρήθηκε πρόβλεψη της ισχυρής εδαφικής κίνησης που θα προκαλέσει σεισμός επιφανειακού μεγέθους Ms=6.5 σε απόσταση 20 km από το σεισμογόνο ρήγμα, σε θέση αλλουβιακών αποθέσεων (Papaioannou et al., 1984). Λόγω έλλειψης ικανοποιητικού αριθμού δεδομένων, προτάθηκε η εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης πιθανολογικών φασμάτων απόκρισης η οποία βασίζεται στην αναγωγή των φασμάτων απόκρισης με βάση το τοπικό μέγεθος, M_L (Παπαζάχος και συνεργ. 1987). Η κλίμακα του τοπικού μεγέθους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την Τεχνική Σεισμολογία

δεδομένου ότι αυτό υπολογίζεται από κύματα βραχείας περιόδου (≈1 Hz) κοντά στην οποία βρίσκονται οι ιδιοπερίοδοι των περισσότερων κατασκευών.

Συγκρίσεις ενός περιορισμένου αριθμού φασμάτων απόκρισης σεισμών του Ελληνικού χώρου με φάσματα απόκρισης που προβλέπονται από εμπειρικό μοντέλο των Trifunac και Anderson (1978a) έδειξαν ορισμένες ομοιότητες και διαφορές (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986). Το κύριο συμπέρασμα της σχετικής διερεύνησης ήταν ότι οι πραγματικές διαφορές καταγραφών από την Ελλάδα με καταγραφές από άλλες περιοχές της Γης, θα διαπιστωθούν αφού η Ελληνική τράπεζα δεδομένων ισχυρών εδαφικών κινήσεων βελτιωθεί σημαντικά σε ευρύ πεδίο μεγεθών, επικεντρικών αποστάσεων και εδαφικών συνθηκών. Η επιτυχία του στόχου αυτού είναι στενά συνδεδεμένη με την ορθολογική διάταξη ενός εθνικού δικτύου επιταχυνσιογράφων όπως έχει σχετικά προταθεί (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986, Καρύδης και συνεργ. 1986).

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα φάσματα απόκρισης επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου και σεισμών (επιφανειακών και ενδιαμέσου βάθους) από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών. Γίνεται διερεύνηση της ομοιογένειας του δείγματος φασμάτων απόκρισης των Ελληνικών επιφανειακών σεισμών και προτείνονται σχέσεις απόσβεσης της φασματικής ψευδοταχύτητας σε συνάρτηση με το μέγεθος, την απόσταση και τις εδαφικές συνθήκες καταγραφής, τόσο για τους επιφανειακούς όσο και για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους.

4.2. Απόσβεση της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου.

4.2.1. Δεδομένα παρατήρησης και έλεγχος ομοιογένειας του δείγματος.

α. Δεδομένα παρατήρησης

Τα φάσματα απόκρισης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό της διατριβής αυτής δίνονται σε τριλογαριθμικό χαρτί στο Παράρτημα Α για τις 105 οριζόντιες και στο Παράρτημα Β για τις 51 κατακόρυφες συνιστώσες. Η αναλυτική παρουσίαση των παραμέτρων των δεδομένων γίνεται στους πίνακες (2.1) και (2.2) του δευτέρου κεφαλαίου. Οι φασματικές τιμές των επιταχυνσιογραμμάτων του πίνακα (2.2) με αύξοντα αριθμό 1 έως 9 και 11, 18, 19 υιοθετήθηκαν από τις αντίστοιχες δημοσιεύσεις (Brady et al. 1978, Carydis et al. 1982, 1983). Τα φάσματα απόκρισης των υπολοίπων καταγραφών υπολογίσθηκαν με σχετικό πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή το οποίο γράφτηκε στο ΙΤΣΑΚ (Αναγνωστόπουλος και συνεργ. 1986β). Ο αλγόριθμος του προγράμματος αυτού συνίσταται στον επαναληπτικό υπολογισμό ενός ολοκληρώματος (ολοκλήρωμα του Duhamel) με διαδοχική εφαρμογή αναλυτικής λύσης για διέγερση που έχει τη μορφή τραπεζίου.

β. Ελεγχος ομοιογένειας του δείγματος

Οπως έχει αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο της διατριβής, το δείγμα των δεδομένων διακρίνεται σε δύο γενικές κατηγορίες με βάση τον τρόπο επεξεργασίας τους. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα επιταχυνσιογράμματα της περιόδου 1973-1981, εκτός των ALM80-2U, ALM80-4U και ALM80-5U (Πίνακας 2.2), τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με ημιαυτόματο ψηφιοποιητή. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τα υπόλοιπα επιταχυνσιογράμματα τα οποία ψηφιοποιήθηκαν με αυτόματο ψηφιοποιητή μεγάλης ακρίβειας. Μια βασική επίσης διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών δεδομένων οφείλεται στο διαφορετικό τρόπο επιλογής των φίλτρων χαμηλών συχνοτήτων.

Ερευνα σχετική με τον τρόπο επεξεργασίας των αναλογικών επιταχυνσιογραμμάτων (Basili 1987, Sabetta 1985, Rinaldis and Bongiovanni 1985) έδειξε ότι η αυτόματη ψηφιοποίηση παρουσιάζει

σαφή πλεονεκτήματα όσον αφορά την απομάκρυνση του θορύβου που προκαλείται από την ημιαυτόματη, ειδικά στη μετάθεση των διορθωμένων επιταχυνσιογραμμάτων και στα φάσματα απόκρισης. Ανάλογη επίδραση στα φάσματα απόκρισης των διορθωμένων δεδομένων έχει και η επιλογή του κατάλληλου φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων (Basili and Brady 1978) αντί του τυποποιημένου φίλτρου του California Institute of Technology (CALTECH) (Hudson 1976). Για τους λόγους αυτούς,κρίθηκε σκόπιμο ο έλεγχος ομοιογένειας του δείγματος να γίνει στις φασματικές τιμές των δεδομένων και όχι στις μέγιστες τιμές του επιταχυνσιογράμματος όπου, τουλάχιστον για την επιτάχυνση και την ταχύτητα, δεν προκύπτουν αξιοσημείωτες διαφορές.

Για τον έλεγχο της ομοιογένειας του δείγματος χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία η οποία προτάθηκε από τον Heaton και τους συνεργάτες του (1986). Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην αναγωγή των φασματικών τιμών με βάση το αναμενόμενο εδαφικό πλάτος, As, σε σεισμογράφο Wood-Anderson, το οποίο δίνεται από τη σχέση ,

$$As=Ao10^{(M_L+Cs)} \qquad (4.1)$$

όπου Ao είναι η διόρθωση για την απόσταση της θέσης από τη σεισμική εστία, M_L το τοπικό μέγεθος του αναμενόμενου σεισμού από τον οποίο απειλείται η θέση και Cs παράγοντας διόρθωσης για τις εδαφικές συνθήκες.

Με τη σχέση (4.1) υπολογίζεται το εδαφικό πλάτος As(i) το οποίο θα έχει καταγραφεί στη θέση όπου έχουμε το επιταχυνσιόγραμμα, i, το οποίο προήλθε από σεισμό τοπικού μεγέθους, $M_L(i)$, με εδαφικές συνθήκες, Cs(i). Ο συντελεστής αναγωγής, S(i), με τον οποίον πολλαπλασιάζονται οι φασματικές τιμές της καταγραφής, i, δίνεται από τη σχέση,

$$S(i) = As/As(i) \qquad (4.2)$$

Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές ψευδοταχύτητας, PSV(T), του κάθε φάσματος απόκρισης με τον αντίστοιχο συντελεστή αναγωγής παίρνουμε προσεγγιστικά εκείνο το φάσμα απόκρισης που θα δώσει ο αναμενόμενος σεισμός στη θέση που μελετάται. Κάνοντας το ίδιο για όλες τις διαθέσιμες καταγραφές, έχουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα των μελλοντικών ισχυρών σεισμικών κινήσεων τις οποίες θα προκαλέσει ο αναμενόμενος σεισμός τοπικού μεγέθους, M_L, στην εξεταζόμενη θέση. Σύμφωνα με το Heaton και τους συνεργάτες του (1986) για την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται καταγραφές οι οποίες απαιτούν όσο το δυνατόν μικρότερες αναγωγές, δηλαδή, οι παράμετροι M_L, Ao, Cs που αντιστοιχούν σε αυτές να είναι κατά το δυνατόν παραπλήσιες με εκείνες της αναμενόμενης σεισμικής κίνησης.

Ο έλεγχος ομοιογένειας του δείγματός μας βασίσθηκε στην αναγωγή ομάδας φασμάτων απόκρισης οριζοντίων συνιστωσών της πρώτης κατηγορίας (K1), σε ορισμένο μέγεθος, απόσταση, εδαφικές συνθήκες και κατόπιν στη σύγκριση με ανάλογη αναγωγή ομάδας φασμάτων απόκρισης της δεύτερης κατηγορίας (K2). Η αναγωγή έγινε με τη χρήση της μεθοδολογίας του Heaton και των συνεργατών του (1986). Στα σχήματα (4.1) και (4.2) δίνεται η κατανομή των επικεντρικών αποστάσεων, $R_{επ}$, σε συνάρτηση με το τοπικό μέγεθος, M_L, για τις καταγραφές της πρώτης (K1) και δεύτερης (K2) κατηγορίας, αντίστοιχα. Στην κατηγορία (K1) περιλαμβάνονται 32 και στην κατηγορία (K2), 73 οριζόντιες συνιστώσες. Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των επί μέρους δειγμάτων κάθε κατηγορίας είναι τα εξής:

α. Να χρησιμοποιηθεί στην αναγωγή το μεγαλύτερο δυνατόν ποσοστό του δείγματος (K1).

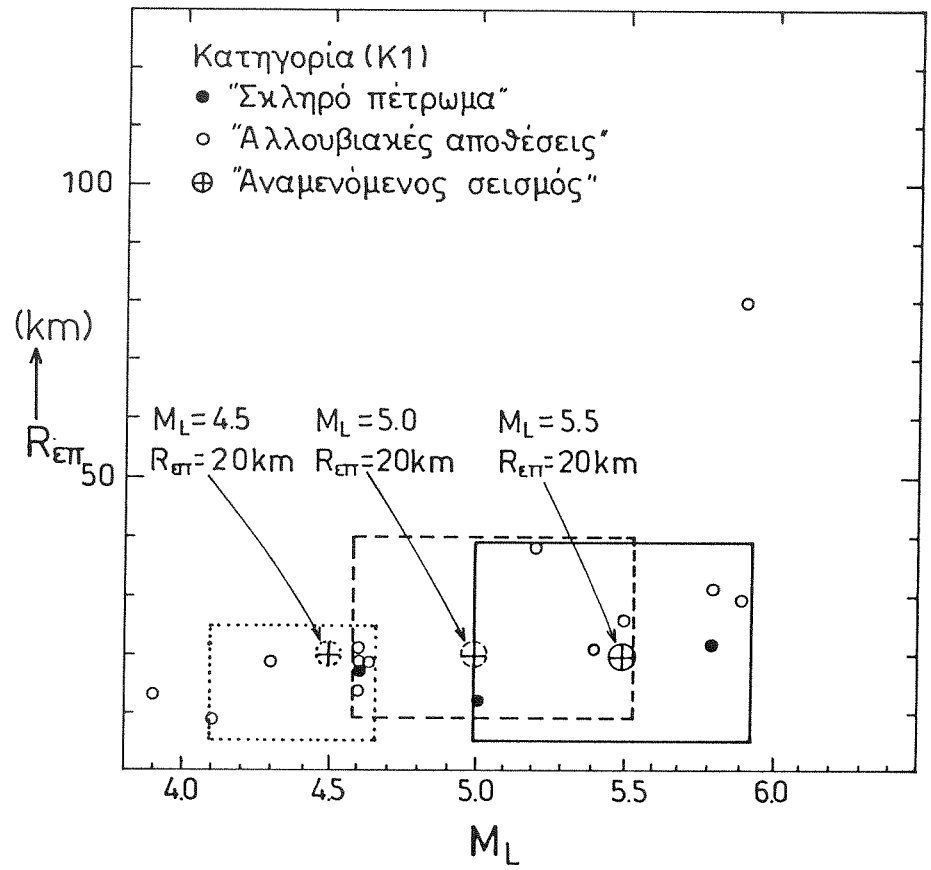
β. Η αναγωγή δεδομένων των δύο κατηγοριών να γίνει για τρεις επί μέρους ομάδες δειγμάτων, για τοπικά μεγέθη του αναμενόμενου σεισμού M_L=4.5, 5.0, 5.5 και για επικεντρική απόσταση αυτού από τη θέση καταγραφής, $R_{επ}$=20 km.

γ. Η διαφορά του τοπικού μεγέθους $M_L(i)$ που αντιστοιχεί στην καταγραφή, i, από το αντίστοιχο M_L του αναμενόμενου σεισμού να είναι μικρότερη ή ίση του 0.5 ενώ η

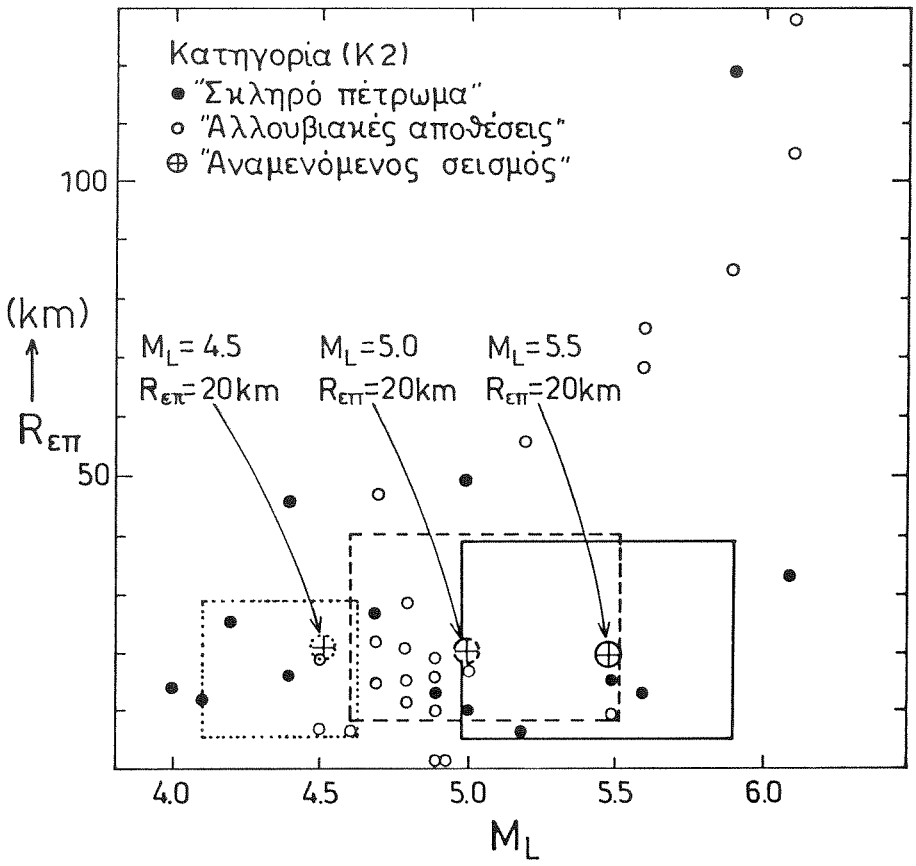
διαφορά στην επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}(i)$, από την $R_{\varepsilon\pi}$ του αναμενόμενου σεισμού από τη θέση καταγραφής να είναι μικρότερη ή ίση των 18km.

Οι τρεις επί μέρους ομάδες δειγμάτων οι οποίες καθορίσθηκαν με τα παραπάνω κριτήρια για τις δύο κατηγορίες του συνολικού δείγματος δεδομένων, οριοθετούνται στα σχήματα (4.1) και (4.2). Ο παράγοντας διόρθωσης, Ao, για αποστάσεις μέχρι 100 km, υιοθετήθηκε από την καμπύλη απόσβεσης των εδαφικών πλατών με την απόσταση, των Jennings και Kamamori (1983). Αυτό βασίσθηκε στην εντυπωσιακή σύμπτωση ανάλογων δεδομένων του Ελληνικού χώρου με την καμπύλη των παραπάνω ερευνητών (Κυρατζή και συνεργ. 1984, Scordilis et al. 1989).

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των πινάκων (2.1), (2.2) και τα παραπάνω αναφερόμενα κριτήρια, υπολογίσθηκαν οι συντελεστές αναγωγής S(i) για κάθε μια καταγραφή των δύο κατηγοριών (K1), (K2). Οι συντελεστές αυτοί αναφέρονται στην αναγωγή σε αναμενόμενο σεισμό τοπικού μεγέθους M_L=4.5, 5.0, 5.5, επικεντρική απόσταση $R_{\varepsilon\pi}$=20 km, παράγοντα εδαφικών συνθηκών ενδιάμεσης κατηγορίας, Cs=0, και δίνονται στον πίνακα (4.1). Οπως φαίνεται στο ιστόγραμμα κατανομής των συντελεστών αναγωγής στο σχήμα (4.3), αυτοί κατανέμονται σε ποσοστό περίπου 70% μεταξύ του 0.5 και 2.0. Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότερες καταγραφές των δύο κατηγοριών (K1) και (K2) δεν έχουν υποστεί μεγάλες αναγωγές, γεγονός το οποίο ικανοποιεί τις προϋποθέσεις της μεθοδολογίας του Heaton και των συνεργατών του (1986). Στα σχήματα (4.4) και (4.5) δίνεται το σύνολο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης για τις δύο κατηγορίες (K1), (K2), αντίστοιχα, για αναμενόμενο σεισμό μεγέθους M_L=4.5, επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$=20 km, ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών, Cs=0, και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05 της κρίσιμης. Μολονότι η μεγάλη διασπορά των φασματικών τιμών στα σχήματα (4.4) και (4.5) δεν φαίνεται πολύ ικανοποιητική, απεικονίζει, όμως, τη δυνατότητά μας να προβλέψουμε την ισχυρή εδαφική κίνηση σε μια θέση ως συνάρτηση του μεγέθους, της απόστασης και των εδαφικών συνθηκών. Παρά το γεγονός ότι η διασπορά μπορεί να είναι μεγάλη (μέχρι μια τάξη μεγέθους) θα ήταν



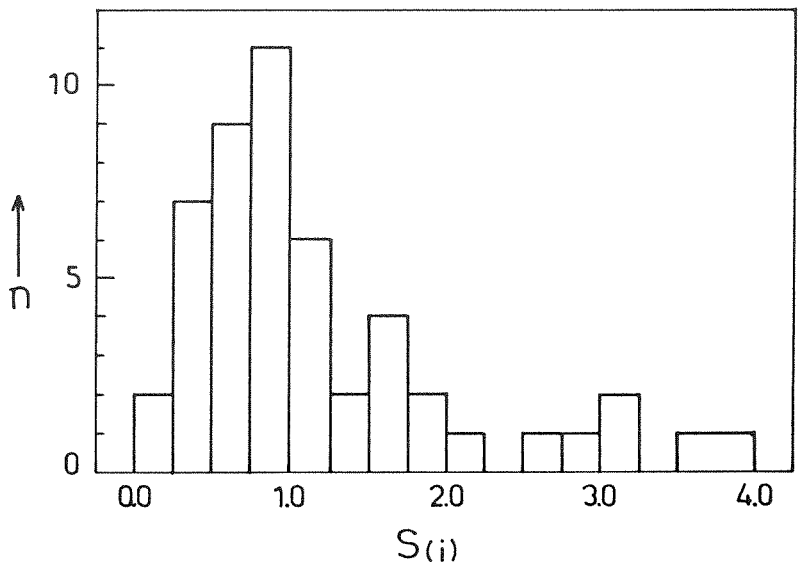
Σχ. 4.1. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων της κατηγορίας (K1) με το τοπικό μέγεθος και την επικεντρική απόσταση για τις τρεις ομάδες δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο ομοιογένειας του συνολικού δείγματος.



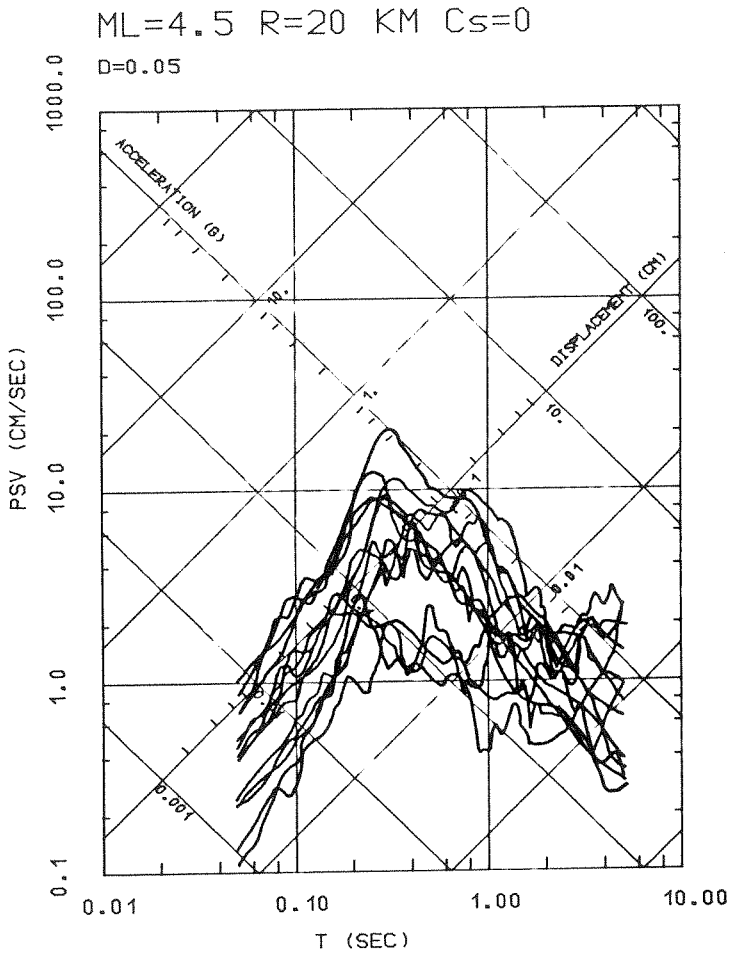
Σχ. 4.2. Κατανομή των επιταχυνσιογραμμάτων της κατηγορίας (K2) με το τοπικό μέγεθος και την επικεντρική απόσταση για τις τρεις ομάδες δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο ομοιογένειας του συνολικού δείγματος.

Πίνακας 4.1. Τιμές των συντελεστών αναγωγής, S(i), για τα δεδομένα της ισχυρής εδαφικής κίνησης των κατηγοριών (K1) και (K2), για επικεντρική απόσταση 20 km, ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες και τοπικά μεγέθη 4.5, 5.0, 5.5.

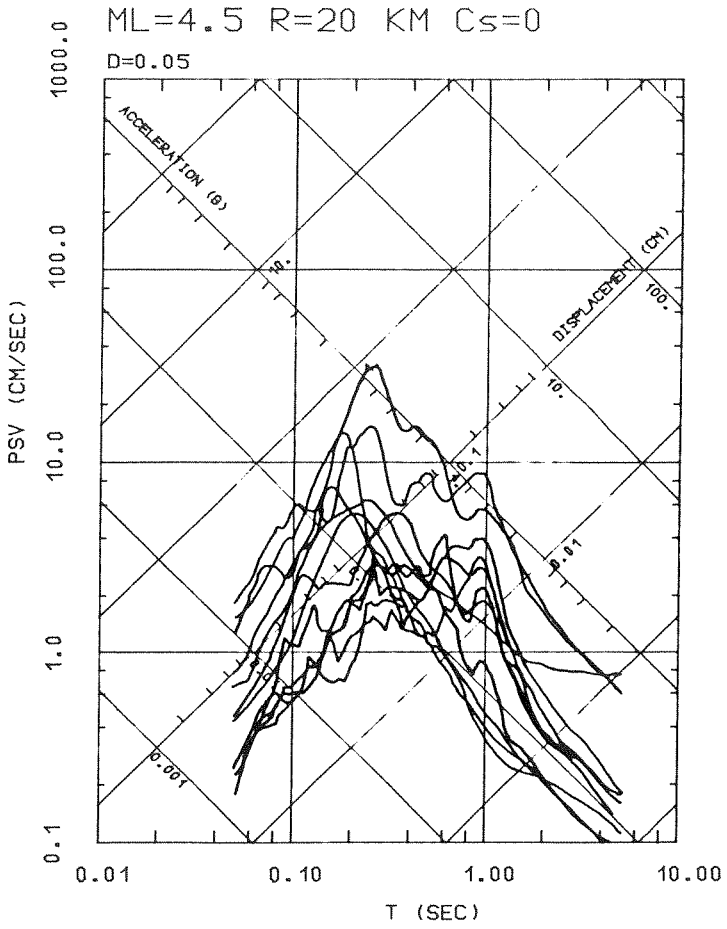
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 1η (K1) ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	S(i)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ 2η (K2) ΚΩΔΙΚΟΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	S(i)
Αναμενόμενος σεισμός M_L=4.5 $R_{επ}$=20km Cs=0			
LEF73-2A	0.59	ALM80-2U	0.23
PAT74-1A	0.93	ALM80-5U	0.32
KOR75-1A	1.07	OUR83-2U	1.48
THE78-2A	0.52	POL84-1	3.56
THE178-2Y	0.98	ZAK84-1	0.65
THE278-2Y	0.52	AMF85-4	2.24
SHO78-1Y	0.42		
Αναμενόμενος σεισμός M_L=5.0 $R_{επ}$=20 km Cs=0			
ARG72-2A	0.89	ALM80-4U	0.87
LEF73-1A	0.30	ARG83-3	1.24
LEF73-2A	1.87	ARG83-4	0.35
PAT75-1A	0.98	ZAK83-2	0.85
THE78-2A	1.74	LEF83-2	0.73
THE178-2Y	3.11	LEF83-3	0.73
THE278-2Y	1.74	ARG83-8	0.80
SHO78-1Y	1.32	EDE84-1	1.18
KOR81-2A	0.30	VER84-1	1.63
		PEL84-1	3.89
		LEF85-1	1.56
		PRE85-1	1.10
		DRA85-1	0.62
		KAL86-1	0.12
		MES*86-1	0.50
Αναμενόμενος σεισμός M_L=5.5 $R_{επ}$=20km Cs=0			
ARG72-1A	0.81	ARG83-4	1.10
ARG72-2A	2.82	ARG83-6	1.18
LEF73-1A	0.93	ARG83-7	0.78
PAT75-1A	3.08	ARG83-8	2.51
THE78-1A	0.45	DRA85-1	1.95
KOR81-1A	0.60	KAL86-1	0.37
KOR81-2A	0.94		



Σχ. 4.3. Ιστόγραμμα κατανομής των συντελεστών αναγωγής του πίνακα (4.1).



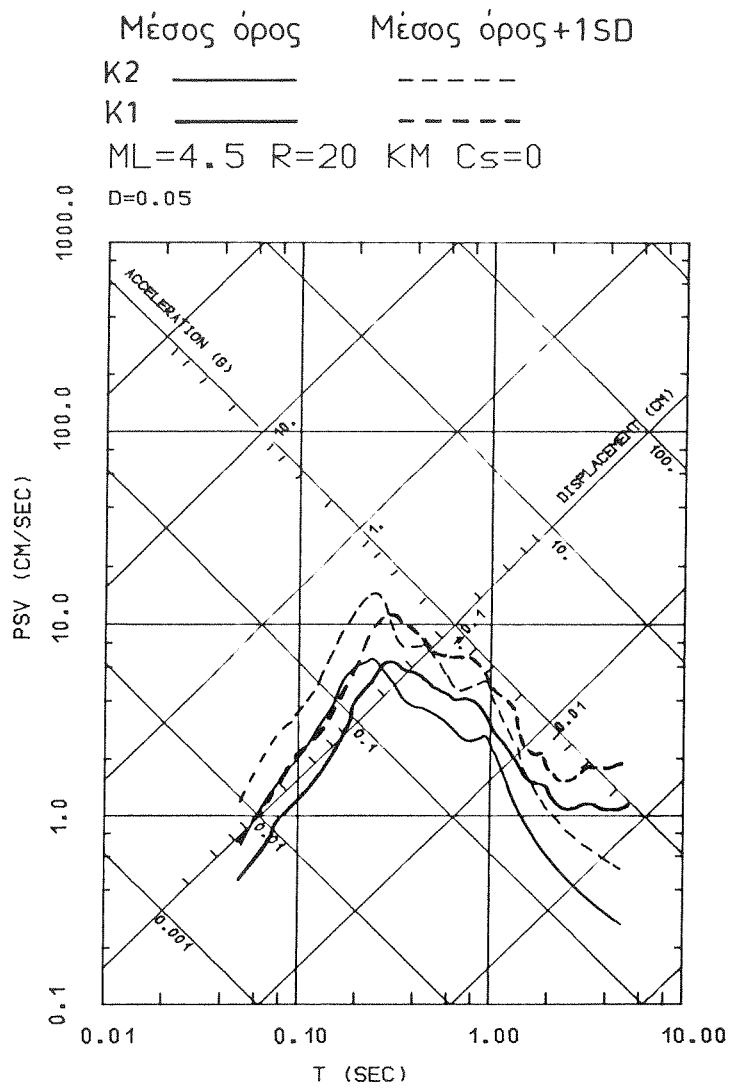
Σχ. 4.4. Ανηγμένα φάσματα απόκρισης της κατηγορίας (K1), για τοπικό μέγεθος M_L=4.5, επικεντρική απόσταση $R_{\varepsilon\kappa}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών C_s=0, με τους ανάλογους συντελεστές του πίνακα (4.1).



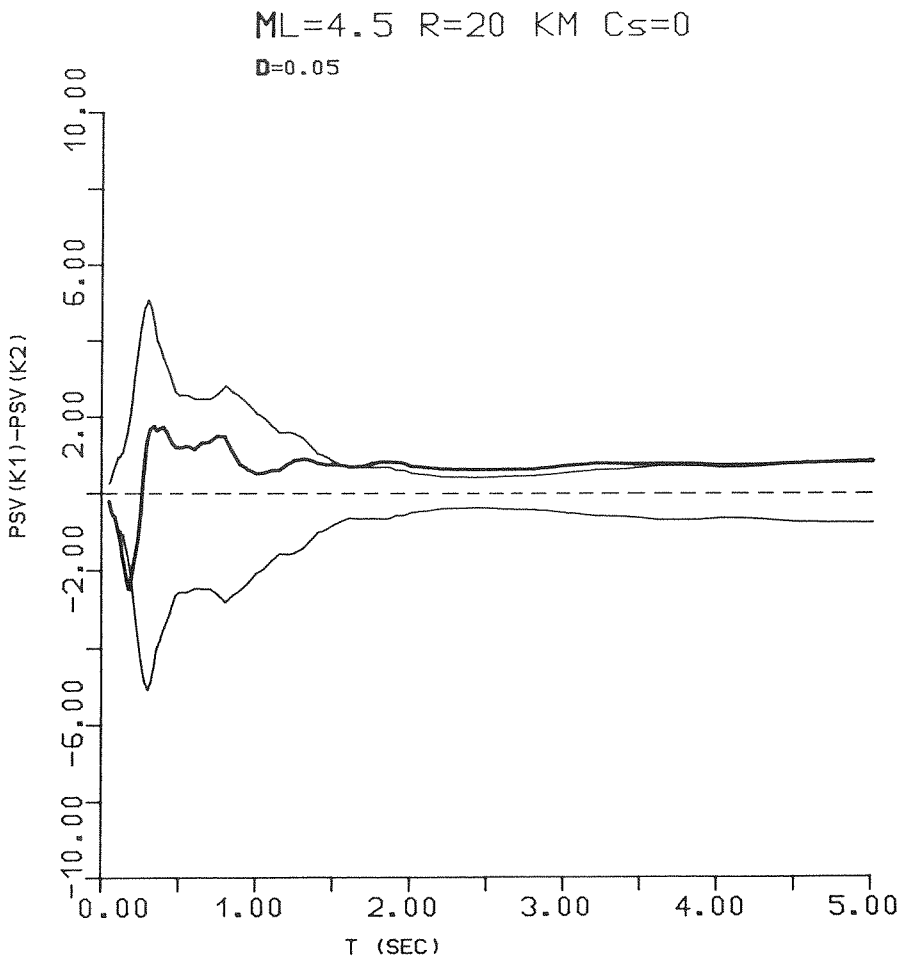
Σχ. 4.5. Ανηγμένα φάσματα απόκρισης της κατηγορίας (K2), για τοπικό μέγεθος M_L=4.5, επικεντρική απόσταση $R_{\epsilon\pi}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών Cs=0, με τους ανάλογους συντελεστές του πίνακα (4.1).

εξαιρετικά δύσκολο να τη μειώσουμε με καλύτερη προσέγγιση των παραμέτρων της σεισμικής πηγής ή της θέσης καταγραφής (Heaton et al. 1986).

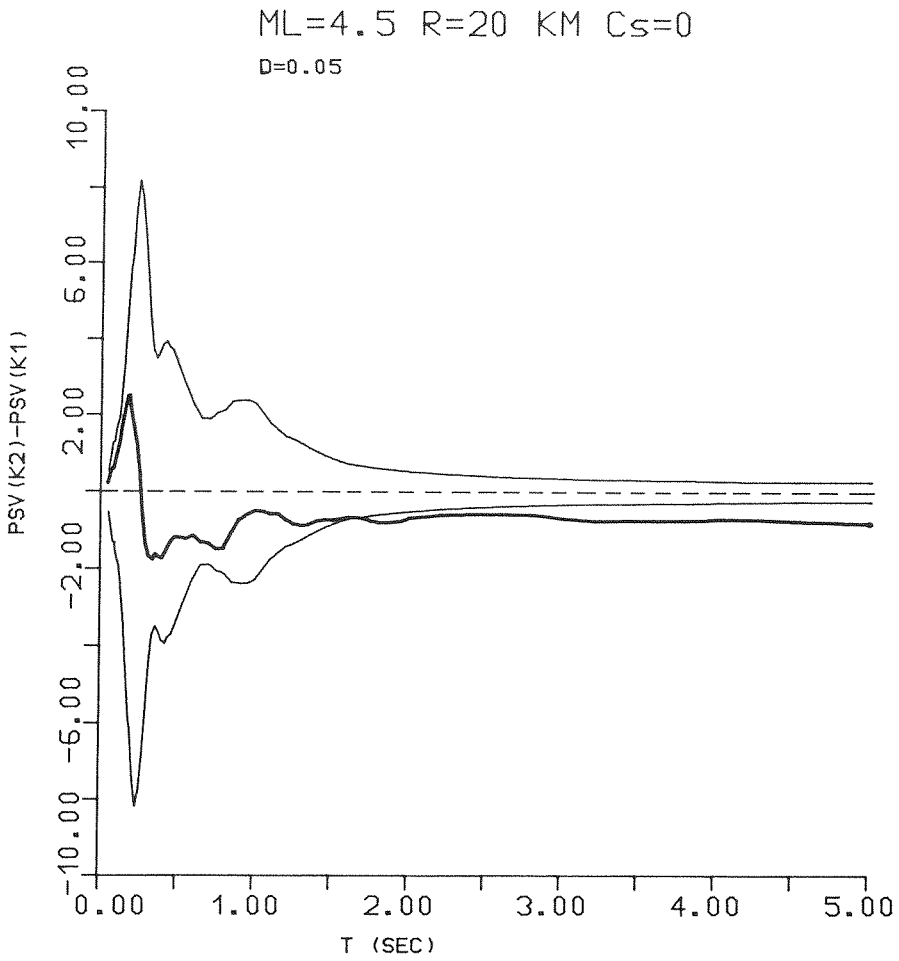
Στο σχήμα (4.6) δίνονται οι μέσοι όροι και μια τυπική απόκλιση των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης των σχημάτων (4.4) και (4.5). Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ο μέσος όρος των φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K1), έχει υψηλότερες τιμές ψευδοταχύτητας ακόμη και από το μέσο όρο + μια τυπική απόκλιση της κατηγορίας (K2), για περιόδους μεγαλύτερες από 1.5 sec. Στο σχήμα (4.7) δίνεται η διαφορά του μέσου όρου των φασματικών τιμών της κατηγορίας (K1) από την (K2), για D=0.05, για την αναγωγή σε τοπικό μέγεθος, M_L=4.5, επικεντρική απόσταση, $R_{\epsilon\pi}$=20 km, και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών, Cs=0. Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης, για D=0.05, της κατηγορίας (K2). Είναι φανερό ότι οι μέσοι όροι των διαφορών βρίσκονται μεταξύ των τιμών ± μιας τυπικής απόκλισης της κατηγορίας (K2) για περιόδους μικρότερες από 1.65 sec. Για αναγωγή στο ίδιο μέγεθος αναμενόμενου σεισμού, στην ίδια επικεντρική απόσταση και κατηγορία εδαφικών συνθηκών, δίνεται στο σχήμα (4.8) η διαφορά του μέσου όρου των φασματικών τιμών της κατηγορίας (K2) από την (K1). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης, για D=0.05, της κατηγορίας (K1). Οι μέσοι όροι των διαφορών βρίσκονται μεταξύ των τιμών ± μιας τυπικής απόκλισης που προκύπτουν από την επεξεργασία των φασμάτων απόκρισης, για D=0.05, της κατηγορίας (K1). Οι μέσοι όροι των διαφορών βρίσκονται και πάλι μεταξύ των τιμών ± μιας τυπικής απόκλισης της κατηγορίας (K1) για περιόδους μικρότερες από 1.70sec. Στα σχήματα (4.9) έως (4.12) γίνονται ανάλογες συγκρίσεις για αναγωγή των δεδομένων των δύο κατηγοριών (K1), (K2) σε τοπικό μέγεθος σεισμού M_L=5.0, 5.5, επικεντρική απόσταση, $R_{\epsilon\pi}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών, Cs=0, για D=0.05. Φαίνεται γενικά ότι οι μέσοι όροι των διαφορών βρίσκονται μεταξύ των τιμών ± μιας τυπικής απόκλισης είτε της κατηγορίας (K1) είτε της (K2)



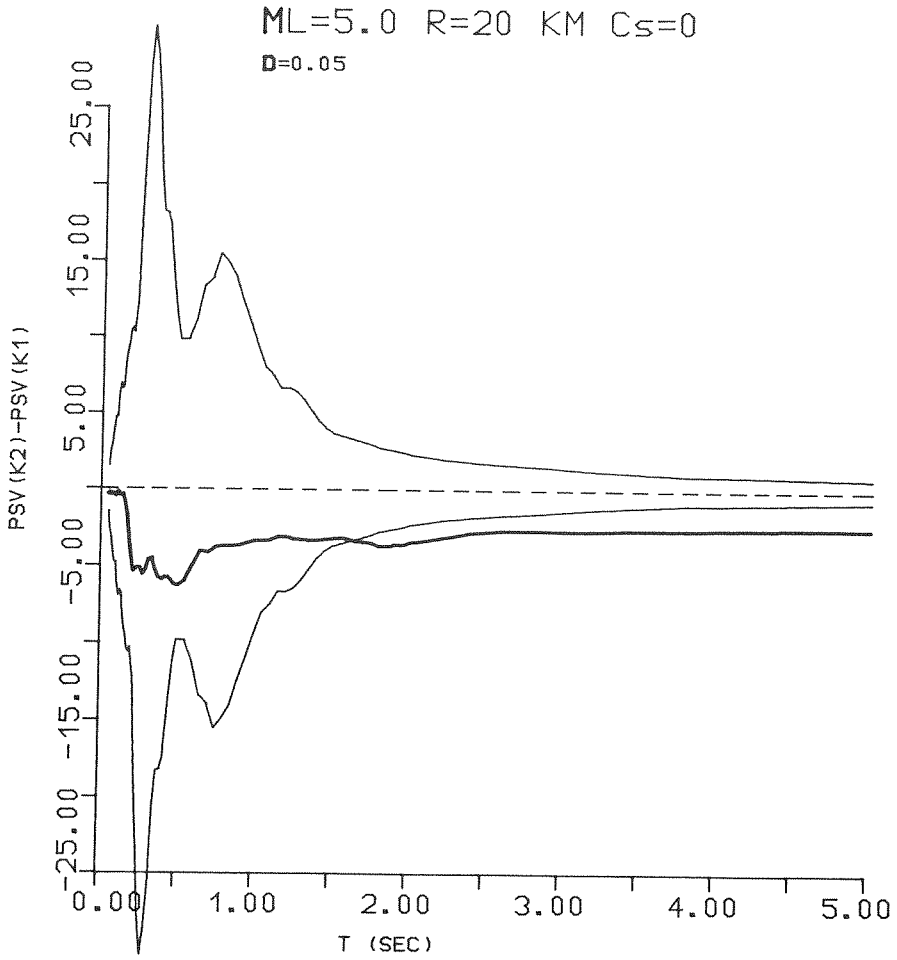
Σχ. 4.6. Μέσοι όροι + μια τυπική απόκλιση (SD) των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης των σχημάτων (4.4) και (4.5).



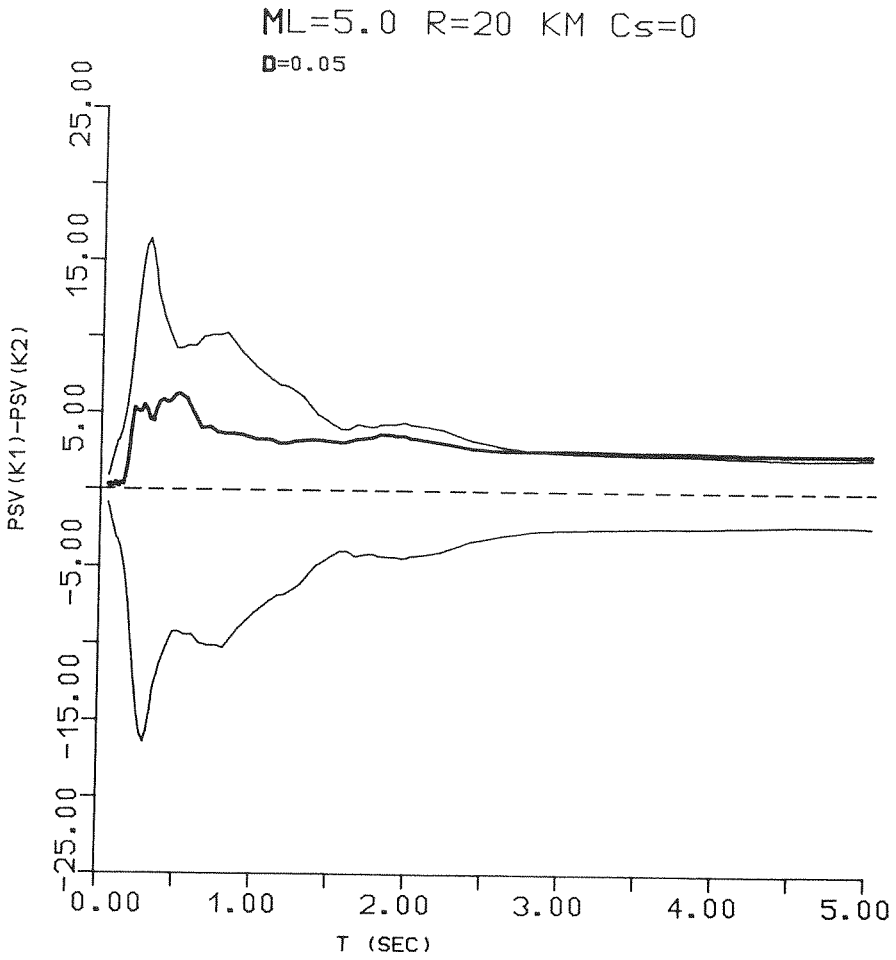
Σχ. 4.7. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=4.5, επικεντρική απόσταση $R_{επ}$= 20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών C_s=0, της κατηγορίας (K2) από την (K1) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K2) (λεπτή γραμμή).



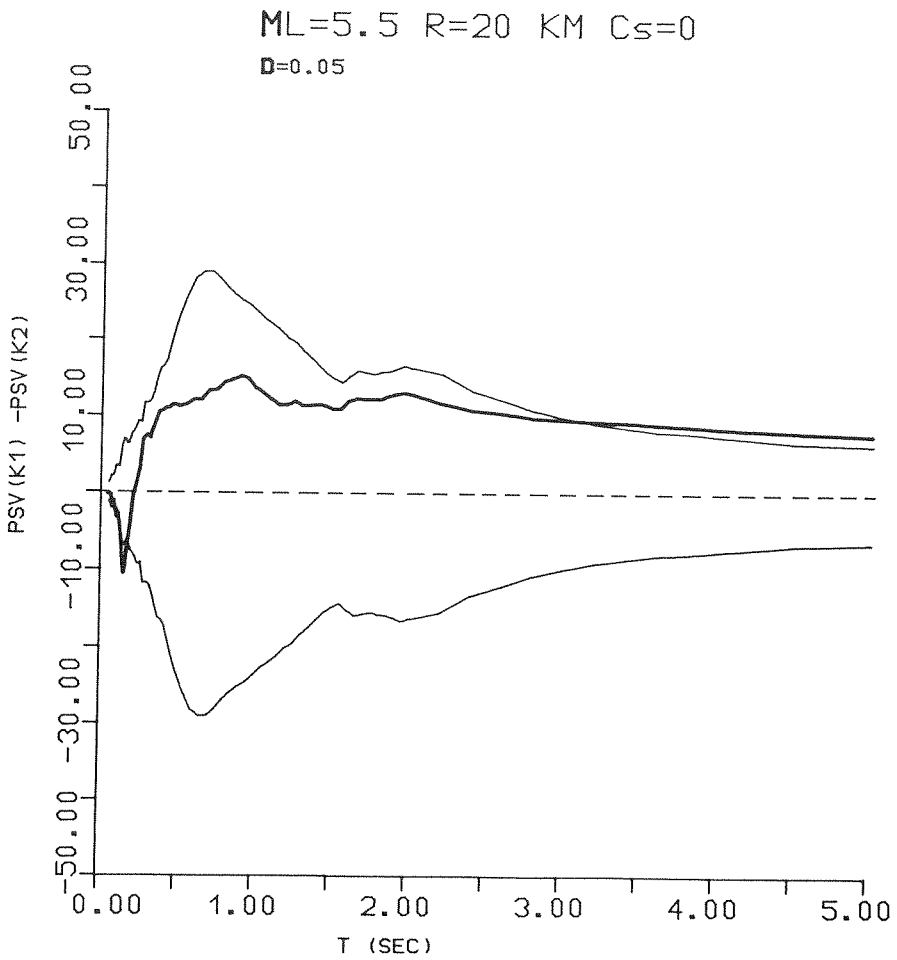
Σχ. 4.8. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=4.5, επικεντρική απόσταση $R_{επ}$= 20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών C_s=0, της κατηγορίας (K1) από την (K2) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K1) (λεπτή γραμμή).



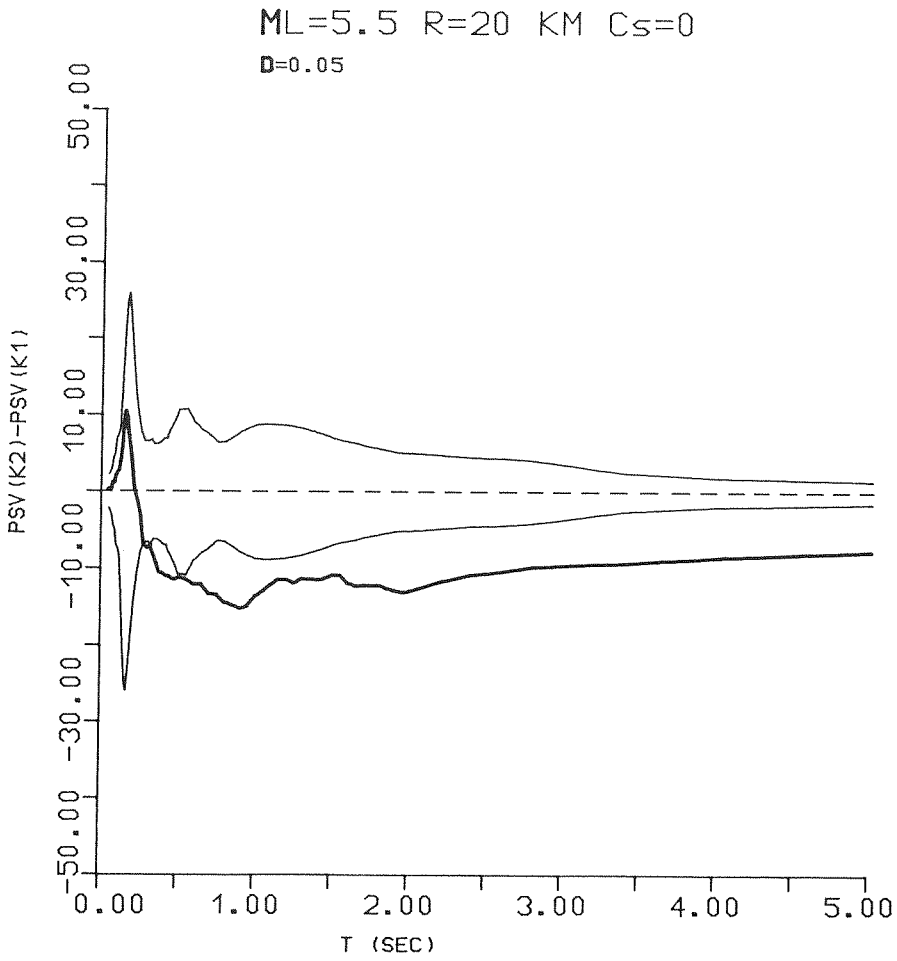
Σχ. 4.9. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=5.0, επικεντρική απόσταση $R_{επ}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών Cs=0, της κατηγορίας (K1) από την (K2) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K2) (λεπτή γραμμή).



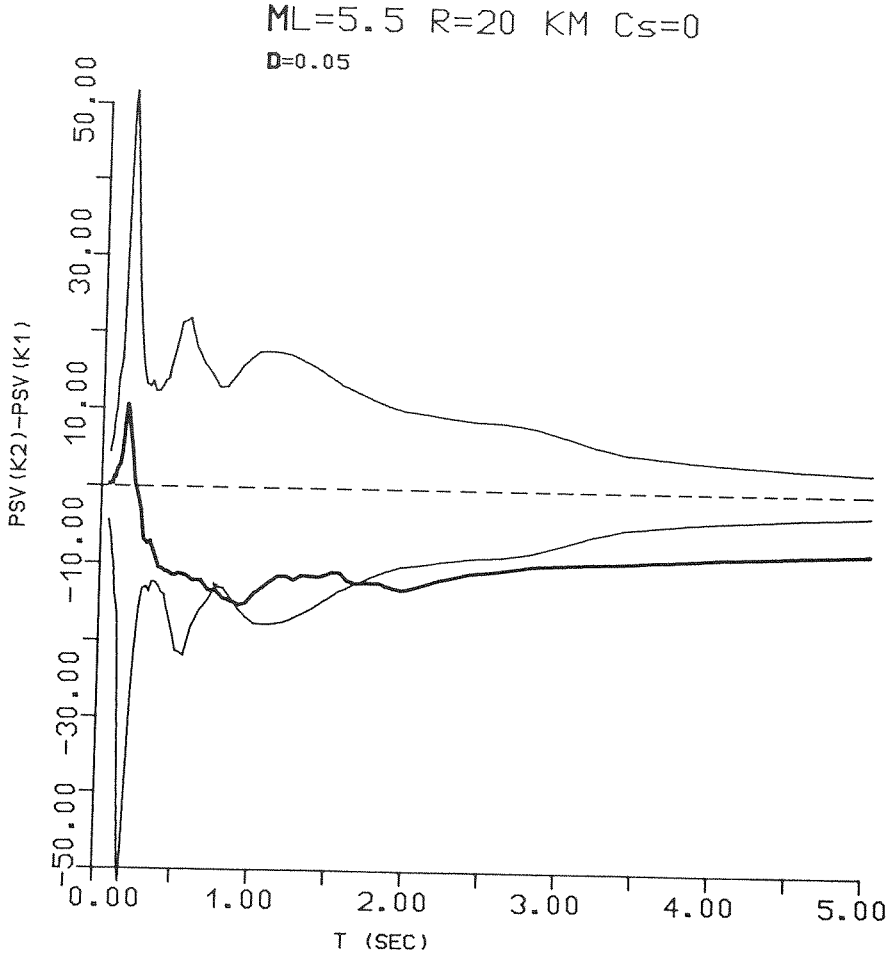
Σχ. 4.10. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=5.0, επικεντρική απόσταση $R_{επ}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών C_s=0, της κατηγορίας (K2) από την (K1) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K1) (λεπτή γραμμή).



Σχ. 4.11. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=5.5, επικεντρική απόσταση $R_{\varepsilon\kappa}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών C_S=0, της κατηγορίας (K2) από την (K1) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K2) (λεπτή γραμμή).



Σχ. 4.12. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=5.5, επικεντρική απόσταση $R_{επ}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών Cs=0, της κατηγορίας (K1) από την (K2) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± μιας τυπικής απόκλισης από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K1) (λεπτή γραμμή).



Σχ. 4.13. Διαφορές του μέσου όρου των ανηγμένων φασματικών τιμών για τοπικό μέγεθος M_L=5.5, επικεντρική απόσταση $R_{επ}$=20km και ενδιάμεση κατηγορία εδαφικών συνθηκών Cs=0, της κατηγορίας (K1) από την (K2) σε συνάρτηση με την περίοδο (παχειά γραμμή). Στο ίδιο σχήμα δίνονται και οι τιμές ± δύο τυπικών αποκλίσεων από το μέσο όρο των ανηγμένων φασμάτων απόκρισης της κατηγορίας (K1) (λεπτή γραμμή).

για περιόδους μικρότερες από 1.65 sec, με εξαίρεση το σχήμα (4.12) όπου αυτό συμβαίνει για περιόδους μικρότερες από 0.30 sec. Το κριτήριο κάλυψης με ± μια τυπική απόκλιση των διαφορών των μέσων όρων, μπορεί να θεωρηθεί αρκετά αυστηρό. Ετσι, αυξάνοντας το κριτήριο αυτό σε ± δύο τυπικές αποκλίσεις, φαίνεται από το σχήμα (4.13) ότι η προηγούμενη εξαίρεση καλύπτεται ικανοποιητικά για περιόδους μέχρι 1.65 sec. Σε παρόμοια συμπεράσματα καταλήγουμε εξετάζοντας και τις φασματικές τιμές των κατηγοριών (K1), (K2) για παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.10, 0.20 της κρίσιμης.

Εχοντας υπόψη τα παραπάνω καθώς και τις αδυναμίες που εμπεριέχει η μεθοδολογία κατά την εφαρμογή της, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι το συνολικό δείγμα των φασμάτων απόκρισης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου είναι ικανοποιητικά ομοιογενές για περιόδους μέχρι 1.5 sec περίπου, ενώ για μεγαλύτερες απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη στατιστική επεξεργασία των φασματικών τιμών. Η επίλυση του προβλήματος αυτού έγκειται κατά κύριο λόγο στην ομοιόμορφη επεξεργασία των αρχικών καταγραφών από το στάδιο της ψηφιοποίησης μέχρι και της επιλογής των κατάλληλων φίλτρων διόρθωσης.

4.2.2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία η οποία εφαρμόσθηκε προκειμένου να προσδιορισθούν οι συντελεστές αναγωγής της σχέσης απόσβεσης των φασματικών ψευδοταχυτήτων είναι παρόμοια με εκείνη του κεφαλαίου 2 όπου προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές αναγωγής της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης. Ο συντελεστής C_4 της σχέσης (2.11) θεωρήθηκε σταθερός με την περίοδο, T, και υιοθετήθηκε εκείνος που εκτιμήθηκε για απόσβεση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, C_4=15 km. Η έλλειψη δεδομένων μεγάλων σεισμών, M>6.2, στο κοντινό πεδίο, R<20 km, δεν επιτρέπει παραπέρα

διερεύνηση για το συντελεστή αυτόν. Ετσι η σχέση της οποίας προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές αναγωγής με τα τρία βήματα που περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.2. έχει τη μορφή,

$$\ln PSV(T)=C_{13}(T)+C_{22}(T)M+C_{33}(T)\ln(R+15)+C_{52}(T)S+\sigma_{\ln PSV(T)}P \quad (4.3)$$

όπου PSV, σε cm/sec, είναι η ψευδοταχύτητα, M το μέγεθος του σεισμού, R η απόσταση, S παράμετρος που εκφράζει τις εδαφικές συνθήκες (0 για τις "αλλουβιακές αποθέσεις" και 1 για "σκληρό πέτρωμα"), $\sigma_{\ln PSV(T)}$ είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMS) για κάθε περίοδο και P είναι μηδέν για το μέσο όρο των τιμών lnPSV(T) και μονάδα για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα που για κανονική κατανομή των υπολοίπων εκφράζουν, αντίστοιχα, 0.50 ή 0.84 πιθανότητα μη υπέρβασης των τιμών lnPSV(T). Οι $C_{13}(T)$, $C_{22}(T)$, $C_{33}(T)$, $C_{52}(T)$ είναι οι συντελεστές αναγωγής που υπολογίζονται με γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (4.3) για κάθε περίοδο, T.

Η επεξεργασία των φασματικών τιμών έγινε για την κλίμακα του επιφανειακού, Ms, και του τοπικού μεγέθους, M_L, και για επικεντρική απόσταση , $R_{\varepsilon\pi}$.

4.2.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας και κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Στους πίνακες (4.2) έως (4.11) και στα σχήματα (4.14) και (4.15) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής $C_{13}(T)$, $C_{22}(T)$, $C_{33}(T)$, $C_{52}(T)$, $\sigma_{\ln PSV(T)}$, για παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 της κρίσιμης όπως έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (4.3) για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T), για επιφανειακό μέγεθος, Ms, όσο και για τοπικό, M_L, αντίστοιχα. Οι συντελεστές αυτοί έχουν εξομαλυνθεί με τη μέθοδο του (1/4+1/2+1/4) "κινητού μέσου" (running average) κατά μήκος του άξονα των περιόδων, log(T).

Πίνακας 4.2. Συντελεστές αναγωγής, $C_{13}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.403	-0.071	-0.194	-0.228	-0.302
0.06	0.673	0.312	0.151	0.063	-0.066
0.07	0.932	0.665	0.468	0.329	0.153
0.08	1.166	0.961	0.734	0.553	0.342
0.09	1.355	1.181	0.936	0.727	0.497
0.10	1.482	1.320	1.072	0.855	0.619
0.11	1.542	1.388	1.156	0.946	0.717
0.12	1.550	1.411	1.207	1.019	0.800
0.13	1.536	1.417	1.252	1.088	0.874
0.14	1.538	1.438	1.312	1.164	0.946
0.15	1.584	1.500	1.404	1.254	1.018
0.16	1.680	1.612	1.527	1.356	1.092
0.17	1.807	1.761	1.667	1.464	1.166
0.18	1.930	1.917	1.803	1.567	1.238
0.19	2.020	2.045	1.916	1.657	1.304
0.20	2.069	2.129	1.997	1.729	1.358
0.22	2.100	2.176	2.049	1.780	1.394
0.24	2.146	2.207	2.080	1.809	1.408
0.26	2.220	2.233	2.093	1.814	1.395
0.28	2.297	2.245	2.081	1.789	1.355
0.30	2.325	2.216	2.030	1.728	1.285
0.32	2.259	2.116	1.923	1.625	1.186
0.34	2.086	1.934	1.755	1.481	1.061
0.36	1.835	1.685	1.536	1.303	0.918
0.38	1.556	1.405	1.285	1.101	0.765
0.40	1.296	1.130	1.031	0.890	0.613
0.42	1.075	0.883	0.791	0.683	0.467
0.44	0.890	0.673	0.578	0.489	0.332
0.46	0.734	0.500	0.397	0.317	0.208
0.48	0.606	0.370	0.257	0.174	0.096
0.50	0.517	0.288	0.159	0.063	-0.006
0.55	0.469	0.249	0.100	-0.020	-0.095
0.60	0.450	0.233	0.063	-0.082	-0.169
0.65	0.433	0.210	0.024	-0.133	-0.228
0.70	0.394	0.159	-0.031	-0.182	-0.270
0.75	0.324	0.079	-0.100	-0.228	-0.299
0.80	0.244	-0.004	-0.166	-0.265	-0.316
0.85	0.192	-0.056	-0.204	-0.285	-0.327
0.90	0.199	-0.053	-0.199	-0.284	-0.335
0.95	0.269	0.006	-0.153	-0.265	-0.342
1.00	0.371	0.095	-0.082	-0.235	-0.349
1.05	0.460	0.181	-0.011	-0.204	-0.356
1.10	0.499	0.235	0.041	-0.178	-0.365
1.15	0.477	0.244	0.063	-0.164	-0.377
1.20	0.404	0.206	0.046	-0.166	-0.395
1.25	0.293	0.125	-0.009	-0.191	-0.423
1.30	0.155	0.010	-0.101	-0.243	-0.461
1.35	-0.002	-0.133	-0.223	-0.320	-0.507
1.40	-0.177	-0.293	-0.365	-0.416	-0.557
1.45	-0.371	-0.461	-0.515	-0.522	-0.609
1.50	-0.589	-0.630	-0.660	-0.626	-0.661
1.55	-0.824	-0.791	-0.793	-0.722	-0.712
1.60	-1.052	-0.937	-0.906	-0.804	-0.763
1.65	-1.237	-1.058	-0.998	-0.875	-0.815
1.70	-1.358	-1.151	-1.070	-0.936	-0.867
1.75	-1.416	-1.220	-1.129	-0.993	-0.919
1.80	-1.439	-1.280	-1.184	-1.050	-0.972
1.85	-1.460	-1.341	-1.241	-1.108	-1.027
1.90	-1.491	-1.407	-1.302	-1.169	-1.084
1.95	-1.526	-1.466	-1.360	-1.229	-1.143
2.00	-1.543	-1.504	-1.405	-1.282	-1.198
2.20	-1.523	-1.507	-1.427	-1.320	-1.247
2.40	-1.462	-1.473	-1.423	-1.342	-1.287
2.60	-1.373	-1.410	-1.398	-1.349	-1.318
2.80	-1.275	-1.337	-1.362	-1.345	-1.343
3.00	-1.192	-1.271	-1.329	-1.341	-1.369
3.20	-1.139	-1.224	-1.306	-1.341	-1.396
3.40	-1.120	-1.203	-1.296	-1.347	-1.426
3.60	-1.129	-1.202	-1.299	-1.359	-1.455
3.80	-1.154	-1.216	-1.311	-1.374	-1.484
4.00	-1.182	-1.237	-1.328	-1.388	-1.510
4.50	-1.208	-1.260	-1.347	-1.402	-1.534
5.00	-1.229	-1.284	-1.367	-1.414	-1.556

Πίνακας 4.3. Συντελεστές αναγωγής, $C_{22}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.195	1.072	1.039	1.017	1.011
0.06	1.182	1.050	1.023	1.007	1.004
0.07	1.163	1.029	1.009	1.000	1.000
0.08	1.138	1.012	1.000	0.997	1.000
0.09	1.114	1.004	0.998	1.001	1.006
0.10	1.102	1.009	1.006	1.011	1.015
0.11	1.108	1.028	1.023	1.027	1.028
0.12	1.128	1.057	1.045	1.045	1.040
0.13	1.152	1.086	1.066	1.059	1.051
0.14	1.170	1.106	1.078	1.066	1.056
0.15	1.173	1.109	1.077	1.063	1.056
0.16	1.155	1.093	1.060	1.049	1.050
0.17	1.118	1.061	1.032	1.027	1.040
0.18	1.067	1.021	0.999	1.004	1.030
0.19	1.017	0.984	0.970	0.985	1.023
0.20	0.985	0.960	0.953	0.977	1.022
0.22	0.977	0.955	0.952	0.980	1.027
0.24	0.994	0.968	0.966	0.993	1.039
0.26	1.027	0.995	0.990	1.013	1.057
0.28	1.066	1.028	1.018	1.037	1.077
0.30	1.105	1.063	1.047	1.064	1.101
0.32	1.144	1.100	1.079	1.094	1.125
0.34	1.191	1.144	1.116	1.129	1.152
0.36	1.248	1.196	1.161	1.168	1.180
0.38	1.312	1.254	1.211	1.209	1.207
0.40	1.374	1.312	1.262	1.250	1.232
0.42	1.422	1.361	1.308	1.286	1.255
0.44	1.451	1.396	1.346	1.315	1.277
0.46	1.463	1.418	1.375	1.340	1.297
0.48	1.468	1.433	1.399	1.362	1.319
0.50	1.474	1.446	1.422	1.386	1.344
0.55	1.484	1.462	1.447	1.412	1.372
0.60	1.501	1.483	1.474	1.441	1.401
0.65	1.520	1.508	1.502	1.471	1.431
0.70	1.539	1.533	1.530	1.500	1.459
0.75	1.557	1.557	1.554	1.524	1.483
0.80	1.569	1.574	1.571	1.543	1.501
0.85	1.575	1.583	1.582	1.554	1.515
0.90	1.576	1.586	1.586	1.560	1.524
0.95	1.573	1.584	1.586	1.562	1.532
1.00	1.574	1.583	1.585	1.563	1.539
1.05	1.582	1.587	1.587	1.564	1.545
1.10	1.600	1.596	1.592	1.568	1.551
1.15	1.624	1.609	1.600	1.574	1.557
1.20	1.651	1.624	1.610	1.582	1.563
1.25	1.674	1.639	1.622	1.591	1.569
1.30	1.692	1.652	1.633	1.601	1.576
1.35	1.704	1.663	1.643	1.612	1.583
1.40	1.713	1.674	1.653	1.624	1.592
1.45	1.727	1.688	1.664	1.636	1.601
1.50	1.751	1.707	1.678	1.649	1.611
1.55	1.789	1.733	1.694	1.664	1.621
1.60	1.835	1.762	1.714	1.679	1.630
1.65	1.881	1.792	1.734	1.693	1.638
1.70	1.920	1.819	1.754	1.707	1.645
1.75	1.949	1.842	1.772	1.720	1.652
1.80	1.969	1.860	1.788	1.732	1.659
1.85	1.980	1.874	1.801	1.743	1.666
1.90	1.985	1.884	1.812	1.751	1.672
1.95	1.982	1.889	1.819	1.756	1.677
2.00	1.971	1.885	1.820	1.757	1.679
2.20	1.952	1.872	1.815	1.753	1.679
2.40	1.927	1.853	1.805	1.744	1.675
2.60	1.895	1.829	1.790	1.732	1.669
2.80	1.863	1.804	1.774	1.718	1.661
3.00	1.831	1.781	1.759	1.705	1.654
3.20	1.803	1.762	1.746	1.694	1.648
3.40	1.780	1.747	1.735	1.684	1.643
3.60	1.761	1.735	1.725	1.676	1.637
3.80	1.748	1.724	1.716	1.669	1.631
4.00	1.736	1.715	1.707	1.662	1.624
4.50	1.727	1.706	1.700	1.656	1.615
5.00	1.717	1.697	1.692	1.651	1.606

Πίνακας 4.4. Συντελεστές αναγωγής, $C_{33}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-2.069	-1.807	-1.732	-1.694	-1.669
0.06	-2.041	-1.809	-1.740	-1.701	-1.671
0.07	-2.003	-1.806	-1.744	-1.707	-1.675
0.08	-1.953	-1.797	-1.746	-1.713	-1.681
0.09	-1.900	-1.787	-1.747	-1.720	-1.689
0.10	-1.857	-1.782	-1.751	-1.730	-1.699
0.11	-1.832	-1.787	-1.760	-1.742	-1.711
0.12	-1.822	-1.799	-1.773	-1.755	-1.722
0.13	-1.817	-1.809	-1.784	-1.765	-1.729
0.14	-1.808	-1.811	-1.786	-1.767	-1.730
0.15	-1.789	-1.798	-1.776	-1.756	-1.724
0.16	-1.753	-1.770	-1.752	-1.734	-1.711
0.17	-1.696	-1.727	-1.714	-1.701	-1.694
0.18	-1.618	-1.674	-1.668	-1.666	-1.676
0.19	-1.533	-1.618	-1.624	-1.635	-1.662
0.20	-1.463	-1.572	-1.591	-1.615	-1.653
0.22	-1.428	-1.547	-1.576	-1.608	-1.651
0.24	-1.437	-1.549	-1.580	-1.614	-1.654
0.26	-1.483	-1.573	-1.598	-1.625	-1.660
0.28	-1.542	-1.606	-1.619	-1.638	-1.666
0.30	-1.593	-1.636	-1.636	-1.649	-1.670
0.32	-1.626	-1.655	-1.645	-1.656	-1.672
0.34	-1.645	-1.664	-1.649	-1.662	-1.672
0.36	-1.663	-1.673	-1.653	-1.668	-1.669
0.38	-1.687	-1.685	-1.659	-1.672	-1.664
0.40	-1.713	-1.698	-1.666	-1.674	-1.658
0.42	-1.728	-1.706	-1.671	-1.671	-1.651
0.44	-1.724	-1.702	-1.670	-1.664	-1.645
0.46	-1.702	-1.690	-1.665	-1.655	-1.642
0.48	-1.677	-1.677	-1.664	-1.652	-1.645
0.50	-1.663	-1.676	-1.674	-1.659	-1.657
0.55	-1.670	-1.693	-1.697	-1.680	-1.677
0.60	-1.695	-1.724	-1.733	-1.711	-1.705
0.65	-1.727	-1.761	-1.771	-1.748	-1.738
0.70	-1.755	-1.793	-1.805	-1.784	-1.773
0.75	-1.771	-1.814	-1.830	-1.815	-1.805
0.80	-1.777	-1.825	-1.847	-1.839	-1.832
0.85	-1.780	-1.832	-1.858	-1.856	-1.854
0.90	-1.791	-1.842	-1.870	-1.870	-1.872
0.95	-1.815	-1.860	-1.886	-1.884	-1.887
1.00	-1.854	-1.890	-1.910	-1.899	-1.900
1.05	-1.902	-1.926	-1.938	-1.916	-1.914
1.10	-1.951	-1.963	-1.967	-1.936	-1.926
1.15	-1.995	-1.996	-1.995	-1.957	-1.938
1.20	-2.029	-2.019	-2.015	-1.976	-1.949
1.25	-2.049	-2.030	-2.027	-1.991	-1.957
1.30	-2.053	-2.030	-2.029	-2.000	-1.964
1.35	-2.044	-2.021	-2.022	-2.003	-1.969
1.40	-2.030	-2.008	-2.009	-2.002	-1.975
1.45	-2.018	-1.998	-1.997	-1.999	-1.982
1.50	-2.017	-1.997	-1.990	-2.000	-1.989
1.55	-2.030	-2.008	-1.991	-2.004	-1.997
1.60	-2.056	-2.029	-2.002	-2.013	-2.004
1.65	-2.092	-2.055	-2.020	-2.026	-2.010
1.70	-2.133	-2.083	-2.040	-2.040	-2.015
1.75	-2.174	-2.108	-2.061	-2.054	-2.019
1.80	-2.208	-2.129	-2.080	-2.066	-2.023
1.85	-2.231	-2.145	-2.095	-2.075	-2.027
1.90	-2.243	-2.154	-2.106	-2.082	-2.031
1.95	-2.246	-2.160	-2.114	-2.086	-2.034
2.00	-2.246	-2.162	-2.121	-2.089	-2.037
2.20	-2.247	-2.164	-2.127	-2.091	-2.039
2.40	-2.250	-2.167	-2.132	-2.091	-2.041
2.60	-2.254	-2.171	-2.139	-2.091	-2.041
2.80	-2.256	-2.176	-2.145	-2.091	-2.041
3.00	-2.254	-2.181	-2.151	-2.091	-2.040
3.20	-2.247	-2.184	-2.156	-2.092	-2.040
3.40	-2.236	-2.185	-2.159	-2.093	-2.041
3.60	-2.224	-2.183	-2.161	-2.094	-2.040
3.80	-2.214	-2.181	-2.161	-2.095	-2.039
4.00	-2.207	-2.177	-2.160	-2.098	-2.037
4.50	-2.203	-2.175	-2.159	-2.102	-2.035
5.00	-2.201	-2.173	-2.160	-2.108	-2.033

Πίνακας 4.5. Συντελεστές αναγωγής, $C_{52}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.721	0.528	0.460	0.424	0.389
0.06	0.734	0.559	0.493	0.450	0.402
0.07	0.735	0.582	0.520	0.472	0.413
0.08	0.720	0.596	0.539	0.489	0.421
0.09	0.698	0.605	0.554	0.501	0.427
0.10	0.681	0.614	0.569	0.513	0.431
0.11	0.679	0.629	0.587	0.526	0.434
0.12	0.690	0.649	0.607	0.538	0.435
0.13	0.704	0.668	0.623	0.547	0.433
0.14	0.709	0.677	0.628	0.546	0.424
0.15	0.694	0.667	0.615	0.533	0.407
0.16	0.653	0.633	0.580	0.505	0.382
0.17	0.584	0.572	0.523	0.461	0.348
0.18	0.491	0.488	0.449	0.402	0.305
0.19	0.378	0.388	0.360	0.330	0.253
0.20	0.252	0.278	0.263	0.247	0.193
0.22	0.118	0.163	0.162	0.157	0.125
0.24	-0.017	0.048	0.060	0.065	0.053
0.26	-0.147	-0.064	-0.039	-0.026	-0.019
0.28	-0.264	-0.167	-0.133	-0.110	-0.086
0.30	-0.364	-0.259	-0.216	-0.184	-0.145
0.32	-0.444	-0.335	-0.285	-0.246	-0.196
0.34	-0.502	-0.392	-0.337	-0.294	-0.238
0.36	-0.537	-0.431	-0.374	-0.331	-0.273
0.38	-0.556	-0.456	-0.399	-0.357	-0.303
0.40	-0.564	-0.471	-0.415	-0.376	-0.329
0.42	-0.569	-0.484	-0.429	-0.391	-0.353
0.44	-0.574	-0.497	-0.443	-0.407	-0.377
0.46	-0.587	-0.514	-0.461	-0.425	-0.401
0.48	-0.613	-0.538	-0.484	-0.448	-0.426
0.50	-0.655	-0.572	-0.516	-0.476	-0.454
0.55	-0.711	-0.614	-0.554	-0.509	-0.485
0.60	-0.774	-0.661	-0.596	-0.545	-0.517
0.65	-0.836	-0.709	-0.639	-0.582	-0.549
0.70	-0.892	-0.755	-0.679	-0.617	-0.579
0.75	-0.942	-0.798	-0.717	-0.650	-0.607
0.80	-0.986	-0.839	-0.755	-0.683	-0.633
0.85	-1.026	-0.878	-0.792	-0.716	-0.657
0.90	-1.059	-0.915	-0.830	-0.749	-0.681
0.95	-1.083	-0.947	-0.864	-0.780	-0.705
1.00	-1.097	-0.971	-0.893	-0.810	-0.728
1.05	-1.103	-0.987	-0.915	-0.835	-0.750
1.10	-1.105	-0.999	-0.932	-0.857	-0.772
1.15	-1.108	-1.009	-0.946	-0.876	-0.792
1.20	-1.115	-1.019	-0.958	-0.893	-0.811
1.25	-1.124	-1.030	-0.970	-0.908	-0.828
1.30	-1.135	-1.042	-0.983	-0.923	-0.843
1.35	-1.143	-1.053	-0.995	-0.936	-0.857
1.40	-1.150	-1.063	-1.007	-0.948	-0.869
1.45	-1.155	-1.072	-1.017	-0.959	-0.879
1.50	-1.159	-1.079	-1.025	-0.969	-0.888
1.55	-1.161	-1.085	-1.031	-0.976	-0.895
1.60	-1.162	-1.089	-1.035	-0.981	-0.901
1.65	-1.163	-1.092	-1.038	-0.985	-0.905
1.70	-1.163	-1.094	-1.040	-0.987	-0.908
1.75	-1.165	-1.097	-1.043	-0.988	-0.910
1.80	-1.165	-1.098	-1.045	-0.988	-0.912
1.85	-1.165	-1.098	-1.045	-0.987	-0.914
1.90	-1.160	-1.094	-1.043	-0.986	-0.915
1.95	-1.151	-1.087	-1.039	-0.983	-0.917
2.00	-1.138	-1.077	-1.032	-0.980	-0.918
2.20	-1.121	-1.064	-1.024	-0.976	-0.919
2.40	-1.100	-1.050	-1.014	-0.970	-0.919
2.60	-1.079	-1.034	-1.003	-0.964	-0.917
2.80	-1.057	-1.017	-0.990	-0.954	-0.912
3.00	-1.033	-0.998	-0.975	-0.942	-0.905
3.20	-1.009	-0.979	-0.958	-0.928	-0.896
3.40	-0.984	-0.958	-0.941	-0.913	-0.887
3.60	-0.962	-0.939	-0.923	-0.899	-0.877
3.80	-0.942	-0.921	-0.908	-0.886	-0.869
4.00	-0.926	-0.906	-0.895	-0.877	-0.863
4.50	-0.913	-0.894	-0.884	-0.870	-0.859
5.00	-0.901	-0.882	-0.875	-0.865	-0.856

Πίνακας 4.6. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.760	0.684	0.673	0.669	0.666
0.06	0.754	0.685	0.671	0.667	0.664
0.07	0.744	0.684	0.669	0.664	0.662
0.08	0.730	0.680	0.666	0.661	0.659
0.09	0.714	0.673	0.663	0.657	0.657
0.10	0.697	0.666	0.658	0.654	0.654
0.11	0.683	0.658	0.653	0.651	0.651
0.12	0.672	0.651	0.649	0.648	0.650
0.13	0.663	0.645	0.645	0.646	0.649
0.14	0.656	0.641	0.642	0.644	0.648
0.15	0.650	0.637	0.639	0.643	0.648
0.16	0.644	0.635	0.638	0.642	0.650
0.17	0.640	0.635	0.640	0.644	0.653
0.18	0.640	0.639	0.644	0.648	0.659
0.19	0.645	0.648	0.652	0.656	0.667
0.20	0.659	0.662	0.664	0.668	0.677
0.22	0.684	0.684	0.682	0.683	0.689
0.24	0.715	0.709	0.703	0.700	0.702
0.26	0.748	0.735	0.723	0.716	0.714
0.28	0.774	0.755	0.740	0.730	0.725
0.30	0.790	0.766	0.751	0.740	0.734
0.32	0.795	0.770	0.755	0.747	0.740
0.34	0.794	0.769	0.757	0.752	0.745
0.36	0.793	0.767	0.758	0.755	0.749
0.38	0.793	0.768	0.759	0.758	0.752
0.40	0.795	0.771	0.761	0.760	0.754
0.42	0.797	0.773	0.763	0.760	0.755
0.44	0.796	0.772	0.763	0.759	0.756
0.46	0.794	0.769	0.762	0.758	0.757
0.48	0.794	0.768	0.762	0.759	0.759
0.50	0.799	0.771	0.766	0.763	0.763
0.55	0.812	0.779	0.774	0.770	0.767
0.60	0.830	0.793	0.786	0.779	0.772
0.65	0.853	0.811	0.801	0.790	0.778
0.70	0.877	0.832	0.817	0.802	0.785
0.75	0.903	0.854	0.835	0.814	0.791
0.80	0.929	0.877	0.853	0.827	0.798
0.85	0.955	0.898	0.870	0.839	0.806
0.90	0.979	0.917	0.885	0.850	0.813
0.95	1.002	0.933	0.897	0.860	0.820
1.00	1.023	0.946	0.906	0.867	0.826
1.05	1.043	0.957	0.913	0.873	0.832
1.10	1.059	0.967	0.919	0.878	0.837
1.15	1.072	0.976	0.924	0.882	0.841
1.20	1.082	0.984	0.930	0.886	0.845
1.25	1.088	0.990	0.934	0.890	0.847
1.30	1.090	0.994	0.937	0.893	0.849
1.35	1.090	0.996	0.938	0.895	0.850
1.40	1.087	0.995	0.939	0.897	0.852
1.45	1.082	0.994	0.939	0.898	0.853
1.50	1.078	0.993	0.940	0.900	0.855
1.55	1.076	0.994	0.942	0.902	0.857
1.60	1.077	0.997	0.946	0.906	0.860
1.65	1.079	1.001	0.951	0.910	0.863
1.70	1.083	1.006	0.957	0.914	0.865
1.75	1.086	1.012	0.962	0.918	0.868
1.80	1.089	1.017	0.967	0.921	0.870
1.85	1.091	1.021	0.971	0.924	0.872
1.90	1.092	1.024	0.974	0.926	0.874
1.95	1.092	1.025	0.977	0.929	0.877
2.00	1.091	1.027	0.980	0.932	0.881
2.20	1.092	1.029	0.986	0.938	0.887
2.40	1.094	1.034	0.994	0.947	0.895
2.60	1.100	1.043	1.004	0.959	0.906
2.80	1.107	1.054	1.017	0.972	0.918
3.00	1.117	1.067	1.032	0.985	0.930
3.20	1.127	1.081	1.047	1.000	0.943
3.40	1.139	1.097	1.062	1.014	0.956
3.60	1.151	1.113	1.078	1.030	0.970
3.80	1.165	1.130	1.096	1.047	0.985
4.00	1.181	1.147	1.114	1.066	1.003
4.50	1.198	1.166	1.134	1.088	1.023
5.00	1.215	1.184	1.155	1.110	1.044

Πίνακας 4.7. Συντελεστές αναγωγής, $C_{13}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-0.199	-0.275	-0.327	-0.324	-0.368
0.06	0.025	0.045	-0.032	-0.072	-0.150
0.07	0.251	0.343	0.239	0.161	0.054
0.08	0.470	0.597	0.470	0.359	0.233
0.09	0.663	0.792	0.649	0.517	0.382
0.10	0.809	0.921	0.775	0.637	0.502
0.11	0.898	0.994	0.860	0.730	0.600
0.12	0.936	1.026	0.921	0.811	0.684
0.13	0.948	1.042	0.977	0.891	0.760
0.14	0.969	1.067	1.046	0.977	0.834
0.15	1.028	1.127	1.142	1.074	0.908
0.16	1.137	1.236	1.266	1.180	0.984
0.17	1.285	1.387	1.412	1.293	1.063
0.18	1.440	1.557	1.565	1.407	1.143
0.19	1.572	1.719	1.706	1.517	1.223
0.20	1.674	1.850	1.826	1.617	1.295
0.22	1.761	1.948	1.919	1.701	1.355
0.24	1.857	2.023	1.986	1.761	1.393
0.26	1.967	2.080	2.023	1.790	1.403
0.28	2.068	2.109	2.024	1.780	1.382
0.30	2.112	2.084	1.975	1.727	1.325
0.32	2.060	1.983	1.864	1.626	1.234
0.34	1.901	1.799	1.689	1.479	1.111
0.36	1.659	1.551	1.463	1.295	0.966
0.38	1.378	1.273	1.206	1.084	0.808
0.40	1.100	0.995	0.942	0.860	0.649
0.42	0.849	0.735	0.688	0.637	0.496
0.44	0.631	0.501	0.454	0.427	0.350
0.46	0.449	0.301	0.251	0.239	0.214
0.48	0.309	0.148	0.089	0.082	0.086
0.50	0.220	0.053	-0.023	-0.041	-0.035
0.55	0.175	0.007	-0.092	-0.135	-0.145
0.60	0.151	-0.017	-0.139	-0.209	-0.240
0.65	0.115	-0.056	-0.191	-0.276	-0.320
0.70	0.046	-0.132	-0.266	-0.345	-0.383
0.75	-0.055	-0.240	-0.359	-0.413	-0.434
0.80	-0.161	-0.350	-0.449	-0.473	-0.474
0.85	-0.236	-0.427	-0.509	-0.515	-0.506
0.90	-0.253	-0.449	-0.524	-0.531	-0.529
0.95	-0.215	-0.419	-0.498	-0.524	-0.545
1.00	-0.149	-0.359	-0.446	-0.502	-0.552
1.05	-0.090	-0.296	-0.387	-0.473	-0.552
1.10	-0.060	-0.248	-0.335	-0.442	-0.547
1.15	-0.059	-0.223	-0.298	-0.413	-0.540
1.20	-0.080	-0.221	-0.282	-0.392	-0.537
1.25	-0.116	-0.243	-0.292	-0.386	-0.543
1.30	-0.169	-0.289	-0.330	-0.402	-0.558
1.35	-0.241	-0.357	-0.396	-0.440	-0.581
1.40	-0.331	-0.440	-0.480	-0.496	-0.609
1.45	-0.438	-0.529	-0.571	-0.560	-0.637
1.50	-0.563	-0.616	-0.657	-0.620	-0.663
1.55	-0.701	-0.697	-0.727	-0.668	-0.686
1.60	-0.836	-0.768	-0.779	-0.704	-0.707
1.65	-0.942	-0.825	-0.812	-0.728	-0.724
1.70	-0.999	-0.865	-0.831	-0.746	-0.741
1.75	-1.010	-0.893	-0.845	-0.764	-0.757
1.80	-0.997	-0.922	-0.862	-0.786	-0.775
1.85	-0.992	-0.959	-0.888	-0.814	-0.795
1.90	-1.004	-1.005	-0.920	-0.845	-0.816
1.95	-1.024	-1.045	-0.948	-0.871	-0.836
2.00	-1.022	-1.057	-0.958	-0.883	-0.851
2.20	-0.975	-1.027	-0.938	-0.876	-0.858
2.40	-0.879	-0.951	-0.888	-0.853	-0.860
2.60	-0.749	-0.844	-0.819	-0.821	-0.862
2.80	-0.616	-0.730	-0.750	-0.793	-0.869
3.00	-0.512	-0.636	-0.697	-0.777	-0.887
3.20	-0.459	-0.581	-0.671	-0.778	-0.915
3.40	-0.463	-0.570	-0.673	-0.795	-0.950
3.60	-0.513	-0.599	-0.699	-0.825	-0.989
3.80	-0.592	-0.657	-0.744	-0.862	-1.027
4.00	-0.681	-0.730	-0.801	-0.903	-1.065
4.50	-0.770	-0.812	-0.865	-0.945	-1.101
5.00	-0.855	-0.896	-0.933	-0.986	-1.137

Πίνακας 4.8. Συντελεστές αναγωγής, $C_{22}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.410	1.197	1.147	1.117	1.104
0.06	1.405	1.186	1.140	1.114	1.100
0.07	1.392	1.175	1.135	1.112	1.099
0.08	1.368	1.165	1.132	1.114	1.101
0.09	1.341	1.161	1.135	1.122	1.108
0.10	1.325	1.169	1.145	1.135	1.119
0.11	1.325	1.189	1.163	1.152	1.132
0.12	1.340	1.218	1.185	1.169	1.146
0.13	1.361	1.247	1.205	1.183	1.156
0.14	1.377	1.267	1.217	1.188	1.162
0.15	1.377	1.271	1.214	1.183	1.161
0.16	1.355	1.255	1.196	1.167	1.154
0.17	1.311	1.220	1.165	1.142	1.143
0.18	1.250	1.174	1.125	1.115	1.130
0.19	1.188	1.127	1.088	1.091	1.120
0.20	1.141	1.092	1.062	1.076	1.115
0.22	1.122	1.076	1.053	1.072	1.116
0.24	1.130	1.081	1.061	1.080	1.124
0.26	1.158	1.103	1.081	1.097	1.138
0.28	1.195	1.135	1.109	1.120	1.156
0.30	1.233	1.172	1.140	1.147	1.178
0.32	1.273	1.213	1.175	1.179	1.203
0.34	1.320	1.260	1.217	1.217	1.231
0.36	1.380	1.316	1.266	1.260	1.261
0.38	1.449	1.378	1.321	1.307	1.292
0.40	1.519	1.441	1.378	1.352	1.320
0.42	1.577	1.496	1.430	1.394	1.347
0.44	1.615	1.538	1.475	1.430	1.372
0.46	1.634	1.568	1.511	1.459	1.396
0.48	1.641	1.588	1.541	1.486	1.423
0.50	1.647	1.605	1.569	1.513	1.454
0.55	1.658	1.624	1.597	1.544	1.487
0.60	1.676	1.648	1.628	1.577	1.524
0.65	1.701	1.677	1.661	1.613	1.560
0.70	1.728	1.710	1.695	1.648	1.594
0.75	1.753	1.741	1.725	1.679	1.624
0.80	1.771	1.765	1.749	1.704	1.649
0.85	1.782	1.780	1.765	1.720	1.667
0.90	1.788	1.787	1.773	1.730	1.681
0.95	1.792	1.792	1.777	1.734	1.691
1.00	1.800	1.796	1.780	1.737	1.698
1.05	1.815	1.805	1.784	1.739	1.703
1.10	1.836	1.816	1.790	1.742	1.707
1.15	1.857	1.827	1.796	1.746	1.710
1.20	1.875	1.836	1.801	1.750	1.712
1.25	1.885	1.839	1.803	1.753	1.714
1.30	1.888	1.839	1.805	1.757	1.717
1.35	1.883	1.836	1.804	1.760	1.720
1.40	1.876	1.832	1.804	1.765	1.725
1.45	1.873	1.831	1.804	1.770	1.730
1.50	1.881	1.835	1.806	1.775	1.736
1.55	1.901	1.847	1.812	1.781	1.741
1.60	1.932	1.864	1.820	1.788	1.744
1.65	1.966	1.883	1.830	1.794	1.746
1.70	1.996	1.902	1.841	1.801	1.747
1.75	2.018	1.918	1.851	1.807	1.747
1.80	2.031	1.931	1.861	1.813	1.747
1.85	2.039	1.942	1.869	1.818	1.747
1.90	2.040	1.949	1.875	1.820	1.747
1.95	2.034	1.949	1.876	1.819	1.744
2.00	2.018	1.941	1.871	1.812	1.739
2.20	1.993	1.921	1.857	1.798	1.730
2.40	1.958	1.891	1.836	1.780	1.718
2.60	1.916	1.856	1.811	1.759	1.706
2.80	1.874	1.821	1.787	1.739	1.694
3.00	1.835	1.791	1.767	1.723	1.685
3.20	1.805	1.769	1.753	1.711	1.679
3.40	1.785	1.755	1.743	1.704	1.674
3.60	1.774	1.748	1.738	1.699	1.670
3.80	1.770	1.746	1.735	1.695	1.665
4.00	1.770	1.746	1.734	1.694	1.660
4.50	1.773	1.749	1.735	1.693	1.653
5.00	1.776	1.752	1.736	1.693	1.647

Πίνακας 4.9. Συντελεστές αναγωγής, $C_{33}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

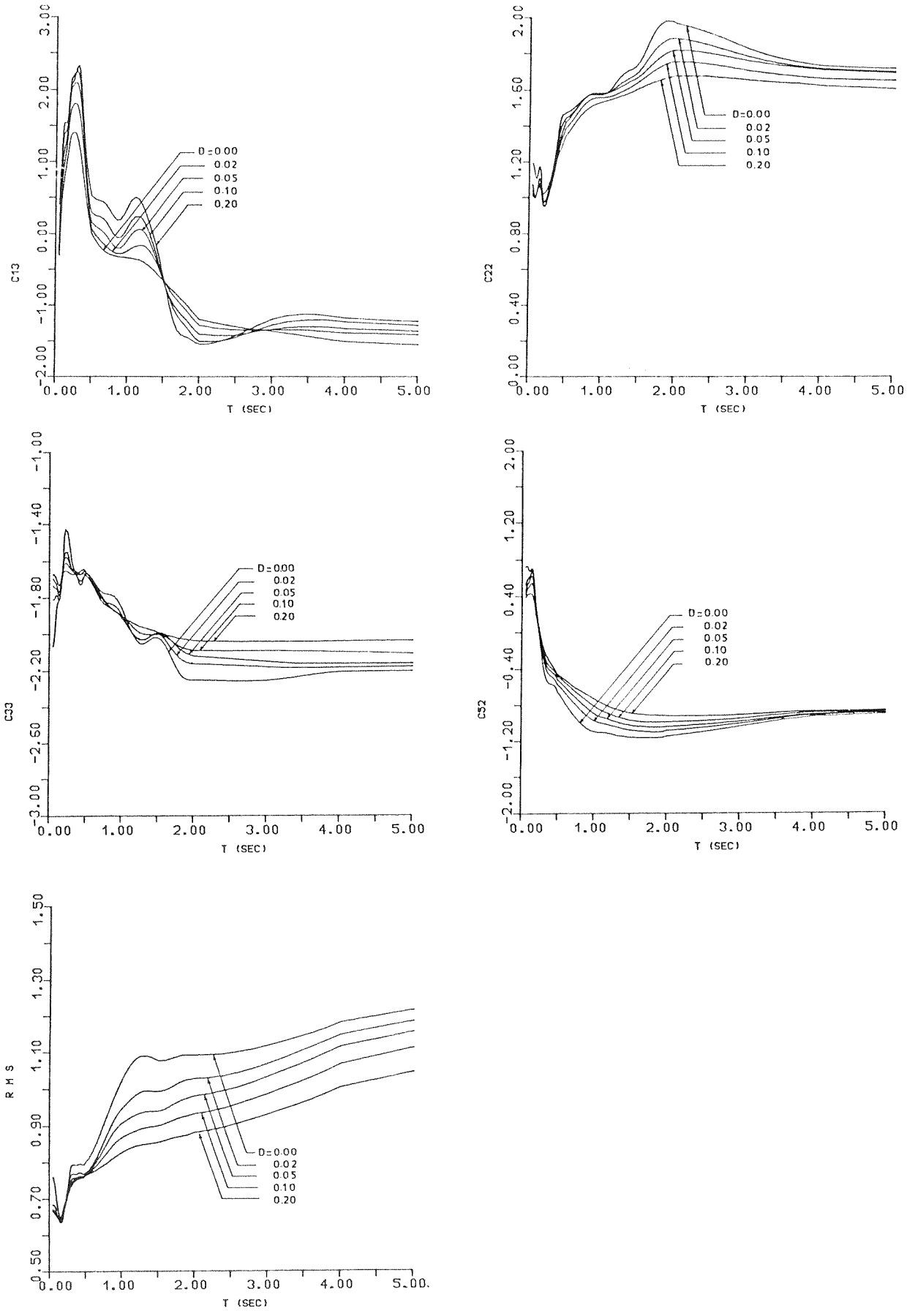
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-2.006	-1.737	-1.661	-1.623	-1.597
0.06	-1.981	-1.743	-1.672	-1.632	-1.601
0.07	-1.945	-1.744	-1.680	-1.641	-1.605
0.08	-1.898	-1.738	-1.684	-1.648	-1.612
0.09	-1.846	-1.729	-1.686	-1.655	-1.619
0.10	-1.803	-1.724	-1.690	-1.664	-1.629
0.11	-1.777	-1.728	-1.697	-1.676	-1.640
0.12	-1.764	-1.737	-1.708	-1.687	-1.650
0.13	-1.756	-1.745	-1.717	-1.695	-1.656
0.14	-1.745	-1.745	-1.718	-1.696	-1.657
0.15	-1.725	-1.732	-1.708	-1.686	-1.651
0.16	-1.690	-1.705	-1.684	-1.664	-1.638
0.17	-1.635	-1.664	-1.648	-1.633	-1.622
0.18	-1.560	-1.614	-1.605	-1.599	-1.604
0.19	-1.477	-1.560	-1.561	-1.569	-1.590
0.20	-1.407	-1.513	-1.527	-1.548	-1.580
0.22	-1.370	-1.487	-1.511	-1.539	-1.576
0.24	-1.376	-1.485	-1.513	-1.542	-1.577
0.26	-1.417	-1.506	-1.528	-1.551	-1.581
0.28	-1.472	-1.536	-1.546	-1.562	-1.585
0.30	-1.520	-1.562	-1.560	-1.569	-1.587
0.32	-1.549	-1.578	-1.567	-1.575	-1.586
0.34	-1.564	-1.585	-1.568	-1.578	-1.583
0.36	-1.577	-1.589	-1.569	-1.581	-1.579
0.38	-1.596	-1.596	-1.572	-1.582	-1.572
0.40	-1.618	-1.606	-1.575	-1.582	-1.564
0.42	-1.631	-1.610	-1.577	-1.576	-1.556
0.44	-1.626	-1.605	-1.574	-1.568	-1.549
0.46	-1.604	-1.591	-1.568	-1.558	-1.545
0.48	-1.579	-1.579	-1.566	-1.554	-1.547
0.50	-1.564	-1.577	-1.574	-1.559	-1.557
0.55	-1.570	-1.593	-1.597	-1.578	-1.576
0.60	-1.594	-1.623	-1.630	-1.608	-1.603
0.65	-1.626	-1.658	-1.667	-1.643	-1.634
0.70	-1.653	-1.689	-1.700	-1.678	-1.668
0.75	-1.669	-1.710	-1.724	-1.708	-1.699
0.80	-1.675	-1.721	-1.740	-1.731	-1.726
0.85	-1.678	-1.728	-1.751	-1.749	-1.747
0.90	-1.690	-1.738	-1.764	-1.763	-1.765
0.95	-1.717	-1.759	-1.781	-1.777	-1.780
1.00	-1.757	-1.789	-1.805	-1.792	-1.793
1.05	-1.805	-1.826	-1.834	-1.810	-1.805
1.10	-1.853	-1.863	-1.863	-1.829	-1.817
1.15	-1.895	-1.893	-1.889	-1.849	-1.828
1.20	-1.924	-1.914	-1.907	-1.866	-1.837
1.25	-1.939	-1.922	-1.917	-1.879	-1.844
1.30	-1.938	-1.918	-1.915	-1.886	-1.849
1.35	-1.925	-1.905	-1.905	-1.886	-1.853
1.40	-1.906	-1.888	-1.889	-1.882	-1.857
1.45	-1.890	-1.874	-1.873	-1.878	-1.862
1.50	-1.884	-1.868	-1.863	-1.875	-1.868
1.55	-1.890	-1.873	-1.861	-1.876	-1.873
1.60	-1.909	-1.888	-1.867	-1.883	-1.878
1.65	-1.938	-1.910	-1.881	-1.892	-1.882
1.70	-1.974	-1.934	-1.898	-1.903	-1.885
1.75	-2.010	-1.956	-1.916	-1.914	-1.888
1.80	-2.041	-1.974	-1.932	-1.924	-1.890
1.85	-2.063	-1.988	-1.944	-1.932	-1.892
1.90	-2.073	-1.996	-1.954	-1.937	-1.894
1.95	-2.076	-2.000	-1.960	-1.940	-1.895
2.00	-2.076	-2.002	-1.965	-1.941	-1.896
2.20	-2.078	-2.004	-1.970	-1.941	-1.897
2.40	-2.082	-2.006	-1.975	-1.940	-1.897
2.60	-2.086	-2.011	-1.980	-1.940	-1.897
2.80	-2.089	-2.016	-1.986	-1.939	-1.896
3.00	-2.089	-2.021	-1.993	-1.940	-1.896
3.20	-2.084	-2.025	-1.999	-1.942	-1.897
3.40	-2.076	-2.028	-2.004	-1.944	-1.898
3.60	-2.067	-2.029	-2.007	-1.947	-1.898
3.80	-2.060	-2.029	-2.009	-1.950	-1.898
4.00	-2.057	-2.029	-2.010	-1.954	-1.897
4.50	-2.056	-2.029	-2.013	-1.960	-1.896
5.00	-2.058	-2.031	-2.016	-1.967	-1.896

Πίνακας 4.10. Συντελεστές αναγωγής, $C_{52}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

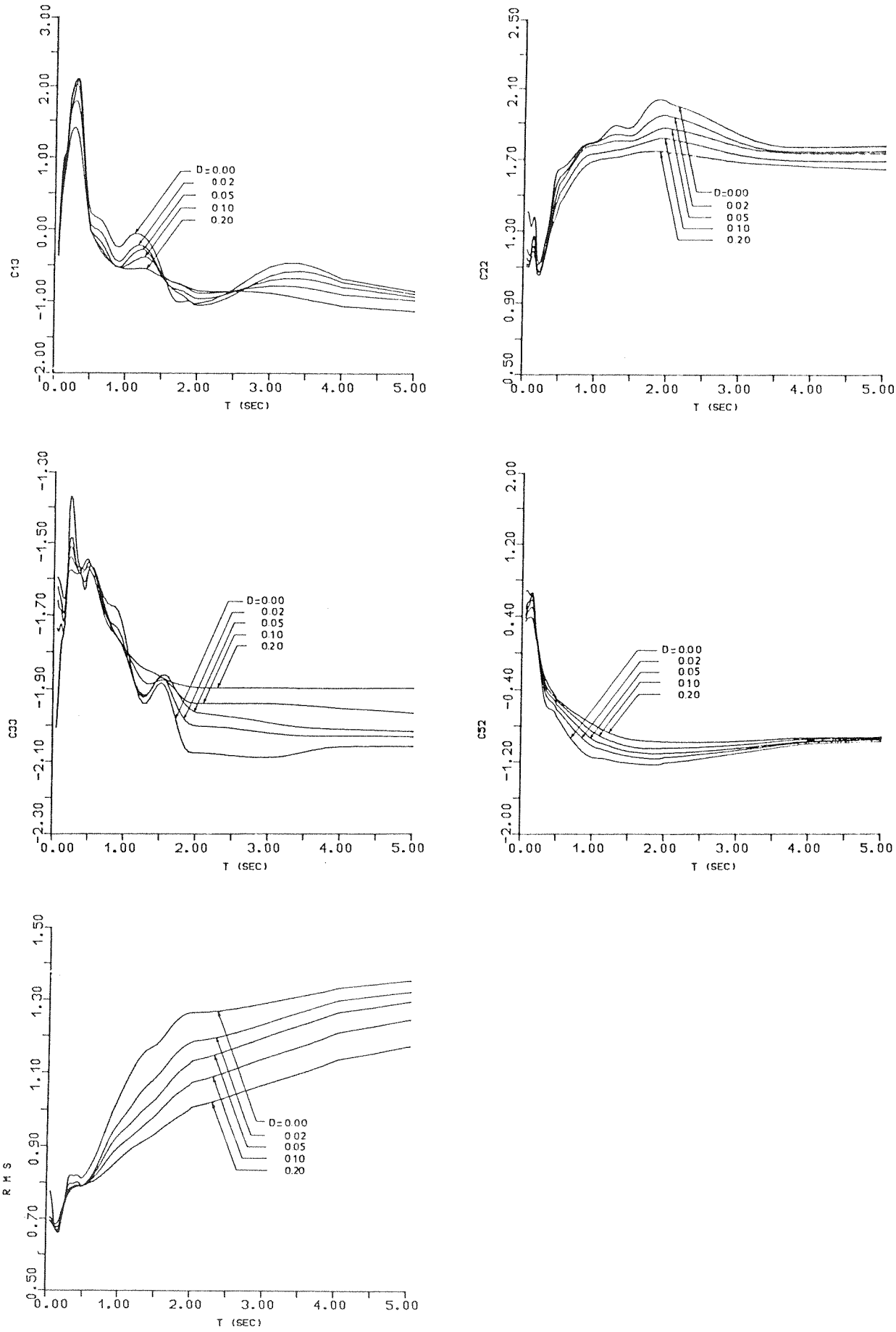
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.671	0.484	0.417	0.382	0.347
0.06	0.685	0.515	0.450	0.408	0.360
0.07	0.686	0.539	0.477	0.430	0.372
0.08	0.672	0.553	0.497	0.447	0.380
0.09	0.651	0.562	0.512	0.459	0.385
0.10	0.636	0.572	0.526	0.470	0.389
0.11	0.634	0.586	0.543	0.482	0.391
0.12	0.644	0.605	0.562	0.494	0.392
0.13	0.657	0.622	0.578	0.502	0.388
0.14	0.661	0.630	0.582	0.501	0.379
0.15	0.646	0.620	0.569	0.488	0.362
0.16	0.605	0.587	0.535	0.461	0.337
0.17	0.538	0.527	0.480	0.418	0.304
0.18	0.446	0.445	0.406	0.359	0.262
0.19	0.336	0.346	0.320	0.288	0.211
0.20	0.211	0.237	0.224	0.206	0.150
0.22	0.078	0.124	0.123	0.117	0.083
0.24	-0.057	0.009	0.021	0.025	0.011
0.26	-0.187	-0.103	-0.079	-0.066	-0.060
0.28	-0.304	-0.207	-0.172	-0.150	-0.127
0.30	-0.406	-0.300	-0.256	-0.224	-0.187
0.32	-0.486	-0.376	-0.325	-0.287	-0.239
0.34	-0.545	-0.434	-0.379	-0.336	-0.281
0.36	-0.582	-0.475	-0.417	-0.374	-0.317
0.38	-0.603	-0.502	-0.443	-0.401	-0.348
0.40	-0.614	-0.519	-0.462	-0.422	-0.374
0.42	-0.620	-0.533	-0.477	-0.438	-0.399
0.44	-0.626	-0.547	-0.492	-0.455	-0.423
0.46	-0.639	-0.565	-0.510	-0.474	-0.448
0.48	-0.665	-0.589	-0.534	-0.497	-0.474
0.50	-0.706	-0.622	-0.566	-0.525	-0.503
0.55	-0.761	-0.664	-0.605	-0.559	-0.534
0.60	-0.824	-0.712	-0.647	-0.596	-0.566
0.65	-0.887	-0.761	-0.691	-0.633	-0.599
0.70	-0.943	-0.807	-0.732	-0.668	-0.630
0.75	-0.993	-0.851	-0.770	-0.703	-0.659
0.80	-1.038	-0.892	-0.809	-0.736	-0.685
0.85	-1.078	-0.932	-0.847	-0.769	-0.710
0.90	-1.112	-0.969	-0.884	-0.803	-0.735
0.95	-1.136	-1.001	-0.919	-0.835	-0.758
1.00	-1.150	-1.025	-0.948	-0.864	-0.782
1.05	-1.157	-1.042	-0.970	-0.889	-0.804
1.10	-1.159	-1.054	-0.987	-0.911	-0.826
1.15	-1.163	-1.064	-1.001	-0.931	-0.847
1.20	-1.171	-1.074	-1.013	-0.947	-0.865
1.25	-1.181	-1.086	-1.026	-0.963	-0.883
1.30	-1.191	-1.098	-1.039	-0.978	-0.898
1.35	-1.200	-1.109	-1.051	-0.991	-0.911
1.40	-1.207	-1.120	-1.063	-1.004	-0.924
1.45	-1.213	-1.129	-1.073	-1.015	-0.934
1.50	-1.218	-1.137	-1.082	-1.025	-0.944
1.55	-1.222	-1.144	-1.089	-1.033	-0.951
1.60	-1.225	-1.149	-1.094	-1.039	-0.957
1.65	-1.227	-1.153	-1.098	-1.043	-0.962
1.70	-1.230	-1.157	-1.101	-1.046	-0.965
1.75	-1.233	-1.161	-1.105	-1.048	-0.968
1.80	-1.235	-1.164	-1.107	-1.048	-0.970
1.85	-1.235	-1.164	-1.108	-1.048	-0.972
1.90	-1.231	-1.161	-1.107	-1.047	-0.974
1.95	-1.223	-1.155	-1.103	-1.045	-0.976
2.00	-1.209	-1.145	-1.097	-1.042	-0.977
2.20	-1.191	-1.132	-1.089	-1.038	-0.979
2.40	-1.170	-1.117	-1.079	-1.033	-0.979
2.60	-1.148	-1.101	-1.067	-1.026	-0.976
2.80	-1.125	-1.083	-1.054	-1.016	-0.972
3.00	-1.101	-1.064	-1.039	-1.005	-0.965
3.20	-1.076	-1.044	-1.023	-0.991	-0.956
3.40	-1.051	-1.023	-1.005	-0.975	-0.947
3.60	-1.028	-1.004	-0.988	-0.961	-0.938
3.80	-1.009	-0.987	-0.972	-0.949	-0.930
4.00	-0.993	-0.972	-0.960	-0.939	-0.924
4.50	-0.980	-0.959	-0.949	-0.933	-0.920
5.00	-0.968	-0.948	-0.941	-0.929	-0.917

Πίνακας 4.11. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.776	0.705	0.696	0.696	0.695
0.06	0.767	0.704	0.694	0.692	0.693
0.07	0.755	0.702	0.691	0.689	0.691
0.08	0.739	0.698	0.688	0.686	0.689
0.09	0.721	0.692	0.684	0.683	0.687
0.10	0.703	0.685	0.681	0.680	0.686
0.11	0.690	0.678	0.677	0.679	0.685
0.12	0.680	0.672	0.674	0.678	0.685
0.13	0.674	0.667	0.672	0.678	0.685
0.14	0.670	0.664	0.670	0.677	0.686
0.15	0.666	0.661	0.668	0.677	0.688
0.16	0.663	0.661	0.669	0.677	0.690
0.17	0.662	0.663	0.671	0.679	0.694
0.18	0.663	0.668	0.676	0.683	0.699
0.19	0.669	0.677	0.685	0.691	0.707
0.20	0.684	0.692	0.698	0.703	0.716
0.22	0.708	0.713	0.715	0.718	0.727
0.24	0.739	0.738	0.735	0.734	0.739
0.26	0.772	0.762	0.754	0.750	0.750
0.28	0.798	0.782	0.770	0.763	0.760
0.30	0.815	0.794	0.780	0.772	0.768
0.32	0.821	0.798	0.785	0.779	0.774
0.34	0.821	0.797	0.787	0.784	0.779
0.36	0.819	0.797	0.788	0.788	0.783
0.38	0.819	0.798	0.790	0.791	0.785
0.40	0.821	0.801	0.792	0.793	0.787
0.42	0.821	0.802	0.793	0.793	0.788
0.44	0.818	0.800	0.793	0.791	0.789
0.46	0.814	0.795	0.791	0.789	0.789
0.48	0.812	0.792	0.789	0.788	0.790
0.50	0.815	0.792	0.790	0.790	0.791
0.55	0.825	0.798	0.796	0.795	0.794
0.60	0.841	0.810	0.806	0.802	0.798
0.65	0.861	0.826	0.819	0.812	0.803
0.70	0.884	0.846	0.835	0.824	0.810
0.75	0.910	0.868	0.852	0.836	0.817
0.80	0.938	0.891	0.871	0.850	0.826
0.85	0.966	0.914	0.889	0.864	0.835
0.90	0.992	0.934	0.906	0.877	0.844
0.95	1.015	0.951	0.920	0.888	0.854
1.00	1.037	0.965	0.932	0.898	0.863
1.05	1.059	0.979	0.942	0.907	0.872
1.10	1.079	0.992	0.951	0.915	0.881
1.15	1.099	1.006	0.961	0.923	0.889
1.20	1.118	1.021	0.972	0.932	0.897
1.25	1.135	1.036	0.983	0.941	0.903
1.30	1.148	1.049	0.994	0.950	0.909
1.35	1.158	1.060	1.003	0.959	0.915
1.40	1.165	1.070	1.012	0.967	0.921
1.45	1.171	1.078	1.020	0.976	0.927
1.50	1.177	1.088	1.029	0.985	0.934
1.55	1.187	1.098	1.040	0.995	0.942
1.60	1.199	1.110	1.052	1.006	0.950
1.65	1.213	1.123	1.064	1.016	0.958
1.70	1.226	1.136	1.076	1.026	0.965
1.75	1.238	1.148	1.088	1.036	0.972
1.80	1.248	1.158	1.099	1.044	0.979
1.85	1.256	1.167	1.108	1.051	0.985
1.90	1.261	1.174	1.115	1.058	0.991
1.95	1.264	1.180	1.123	1.065	0.998
2.00	1.265	1.185	1.132	1.074	1.007
2.20	1.267	1.191	1.142	1.084	1.017
2.40	1.271	1.199	1.155	1.097	1.029
2.60	1.277	1.210	1.169	1.111	1.043
2.80	1.284	1.222	1.183	1.126	1.056
3.00	1.292	1.235	1.198	1.140	1.069
3.20	1.300	1.249	1.212	1.153	1.081
3.40	1.308	1.262	1.225	1.166	1.093
3.60	1.316	1.274	1.238	1.179	1.106
3.80	1.324	1.287	1.252	1.194	1.120
4.00	1.334	1.299	1.266	1.210	1.136
4.50	1.345	1.312	1.281	1.228	1.154
5.00	1.356	1.324	1.297	1.247	1.174



Σχ. 4.14. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (4.3), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους.



Σχ. 4.15. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (4.3), για την ορι-
ζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σει-
σμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού με-
γέθους.

Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες (4.12) έως (4.21) και στα σχήματα (4.16) και (4.17) για την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα , PSV(T).

Το μοντέλο πρόβλεψης της φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3) θεωρήθηκε επαρκές αφού ήδη έχει αποδειχθεί (κεφάλαιο 2) για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, και για τα ίδια δείγματα δεδομένων η επάρκειά του. Η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση τη σχέση (4.3) για την οριζόντια ψευδοταχύτητα, για επιφανειακό μέγεθος, Ms, και για τοπικό, M_L, δίνονται στα σχήματα (4.18) και (4.19), αντίστοιχα. Η διερεύνηση γίνεται για περιόδους T=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 sec και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Οπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα για περιόδους, T≤3.0 sec, η καμπύλη η οποία προσαρμόζεται καλύτερα στα ιστογράμματα έχει τη μορφή καμπάνας και είναι εκείνη της κανονικής κατανομής. Το ίδιο δεν ισχύει ικανοποιητικά και για τις μεγαλύτερες περιόδους γεγονός το οποίο μπορεί κυρίως να αποδοθεί στις δύο κατηγορίες δεδομένων διαφορετικής επεξεργασίας, οι διαφορές των οποίων γίνονται σημαντικές στις περιόδους αυτές. Ανάλογα συμπεράσματα ισχύουν και για τους υπόλοιπους παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.10, 0.20 της κρίσιμης.

Στα σχήματα (4.20) και (4.21) δίνεται η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση τη σχέση (4.3) για την κατακόρυφη ψευδοταχύτητα για επιφανειακό μέγεθος, Ms, και για τοπικό, M_L, αντίστοιχα. Στην περίπτωση της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας η κανονική κατανομή φαίνεται να ικανοποιείται για περιόδους T≤0.5 sec. Ο μικρότερος ίσως αριθμός δεδομένων, σχεδόν υποδιπλάσιος των οριζοντίων, δεν επιτρέπει ασφαλή συμπεράσματα για την αιτία για την οποία δεν ικανοποιείται η κανονική κατανομή των υπολοίπων της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας για περιόδους μέχρι περίπου 1.0 sec.

Στο σχήμα (4.22) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, για επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$=0 km, για επιφανειακά μεγέθη Ms=5.0, 6.0, 7.0 και για εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα", S=1 , και

Πίνακας 4.12. Συντελεστές αναγωγής, $C_{13}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	3.482	2.083	1.677	1.352	0.960
0.06	3.468	2.322	1.896	1.546	1.144
0.07	3.394	2.524	2.098	1.728	1.314
0.08	3.260	2.679	2.279	1.893	1.461
0.09	3.127	2.802	2.445	2.041	1.580
0.10	3.064	2.912	2.598	2.171	1.672
0.11	3.090	3.012	2.730	2.277	1.738
0.12	3.168	3.091	2.826	2.353	1.777
0.13	3.246	3.138	2.876	2.393	1.793
0.14	3.284	3.150	2.882	2.395	1.786
0.15	3.266	3.129	2.848	2.361	1.754
0.16	3.183	3.073	2.780	2.291	1.695
0.17	3.028	2.975	2.676	2.186	1.608
0.18	2.812	2.829	2.531	2.046	1.492
0.19	2.567	2.637	2.341	1.873	1.349
0.20	2.336	2.415	2.114	1.675	1.187
0.22	2.148	2.186	1.870	1.464	1.011
0.24	2.005	1.970	1.635	1.256	0.831
0.26	1.877	1.774	1.426	1.059	0.653
0.28	1.726	1.586	1.236	0.871	0.478
0.30	1.526	1.384	1.048	0.686	0.305
0.32	1.279	1.155	0.846	0.498	0.138
0.34	1.016	0.904	0.630	0.310	-0.020
0.36	0.773	0.655	0.420	0.135	-0.158
0.38	0.576	0.434	0.238	-0.011	-0.271
0.40	0.425	0.252	0.096	-0.120	-0.355
0.42	0.308	0.102	-0.009	-0.196	-0.415
0.44	0.209	-0.028	-0.093	-0.250	-0.460
0.46	0.129	-0.140	-0.163	-0.296	-0.499
0.48	0.085	-0.217	-0.220	-0.336	-0.540
0.50	0.100	-0.232	-0.251	-0.366	-0.584
0.55	0.191	-0.170	-0.241	-0.379	-0.627
0.60	0.358	-0.032	-0.183	-0.369	-0.662
0.65	0.575	0.159	-0.081	-0.335	-0.684
0.70	0.801	0.366	0.047	-0.281	-0.691
0.75	0.989	0.549	0.174	-0.222	-0.688
0.80	1.102	0.671	0.270	-0.174	-0.683
0.85	1.123	0.714	0.312	-0.156	-0.684
0.90	1.052	0.674	0.292	-0.175	-0.697
0.95	0.903	0.565	0.219	-0.231	-0.726
1.00	0.695	0.408	0.107	-0.313	-0.769
1.05	0.453	0.225	-0.026	-0.408	-0.822
1.10	0.195	0.027	-0.169	-0.504	-0.882
1.15	-0.058	-0.176	-0.317	-0.594	-0.941
1.20	-0.286	-0.374	-0.463	-0.675	-0.997
1.25	-0.463	-0.549	-0.598	-0.748	-1.049
1.30	-0.568	-0.681	-0.710	-0.814	-1.095
1.35	-0.607	-0.758	-0.791	-0.874	-1.139
1.40	-0.613	-0.791	-0.843	-0.930	-1.182
1.45	-0.630	-0.809	-0.878	-0.984	-1.227
1.50	-0.686	-0.838	-0.910	-1.041	-1.274
1.55	-0.782	-0.890	-0.951	-1.102	-1.326
1.60	-0.892	-0.959	-1.001	-1.164	-1.381
1.65	-0.992	-1.028	-1.056	-1.225	-1.436
1.70	-1.064	-1.087	-1.109	-1.279	-1.489
1.75	-1.107	-1.134	-1.158	-1.325	-1.536
1.80	-1.126	-1.171	-1.204	-1.362	-1.576
1.85	-1.130	-1.203	-1.249	-1.393	-1.608
1.90	-1.129	-1.234	-1.295	-1.423	-1.635
1.95	-1.132	-1.265	-1.341	-1.456	-1.661
2.00	-1.138	-1.291	-1.383	-1.495	-1.688
2.20	-1.142	-1.307	-1.419	-1.539	-1.718
2.40	-1.145	-1.316	-1.447	-1.582	-1.748
2.60	-1.157	-1.325	-1.471	-1.619	-1.776
2.80	-1.191	-1.349	-1.499	-1.652	-1.802
3.00	-1.254	-1.395	-1.535	-1.682	-1.827
3.20	-1.333	-1.456	-1.578	-1.713	-1.852
3.40	-1.403	-1.512	-1.617	-1.743	-1.878
3.60	-1.444	-1.544	-1.643	-1.770	-1.904
3.80	-1.447	-1.545	-1.649	-1.786	-1.925
4.00	-1.420	-1.517	-1.637	-1.787	-1.940
4.50	-1.376	-1.470	-1.612	-1.773	-1.946
5.00	-1.326	-1.414	-1.581	-1.751	-1.948

Πίνακας 4.13. Συντελεστές αναγωγής, $C_{22}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.329	1.078	0.998	0.931	0.881
0.06	1.260	1.022	0.957	0.894	0.851
0.07	1.194	0.969	0.916	0.859	0.824
0.08	1.128	0.922	0.875	0.824	0.800
0.09	1.061	0.879	0.836	0.793	0.781
0.10	0.995	0.842	0.801	0.767	0.769
0.11	0.939	0.812	0.775	0.751	0.765
0.12	0.901	0.796	0.762	0.748	0.770
0.13	0.887	0.796	0.766	0.758	0.785
0.14	0.892	0.812	0.786	0.781	0.808
0.15	0.909	0.840	0.818	0.814	0.837
0.16	0.934	0.873	0.856	0.852	0.871
0.17	0.965	0.908	0.896	0.893	0.908
0.18	1.002	0.941	0.934	0.933	0.945
0.19	1.045	0.974	0.969	0.972	0.980
0.20	1.089	1.006	1.002	1.007	1.012
0.22	1.128	1.040	1.035	1.039	1.038
0.24	1.161	1.076	1.068	1.067	1.060
0.26	1.192	1.114	1.100	1.092	1.078
0.28	1.224	1.152	1.129	1.113	1.094
0.30	1.262	1.189	1.156	1.132	1.108
0.32	1.304	1.223	1.180	1.149	1.121
0.34	1.344	1.255	1.203	1.167	1.133
0.36	1.375	1.285	1.225	1.184	1.144
0.38	1.397	1.312	1.245	1.200	1.154
0.40	1.406	1.331	1.262	1.214	1.162
0.42	1.405	1.341	1.272	1.221	1.167
0.44	1.394	1.340	1.274	1.222	1.169
0.46	1.377	1.331	1.267	1.216	1.168
0.48	1.359	1.314	1.251	1.202	1.163
0.50	1.342	1.292	1.230	1.185	1.157
0.55	1.324	1.268	1.208	1.170	1.154
0.60	1.307	1.246	1.193	1.162	1.155
0.65	1.293	1.233	1.191	1.166	1.164
0.70	1.288	1.233	1.203	1.183	1.181
0.75	1.295	1.247	1.227	1.211	1.202
0.80	1.315	1.273	1.259	1.245	1.227
0.85	1.346	1.304	1.293	1.280	1.250
0.90	1.382	1.338	1.325	1.311	1.270
0.95	1.418	1.369	1.355	1.337	1.287
1.00	1.448	1.395	1.378	1.356	1.300
1.05	1.471	1.414	1.395	1.367	1.308
1.10	1.484	1.423	1.402	1.371	1.313
1.15	1.485	1.424	1.401	1.367	1.315
1.20	1.474	1.417	1.394	1.359	1.315
1.25	1.453	1.403	1.381	1.348	1.313
1.30	1.425	1.385	1.367	1.336	1.309
1.35	1.397	1.366	1.353	1.323	1.304
1.40	1.372	1.348	1.339	1.312	1.299
1.45	1.357	1.334	1.328	1.301	1.293
1.50	1.353	1.323	1.318	1.293	1.288
1.55	1.358	1.319	1.313	1.288	1.285
1.60	1.370	1.321	1.312	1.286	1.285
1.65	1.389	1.332	1.317	1.288	1.285
1.70	1.415	1.350	1.326	1.292	1.287
1.75	1.447	1.375	1.339	1.298	1.289
1.80	1.482	1.404	1.353	1.306	1.292
1.85	1.514	1.431	1.368	1.314	1.296
1.90	1.536	1.453	1.382	1.325	1.301
1.95	1.546	1.468	1.394	1.338	1.307
2.00	1.544	1.474	1.402	1.352	1.314
2.20	1.534	1.474	1.408	1.364	1.320
2.40	1.520	1.467	1.410	1.372	1.324
2.60	1.506	1.457	1.409	1.375	1.325
2.80	1.493	1.446	1.406	1.372	1.323
3.00	1.482	1.433	1.399	1.365	1.319
3.20	1.470	1.420	1.390	1.355	1.314
3.40	1.455	1.404	1.376	1.342	1.308
3.60	1.431	1.383	1.358	1.326	1.300
3.80	1.393	1.353	1.332	1.305	1.288
4.00	1.338	1.312	1.298	1.278	1.274
4.50	1.265	1.259	1.256	1.246	1.257
5.00	1.181	1.199	1.208	1.211	1.239

Πίνακας 4.14. Συντελεστές αναγωγής, $C_{33}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-3.063	-2.459	-2.260	-2.095	-1.940
0.06	-2.866	-2.359	-2.188	-2.031	-1.891
0.07	-2.661	-2.258	-2.114	-1.968	-1.843
0.08	-2.451	-2.158	-2.040	-1.905	-1.799
0.09	-2.249	-2.066	-1.970	-1.848	-1.760
0.10	-2.079	-1.986	-1.910	-1.801	-1.731
0.11	-1.957	-1.924	-1.864	-1.769	-1.712
0.12	-1.885	-1.885	-1.836	-1.754	-1.705
0.13	-1.856	-1.867	-1.826	-1.755	-1.710
0.14	-1.851	-1.869	-1.834	-1.769	-1.724
0.15	-1.853	-1.884	-1.853	-1.791	-1.743
0.16	-1.852	-1.901	-1.875	-1.814	-1.766
0.17	-1.843	-1.910	-1.891	-1.833	-1.786
0.18	-1.830	-1.906	-1.895	-1.844	-1.800
0.19	-1.817	-1.891	-1.885	-1.845	-1.806
0.20	-1.810	-1.869	-1.866	-1.836	-1.800
0.22	-1.810	-1.851	-1.844	-1.821	-1.785
0.24	-1.816	-1.842	-1.826	-1.802	-1.764
0.26	-1.825	-1.842	-1.813	-1.781	-1.738
0.28	-1.833	-1.846	-1.803	-1.758	-1.710
0.30	-1.839	-1.844	-1.788	-1.733	-1.680
0.32	-1.837	-1.832	-1.766	-1.704	-1.650
0.34	-1.827	-1.812	-1.739	-1.675	-1.621
0.36	-1.810	-1.789	-1.713	-1.649	-1.596
0.38	-1.788	-1.768	-1.692	-1.630	-1.576
0.40	-1.759	-1.746	-1.675	-1.615	-1.561
0.42	-1.721	-1.716	-1.656	-1.601	-1.549
0.44	-1.677	-1.676	-1.631	-1.583	-1.538
0.46	-1.633	-1.630	-1.598	-1.558	-1.523
0.48	-1.601	-1.586	-1.561	-1.528	-1.505
0.50	-1.588	-1.555	-1.526	-1.497	-1.486
0.55	-1.598	-1.543	-1.504	-1.476	-1.472
0.60	-1.627	-1.555	-1.504	-1.473	-1.467
0.65	-1.673	-1.592	-1.534	-1.493	-1.477
0.70	-1.730	-1.651	-1.590	-1.537	-1.502
0.75	-1.793	-1.721	-1.660	-1.595	-1.536
0.80	-1.855	-1.790	-1.731	-1.658	-1.574
0.85	-1.908	-1.847	-1.791	-1.713	-1.609
0.90	-1.946	-1.885	-1.833	-1.755	-1.638
0.95	-1.964	-1.904	-1.858	-1.781	-1.658
1.00	-1.963	-1.906	-1.868	-1.792	-1.670
1.05	-1.947	-1.894	-1.865	-1.790	-1.674
1.10	-1.916	-1.869	-1.849	-1.778	-1.672
1.15	-1.872	-1.833	-1.821	-1.759	-1.666
1.20	-1.818	-1.785	-1.784	-1.735	-1.658
1.25	-1.758	-1.733	-1.742	-1.709	-1.648
1.30	-1.704	-1.683	-1.701	-1.681	-1.636
1.35	-1.663	-1.644	-1.667	-1.654	-1.623
1.40	-1.636	-1.617	-1.641	-1.629	-1.609
1.45	-1.619	-1.600	-1.623	-1.607	-1.595
1.50	-1.611	-1.587	-1.610	-1.587	-1.582
1.55	-1.608	-1.579	-1.600	-1.572	-1.571
1.60	-1.614	-1.577	-1.596	-1.561	-1.562
1.65	-1.631	-1.586	-1.597	-1.556	-1.556
1.70	-1.663	-1.609	-1.605	-1.556	-1.551
1.75	-1.709	-1.642	-1.619	-1.561	-1.549
1.80	-1.766	-1.684	-1.637	-1.570	-1.549
1.85	-1.822	-1.725	-1.657	-1.583	-1.554
1.90	-1.868	-1.761	-1.677	-1.601	-1.562
1.95	-1.899	-1.790	-1.696	-1.624	-1.575
2.00	-1.915	-1.811	-1.716	-1.649	-1.591
2.20	-1.923	-1.827	-1.735	-1.673	-1.607
2.40	-1.928	-1.839	-1.753	-1.694	-1.622
2.60	-1.929	-1.846	-1.768	-1.710	-1.634
2.80	-1.926	-1.846	-1.777	-1.717	-1.642
3.00	-1.915	-1.836	-1.777	-1.717	-1.647
3.20	-1.896	-1.818	-1.768	-1.710	-1.648
3.40	-1.870	-1.795	-1.752	-1.697	-1.646
3.60	-1.839	-1.769	-1.731	-1.679	-1.640
3.80	-1.797	-1.740	-1.706	-1.658	-1.632
4.00	-1.740	-1.703	-1.676	-1.635	-1.622
4.50	-1.667	-1.658	-1.640	-1.610	-1.613
5.00	-1.582	-1.607	-1.601	-1.584	-1.604

Πίνακας 4.15. Συντελεστές αναγωγής, $C_{52}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.211	0.214	0.148	0.098	0.065
0.06	0.223	0.200	0.143	0.098	0.053
0.07	0.223	0.185	0.136	0.095	0.041
0.08	0.208	0.165	0.123	0.087	0.029
0.09	0.178	0.140	0.105	0.073	0.016
0.10	0.140	0.110	0.082	0.054	0.002
0.11	0.098	0.076	0.053	0.032	-0.012
0.12	0.053	0.039	0.021	0.006	-0.026
0.13	0.008	0.002	-0.011	-0.020	-0.041
0.14	-0.037	-0.032	-0.040	-0.044	-0.054
0.15	-0.077	-0.062	-0.062	-0.064	-0.065
0.16	-0.107	-0.086	-0.078	-0.075	-0.072
0.17	-0.127	-0.104	-0.086	-0.079	-0.074
0.18	-0.137	-0.117	-0.089	-0.077	-0.075
0.19	-0.144	-0.127	-0.090	-0.072	-0.074
0.20	-0.154	-0.134	-0.091	-0.069	-0.076
0.22	-0.171	-0.142	-0.094	-0.068	-0.081
0.24	-0.192	-0.150	-0.098	-0.073	-0.090
0.26	-0.216	-0.159	-0.106	-0.082	-0.102
0.28	-0.243	-0.174	-0.121	-0.098	-0.117
0.30	-0.272	-0.197	-0.145	-0.120	-0.134
0.32	-0.304	-0.226	-0.175	-0.148	-0.153
0.34	-0.337	-0.257	-0.208	-0.179	-0.174
0.36	-0.371	-0.285	-0.240	-0.210	-0.196
0.38	-0.405	-0.310	-0.270	-0.241	-0.220
0.40	-0.437	-0.335	-0.301	-0.272	-0.244
0.42	-0.466	-0.365	-0.336	-0.305	-0.271
0.44	-0.495	-0.401	-0.376	-0.341	-0.301
0.46	-0.531	-0.444	-0.420	-0.381	-0.336
0.48	-0.584	-0.497	-0.470	-0.427	-0.379
0.50	-0.666	-0.565	-0.528	-0.480	-0.430
0.55	-0.779	-0.650	-0.599	-0.544	-0.490
0.60	-0.916	-0.752	-0.683	-0.619	-0.556
0.65	-1.061	-0.868	-0.778	-0.701	-0.627
0.70	-1.199	-0.987	-0.879	-0.786	-0.697
0.75	-1.322	-1.103	-0.980	-0.872	-0.765
0.80	-1.427	-1.210	-1.076	-0.954	-0.828
0.85	-1.516	-1.304	-1.163	-1.028	-0.886
0.90	-1.590	-1.386	-1.239	-1.093	-0.937
0.95	-1.648	-1.452	-1.302	-1.146	-0.981
1.00	-1.685	-1.499	-1.350	-1.189	-1.018
1.05	-1.697	-1.527	-1.382	-1.221	-1.049
1.10	-1.689	-1.538	-1.400	-1.245	-1.075
1.15	-1.672	-1.539	-1.410	-1.264	-1.098
1.20	-1.659	-1.536	-1.416	-1.281	-1.120
1.25	-1.657	-1.537	-1.423	-1.297	-1.141
1.30	-1.667	-1.544	-1.432	-1.313	-1.161
1.35	-1.681	-1.554	-1.443	-1.329	-1.179
1.40	-1.694	-1.565	-1.457	-1.345	-1.197
1.45	-1.701	-1.575	-1.471	-1.361	-1.213
1.50	-1.701	-1.582	-1.484	-1.376	-1.227
1.55	-1.697	-1.586	-1.497	-1.390	-1.240
1.60	-1.693	-1.591	-1.509	-1.402	-1.252
1.65	-1.693	-1.596	-1.520	-1.412	-1.262
1.70	-1.699	-1.605	-1.530	-1.421	-1.272
1.75	-1.709	-1.615	-1.540	-1.428	-1.280
1.80	-1.719	-1.624	-1.547	-1.434	-1.289
1.85	-1.722	-1.628	-1.550	-1.438	-1.296
1.90	-1.716	-1.625	-1.546	-1.438	-1.303
1.95	-1.698	-1.611	-1.534	-1.434	-1.307
2.00	-1.671	-1.589	-1.515	-1.425	-1.309
2.20	-1.638	-1.561	-1.490	-1.411	-1.308
2.40	-1.603	-1.530	-1.463	-1.394	-1.305
2.60	-1.570	-1.501	-1.438	-1.377	-1.300
2.80	-1.543	-1.477	-1.419	-1.364	-1.296
3.00	-1.524	-1.461	-1.408	-1.356	-1.293
3.20	-1.517	-1.455	-1.405	-1.354	-1.294
3.40	-1.520	-1.459	-1.411	-1.359	-1.299
3.60	-1.530	-1.470	-1.422	-1.368	-1.308
3.80	-1.542	-1.484	-1.435	-1.379	-1.319
4.00	-1.552	-1.496	-1.445	-1.389	-1.330
4.50	-1.557	-1.504	-1.453	-1.398	-1.342
5.00	-1.559	-1.509	-1.458	-1.405	-1.353

Πίνακας 4.16. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{\ln Y}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.218	0.950	0.869	0.808	0.750
0.06	1.129	0.906	0.839	0.783	0.733
0.07	1.044	0.867	0.813	0.763	0.717
0.08	0.970	0.837	0.793	0.747	0.705
0.09	0.912	0.817	0.781	0.738	0.697
0.10	0.872	0.805	0.776	0.735	0.693
0.11	0.846	0.798	0.774	0.733	0.691
0.12	0.828	0.790	0.771	0.732	0.691
0.13	0.810	0.781	0.766	0.731	0.694
0.14	0.791	0.770	0.761	0.730	0.698
0.15	0.769	0.760	0.756	0.730	0.705
0.16	0.748	0.751	0.752	0.732	0.713
0.17	0.731	0.745	0.750	0.734	0.721
0.18	0.719	0.741	0.749	0.736	0.729
0.19	0.715	0.741	0.748	0.738	0.734
0.20	0.720	0.744	0.747	0.741	0.738
0.22	0.731	0.748	0.747	0.743	0.740
0.24	0.743	0.752	0.747	0.743	0.740
0.26	0.753	0.752	0.746	0.741	0.738
0.28	0.760	0.749	0.742	0.736	0.734
0.30	0.763	0.744	0.737	0.729	0.729
0.32	0.764	0.739	0.732	0.723	0.724
0.34	0.765	0.737	0.729	0.719	0.722
0.36	0.766	0.740	0.730	0.719	0.722
0.38	0.767	0.747	0.735	0.723	0.726
0.40	0.768	0.755	0.741	0.730	0.732
0.42	0.769	0.761	0.748	0.738	0.740
0.44	0.774	0.765	0.754	0.746	0.748
0.46	0.788	0.773	0.763	0.756	0.757
0.48	0.817	0.789	0.777	0.769	0.768
0.50	0.862	0.818	0.800	0.788	0.781
0.55	0.923	0.860	0.834	0.813	0.797
0.60	0.993	0.912	0.875	0.845	0.818
0.65	1.064	0.967	0.922	0.882	0.844
0.70	1.131	1.022	0.969	0.921	0.873
0.75	1.191	1.074	1.015	0.961	0.903
0.80	1.245	1.122	1.058	0.999	0.933
0.85	1.291	1.166	1.097	1.033	0.960
0.90	1.330	1.204	1.131	1.063	0.985
0.95	1.358	1.233	1.158	1.088	1.005
1.00	1.374	1.253	1.177	1.106	1.022
1.05	1.381	1.263	1.190	1.120	1.035
1.10	1.381	1.269	1.197	1.129	1.046
1.15	1.378	1.272	1.204	1.137	1.055
1.20	1.378	1.276	1.210	1.143	1.063
1.25	1.380	1.283	1.217	1.149	1.070
1.30	1.385	1.292	1.224	1.155	1.076
1.35	1.391	1.300	1.232	1.161	1.082
1.40	1.396	1.307	1.238	1.166	1.086
1.45	1.398	1.311	1.241	1.171	1.090
1.50	1.396	1.311	1.244	1.175	1.094
1.55	1.392	1.310	1.245	1.178	1.098
1.60	1.388	1.310	1.247	1.182	1.102
1.65	1.385	1.310	1.250	1.186	1.106
1.70	1.385	1.313	1.254	1.190	1.110
1.75	1.386	1.316	1.259	1.194	1.114
1.80	1.385	1.318	1.261	1.196	1.118
1.85	1.383	1.318	1.262	1.198	1.121
1.90	1.377	1.316	1.261	1.199	1.125
1.95	1.370	1.312	1.258	1.199	1.128
2.00	1.363	1.307	1.254	1.200	1.132
2.20	1.356	1.304	1.252	1.201	1.137
2.40	1.350	1.301	1.251	1.204	1.143
2.60	1.345	1.299	1.253	1.208	1.150
2.80	1.341	1.299	1.257	1.213	1.157
3.00	1.340	1.301	1.263	1.219	1.165
3.20	1.344	1.306	1.272	1.228	1.174
3.40	1.351	1.315	1.283	1.238	1.183
3.60	1.362	1.326	1.296	1.250	1.193
3.80	1.374	1.340	1.309	1.264	1.204
4.00	1.384	1.353	1.323	1.278	1.216
4.50	1.391	1.365	1.337	1.293	1.228
5.00	1.397	1.376	1.350	1.308	1.241

Πίνακας 4.17. Συντελεστές αναγωγής, $C_{13}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	2.611	1.559	1.193	0.886	0.563
0.06	2.670	1.807	1.418	1.093	0.758
0.07	2.690	2.029	1.632	1.289	0.937
0.08	2.672	2.216	1.832	1.468	1.091
0.09	2.655	2.379	2.022	1.630	1.214
0.10	2.682	2.526	2.201	1.774	1.305
0.11	2.759	2.655	2.358	1.891	1.365
0.12	2.858	2.753	2.475	1.974	1.396
0.13	2.943	2.810	2.537	2.015	1.401
0.14	2.985	2.817	2.541	2.009	1.378
0.15	2.960	2.775	2.487	1.956	1.328
0.16	2.852	2.685	2.383	1.858	1.246
0.17	2.654	2.550	2.237	1.720	1.133
0.18	2.388	2.373	2.054	1.548	0.992
0.19	2.098	2.160	1.836	1.348	0.829
0.20	1.831	1.917	1.588	1.130	0.655
0.22	1.613	1.662	1.326	0.909	0.479
0.24	1.439	1.416	1.076	0.700	0.309
0.26	1.280	1.194	0.857	0.512	0.150
0.28	1.104	0.995	0.669	0.346	-0.004
0.30	0.889	0.797	0.494	0.188	-0.156
0.32	0.643	0.582	0.312	0.026	-0.310
0.34	0.394	0.345	0.114	-0.144	-0.464
0.36	0.176	0.105	-0.087	-0.311	-0.608
0.38	0.008	-0.112	-0.265	-0.460	-0.732
0.40	-0.110	-0.288	-0.404	-0.575	-0.826
0.42	-0.196	-0.420	-0.500	-0.653	-0.891
0.44	-0.266	-0.521	-0.562	-0.700	-0.931
0.46	-0.318	-0.595	-0.604	-0.727	-0.955
0.48	-0.334	-0.636	-0.628	-0.742	-0.972
0.50	-0.291	-0.624	-0.630	-0.743	-0.983
0.55	-0.177	-0.548	-0.600	-0.728	-0.986
0.60	-0.002	-0.409	-0.531	-0.690	-0.977
0.65	0.213	-0.224	-0.425	-0.629	-0.952
0.70	0.438	-0.018	-0.292	-0.548	-0.916
0.75	0.648	0.181	-0.151	-0.461	-0.874
0.80	0.820	0.344	-0.026	-0.385	-0.836
0.85	0.931	0.453	0.064	-0.332	-0.808
0.90	0.963	0.499	0.112	-0.309	-0.793
0.95	0.912	0.485	0.123	-0.312	-0.791
1.00	0.788	0.424	0.106	-0.332	-0.799
1.05	0.619	0.331	0.067	-0.361	-0.813
1.10	0.429	0.214	0.007	-0.392	-0.829
1.15	0.239	0.077	-0.076	-0.427	-0.846
1.20	0.063	-0.073	-0.179	-0.467	-0.864
1.25	-0.084	-0.221	-0.294	-0.516	-0.883
1.30	-0.186	-0.345	-0.402	-0.571	-0.907
1.35	-0.238	-0.427	-0.487	-0.627	-0.936
1.40	-0.257	-0.465	-0.540	-0.677	-0.968
1.45	-0.269	-0.478	-0.566	-0.720	-1.003
1.50	-0.299	-0.489	-0.580	-0.758	-1.039
1.55	-0.354	-0.512	-0.595	-0.793	-1.077
1.60	-0.425	-0.549	-0.618	-0.829	-1.115
1.65	-0.496	-0.592	-0.650	-0.866	-1.152
1.70	-0.549	-0.632	-0.685	-0.903	-1.187
1.75	-0.579	-0.667	-0.722	-0.936	-1.217
1.80	-0.586	-0.697	-0.761	-0.966	-1.240
1.85	-0.579	-0.725	-0.804	-0.992	-1.256
1.90	-0.567	-0.750	-0.850	-1.015	-1.267
1.95	-0.555	-0.768	-0.893	-1.038	-1.273
2.00	-0.540	-0.770	-0.923	-1.056	-1.272
2.20	-0.515	-0.751	-0.930	-1.066	-1.265
2.40	-0.479	-0.711	-0.911	-1.060	-1.249
2.60	-0.441	-0.664	-0.873	-1.038	-1.225
2.80	-0.422	-0.631	-0.830	-1.006	-1.197
3.00	-0.434	-0.626	-0.799	-0.974	-1.170
3.20	-0.473	-0.648	-0.786	-0.953	-1.148
3.40	-0.519	-0.680	-0.788	-0.945	-1.136
3.60	-0.553	-0.701	-0.792	-0.946	-1.134
3.80	-0.563	-0.697	-0.789	-0.947	-1.139
4.00	-0.555	-0.668	-0.775	-0.941	-1.148
4.50	-0.536	-0.620	-0.751	-0.924	-1.161
5.00	-0.514	-0.561	-0.721	-0.901	-1.174

Πίνακας 4.18. Συντελεστές αναγωγής, $C_{22}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.639	1.292	1.196	1.118	1.049
0.06	1.548	1.228	1.150	1.076	1.015
0.07	1.456	1.167	1.102	1.034	0.983
0.08	1.360	1.108	1.054	0.993	0.955
0.09	1.263	1.053	1.006	0.955	0.934
0.10	1.172	1.004	0.962	0.924	0.920
0.11	1.100	0.966	0.928	0.905	0.917
0.12	1.055	0.944	0.910	0.900	0.925
0.13	1.037	0.943	0.911	0.911	0.943
0.14	1.042	0.961	0.934	0.938	0.971
0.15	1.062	0.995	0.973	0.977	1.007
0.16	1.094	1.039	1.022	1.025	1.049
0.17	1.137	1.085	1.075	1.077	1.095
0.18	1.188	1.128	1.124	1.128	1.141
0.19	1.245	1.168	1.168	1.176	1.184
0.20	1.300	1.207	1.209	1.219	1.220
0.22	1.349	1.250	1.249	1.256	1.250
0.24	1.392	1.296	1.288	1.287	1.272
0.26	1.431	1.342	1.325	1.311	1.288
0.28	1.472	1.387	1.357	1.331	1.301
0.30	1.517	1.427	1.383	1.346	1.312
0.32	1.563	1.461	1.406	1.360	1.324
0.34	1.604	1.494	1.427	1.375	1.336
0.36	1.634	1.525	1.450	1.393	1.349
0.38	1.651	1.553	1.472	1.411	1.362
0.40	1.655	1.573	1.489	1.427	1.373
0.42	1.647	1.580	1.499	1.436	1.380
0.44	1.629	1.574	1.496	1.435	1.381
0.46	1.605	1.556	1.483	1.425	1.376
0.48	1.580	1.530	1.459	1.405	1.366
0.50	1.555	1.500	1.430	1.380	1.354
0.55	1.531	1.471	1.402	1.357	1.342
0.60	1.510	1.447	1.383	1.342	1.334
0.65	1.496	1.434	1.379	1.341	1.335
0.70	1.490	1.434	1.391	1.355	1.344
0.75	1.493	1.446	1.415	1.380	1.360
0.80	1.503	1.465	1.444	1.411	1.379
0.85	1.518	1.487	1.471	1.443	1.399
0.90	1.537	1.507	1.493	1.469	1.416
0.95	1.557	1.522	1.509	1.487	1.428
1.00	1.573	1.531	1.516	1.495	1.435
1.05	1.583	1.533	1.514	1.494	1.437
1.10	1.584	1.527	1.506	1.484	1.433
1.15	1.572	1.515	1.492	1.469	1.427
1.20	1.550	1.497	1.475	1.452	1.419
1.25	1.521	1.476	1.457	1.435	1.410
1.30	1.490	1.455	1.441	1.419	1.402
1.35	1.461	1.435	1.426	1.405	1.393
1.40	1.437	1.416	1.411	1.391	1.384
1.45	1.419	1.399	1.396	1.377	1.376
1.50	1.409	1.384	1.382	1.364	1.369
1.55	1.406	1.373	1.371	1.353	1.363
1.60	1.412	1.370	1.365	1.346	1.359
1.65	1.427	1.376	1.365	1.343	1.355
1.70	1.452	1.392	1.372	1.345	1.353
1.75	1.484	1.418	1.384	1.349	1.352
1.80	1.520	1.448	1.398	1.355	1.352
1.85	1.553	1.477	1.414	1.364	1.353
1.90	1.575	1.500	1.430	1.375	1.356
1.95	1.583	1.514	1.442	1.386	1.359
2.00	1.577	1.516	1.449	1.397	1.361
2.20	1.560	1.508	1.449	1.404	1.360
2.40	1.537	1.491	1.442	1.403	1.355
2.60	1.511	1.469	1.429	1.394	1.345
2.80	1.486	1.444	1.411	1.378	1.332
3.00	1.464	1.420	1.390	1.358	1.318
3.20	1.443	1.398	1.368	1.336	1.303
3.40	1.421	1.376	1.346	1.314	1.288
3.60	1.394	1.350	1.321	1.291	1.273
3.80	1.353	1.317	1.291	1.265	1.258
4.00	1.296	1.271	1.253	1.234	1.241
4.50	1.221	1.212	1.207	1.199	1.224
5.00	1.135	1.146	1.155	1.160	1.206

Πίνακας 4.19. Συντελεστές αναγωγής, $C_{33}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

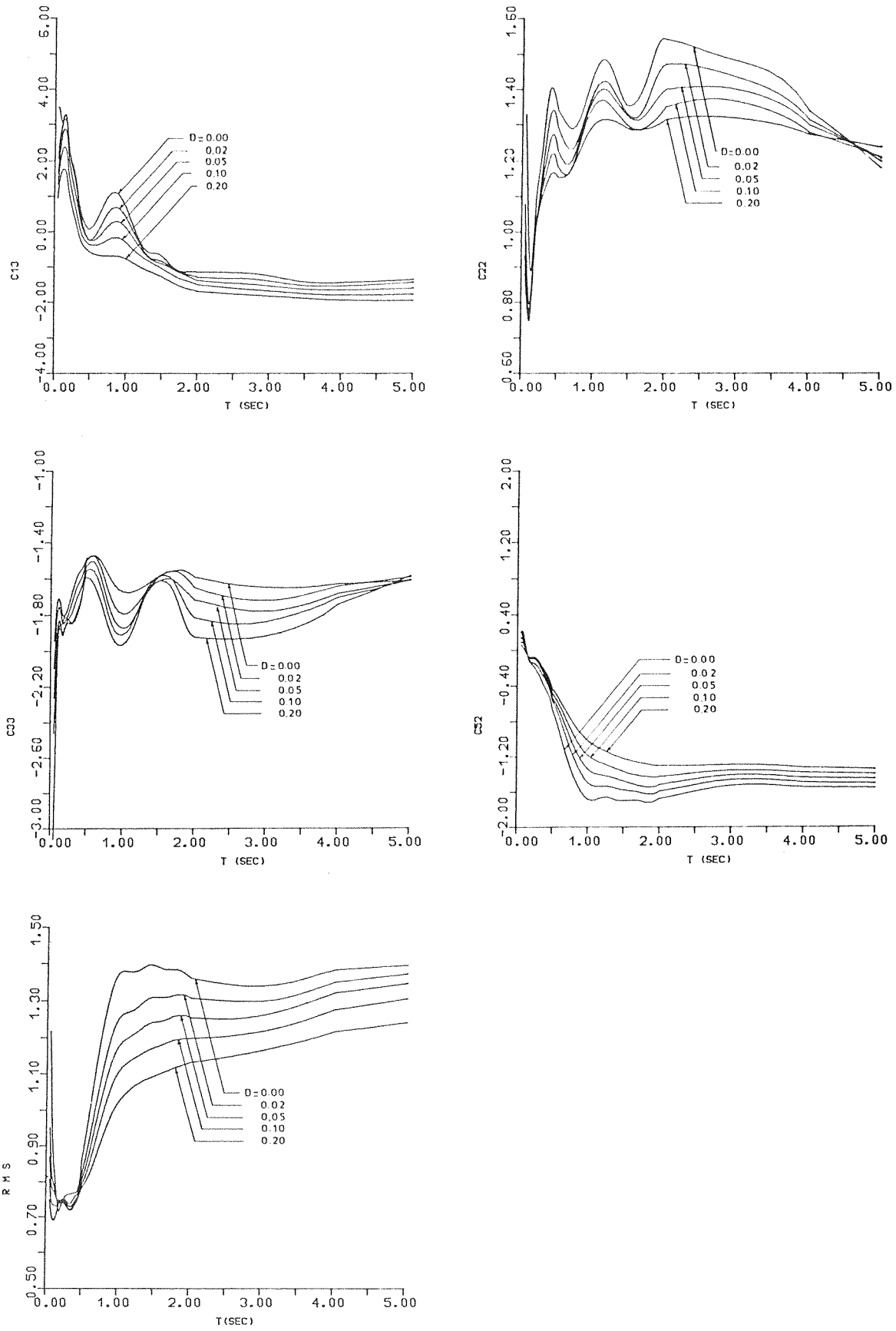
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-3.039	-2.432	-2.234	-2.072	-1.916
0.06	-2.841	-2.333	-2.164	-2.009	-1.868
0.07	-2.636	-2.234	-2.091	-1.947	-1.821
0.08	-2.423	-2.135	-2.018	-1.885	-1.778
0.09	-2.220	-2.043	-1.949	-1.829	-1.740
0.10	-2.049	-1.964	-1.889	-1.783	-1.711
0.11	-1.927	-1.902	-1.844	-1.751	-1.692
0.12	-1.857	-1.862	-1.815	-1.736	-1.686
0.13	-1.828	-1.845	-1.805	-1.736	-1.690
0.14	-1.822	-1.846	-1.812	-1.750	-1.704
0.15	-1.824	-1.860	-1.830	-1.770	-1.723
0.16	-1.823	-1.876	-1.852	-1.793	-1.744
0.17	-1.815	-1.886	-1.868	-1.811	-1.764
0.18	-1.801	-1.882	-1.872	-1.822	-1.778
0.19	-1.788	-1.866	-1.862	-1.822	-1.782
0.20	-1.780	-1.844	-1.842	-1.813	-1.776
0.22	-1.780	-1.825	-1.819	-1.797	-1.760
0.24	-1.786	-1.815	-1.800	-1.776	-1.737
0.26	-1.795	-1.815	-1.786	-1.754	-1.709
0.28	-1.803	-1.818	-1.774	-1.729	-1.679
0.30	-1.807	-1.814	-1.758	-1.701	-1.648
0.32	-1.803	-1.799	-1.734	-1.670	-1.617
0.34	-1.791	-1.777	-1.705	-1.640	-1.587
0.36	-1.771	-1.753	-1.678	-1.613	-1.562
0.38	-1.747	-1.730	-1.656	-1.593	-1.542
0.40	-1.716	-1.707	-1.637	-1.578	-1.527
0.42	-1.677	-1.676	-1.618	-1.563	-1.515
0.44	-1.632	-1.635	-1.592	-1.545	-1.503
0.46	-1.588	-1.587	-1.558	-1.520	-1.488
0.48	-1.555	-1.543	-1.520	-1.489	-1.469
0.50	-1.542	-1.511	-1.485	-1.458	-1.449
0.55	-1.552	-1.499	-1.463	-1.436	-1.433
0.60	-1.581	-1.513	-1.464	-1.432	-1.427
0.65	-1.628	-1.551	-1.493	-1.451	-1.434
0.70	-1.685	-1.609	-1.548	-1.493	-1.456
0.75	-1.747	-1.678	-1.616	-1.549	-1.487
0.80	-1.806	-1.744	-1.685	-1.608	-1.523
0.85	-1.853	-1.797	-1.741	-1.661	-1.556
0.90	-1.885	-1.830	-1.779	-1.699	-1.582
0.95	-1.897	-1.843	-1.799	-1.722	-1.600
1.00	-1.891	-1.840	-1.803	-1.729	-1.610
1.05	-1.870	-1.823	-1.795	-1.724	-1.612
1.10	-1.836	-1.794	-1.775	-1.709	-1.608
1.15	-1.789	-1.755	-1.745	-1.688	-1.600
1.20	-1.733	-1.706	-1.706	-1.662	-1.590
1.25	-1.674	-1.653	-1.664	-1.635	-1.579
1.30	-1.621	-1.604	-1.624	-1.608	-1.566
1.35	-1.581	-1.566	-1.590	-1.581	-1.553
1.40	-1.556	-1.540	-1.565	-1.557	-1.539
1.45	-1.540	-1.523	-1.547	-1.534	-1.524
1.50	-1.530	-1.510	-1.533	-1.514	-1.511
1.55	-1.526	-1.501	-1.523	-1.498	-1.500
1.60	-1.529	-1.497	-1.518	-1.486	-1.490
1.65	-1.544	-1.505	-1.518	-1.480	-1.483
1.70	-1.574	-1.526	-1.525	-1.479	-1.477
1.75	-1.619	-1.558	-1.538	-1.483	-1.474
1.80	-1.673	-1.597	-1.555	-1.491	-1.474
1.85	-1.728	-1.637	-1.574	-1.504	-1.478
1.90	-1.772	-1.672	-1.593	-1.522	-1.485
1.95	-1.802	-1.700	-1.612	-1.543	-1.497
2.00	-1.818	-1.720	-1.630	-1.566	-1.511
2.20	-1.825	-1.734	-1.648	-1.589	-1.526
2.40	-1.828	-1.744	-1.664	-1.608	-1.538
2.60	-1.828	-1.750	-1.677	-1.620	-1.548
2.80	-1.823	-1.747	-1.683	-1.625	-1.554
3.00	-1.810	-1.736	-1.680	-1.623	-1.557
3.20	-1.790	-1.717	-1.669	-1.614	-1.556
3.40	-1.764	-1.694	-1.652	-1.600	-1.553
3.60	-1.734	-1.669	-1.631	-1.582	-1.546
3.80	-1.694	-1.640	-1.607	-1.561	-1.537
4.00	-1.641	-1.605	-1.578	-1.539	-1.529
4.50	-1.572	-1.563	-1.545	-1.516	-1.521
5.00	-1.492	-1.514	-1.507	-1.491	-1.513

Πίνακας 4.20. Συντελεστές αναγωγής, $C_{52}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

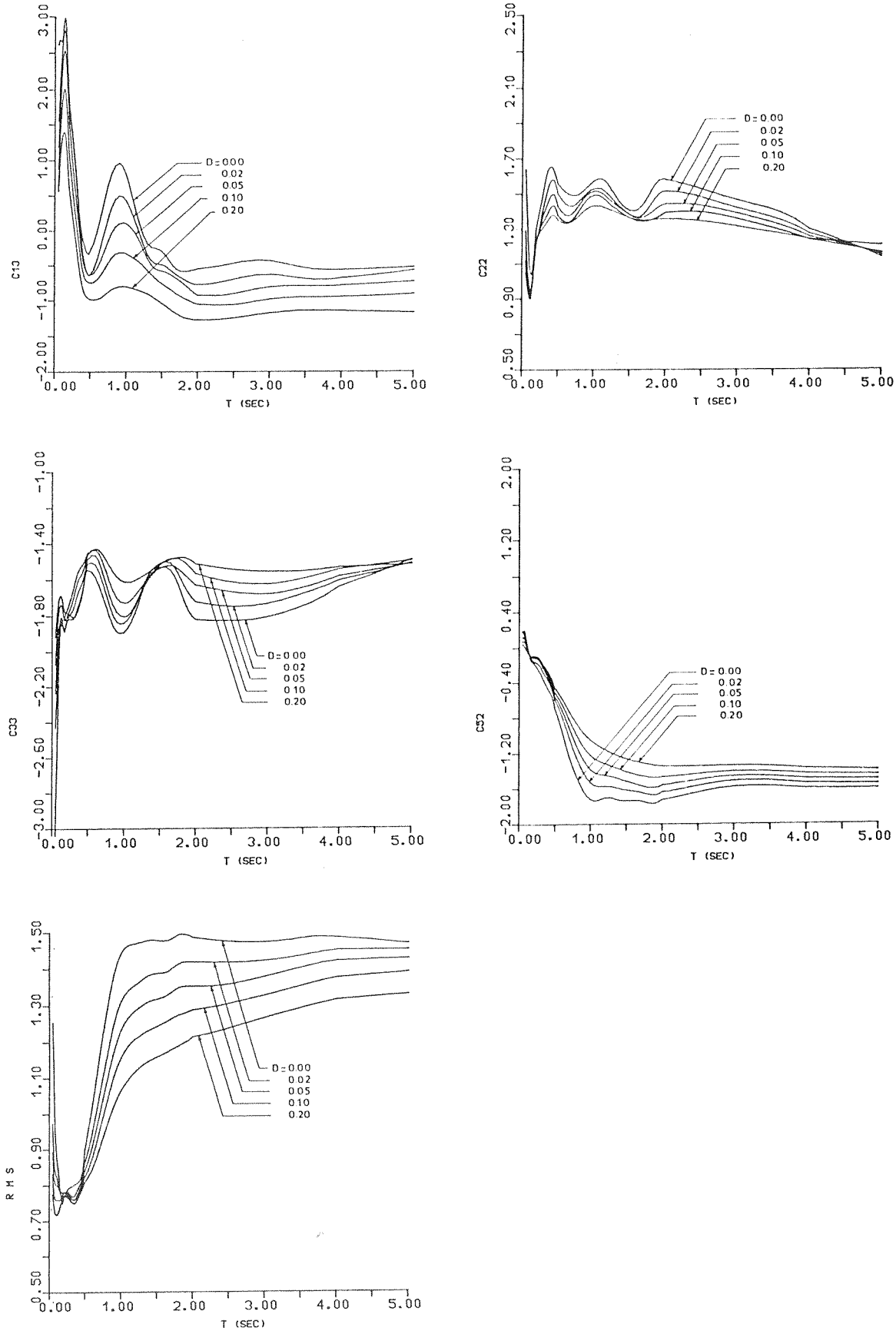
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.182	0.190	0.126	0.077	0.045
0.06	0.196	0.178	0.122	0.078	0.034
0.07	0.198	0.164	0.116	0.076	0.023
0.08	0.184	0.145	0.104	0.068	0.011
0.09	0.155	0.120	0.087	0.055	-0.002
0.10	0.118	0.091	0.063	0.037	-0.015
0.11	0.076	0.057	0.035	0.014	-0.029
0.12	0.032	0.020	0.003	-0.012	-0.044
0.13	-0.013	-0.017	-0.030	-0.038	-0.059
0.14	-0.058	-0.052	-0.059	-0.063	-0.073
0.15	-0.098	-0.081	-0.082	-0.082	-0.084
0.16	-0.129	-0.106	-0.097	-0.095	-0.091
0.17	-0.148	-0.124	-0.106	-0.099	-0.094
0.18	-0.157	-0.137	-0.109	-0.097	-0.095
0.19	-0.165	-0.147	-0.111	-0.093	-0.095
0.20	-0.176	-0.155	-0.113	-0.090	-0.097
0.22	-0.193	-0.164	-0.115	-0.090	-0.103
0.24	-0.215	-0.172	-0.120	-0.095	-0.112
0.26	-0.240	-0.182	-0.129	-0.106	-0.125
0.28	-0.267	-0.198	-0.144	-0.122	-0.140
0.30	-0.297	-0.221	-0.169	-0.145	-0.158
0.32	-0.330	-0.251	-0.200	-0.173	-0.178
0.34	-0.364	-0.283	-0.233	-0.204	-0.199
0.36	-0.400	-0.311	-0.266	-0.236	-0.221
0.38	-0.434	-0.337	-0.297	-0.267	-0.245
0.40	-0.466	-0.363	-0.328	-0.299	-0.269
0.42	-0.496	-0.393	-0.364	-0.332	-0.296
0.44	-0.525	-0.430	-0.404	-0.368	-0.326
0.46	-0.561	-0.473	-0.448	-0.408	-0.361
0.48	-0.614	-0.526	-0.498	-0.453	-0.404
0.50	-0.695	-0.593	-0.555	-0.507	-0.455
0.55	-0.808	-0.677	-0.625	-0.570	-0.515
0.60	-0.944	-0.779	-0.709	-0.644	-0.582
0.65	-1.088	-0.893	-0.803	-0.726	-0.652
0.70	-1.226	-1.013	-0.904	-0.812	-0.723
0.75	-1.349	-1.129	-1.006	-0.898	-0.792
0.80	-1.455	-1.236	-1.102	-0.981	-0.856
0.85	-1.545	-1.333	-1.191	-1.056	-0.914
0.90	-1.622	-1.416	-1.269	-1.122	-0.966
0.95	-1.682	-1.484	-1.333	-1.178	-1.011
1.00	-1.720	-1.533	-1.383	-1.221	-1.049
1.05	-1.734	-1.562	-1.416	-1.254	-1.080
1.10	-1.727	-1.574	-1.436	-1.279	-1.107
1.15	-1.711	-1.576	-1.446	-1.299	-1.131
1.20	-1.698	-1.574	-1.453	-1.316	-1.153
1.25	-1.696	-1.575	-1.459	-1.332	-1.174
1.30	-1.705	-1.581	-1.468	-1.348	-1.194
1.35	-1.719	-1.590	-1.479	-1.364	-1.213
1.40	-1.731	-1.601	-1.492	-1.380	-1.231
1.45	-1.738	-1.610	-1.506	-1.396	-1.247
1.50	-1.738	-1.617	-1.520	-1.411	-1.261
1.55	-1.734	-1.622	-1.533	-1.425	-1.274
1.60	-1.731	-1.627	-1.545	-1.437	-1.286
1.65	-1.733	-1.634	-1.557	-1.448	-1.297
1.70	-1.741	-1.644	-1.568	-1.457	-1.307
1.75	-1.753	-1.655	-1.578	-1.465	-1.316
1.80	-1.763	-1.666	-1.586	-1.471	-1.325
1.85	-1.768	-1.671	-1.589	-1.475	-1.333
1.90	-1.762	-1.668	-1.586	-1.476	-1.340
1.95	-1.745	-1.655	-1.575	-1.473	-1.345
2.00	-1.719	-1.634	-1.556	-1.464	-1.348
2.20	-1.686	-1.606	-1.532	-1.451	-1.347
2.40	-1.652	-1.576	-1.506	-1.435	-1.345
2.60	-1.619	-1.548	-1.483	-1.420	-1.341
2.80	-1.593	-1.525	-1.465	-1.408	-1.337
3.00	-1.575	-1.509	-1.454	-1.401	-1.336
3.20	-1.567	-1.504	-1.453	-1.400	-1.338
3.40	-1.570	-1.508	-1.458	-1.405	-1.343
3.60	-1.580	-1.519	-1.469	-1.414	-1.352
3.80	-1.592	-1.532	-1.482	-1.425	-1.363
4.00	-1.600	-1.542	-1.492	-1.434	-1.374
4.50	-1.603	-1.549	-1.498	-1.442	-1.385
5.00	-1.602	-1.553	-1.501	-1.448	-1.396

Πίνακας 4.21. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), για τοπικό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

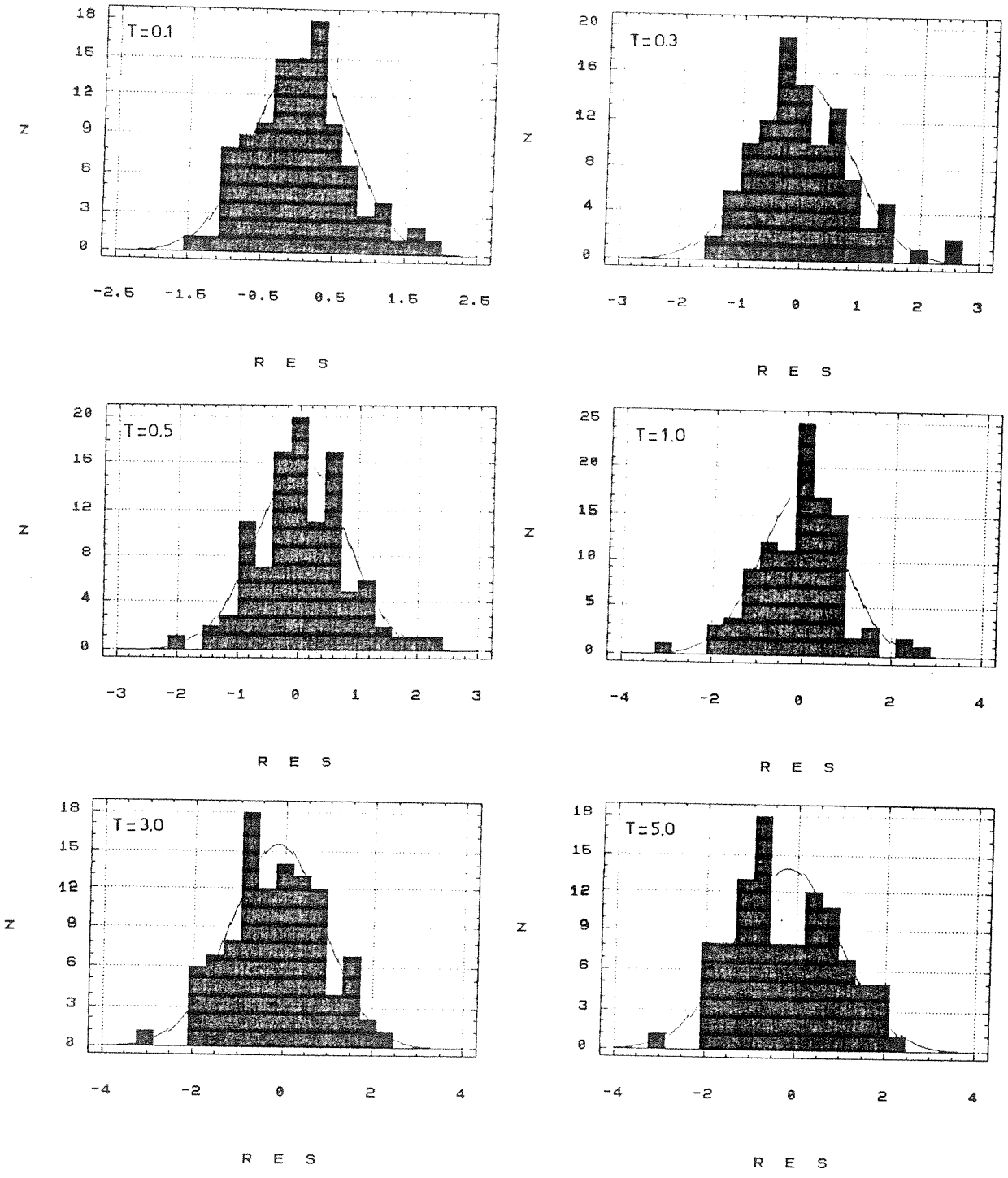
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.255	0.973	0.892	0.831	0.775
0.06	1.161	0.928	0.861	0.806	0.758
0.07	1.074	0.890	0.835	0.785	0.742
0.08	0.999	0.861	0.816	0.770	0.731
0.09	0.942	0.843	0.806	0.762	0.723
0.10	0.903	0.833	0.802	0.759	0.719
0.11	0.879	0.827	0.801	0.759	0.718
0.12	0.862	0.820	0.800	0.759	0.718
0.13	0.845	0.811	0.796	0.758	0.721
0.14	0.826	0.801	0.791	0.758	0.726
0.15	0.804	0.790	0.787	0.758	0.732
0.16	0.781	0.780	0.783	0.760	0.741
0.17	0.762	0.774	0.782	0.763	0.749
0.18	0.750	0.772	0.781	0.766	0.757
0.19	0.748	0.774	0.781	0.769	0.763
0.20	0.755	0.778	0.781	0.772	0.767
0.22	0.767	0.782	0.781	0.774	0.769
0.24	0.778	0.784	0.780	0.774	0.769
0.26	0.787	0.783	0.777	0.771	0.767
0.28	0.792	0.780	0.773	0.767	0.763
0.30	0.795	0.775	0.768	0.760	0.758
0.32	0.797	0.770	0.763	0.753	0.753
0.34	0.799	0.769	0.760	0.750	0.751
0.36	0.802	0.772	0.761	0.750	0.751
0.38	0.804	0.779	0.766	0.754	0.754
0.40	0.807	0.788	0.774	0.762	0.760
0.42	0.811	0.797	0.783	0.772	0.768
0.44	0.818	0.805	0.793	0.782	0.777
0.46	0.833	0.815	0.803	0.793	0.786
0.48	0.859	0.831	0.817	0.805	0.796
0.50	0.901	0.857	0.838	0.821	0.807
0.55	0.957	0.895	0.866	0.843	0.823
0.60	1.024	0.941	0.903	0.872	0.843
0.65	1.093	0.993	0.946	0.906	0.869
0.70	1.160	1.046	0.992	0.946	0.899
0.75	1.224	1.100	1.039	0.987	0.931
0.80	1.283	1.152	1.086	1.028	0.963
0.85	1.337	1.202	1.131	1.068	0.994
0.90	1.383	1.246	1.171	1.103	1.021
0.95	1.419	1.283	1.205	1.133	1.045
1.00	1.443	1.311	1.233	1.157	1.065
1.05	1.457	1.330	1.253	1.175	1.081
1.10	1.464	1.342	1.267	1.190	1.095
1.15	1.467	1.351	1.278	1.201	1.108
1.20	1.469	1.358	1.287	1.210	1.118
1.25	1.472	1.365	1.295	1.217	1.128
1.30	1.474	1.373	1.302	1.224	1.136
1.35	1.477	1.380	1.308	1.230	1.143
1.40	1.479	1.385	1.313	1.235	1.149
1.45	1.480	1.388	1.317	1.240	1.154
1.50	1.480	1.389	1.319	1.244	1.159
1.55	1.478	1.389	1.322	1.249	1.163
1.60	1.477	1.391	1.325	1.254	1.168
1.65	1.478	1.394	1.331	1.259	1.173
1.70	1.482	1.401	1.337	1.265	1.179
1.75	1.488	1.408	1.344	1.270	1.184
1.80	1.494	1.414	1.350	1.275	1.189
1.85	1.497	1.419	1.353	1.278	1.194
1.90	1.496	1.420	1.354	1.281	1.200
1.95	1.493	1.420	1.353	1.285	1.206
2.00	1.488	1.419	1.353	1.289	1.214
2.20	1.483	1.418	1.354	1.295	1.222
2.40	1.479	1.418	1.357	1.302	1.232
2.60	1.476	1.419	1.363	1.311	1.243
2.80	1.473	1.421	1.371	1.319	1.254
3.00	1.473	1.424	1.380	1.329	1.265
3.20	1.475	1.428	1.389	1.339	1.276
3.40	1.480	1.434	1.399	1.349	1.286
3.60	1.486	1.441	1.408	1.359	1.296
3.80	1.490	1.448	1.417	1.368	1.306
4.00	1.488	1.453	1.423	1.377	1.315
4.50	1.481	1.454	1.427	1.385	1.323
5.00	1.470	1.453	1.429	1.391	1.330



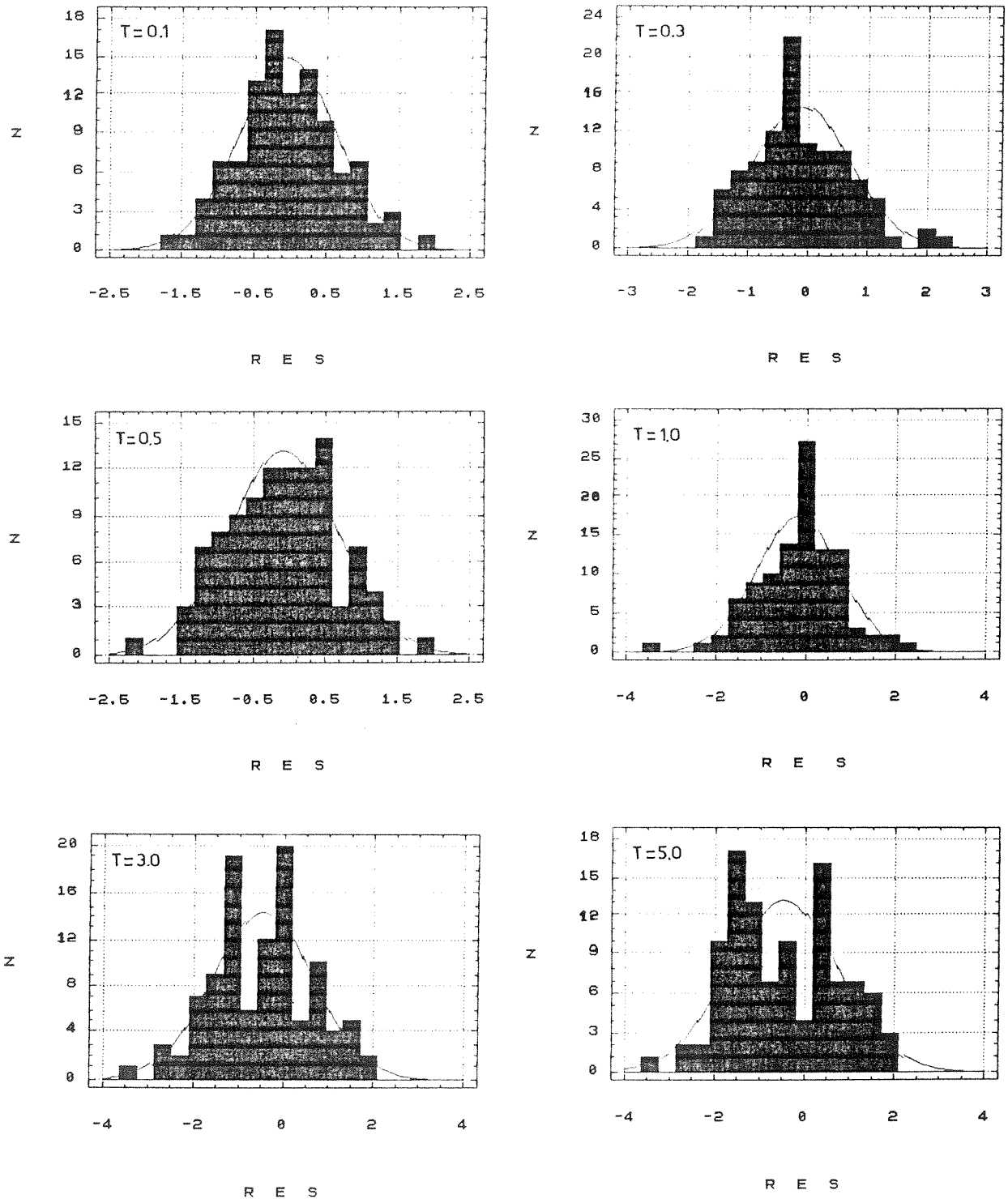
Σχ. 4.16. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (4.3), γιά την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους.



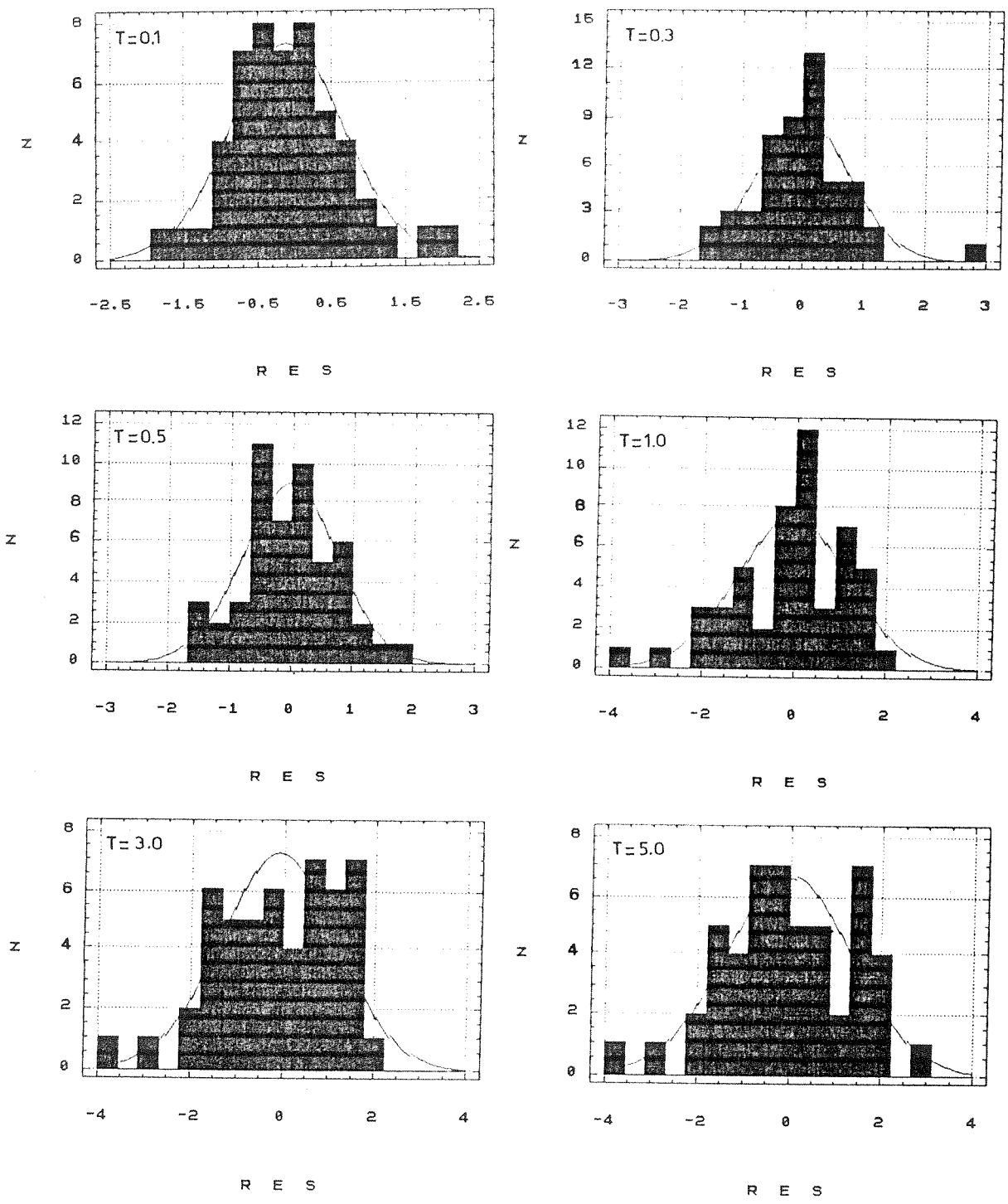
Σχ. 4.17. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (4.3), γιά την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους.



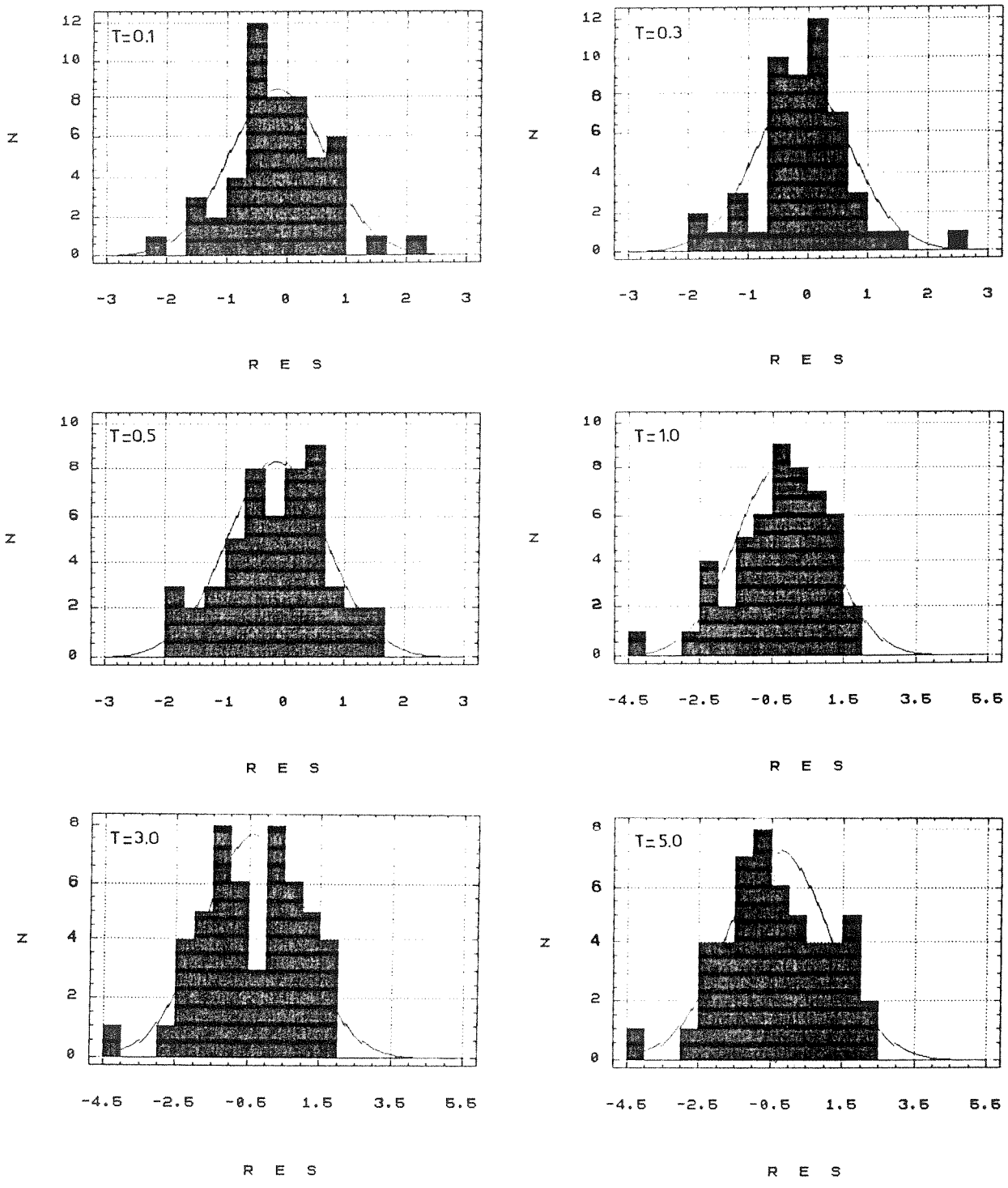
Σχ. 4.18. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (4.3), γιά την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους, γιά διάφορες περιόδους και γιά παράγοντα απόσβεσης D=0.05.



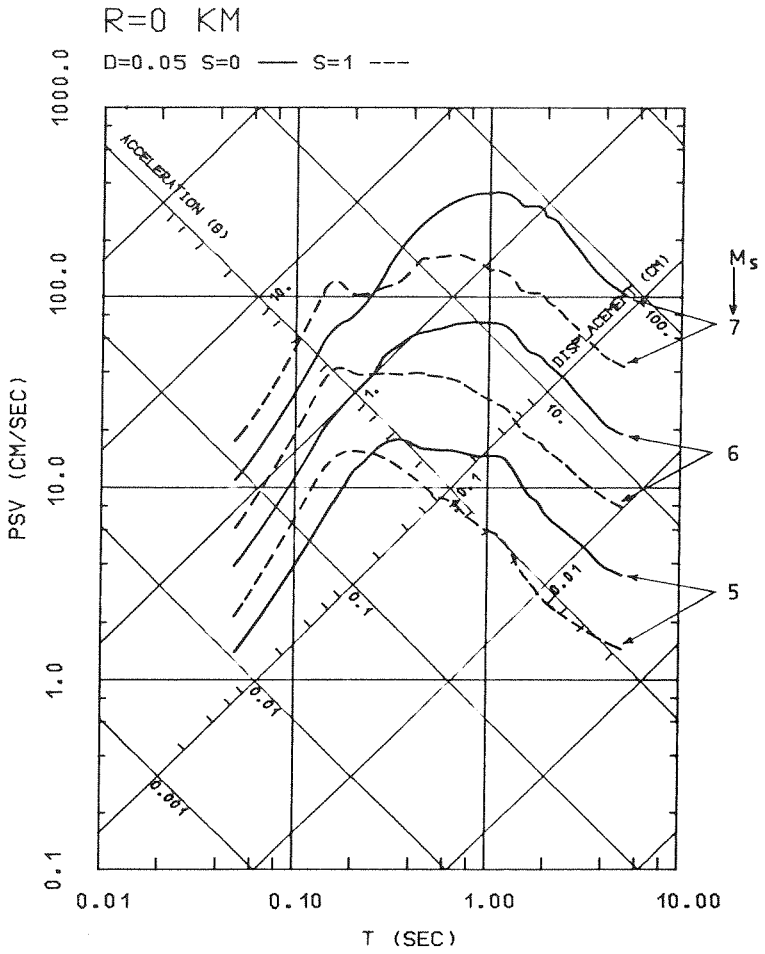
Σχ. 4.19. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (4.3), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05.



Σχ. 4.20. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (4.3), για την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05.



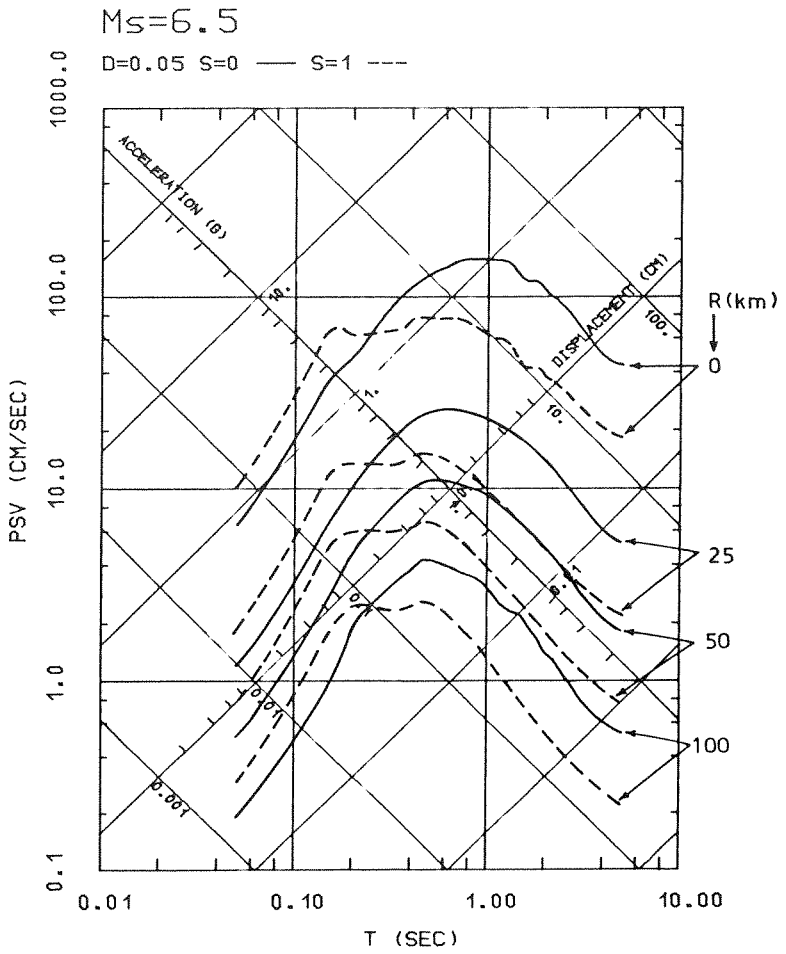
Σχ. 4.21. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (4.3), γιά την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους, γιά διάφορες περιόδους και γιά παράγοντα απόσβεσης D=0.05.



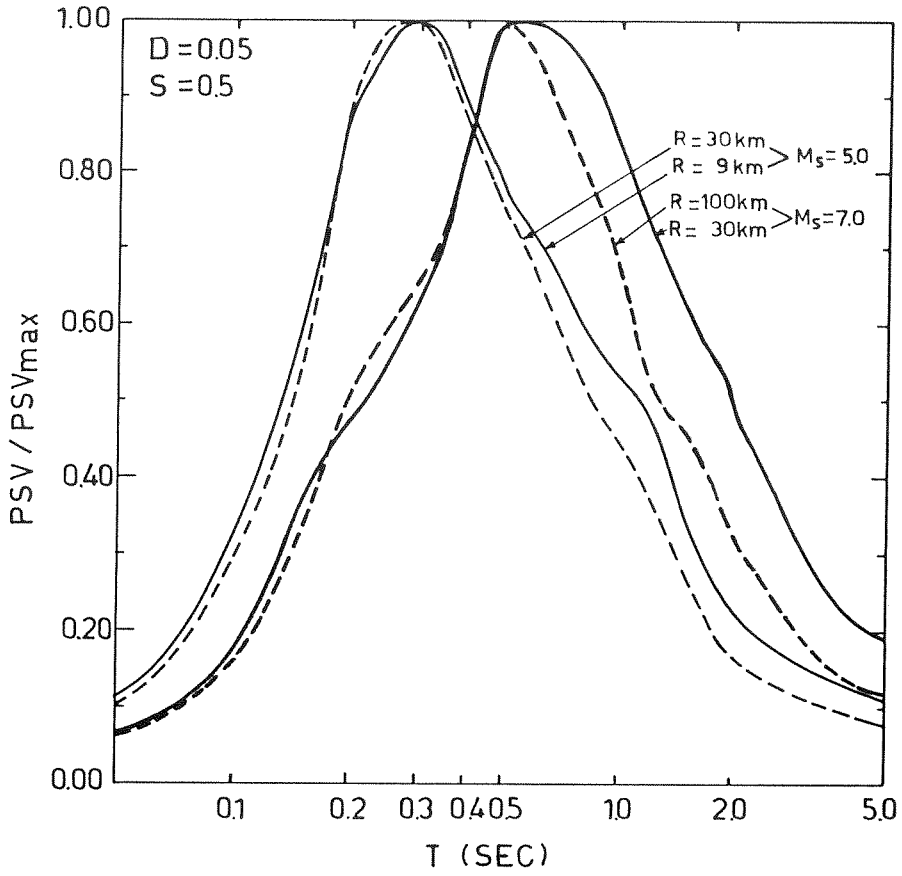
Σχ. 4.22. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδο-ταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους.

"αλλουβιακές αποθέσεις", S=0. Οι φασματικές τιμές της ψευδοταχύτητας για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος" είναι υψηλότερες από εκείνες των "αλλουβιακών αποθέσεων" για περιόδους T≤0.25 sec. Με την αύξηση του μεγέθους παρατηρείται εμπλουτισμός των φασματικών τιμών σε μεγαλύτερες περιόδους. Στο σχήμα (4.23) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης ψευδοταχύτητας για επιφανειακό μέγεθος, Ms=6.5, για επικεντρικές αποστάσεις, $R_{\varepsilon\pi}$=0, 25, 50, 100 km και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών. Η αλλαγή του φασματικού σχήματος με την απόσταση παρατηρείται στις ενδιάμεσες και υψηλές περιόδους. Πιο συγκεκριμένα, για τις περιόδους 0.17≤T≤0.5 sec παρατηρείται σχετική ενίσχυση των φασματικών τιμών στις μεγαλύτερες αποστάσεις ενώ το αντίθετο συμβαίνει για περιόδους T>0.5 sec. Οι παρατηρήσεις αυτές ερμηνεύονται με την εξάρτηση των φασματικών τιμών ψευδοταχύτητας από τους συντελεστές αναγωγής $C_{22}(T)$, $C_{33}(T)$, $C_{52}(T)$ των σχημάτων (4.15), (4.16), (4.17). Στο σχήμα (4.24) δίνονται οι ανηγμένες τιμές της φασματικής ψευδοταχύτητας στη μέγιστη, για επιφανειακό μέγεθος, Ms=5, επικεντρικές αποστάσεις $R_{\varepsilon\pi}$=9, 30 km και μέγεθος Ms=7.0 και αποστάσεις $R_{\varepsilon\pi}$=30, 100 km. Ως εδαφικές συνθήκες για τη σύγκριση αυτή θεωρήθηκαν οι ενδιάμεσες, δηλαδή S=0.5. Είναι προφανής η ενίσχυση των χαμηλών περιόδων και η μετατόπιση των φασματικών ψευδοταχυτήτων προς αυτές για το μέγεθος Ms=5, σε αντίθεση με εκείνες για το μέγεθος Ms=7. Για περιόδους T<0.17 sec παρατηρείται ενίσχυση των φασματικών τιμών οι οποίες αντιστοιχούν σε μικρότερες αποστάσεις, ενώ για ενδιάμεσες περιόδους 0.17≤T≤0.5 sec ενίσχυση εκείνων που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες. Για περιόδους T>0.5 sec είναι ενισχυμένες οι φασματικές ψευδοταχύτητες οι οποίες αντιστοιχούν σε μικρότερες αποστάσεις.

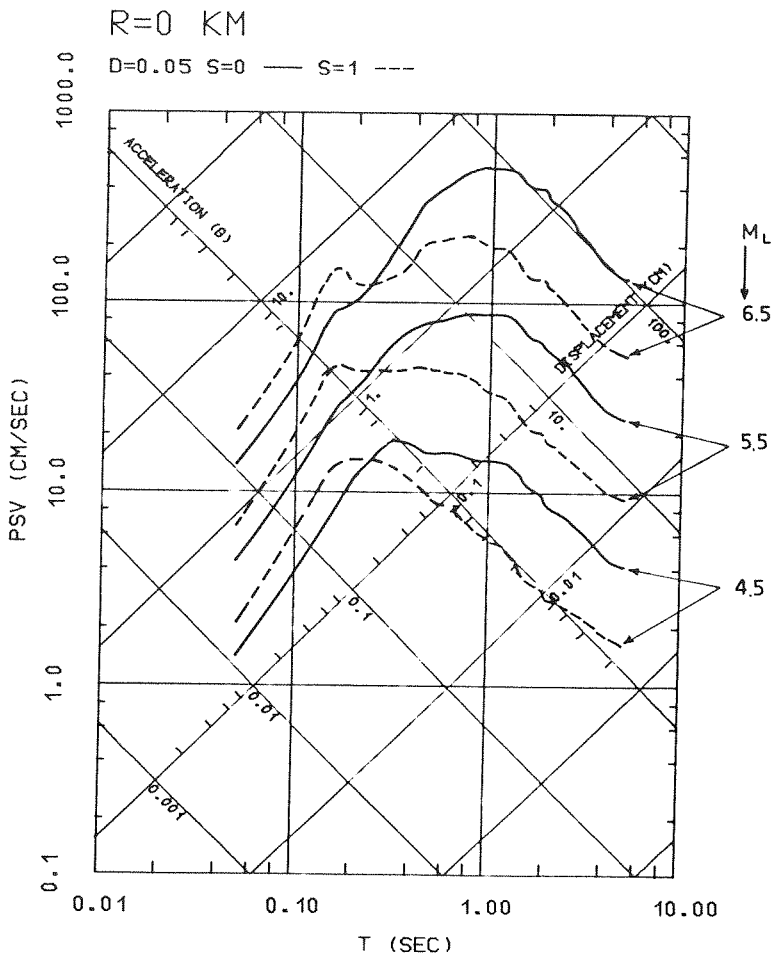
Στα σχήματα (4.25), (4.26) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας για επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$=0 km, με τοπικά μεγέθη M_L=4.5, 5.5, 6.5 και για τοπικό μέγεθος M_L=6.0 με επικεντρικές αποστάσεις $R_{\varepsilon\pi}$=0, 25, 50, 100 km, αντίστοιχα, για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών. Τα συμπεράσματα για την



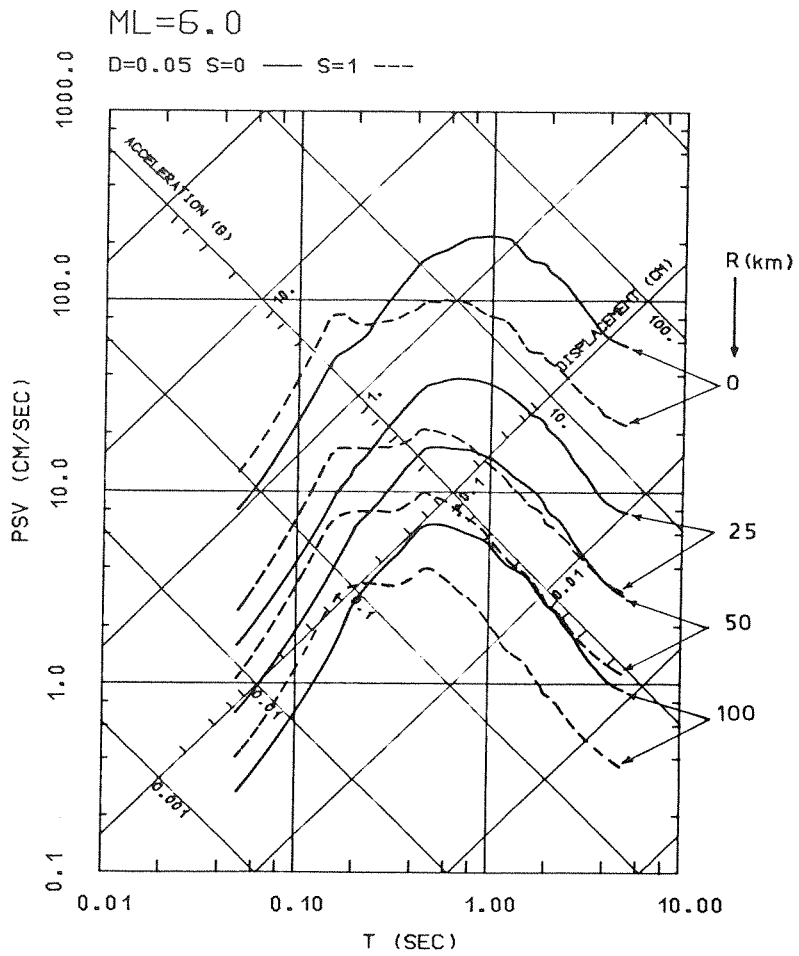
Σχ. 4.23. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους.



Σχ. 4.24. Κανονικοποιημένα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, για ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες.



Σχ. 4.25. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους.



Σχ. 4.26. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους.

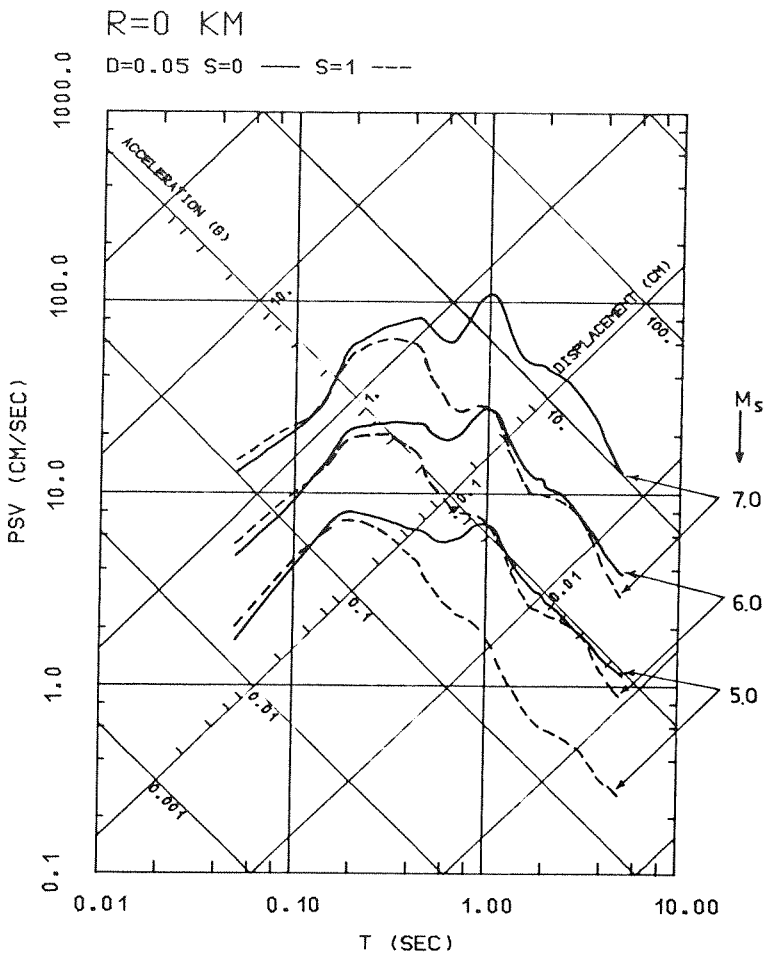
επίδραση της επικεντρικής απόστασης, του μεγέθους και των εδαφικών συνθηκών στις φασματικές τιμές ψευδοταχύτητας είναι ανάλογα με εκείνα της προηγούμενης παραγράφου.

Στα σχήματα (4.27) έως (4.30) δίνονται μέσα φάσματα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας για ανάλογα μεγέθη και αποστάσεις με εκείνα της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας. Η επίδραση των εδαφικών συνθηκών στην περίπτωση της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας φαίνεται ότι είναι ανεπαίσθητη για περιόδους T<0.2 sec. Αυτή γίνεται αισθητή σε μεγαλύτερες περιόδους όπου παρατηρούνται υψηλότερες φασματικές τιμές για τις "αλλουβιακές αποθέσεις". Με την αύξηση του μεγέθους παρατηρείται και για την κατακόρυφη ψευδοταχύτητα ο εμπλουτισμός των φασματικών τιμών στις μεγαλύτερες περιόδους. Αξιοσημείωτη είναι η αλλαγή του φασματικού σχήματος με την απόσταση, για το ίδιο μέγεθος σεισμού, για περιόδους T<0.40 sec, για τις οποίες η απόσβεση της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας παρουσιάζεται εντονότερη.

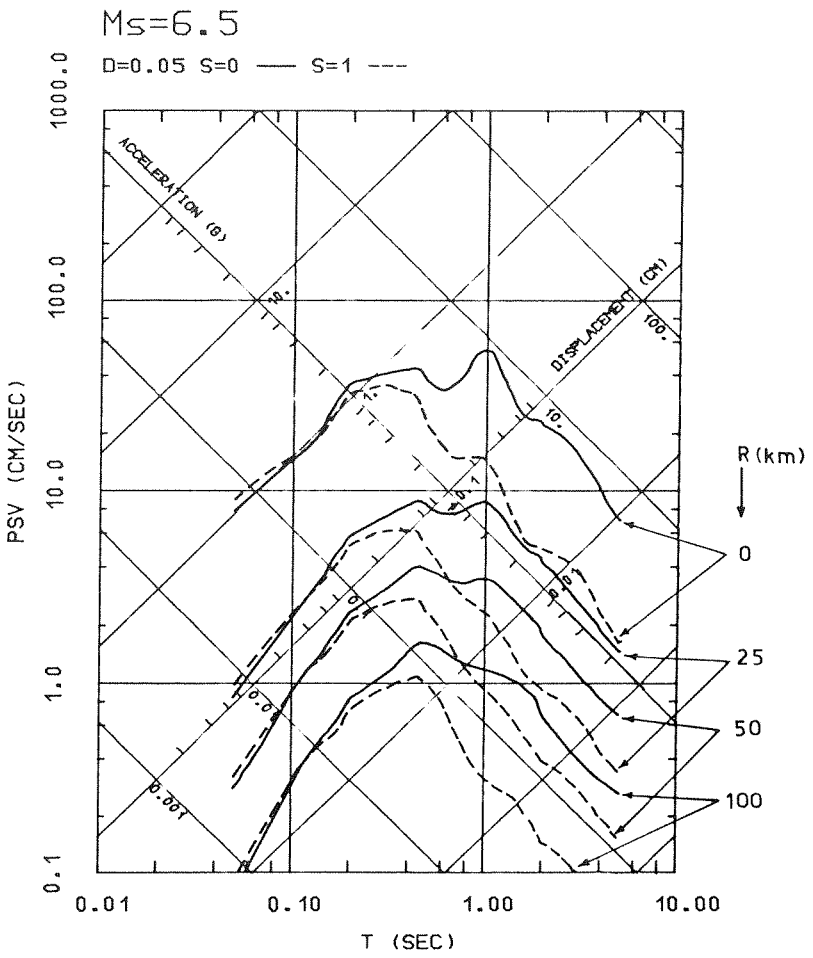
4.3. Απόσβεση της Οριζόντιας Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T) Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Δεδομένα Σεισμών Μεγεθών Ροπής, 7.0<Mw≤7.5 Αλλων Περιοχών.

4.3.1. Δεδομένα παρατήρησης

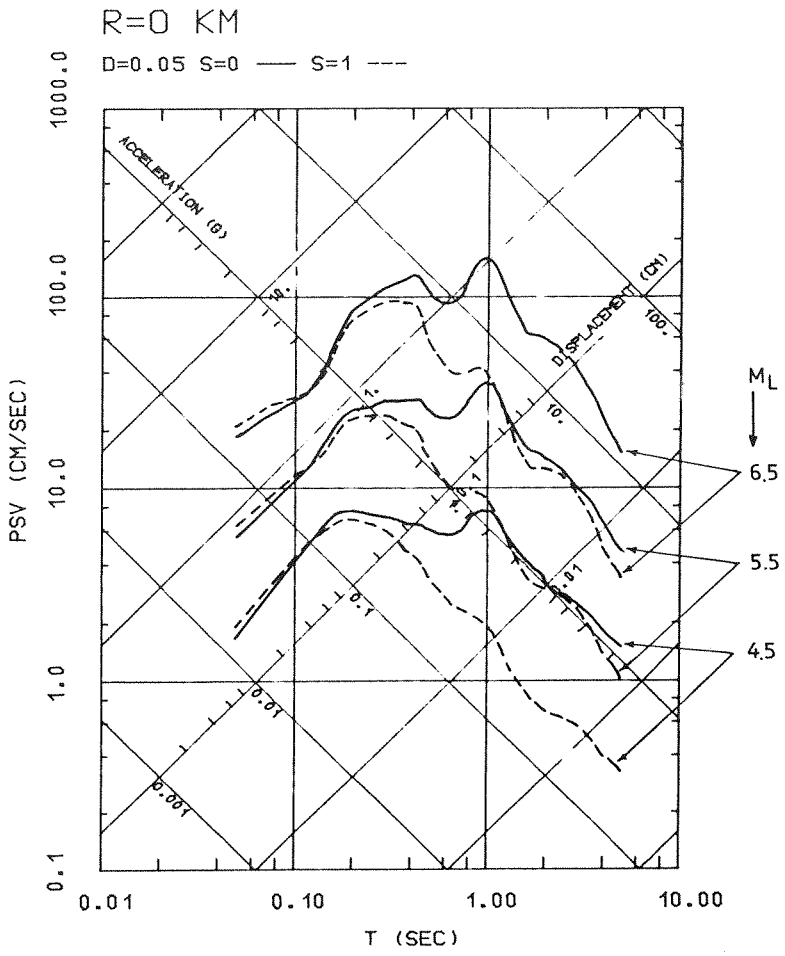
Τα φάσματα απόκρισης των σεισμών με μεγέθη ροπής 7.0<Mw≤7.5 που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή αυτή δίνονται στο Παράρτημα Γ σε τριλογαριθμικό χαρτί, για τις 16 οριζόντιες συνιστώσες. Η αναλυτική παρουσίαση των παραμέτρων των δεδομένων γίνεται στους πίνακες (2.8) και (2.9) του δευτέρου κεφαλαίου.



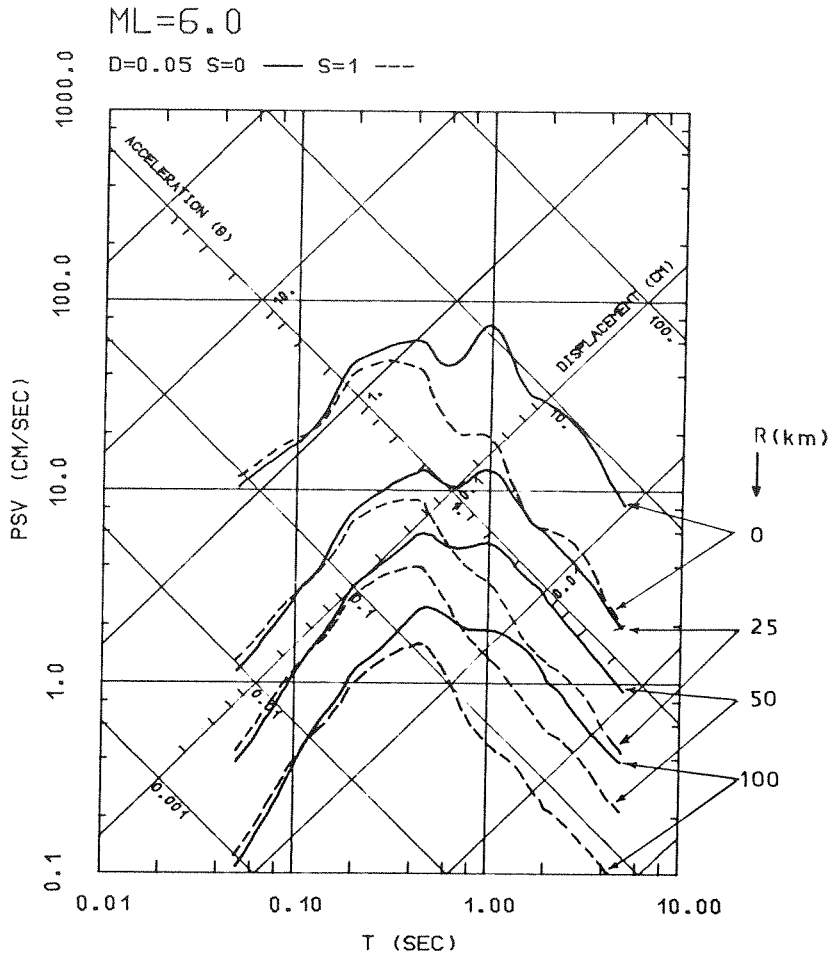
Σχ. 4.27. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους.



Σχ. 4.28. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του επιφανειακού μεγέθους.



Σχ. 4.29. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους.



Σχ. 4.30. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση του τοπικού μεγέθους.

4.3.2. Μεθοδολογία

Για τον υπολογισμό των συντελεστών αναγωγής της φασματικής ψευδοταχύτητας για το συνολικό δείγμα φασμάτων απόκρισης, δηλαδή των 105 οριζοντίων συνιστωσών του Ελληνικού δείγματος και των 16 οριζοντίων συνιστωσών επιφανειακών σεισμών από άλλες περιοχές ζωνών κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών, θεωρήθηκε ότι οι συντελεστές γεωμετρικής διασποράς, $C_{33}(T)$, έχουν προσδιορισθεί ικανοποιητικά από τα Ελληνικά δεδομένα και μόνο. Ετσι, η σχέση της οποίας προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές αναγωγής $C_{12}(T)$, $C_{22}(T)$,$C_{52}(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$ έχει τη μορφή,

$$lnPSV(T)-C_{33}(T)ln(R+15)=C_{12}(T)+C_{22}(T)M+C_{52}(T)S+\sigma_{lnPSV(T)}P \quad (4.4)$$

Η επεξεργασία των φασματικών τιμών έγινε για την κλίμακα του επιφανειακού,Ms, και για επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$.

4.3.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας,PSV(T), επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$, άλλων περιοχών.

Στους πίνακες (4.22) έως (4.25) και στο σχήμα (4.31) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής $C_{12}(T)$, $C_{22}(T)$, $C_{52}(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, για παράγοντες απόσβεσης 0.0, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 της κρίσιμης όπως έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (4.4), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T).Οι συντελεστές αυτοί έχουν εξομαλυνθεί με τη μέθοδο του (1/4+1/2+1/4) "κινητού μέσου" κατά μήκος του άξονα των περιόδων, log(T).

Το μοντέλο πρόβλεψης της φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.4) θεωρήθηκε επαρκές αφού έχει δειχθεί (κεφάλαιο 2) για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση και για το ίδιο δείγμα δεδομένων η επάρκειά του . Η κατανομή των υπολοίπων τα

Πίνακας 4.22. Συντελεστές αναγωγής, $C_{12}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.4), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-1.098	-0.627	-0.706	-0.752	-0.785
0.06	-0.722	-0.287	-0.394	-0.480	-0.566
0.07	-0.387	0.018	-0.110	-0.229	-0.357
0.08	-0.123	0.266	0.129	-0.011	-0.169
0.09	0.063	0.454	0.318	0.170	-0.002
0.10	0.183	0.589	0.464	0.318	0.141
0.11	0.253	0.686	0.579	0.442	0.264
0.12	0.291	0.755	0.673	0.549	0.368
0.13	0.313	0.804	0.751	0.641	0.456
0.14	0.330	0.843	0.819	0.720	0.529
0.15	0.351	0.881	0.881	0.788	0.591
0.16	0.384	0.924	0.941	0.848	0.646
0.17	0.433	0.979	1.002	0.906	0.699
0.18	0.502	1.046	1.068	0.966	0.753
0.19	0.590	1.124	1.139	1.030	0.810
0.20	0.696	1.213	1.217	1.099	0.865
0.22	0.821	1.312	1.297	1.165	0.915
0.24	0.963	1.414	1.374	1.223	0.953
0.26	1.104	1.505	1.434	1.263	0.975
0.28	1.217	1.565	1.466	1.279	0.978
0.30	1.273	1.575	1.460	1.266	0.960
0.32	1.258	1.527	1.412	1.222	0.922
0.34	1.184	1.429	1.328	1.153	0.866
0.36	1.074	1.300	1.219	1.064	0.794
0.38	0.957	1.163	1.099	0.963	0.714
0.40	0.848	1.031	0.975	0.856	0.631
0.42	0.751	0.907	0.852	0.746	0.550
0.44	0.660	0.791	0.735	0.638	0.472
0.46	0.573	0.683	0.629	0.536	0.396
0.48	0.496	0.590	0.538	0.445	0.321
0.50	0.438	0.518	0.466	0.364	0.245
0.55	0.397	0.462	0.406	0.289	0.164
0.60	0.357	0.408	0.343	0.211	0.080
0.65	0.293	0.334	0.262	0.124	-0.009
0.70	0.186	0.225	0.155	0.022	-0.105
0.75	0.029	0.080	0.021	-0.094	-0.208
0.80	-0.167	-0.091	-0.128	-0.220	-0.321
0.85	-0.379	-0.270	-0.281	-0.349	-0.441
0.90	-0.585	-0.442	-0.427	-0.477	-0.566
0.95	-0.775	-0.599	-0.564	-0.602	-0.691
1.00	-0.954	-0.748	-0.696	-0.728	-0.813
1.05	-1.134	-0.898	-0.833	-0.857	-0.929
1.10	-1.327	-1.060	-0.981	-0.989	-1.040
1.15	-1.538	-1.237	-1.140	-1.124	-1.146
1.20	-1.763	-1.429	-1.309	-1.262	-1.252
1.25	-1.997	-1.633	-1.487	-1.404	-1.359
1.30	-2.236	-1.845	-1.670	-1.549	-1.468
1.35	-2.468	-2.059	-1.855	-1.697	-1.579
1.40	-2.681	-2.263	-2.036	-1.845	-1.688
1.45	-2.868	-2.446	-2.205	-1.986	-1.793
1.50	-3.026	-2.602	-2.354	-2.113	-1.891
1.55	-3.158	-2.727	-2.477	-2.221	-1.980
1.60	-3.265	-2.820	-2.573	-2.308	-2.060
1.65	-3.342	-2.883	-2.641	-2.376	-2.131
1.70	-3.389	-2.921	-2.687	-2.430	-2.196
1.75	-3.416	-2.946	-2.720	-2.478	-2.258
1.80	-3.439	-2.974	-2.755	-2.532	-2.322
1.85	-3.481	-3.026	-2.807	-2.600	-2.394
1.90	-3.554	-3.114	-2.887	-2.690	-2.480
1.95	-3.657	-3.237	-3.000	-2.803	-2.583
2.00	-3.781	-3.383	-3.137	-2.935	-2.699
2.20	-3.906	-3.531	-3.282	-3.074	-2.824
2.40	-4.015	-3.660	-3.417	-3.207	-2.949
2.60	-4.097	-3.759	-3.531	-3.326	-3.067
2.80	-4.153	-3.828	-3.620	-3.428	-3.175
3.00	-4.193	-3.879	-3.693	-3.515	-3.271
3.20	-4.230	-3.925	-3.756	-3.593	-3.359
3.40	-4.270	-3.974	-3.816	-3.661	-3.440
3.60	-4.312	-4.023	-3.872	-3.723	-3.514
3.80	-4.346	-4.065	-3.920	-3.778	-3.583
4.00	-4.359	-4.090	-3.957	-3.827	-3.649
4.50	-4.347	-4.095	-3.984	-3.872	-3.714
5.00	-4.318	-4.087	-4.003	-3.914	-3.778

Πίνακας 4.23. Συντελεστές αναγωγής, $C_{22}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.4), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$.

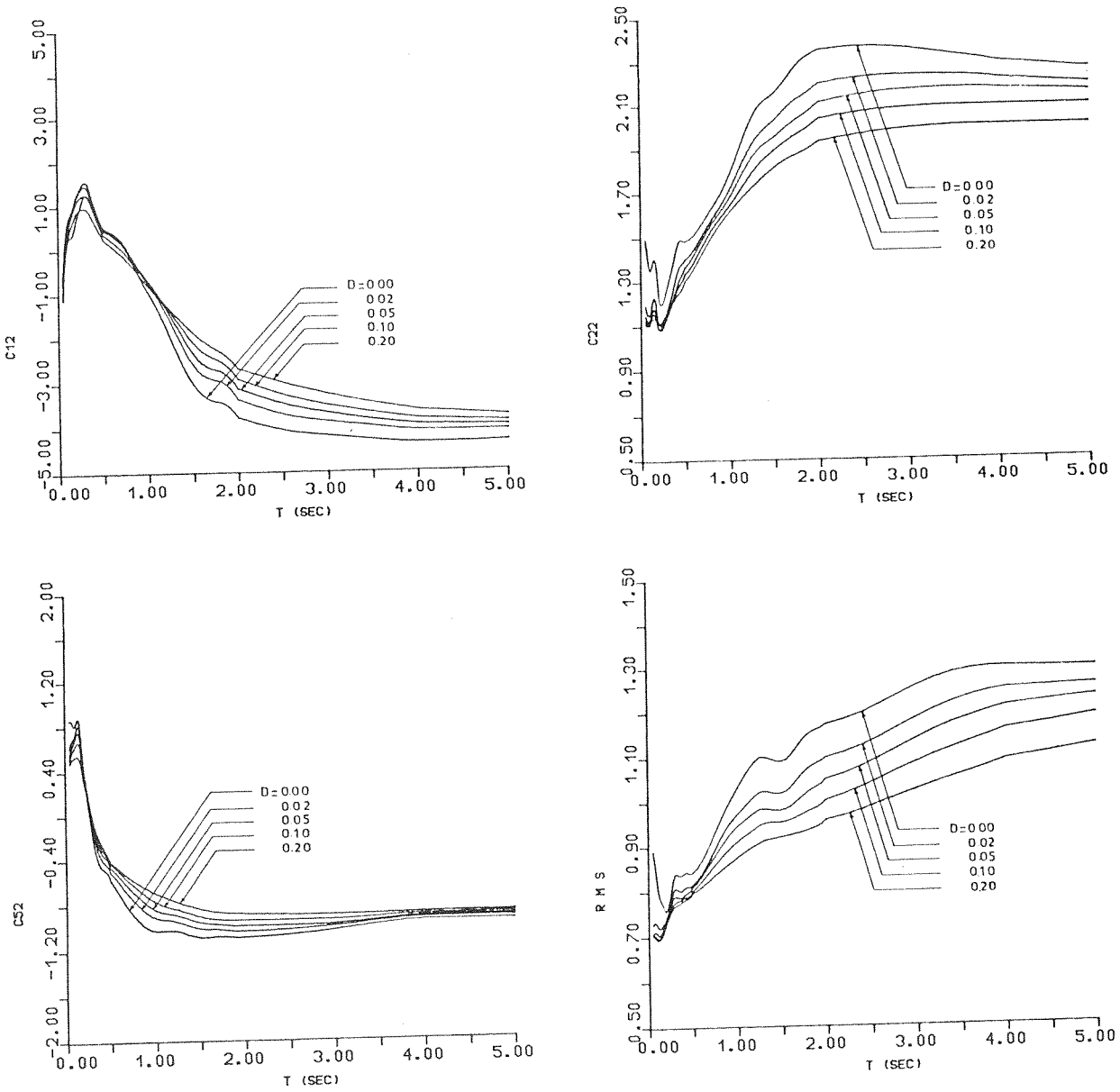
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.492	1.193	1.149	1.126	1.111
0.06	1.458	1.177	1.138	1.119	1.107
0.07	1.424	1.164	1.130	1.114	1.104
0.08	1.391	1.153	1.124	1.112	1.104
0.09	1.365	1.149	1.124	1.114	1.106
0.10	1.352	1.154	1.129	1.121	1.112
0.11	1.355	1.168	1.141	1.131	1.119
0.12	1.368	1.189	1.155	1.142	1.127
0.13	1.385	1.210	1.170	1.152	1.134
0.14	1.399	1.226	1.180	1.157	1.139
0.15	1.404	1.231	1.182	1.156	1.139
0.16	1.395	1.225	1.174	1.147	1.135
0.17	1.367	1.206	1.156	1.132	1.128
0.18	1.323	1.178	1.132	1.115	1.120
0.19	1.271	1.147	1.108	1.099	1.114
0.20	1.225	1.120	1.090	1.090	1.112
0.22	1.200	1.105	1.084	1.089	1.115
0.24	1.199	1.106	1.090	1.098	1.124
0.26	1.220	1.121	1.106	1.112	1.135
0.28	1.251	1.145	1.126	1.129	1.149
0.30	1.284	1.172	1.148	1.148	1.164
0.32	1.315	1.200	1.169	1.167	1.178
0.34	1.344	1.229	1.191	1.189	1.193
0.36	1.378	1.260	1.217	1.212	1.208
0.38	1.415	1.294	1.244	1.235	1.222
0.40	1.451	1.328	1.272	1.257	1.235
0.42	1.478	1.355	1.297	1.276	1.247
0.44	1.490	1.373	1.318	1.290	1.258
0.46	1.489	1.384	1.334	1.303	1.270
0.48	1.484	1.392	1.349	1.317	1.286
0.50	1.484	1.403	1.368	1.335	1.306
0.55	1.493	1.423	1.393	1.361	1.333
0.60	1.514	1.451	1.425	1.393	1.365
0.65	1.541	1.485	1.462	1.430	1.400
0.70	1.572	1.520	1.499	1.468	1.437
0.75	1.603	1.555	1.534	1.504	1.472
0.80	1.634	1.586	1.566	1.537	1.506
0.85	1.666	1.616	1.595	1.567	1.537
0.90	1.701	1.647	1.623	1.593	1.566
0.95	1.741	1.680	1.652	1.619	1.593
1.00	1.788	1.718	1.684	1.645	1.618
1.05	1.840	1.760	1.720	1.673	1.642
1.10	1.895	1.804	1.758	1.703	1.665
1.15	1.950	1.848	1.796	1.734	1.686
1.20	2.001	1.888	1.832	1.765	1.707
1.25	2.045	1.924	1.864	1.793	1.726
1.30	2.080	1.953	1.890	1.819	1.745
1.35	2.105	1.977	1.911	1.841	1.763
1.40	2.123	1.996	1.928	1.861	1.781
1.45	2.138	2.013	1.942	1.879	1.799
1.50	2.155	2.031	1.957	1.895	1.816
1.55	2.177	2.052	1.973	1.912	1.832
1.60	2.204	2.074	1.990	1.928	1.846
1.65	2.232	2.096	2.007	1.942	1.858
1.70	2.260	2.114	2.023	1.955	1.868
1.75	2.285	2.130	2.037	1.968	1.877
1.80	2.305	2.143	2.050	1.980	1.886
1.85	2.320	2.156	2.063	1.992	1.897
1.90	2.333	2.171	2.078	2.006	1.908
1.95	2.343	2.187	2.095	2.022	1.922
2.00	2.353	2.204	2.114	2.038	1.937
2.20	2.363	2.219	2.133	2.053	1.951
2.40	2.370	2.231	2.148	2.066	1.964
2.60	2.372	2.238	2.160	2.076	1.975
2.80	2.369	2.240	2.168	2.082	1.983
3.00	2.360	2.239	2.173	2.087	1.990
3.20	2.349	2.237	2.176	2.090	1.995
3.40	2.337	2.235	2.178	2.092	1.999
3.60	2.324	2.231	2.178	2.093	2.002
3.80	2.311	2.226	2.175	2.092	2.003
4.00	2.297	2.216	2.169	2.091	2.002
4.50	2.279	2.203	2.161	2.090	2.000
5.00	2.260	2.187	2.153	2.089	1.998

Πίνακας 4.24. Συντελεστές αναγωγής, $C_{52}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.4), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.855	0.616	0.551	0.518	0.485
0.06	0.862	0.647	0.584	0.545	0.500
0.07	0.859	0.672	0.612	0.568	0.513
0.08	0.844	0.688	0.633	0.586	0.523
0.09	0.824	0.699	0.650	0.600	0.531
0.10	0.811	0.712	0.668	0.614	0.537
0.11	0.815	0.733	0.690	0.631	0.544
0.12	0.833	0.762	0.717	0.649	0.549
0.13	0.857	0.792	0.743	0.665	0.552
0.14	0.874	0.815	0.760	0.673	0.549
0.15	0.872	0.820	0.760	0.669	0.538
0.16	0.842	0.798	0.737	0.649	0.517
0.17	0.782	0.747	0.689	0.612	0.486
0.18	0.693	0.668	0.618	0.556	0.445
0.19	0.579	0.568	0.531	0.485	0.393
0.20	0.446	0.455	0.432	0.401	0.331
0.22	0.302	0.334	0.326	0.308	0.259
0.24	0.156	0.211	0.217	0.210	0.183
0.26	0.017	0.091	0.110	0.113	0.105
0.28	-0.109	-0.022	0.007	0.022	0.031
0.30	-0.217	-0.123	-0.086	-0.061	-0.036
0.32	-0.306	-0.209	-0.165	-0.132	-0.096
0.34	-0.373	-0.278	-0.230	-0.191	-0.146
0.36	-0.420	-0.329	-0.278	-0.237	-0.190
0.38	-0.451	-0.365	-0.313	-0.272	-0.227
0.40	-0.469	-0.391	-0.339	-0.299	-0.259
0.42	-0.481	-0.410	-0.359	-0.322	-0.289
0.44	-0.491	-0.426	-0.377	-0.343	-0.317
0.46	-0.506	-0.444	-0.397	-0.366	-0.346
0.48	-0.533	-0.469	-0.423	-0.393	-0.375
0.50	-0.577	-0.504	-0.458	-0.426	-0.408
0.55	-0.638	-0.550	-0.501	-0.464	-0.442
0.60	-0.707	-0.603	-0.549	-0.505	-0.478
0.65	-0.776	-0.658	-0.597	-0.546	-0.514
0.70	-0.837	-0.709	-0.642	-0.585	-0.548
0.75	-0.889	-0.756	-0.683	-0.622	-0.578
0.80	-0.934	-0.797	-0.720	-0.656	-0.605
0.85	-0.971	-0.835	-0.757	-0.689	-0.630
0.90	-1.001	-0.868	-0.791	-0.720	-0.653
0.95	-1.020	-0.894	-0.820	-0.749	-0.674
1.00	-1.027	-0.913	-0.843	-0.773	-0.694
1.05	-1.025	-0.923	-0.859	-0.792	-0.712
1.10	-1.020	-0.929	-0.870	-0.807	-0.730
1.15	-1.018	-0.933	-0.877	-0.819	-0.746
1.20	-1.022	-0.940	-0.885	-0.830	-0.761
1.25	-1.032	-0.950	-0.895	-0.842	-0.776
1.30	-1.045	-0.964	-0.907	-0.855	-0.791
1.35	-1.059	-0.978	-0.921	-0.868	-0.804
1.40	-1.072	-0.992	-0.935	-0.882	-0.817
1.45	-1.081	-1.004	-0.947	-0.894	-0.829
1.50	-1.086	-1.011	-0.956	-0.906	-0.840
1.55	-1.086	-1.015	-0.962	-0.915	-0.849
1.60	-1.081	-1.015	-0.967	-0.922	-0.856
1.65	-1.077	-1.016	-0.970	-0.928	-0.862
1.70	-1.076	-1.019	-0.975	-0.932	-0.867
1.75	-1.079	-1.024	-0.979	-0.936	-0.871
1.80	-1.084	-1.029	-0.984	-0.938	-0.874
1.85	-1.089	-1.034	-0.988	-0.939	-0.877
1.90	-1.092	-1.036	-0.990	-0.939	-0.879
1.95	-1.091	-1.035	-0.990	-0.939	-0.881
2.00	-1.086	-1.031	-0.989	-0.939	-0.884
2.20	-1.078	-1.026	-0.987	-0.939	-0.887
2.40	-1.068	-1.020	-0.986	-0.941	-0.891
2.60	-1.057	-1.014	-0.984	-0.941	-0.894
2.80	-1.044	-1.005	-0.979	-0.940	-0.896
3.00	-1.027	-0.993	-0.971	-0.936	-0.895
3.20	-1.008	-0.978	-0.960	-0.928	-0.892
3.40	-0.988	-0.962	-0.946	-0.919	-0.888
3.60	-0.970	-0.946	-0.932	-0.909	-0.883
3.80	-0.958	-0.934	-0.921	-0.901	-0.879
4.00	-0.952	-0.926	-0.913	-0.895	-0.876
4.50	-0.953	-0.924	-0.908	-0.891	-0.874
5.00	-0.959	-0.925	-0.906	-0.888	-0.873

Πίνακας 4.25. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.4), για επιφανειακό μέγεθος, των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.890	0.727	0.709	0.707	0.704
0.06	0.878	0.731	0.711	0.706	0.703
0.07	0.864	0.733	0.712	0.705	0.701
0.08	0.848	0.733	0.712	0.703	0.699
0.09	0.831	0.731	0.711	0.701	0.697
0.10	0.815	0.727	0.708	0.699	0.695
0.11	0.801	0.723	0.706	0.697	0.694
0.12	0.792	0.720	0.705	0.698	0.695
0.13	0.785	0.719	0.705	0.699	0.696
0.14	0.780	0.720	0.707	0.701	0.699
0.15	0.776	0.722	0.711	0.704	0.702
0.16	0.773	0.725	0.715	0.707	0.705
0.17	0.768	0.729	0.719	0.711	0.710
0.18	0.763	0.731	0.723	0.715	0.715
0.19	0.758	0.734	0.728	0.721	0.722
0.20	0.757	0.740	0.735	0.729	0.730
0.22	0.765	0.752	0.746	0.739	0.739
0.24	0.783	0.768	0.760	0.751	0.748
0.26	0.805	0.786	0.774	0.762	0.756
0.28	0.825	0.800	0.785	0.771	0.763
0.30	0.838	0.808	0.790	0.776	0.768
0.32	0.841	0.808	0.791	0.778	0.771
0.34	0.838	0.804	0.789	0.780	0.773
0.36	0.836	0.802	0.788	0.782	0.775
0.38	0.837	0.803	0.789	0.784	0.778
0.40	0.840	0.807	0.792	0.786	0.780
0.42	0.844	0.810	0.795	0.788	0.782
0.44	0.844	0.812	0.798	0.789	0.784
0.46	0.842	0.811	0.801	0.791	0.787
0.48	0.840	0.812	0.804	0.795	0.791
0.50	0.843	0.816	0.811	0.802	0.797
0.55	0.852	0.826	0.821	0.812	0.803
0.60	0.868	0.839	0.834	0.823	0.811
0.65	0.887	0.856	0.849	0.835	0.819
0.70	0.908	0.875	0.864	0.847	0.827
0.75	0.931	0.894	0.879	0.859	0.836
0.80	0.953	0.913	0.895	0.870	0.844
0.85	0.975	0.932	0.909	0.882	0.852
0.90	0.995	0.948	0.923	0.892	0.860
0.95	1.013	0.961	0.935	0.902	0.867
1.00	1.031	0.972	0.945	0.910	0.875
1.05	1.048	0.982	0.953	0.918	0.882
1.10	1.065	0.993	0.961	0.925	0.888
1.15	1.079	1.003	0.969	0.932	0.895
1.20	1.091	1.013	0.976	0.939	0.901
1.25	1.099	1.020	0.982	0.946	0.906
1.30	1.102	1.024	0.985	0.950	0.911
1.35	1.100	1.023	0.985	0.953	0.914
1.40	1.096	1.021	0.983	0.954	0.916
1.45	1.092	1.019	0.981	0.954	0.918
1.50	1.091	1.019	0.981	0.954	0.920
1.55	1.095	1.023	0.984	0.956	0.922
1.60	1.104	1.031	0.989	0.959	0.924
1.65	1.117	1.043	0.997	0.963	0.927
1.70	1.130	1.055	1.006	0.968	0.929
1.75	1.142	1.066	1.014	0.973	0.932
1.80	1.151	1.075	1.022	0.978	0.935
1.85	1.157	1.081	1.028	0.982	0.939
1.90	1.161	1.086	1.034	0.987	0.943
1.95	1.166	1.092	1.040	0.994	0.949
2.00	1.172	1.099	1.049	1.003	0.958
2.20	1.183	1.110	1.062	1.016	0.968
2.40	1.197	1.125	1.079	1.032	0.981
2.60	1.216	1.143	1.098	1.050	0.995
2.80	1.236	1.164	1.118	1.069	1.010
3.00	1.256	1.184	1.138	1.086	1.024
3.20	1.273	1.203	1.157	1.103	1.038
3.40	1.286	1.219	1.172	1.117	1.051
3.60	1.294	1.232	1.186	1.131	1.063
3.80	1.298	1.242	1.198	1.144	1.076
4.00	1.300	1.249	1.209	1.158	1.090
4.50	1.299	1.253	1.220	1.172	1.105
5.00	1.298	1.257	1.230	1.188	1.121



Σχ. 4.31. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (4.4), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.

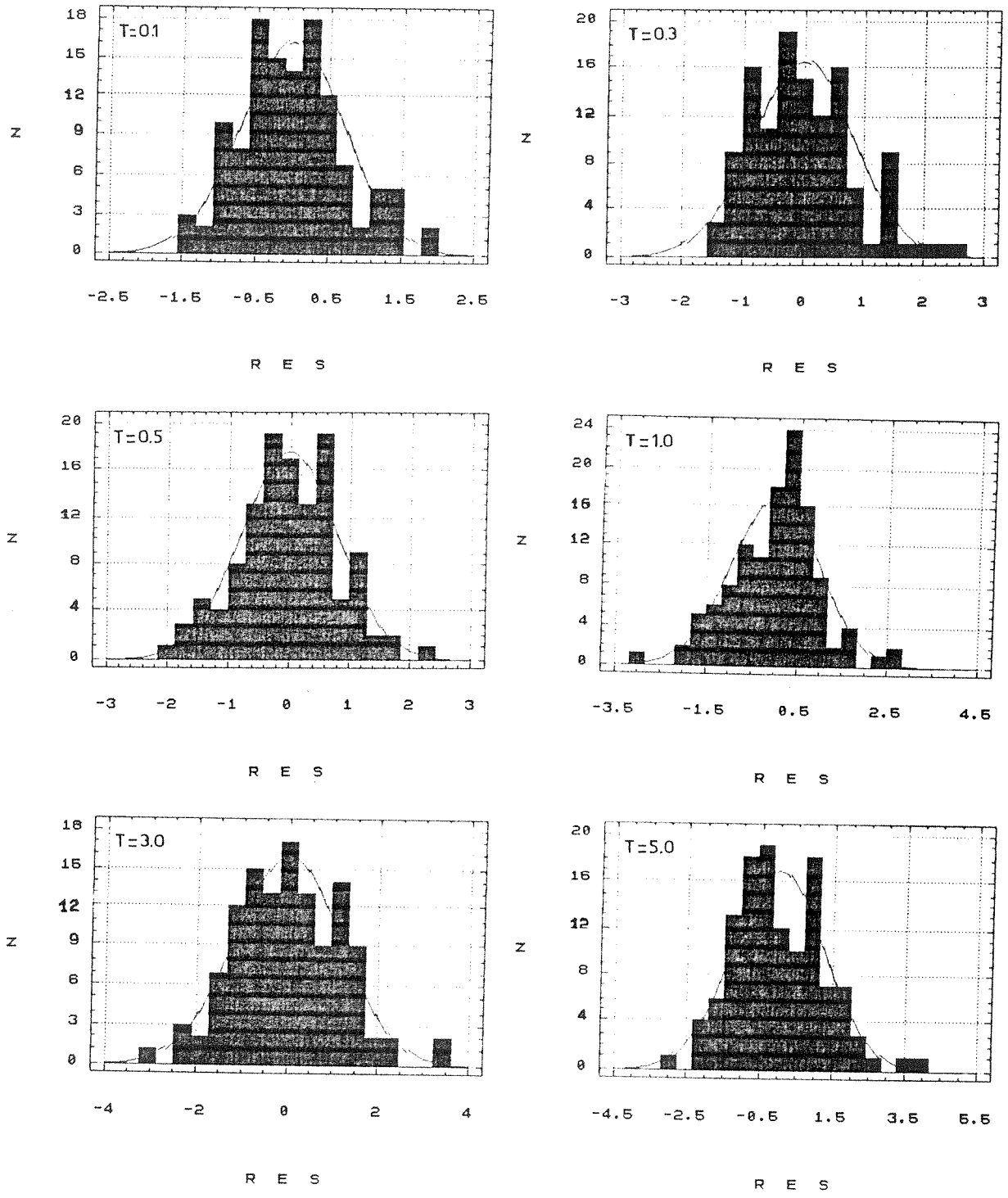
οποία έχουν προκύψει με βάση τη σχέση (4.4) για την οριζόντια ψευδοταχύτητα, δίνονται στο σχήμα (4.32) για περιόδους T=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 sec και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Οπως φαίνεται από το σχήμα αυτό για περιόδους, T≤3.0 sec, η καμπύλη η οποία προσαρμόζεται καλύτερα στα ιστογράμματα είναι εκείνη της κανονικής κατανομής. Το ίδιο δεν ισχύει ικανοποιητικά και για τις μεγαλύτερες περιόδους όπως διαπιστώθηκε και για το δείγμα των φασμάτων απόκρισης μόνο των επιφανειακών Ελληνικών σεισμών. Ανάλογα συμπεράσματα ισχύουν και για τους υπόλοιπους παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.10, 0.20.

Στο σχήμα (4.33) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας για επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}$=0 km, για επιφανειακά μεγέθη Ms=5.0,6.0,7.0,7.5 και για εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα", S=1, και "αλλουβιακές αποθέσεις", S=0. Στο σχήμα (4.34) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης ψευδοταχύτητας για επιφανειακό μέγεθος, Ms=6.5, για επικεντρικές αποστάσεις, $R_{\varepsilon\pi}$=0, 25, 50, 100 km και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών.

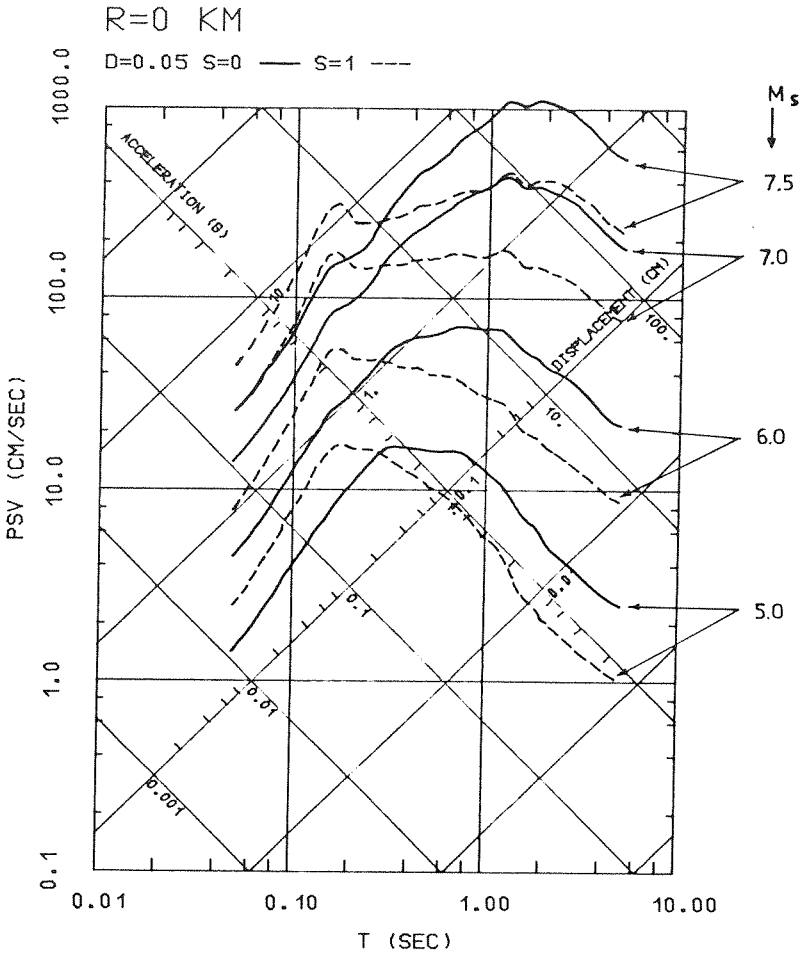
4.4. Απόσβεση της Οριζόντιας Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους.

4.4.1. Δεδομένα παρατήρησης

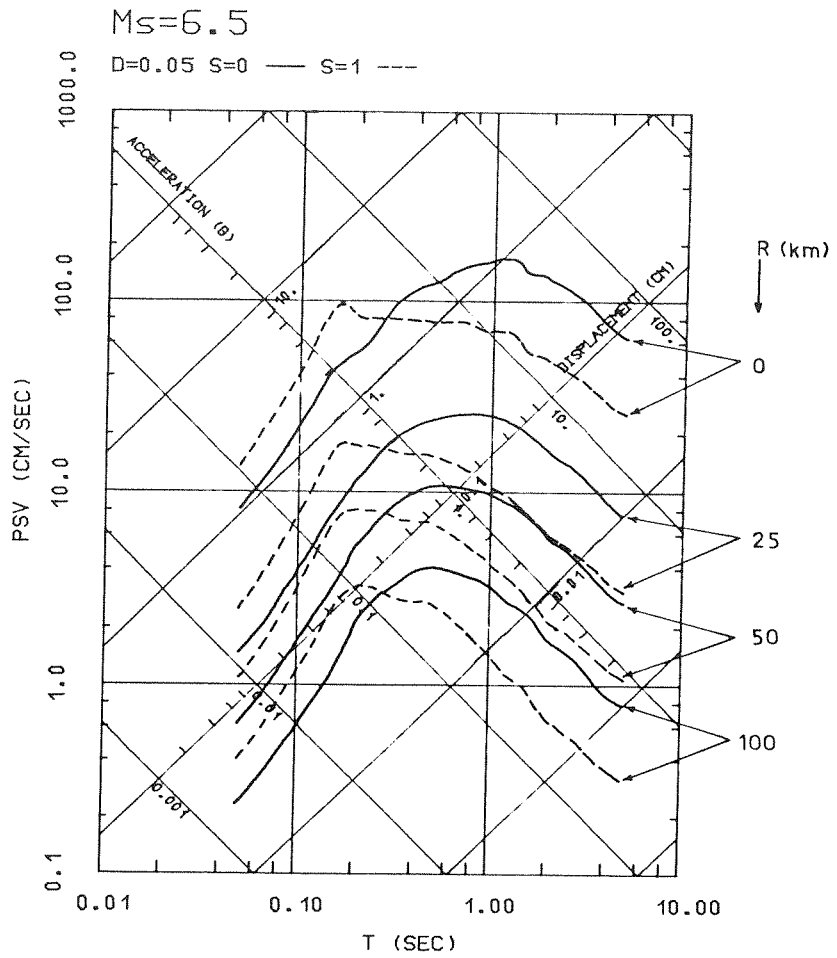
Τα φάσματα απόκρισης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους που χρησιμοποιήθηκαν στη διατριβή αυτή δίνονται στο Παράρτημα Δ σε τριλογαριθμικό χαρτί, για τις 70 οριζόντιες συνιστώσες. Τα κριτήρια επιλογής των δεδομένων αυτών αναφέρονται στο δεύτερο κεφάλαιο της διατριβής, ενώ αναλυτική παρουσίαση των παραμέτρων των δεδομένων γίνεται στους πίνακες (2.11) και (2.12).



Σχ. 4.32. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (4.4), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_w\leq 7.5$, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης, D=0.05.



Σχ. 4.33. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.



Σχ. 4.34. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.

4.4.2. Μεθοδολογία

Οι συντελεστές αναγωγής της σχέσης απόσβεσης των φασματικών ψευδοταχυτήτων των σεισμών ενδιαμέσου βάθους υπολογίσθηκαν με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο υπολογίσθηκαν οι ανάλογοι των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου. Η μόνη διαφορά είναι ότι ο συντελεστής C_4 της σχέσης (2.11) θεωρήθηκε σταθερός με την περίοδο με τιμή $C_4=0$, αφού η απόσταση μεταξύ σεισμικής εστίας και θέσης καταγραφής μετριέται από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, R_{CER}, της επιφάνειας του ρήγματος. Ετσι, η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συντελεστών αναγωγής, με τα τρία βήματα που περιγράφονται στην παράγραφο (2.2.2), είναι η (4.3).

4.4.3. Σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

Στους πίνακες (4.26) έως (4.30) και στο σχήμα (4.35) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής $C_{13}(T)$, $C_{22}(T)$, $C_{33}(T)$, $C_{52}(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, για παράγοντες απόσβεσης D=0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 της κρίσιμης όπως έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (4.3) για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T). Οι συντελεστές αυτοί έχουν εξομαλυνθεί με τη μέθοδο του (1/4+1/2+1/4) "κινητού μέσου" κατά μήκος του άξονα log(T).

Το μοντέλο πρόβλεψης της σχέσης (4.3), με $C_4=0$, θεωρήθηκε επαρκές αφού έχει αποδειχθεί (κεφάλαιο 2) για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση και για το ίδιο δείγμα δεδομένων η επάρκειά του. Η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση τη σχέση (4.3) για την οριζόντια ψευδοταχύτητα, δίνεται στο σχήμα (4.36) για περιόδους T=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Οπως φαίνεται από το σχήμα αυτό η καμπύλη η οποία προσαρμόζεται καλύτερα στα ιστογράμματα

Πίνακας 4.26. Συντελεστές αναγωγής, $C_{13}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-0.001	-0.970	-1.032	-1.225	-1.296
0.06	0.201	-0.587	-0.719	-0.926	-1.081
0.07	0.419	-0.225	-0.415	-0.638	-0.867
0.08	0.629	0.091	-0.130	-0.369	-0.660
0.09	0.776	0.342	0.117	-0.130	-0.464
0.10	0.814	0.518	0.315	0.077	-0.286
0.11	0.748	0.628	0.466	0.252	-0.127
0.12	0.634	0.695	0.579	0.399	0.013
0.13	0.550	0.750	0.670	0.520	0.140
0.14	0.553	0.810	0.747	0.617	0.251
0.15	0.656	0.880	0.814	0.689	0.341
0.16	0.829	0.953	0.870	0.733	0.403
0.17	1.014	1.015	0.908	0.748	0.432
0.18	1.160	1.053	0.917	0.731	0.430
0.19	1.235	1.057	0.889	0.682	0.406
0.20	1.240	1.024	0.826	0.609	0.372
0.22	1.191	0.961	0.741	0.531	0.345
0.24	1.108	0.885	0.661	0.473	0.337
0.26	0.999	0.813	0.611	0.455	0.360
0.28	0.882	0.767	0.609	0.491	0.413
0.30	0.790	0.766	0.661	0.576	0.488
0.32	0.767	0.821	0.762	0.693	0.565
0.34	0.843	0.926	0.887	0.811	0.625
0.36	1.010	1.050	1.000	0.898	0.649
0.38	1.220	1.150	1.064	0.930	0.630
0.40	1.414	1.191	1.052	0.900	0.573
0.42	1.534	1.157	0.967	0.818	0.486
0.44	1.543	1.056	0.829	0.702	0.377
0.46	1.426	0.905	0.664	0.561	0.245
0.48	1.200	0.716	0.484	0.394	0.084
0.50	0.902	0.490	0.280	0.189	-0.110
0.55	0.570	0.217	0.035	-0.061	-0.335
0.60	0.222	-0.115	-0.263	-0.353	-0.576
0.65	-0.133	-0.496	-0.603	-0.665	-0.812
0.70	-0.481	-0.886	-0.947	-0.966	-1.026
0.75	-0.787	-1.228	-1.250	-1.230	-1.212
0.80	-1.023	-1.479	-1.480	-1.441	-1.371
0.85	-1.191	-1.633	-1.638	-1.605	-1.513
0.90	-1.333	-1.728	-1.747	-1.736	-1.646
0.95	-1.506	-1.822	-1.844	-1.853	-1.778
1.00	-1.753	-1.960	-1.961	-1.970	-1.914
1.05	-2.088	-2.170	-2.116	-2.102	-2.056
1.10	-2.502	-2.453	-2.319	-2.258	-2.205
1.15	-2.971	-2.796	-2.570	-2.443	-2.363
1.20	-3.461	-3.171	-2.855	-2.657	-2.530
1.25	-3.930	-3.542	-3.151	-2.891	-2.704
1.30	-4.328	-3.870	-3.433	-3.130	-2.879
1.35	-4.615	-4.125	-3.678	-3.362	-3.050
1.40	-4.769	-4.294	-3.878	-3.574	-3.208
1.45	-4.798	-4.385	-4.033	-3.755	-3.348
1.50	-4.732	-4.416	-4.145	-3.900	-3.469
1.55	-4.611	-4.410	-4.219	-4.005	-3.570
1.60	-4.476	-4.384	-4.255	-4.069	-3.653
1.65	-4.361	-4.342	-4.253	-4.096	-3.720
1.70	-4.288	-4.287	-4.217	-4.093	-3.773
1.75	-4.262	-4.224	-4.160	-4.069	-3.813
1.80	-4.282	-4.172	-4.101	-4.039	-3.845
1.85	-4.340	-4.154	-4.064	-4.018	-3.875
1.90	-4.429	-4.184	-4.069	-4.022	-3.911
1.95	-4.543	-4.266	-4.124	-4.059	-3.961
2.00	-4.668	-4.385	-4.223	-4.135	-4.035
2.20	-4.794	-4.521	-4.354	-4.247	-4.140
2.40	-4.910	-4.658	-4.500	-4.386	-4.279
2.60	-5.011	-4.785	-4.647	-4.542	-4.444
2.80	-5.091	-4.897	-4.785	-4.699	-4.623
3.00	-5.145	-4.990	-4.906	-4.846	-4.797
3.20	-5.176	-5.066	-5.011	-4.972	-4.951
3.40	-5.202	-5.131	-5.099	-5.076	-5.077
3.60	-5.246	-5.194	-5.176	-5.155	-5.171
3.80	-5.320	-5.259	-5.242	-5.213	-5.238
4.00	-5.415	-5.318	-5.296	-5.249	-5.283
4.50	-5.513	-5.363	-5.338	-5.268	-5.313
5.00	-5.606	-5.396	-5.372	-5.277	-5.335

Πίνακας 4.27. Συντελεστές αναγωγής, $C_{22}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.751	0.750	0.694	0.680	0.676
0.06	0.791	0.738	0.693	0.676	0.671
0.07	0.820	0.723	0.689	0.671	0.664
0.08	0.835	0.706	0.679	0.663	0.657
0.09	0.838	0.689	0.668	0.656	0.649
0.10	0.837	0.673	0.657	0.650	0.643
0.11	0.837	0.663	0.650	0.648	0.639
0.12	0.839	0.658	0.648	0.648	0.636
0.13	0.843	0.658	0.649	0.649	0.635
0.14	0.846	0.661	0.651	0.648	0.633
0.15	0.845	0.663	0.652	0.645	0.631
0.16	0.842	0.665	0.650	0.640	0.630
0.17	0.835	0.667	0.648	0.635	0.631
0.18	0.826	0.668	0.646	0.630	0.636
0.19	0.815	0.667	0.645	0.628	0.643
0.20	0.802	0.664	0.644	0.630	0.654
0.22	0.788	0.661	0.646	0.638	0.666
0.24	0.776	0.659	0.652	0.650	0.678
0.26	0.770	0.661	0.661	0.664	0.689
0.28	0.769	0.667	0.671	0.677	0.697
0.30	0.772	0.678	0.681	0.688	0.702
0.32	0.779	0.693	0.691	0.695	0.706
0.34	0.793	0.712	0.704	0.703	0.710
0.36	0.816	0.737	0.721	0.715	0.717
0.38	0.848	0.767	0.745	0.733	0.729
0.40	0.885	0.800	0.775	0.758	0.747
0.42	0.921	0.833	0.809	0.788	0.771
0.44	0.954	0.868	0.848	0.824	0.800
0.46	0.992	0.910	0.893	0.865	0.836
0.48	1.041	0.967	0.949	0.916	0.879
0.50	1.110	1.038	1.014	0.974	0.930
0.55	1.192	1.118	1.084	1.039	0.985
0.60	1.274	1.195	1.151	1.102	1.041
0.65	1.338	1.257	1.206	1.158	1.093
0.70	1.372	1.296	1.244	1.202	1.137
0.75	1.379	1.315	1.267	1.231	1.171
0.80	1.372	1.320	1.278	1.249	1.195
0.85	1.365	1.323	1.284	1.259	1.210
0.90	1.367	1.327	1.291	1.264	1.218
0.95	1.378	1.337	1.299	1.269	1.224
1.00	1.394	1.351	1.309	1.273	1.227
1.05	1.409	1.365	1.319	1.277	1.228
1.10	1.417	1.374	1.327	1.280	1.229
1.15	1.413	1.374	1.328	1.279	1.228
1.20	1.398	1.363	1.321	1.275	1.224
1.25	1.374	1.341	1.306	1.266	1.218
1.30	1.348	1.313	1.285	1.254	1.209
1.35	1.321	1.280	1.261	1.240	1.199
1.40	1.293	1.249	1.236	1.225	1.187
1.45	1.264	1.221	1.213	1.209	1.175
1.50	1.234	1.198	1.193	1.194	1.163
1.55	1.204	1.181	1.177	1.180	1.153
1.60	1.178	1.169	1.165	1.169	1.143
1.65	1.158	1.159	1.156	1.160	1.136
1.70	1.146	1.151	1.147	1.152	1.129
1.75	1.138	1.141	1.138	1.144	1.123
1.80	1.131	1.127	1.125	1.134	1.118
1.85	1.121	1.110	1.110	1.122	1.112
1.90	1.110	1.094	1.094	1.108	1.105
1.95	1.099	1.082	1.082	1.095	1.099
2.00	1.095	1.078	1.077	1.086	1.095
2.20	1.105	1.086	1.083	1.087	1.095
2.40	1.132	1.107	1.102	1.098	1.102
2.60	1.176	1.141	1.131	1.121	1.116
2.80	1.231	1.182	1.168	1.151	1.136
3.00	1.286	1.223	1.204	1.185	1.160
3.20	1.332	1.259	1.236	1.216	1.184
3.40	1.366	1.287	1.261	1.242	1.207
3.60	1.394	1.311	1.282	1.264	1.225
3.80	1.421	1.334	1.302	1.281	1.238
4.00	1.454	1.363	1.325	1.295	1.246
4.50	1.492	1.399	1.351	1.307	1.251
5.00	1.534	1.440	1.380	1.318	1.254

Πίνακας 4.28. Συντελεστές αναγωγής, $C_{33}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

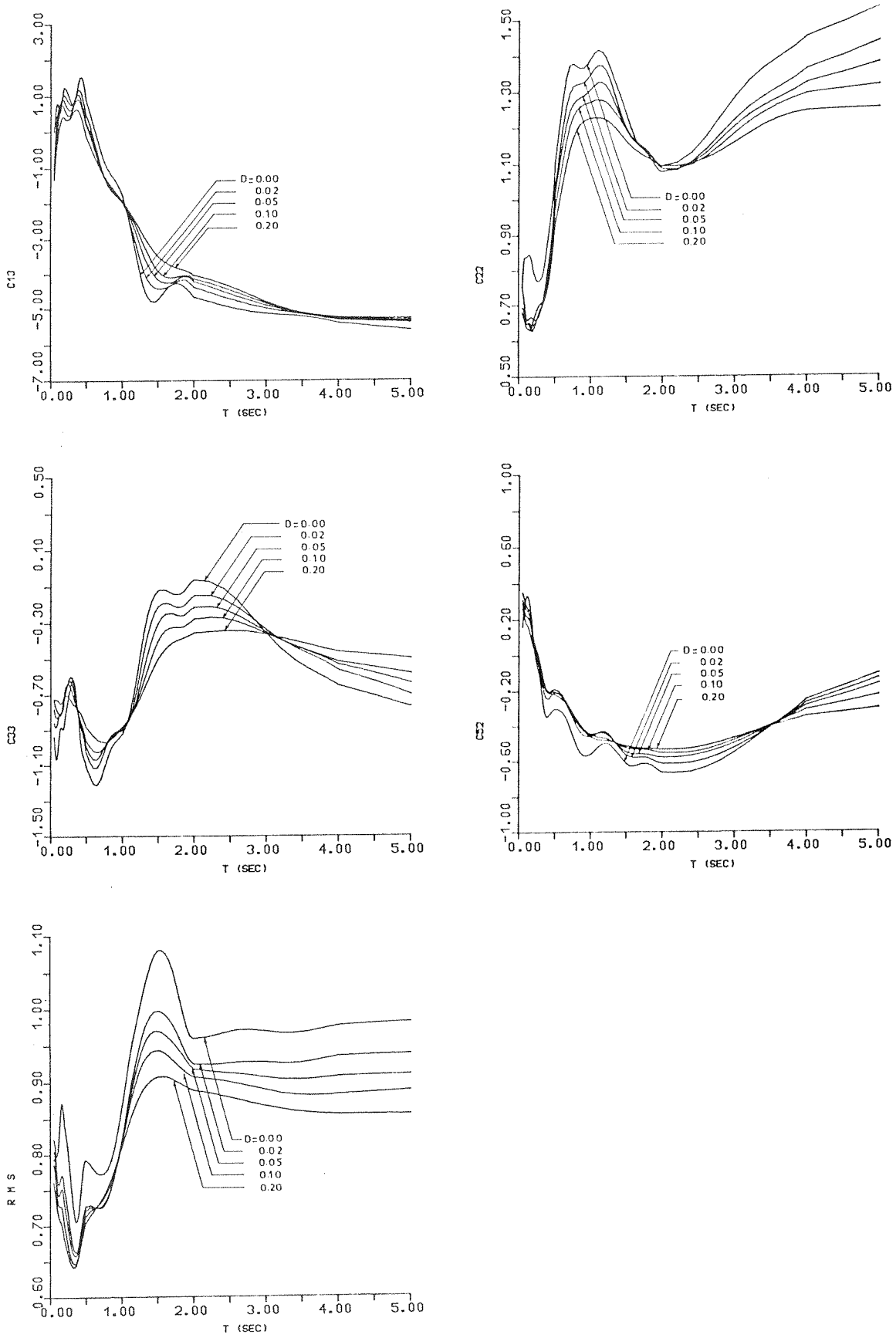
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-0.938	-0.858	-0.778	-0.729	-0.722
0.06	-0.994	-0.873	-0.798	-0.745	-0.721
0.07	-1.039	-0.883	-0.814	-0.759	-0.721
0.08	-1.064	-0.884	-0.823	-0.770	-0.721
0.09	-1.062	-0.875	-0.825	-0.779	-0.723
0.10	-1.034	-0.857	-0.822	-0.787	-0.726
0.11	-0.989	-0.835	-0.817	-0.796	-0.731
0.12	-0.940	-0.816	-0.814	-0.805	-0.736
0.13	-0.901	-0.803	-0.812	-0.811	-0.741
0.14	-0.881	-0.797	-0.810	-0.811	-0.744
0.15	-0.879	-0.794	-0.805	-0.803	-0.743
0.16	-0.888	-0.792	-0.795	-0.787	-0.738
0.17	-0.896	-0.786	-0.781	-0.763	-0.729
0.18	-0.892	-0.773	-0.759	-0.734	-0.719
0.19	-0.869	-0.751	-0.731	-0.702	-0.709
0.20	-0.829	-0.717	-0.697	-0.672	-0.702
0.22	-0.780	-0.678	-0.662	-0.649	-0.699
0.24	-0.729	-0.639	-0.635	-0.638	-0.702
0.26	-0.684	-0.610	-0.621	-0.641	-0.711
0.28	-0.646	-0.595	-0.621	-0.655	-0.723
0.30	-0.620	-0.597	-0.634	-0.677	-0.737
0.32	-0.614	-0.618	-0.659	-0.703	-0.750
0.34	-0.640	-0.658	-0.695	-0.731	-0.760
0.36	-0.704	-0.714	-0.737	-0.760	-0.769
0.38	-0.794	-0.776	-0.781	-0.787	-0.776
0.40	-0.891	-0.830	-0.819	-0.812	-0.784
0.42	-0.971	-0.871	-0.849	-0.835	-0.796
0.44	-1.023	-0.901	-0.874	-0.859	-0.811
0.46	-1.053	-0.931	-0.904	-0.887	-0.832
0.48	-1.076	-0.971	-0.943	-0.921	-0.856
0.50	-1.111	-1.024	-0.991	-0.958	-0.882
0.55	-1.158	-1.077	-1.036	-0.993	-0.909
0.60	-1.200	-1.112	-1.063	-1.017	-0.933
0.65	-1.211	-1.113	-1.063	-1.024	-0.952
0.70	-1.180	-1.079	-1.037	-1.016	-0.964
0.75	-1.117	-1.024	-0.997	-0.995	-0.967
0.80	-1.049	-0.971	-0.956	-0.968	-0.962
0.85	-0.998	-0.934	-0.926	-0.942	-0.949
0.90	-0.967	-0.916	-0.907	-0.918	-0.930
0.95	-0.946	-0.908	-0.896	-0.897	-0.908
1.00	-0.920	-0.899	-0.885	-0.878	-0.883
1.05	-0.875	-0.876	-0.868	-0.856	-0.856
1.10	-0.805	-0.834	-0.839	-0.829	-0.827
1.15	-0.708	-0.767	-0.791	-0.792	-0.795
1.20	-0.590	-0.676	-0.725	-0.745	-0.757
1.25	-0.463	-0.571	-0.645	-0.687	-0.715
1.30	-0.345	-0.464	-0.559	-0.624	-0.669
1.35	-0.250	-0.368	-0.477	-0.559	-0.622
1.40	-0.183	-0.292	-0.404	-0.498	-0.577
1.45	-0.142	-0.239	-0.343	-0.442	-0.534
1.50	-0.121	-0.207	-0.297	-0.395	-0.497
1.55	-0.114	-0.191	-0.266	-0.359	-0.465
1.60	-0.116	-0.188	-0.248	-0.336	-0.440
1.65	-0.125	-0.193	-0.244	-0.324	-0.420
1.70	-0.136	-0.203	-0.249	-0.320	-0.405
1.75	-0.142	-0.211	-0.256	-0.321	-0.394
1.80	-0.140	-0.213	-0.259	-0.321	-0.385
1.85	-0.125	-0.203	-0.254	-0.316	-0.378
1.90	-0.102	-0.183	-0.241	-0.305	-0.369
1.95	-0.076	-0.161	-0.223	-0.289	-0.359
2.00	-0.060	-0.145	-0.209	-0.274	-0.349
2.20	-0.068	-0.146	-0.208	-0.267	-0.341
2.40	-0.106	-0.169	-0.224	-0.272	-0.337
2.60	-0.175	-0.214	-0.258	-0.292	-0.339
2.80	-0.263	-0.272	-0.302	-0.322	-0.348
3.00	-0.357	-0.335	-0.350	-0.358	-0.362
3.20	-0.440	-0.392	-0.393	-0.393	-0.380
3.40	-0.507	-0.438	-0.429	-0.427	-0.400
3.60	-0.557	-0.477	-0.460	-0.458	-0.421
3.80	-0.600	-0.516	-0.493	-0.487	-0.441
4.00	-0.646	-0.564	-0.532	-0.517	-0.460
4.50	-0.702	-0.626	-0.581	-0.549	-0.479
5.00	-0.764	-0.699	-0.636	-0.582	-0.497

Πίνακας 4.29. Συντελεστές αναγωγής, $C_{52}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

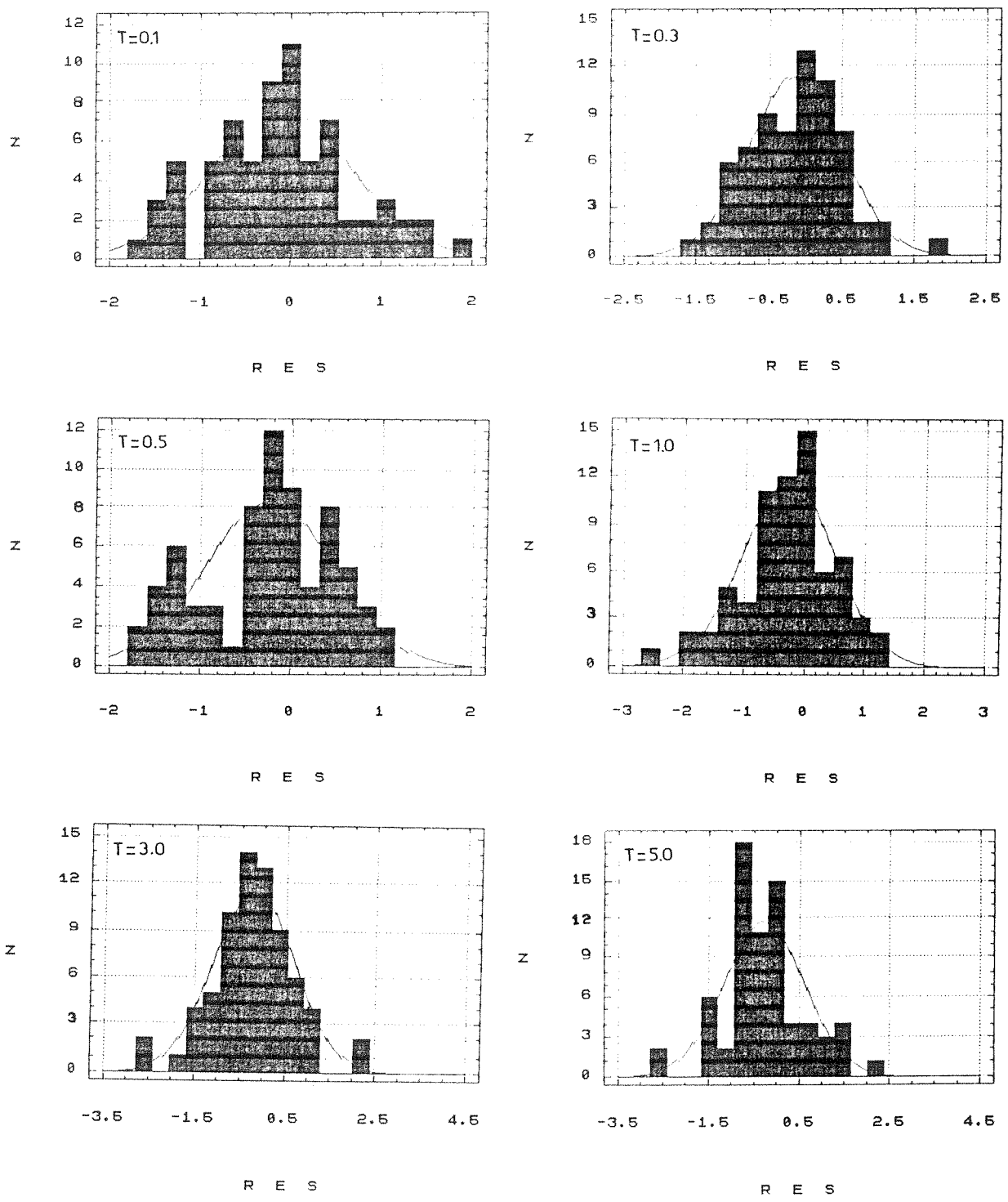
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.160	0.352	0.309	0.293	0.265
0.06	0.218	0.344	0.303	0.279	0.249
0.07	0.262	0.333	0.294	0.264	0.233
0.08	0.291	0.319	0.283	0.249	0.217
0.09	0.308	0.304	0.272	0.236	0.201
0.10	0.322	0.291	0.263	0.227	0.189
0.11	0.331	0.280	0.256	0.221	0.179
0.12	0.333	0.270	0.250	0.217	0.171
0.13	0.324	0.262	0.244	0.213	0.163
0.14	0.306	0.256	0.237	0.208	0.153
0.15	0.283	0.252	0.228	0.200	0.141
0.16	0.258	0.247	0.217	0.188	0.125
0.17	0.227	0.236	0.200	0.171	0.109
0.18	0.185	0.210	0.176	0.149	0.091
0.19	0.129	0.168	0.145	0.124	0.073
0.20	0.066	0.115	0.110	0.097	0.055
0.22	0.008	0.063	0.074	0.071	0.036
0.24	-0.036	0.018	0.043	0.046	0.016
0.26	-0.069	-0.017	0.014	0.021	-0.007
0.28	-0.104	-0.050	-0.016	-0.007	-0.034
0.30	-0.153	-0.088	-0.052	-0.041	-0.065
0.32	-0.214	-0.132	-0.094	-0.080	-0.099
0.34	-0.275	-0.177	-0.136	-0.120	-0.133
0.36	-0.320	-0.213	-0.171	-0.155	-0.163
0.38	-0.342	-0.233	-0.194	-0.180	-0.186
0.40	-0.343	-0.239	-0.204	-0.195	-0.200
0.42	-0.335	-0.235	-0.203	-0.200	-0.208
0.44	-0.323	-0.226	-0.198	-0.200	-0.210
0.46	-0.313	-0.216	-0.191	-0.198	-0.211
0.48	-0.304	-0.208	-0.186	-0.198	-0.213
0.50	-0.299	-0.205	-0.187	-0.201	-0.218
0.55	-0.300	-0.211	-0.197	-0.210	-0.228
0.60	-0.314	-0.229	-0.217	-0.226	-0.243
0.65	-0.346	-0.262	-0.250	-0.251	-0.265
0.70	-0.395	-0.305	-0.291	-0.283	-0.292
0.75	-0.453	-0.353	-0.334	-0.320	-0.324
0.80	-0.507	-0.396	-0.373	-0.356	-0.358
0.85	-0.546	-0.430	-0.404	-0.388	-0.391
0.90	-0.566	-0.451	-0.426	-0.414	-0.420
0.95	-0.569	-0.460	-0.438	-0.434	-0.444
1.00	-0.559	-0.458	-0.442	-0.447	-0.461
1.05	-0.541	-0.448	-0.440	-0.456	-0.472
1.10	-0.521	-0.436	-0.436	-0.461	-0.477
1.15	-0.503	-0.428	-0.434	-0.464	-0.480
1.20	-0.495	-0.430	-0.439	-0.469	-0.481
1.25	-0.499	-0.443	-0.451	-0.475	-0.484
1.30	-0.513	-0.465	-0.470	-0.484	-0.488
1.35	-0.536	-0.493	-0.491	-0.495	-0.493
1.40	-0.562	-0.521	-0.513	-0.506	-0.499
1.45	-0.589	-0.545	-0.532	-0.516	-0.506
1.50	-0.610	-0.563	-0.546	-0.524	-0.511
1.55	-0.623	-0.573	-0.554	-0.528	-0.516
1.60	-0.627	-0.577	-0.558	-0.531	-0.520
1.65	-0.623	-0.576	-0.558	-0.531	-0.523
1.70	-0.617	-0.575	-0.558	-0.532	-0.525
1.75	-0.611	-0.576	-0.559	-0.534	-0.526
1.80	-0.611	-0.581	-0.562	-0.536	-0.526
1.85	-0.619	-0.589	-0.567	-0.540	-0.527
1.90	-0.633	-0.599	-0.572	-0.544	-0.529
1.95	-0.650	-0.608	-0.576	-0.549	-0.531
2.00	-0.662	-0.613	-0.577	-0.552	-0.532
2.20	-0.667	-0.612	-0.574	-0.551	-0.530
2.40	-0.659	-0.604	-0.565	-0.544	-0.522
2.60	-0.637	-0.586	-0.549	-0.529	-0.508
2.80	-0.600	-0.558	-0.525	-0.507	-0.488
3.00	-0.551	-0.521	-0.495	-0.478	-0.463
3.20	-0.495	-0.477	-0.459	-0.445	-0.438
3.40	-0.437	-0.429	-0.420	-0.411	-0.412
3.60	-0.377	-0.378	-0.378	-0.376	-0.387
3.80	-0.315	-0.323	-0.331	-0.340	-0.364
4.00	-0.248	-0.262	-0.278	-0.302	-0.340
4.50	-0.177	-0.196	-0.220	-0.262	-0.317
5.00	-0.102	-0.127	-0.159	-0.220	-0.293

Πίνακας 4.30. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (4.3), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.793	0.821	0.804	0.786	0.761
0.06	0.794	0.819	0.803	0.783	0.757
0.07	0.795	0.814	0.799	0.778	0.751
0.08	0.796	0.805	0.790	0.770	0.743
0.09	0.797	0.792	0.778	0.759	0.735
0.10	0.799	0.778	0.763	0.748	0.727
0.11	0.804	0.766	0.751	0.738	0.720
0.12	0.815	0.759	0.743	0.731	0.715
0.13	0.831	0.758	0.742	0.728	0.711
0.14	0.850	0.762	0.745	0.727	0.708
0.15	0.865	0.768	0.750	0.728	0.706
0.16	0.872	0.772	0.753	0.727	0.703
0.17	0.871	0.773	0.752	0.724	0.699
0.18	0.863	0.769	0.748	0.719	0.695
0.19	0.853	0.763	0.741	0.712	0.689
0.20	0.842	0.754	0.731	0.703	0.683
0.22	0.829	0.742	0.719	0.693	0.675
0.24	0.814	0.729	0.706	0.681	0.666
0.26	0.795	0.713	0.693	0.671	0.658
0.28	0.772	0.698	0.680	0.661	0.650
0.30	0.749	0.684	0.670	0.653	0.645
0.32	0.728	0.673	0.663	0.649	0.643
0.34	0.713	0.666	0.659	0.647	0.642
0.36	0.706	0.663	0.658	0.648	0.645
0.38	0.707	0.665	0.661	0.651	0.649
0.40	0.718	0.672	0.667	0.658	0.656
0.42	0.737	0.683	0.677	0.668	0.664
0.44	0.759	0.697	0.689	0.679	0.674
0.46	0.778	0.711	0.702	0.691	0.684
0.48	0.790	0.722	0.714	0.703	0.695
0.50	0.793	0.728	0.722	0.713	0.704
0.55	0.788	0.730	0.726	0.720	0.712
0.60	0.781	0.728	0.727	0.724	0.719
0.65	0.776	0.725	0.726	0.728	0.726
0.70	0.772	0.724	0.726	0.732	0.734
0.75	0.773	0.728	0.730	0.738	0.742
0.80	0.779	0.736	0.739	0.748	0.753
0.85	0.791	0.750	0.752	0.760	0.765
0.90	0.810	0.768	0.770	0.776	0.779
0.95	0.836	0.792	0.791	0.794	0.794
1.00	0.867	0.820	0.815	0.815	0.810
1.05	0.899	0.850	0.841	0.837	0.826
1.10	0.929	0.879	0.868	0.860	0.842
1.15	0.956	0.905	0.893	0.882	0.857
1.20	0.979	0.928	0.915	0.901	0.870
1.25	1.002	0.949	0.934	0.916	0.882
1.30	1.023	0.967	0.948	0.928	0.890
1.35	1.044	0.981	0.959	0.936	0.897
1.40	1.061	0.991	0.967	0.941	0.902
1.45	1.072	0.997	0.970	0.944	0.906
1.50	1.079	0.998	0.970	0.944	0.908
1.55	1.080	0.996	0.968	0.942	0.909
1.60	1.076	0.992	0.965	0.940	0.908
1.65	1.067	0.987	0.960	0.936	0.907
1.70	1.054	0.980	0.955	0.931	0.904
1.75	1.036	0.971	0.949	0.926	0.902
1.80	1.015	0.960	0.943	0.921	0.899
1.85	0.993	0.948	0.936	0.917	0.896
1.90	0.975	0.938	0.929	0.913	0.894
1.95	0.963	0.930	0.923	0.910	0.891
2.00	0.959	0.925	0.918	0.907	0.889
2.20	0.961	0.924	0.915	0.905	0.885
2.40	0.966	0.926	0.913	0.902	0.881
2.60	0.970	0.928	0.911	0.898	0.876
2.80	0.972	0.928	0.909	0.894	0.871
3.00	0.970	0.927	0.906	0.889	0.866
3.20	0.967	0.926	0.904	0.885	0.862
3.40	0.966	0.926	0.903	0.882	0.859
3.60	0.968	0.928	0.904	0.881	0.857
3.80	0.972	0.932	0.906	0.882	0.855
4.00	0.976	0.935	0.908	0.883	0.855
4.50	0.979	0.937	0.910	0.886	0.854
5.00	0.981	0.938	0.911	0.889	0.855



Σχ. 4.35. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (4.3), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 4.36. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (4.3), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης, D=0.05.

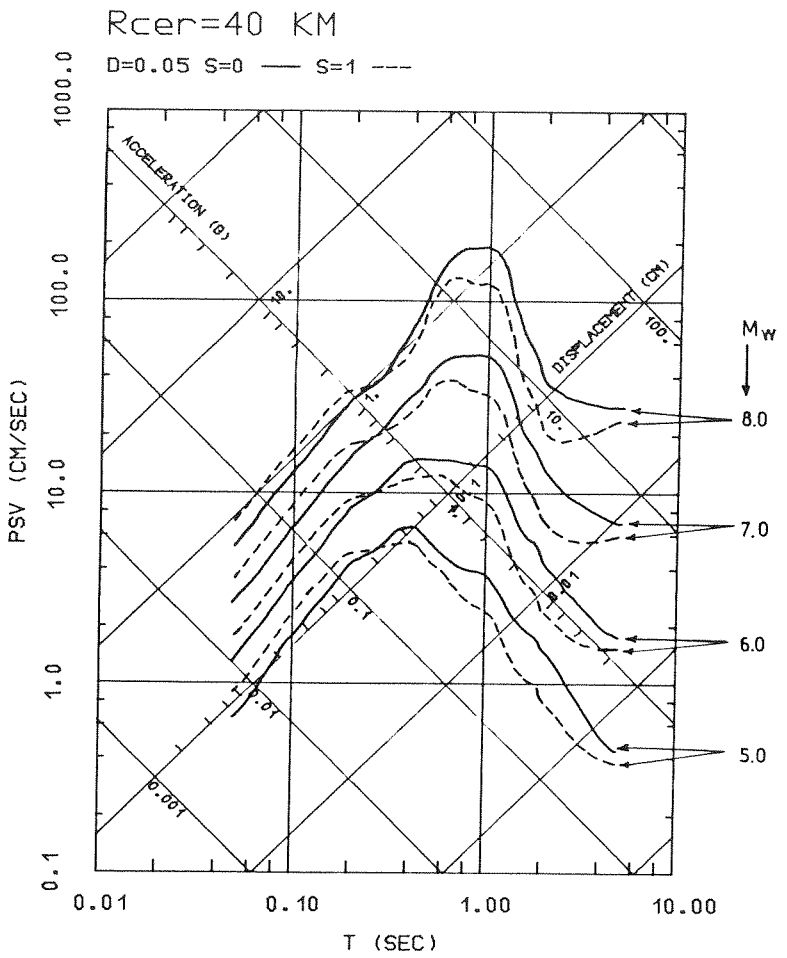
όλων των περιόδων, πλην T=0.5, είναι εκείνη της κανονικής κατανομής. Το ίδιο ισχύει και για τους υπόλοιπους παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.10, 0.20.

Στο σχήμα (4.37) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας για απόσταση, από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, R_{CER}=40 km, για μεγέθη ροπής Mw=5.0, 6.0, 7.0, 8.0 και για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος", S=1, και "αλλουβιακών αποθέσεων", S=0. Στο σχήμα (4.38) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης ψευδοταχύτητας για μέγεθος ροπής, Mw=7.5, για αποστάσεις από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, R_{CER}=50, 100, 200 km και για τις δύο κατηγορίες εδαφικών συνθηκών.

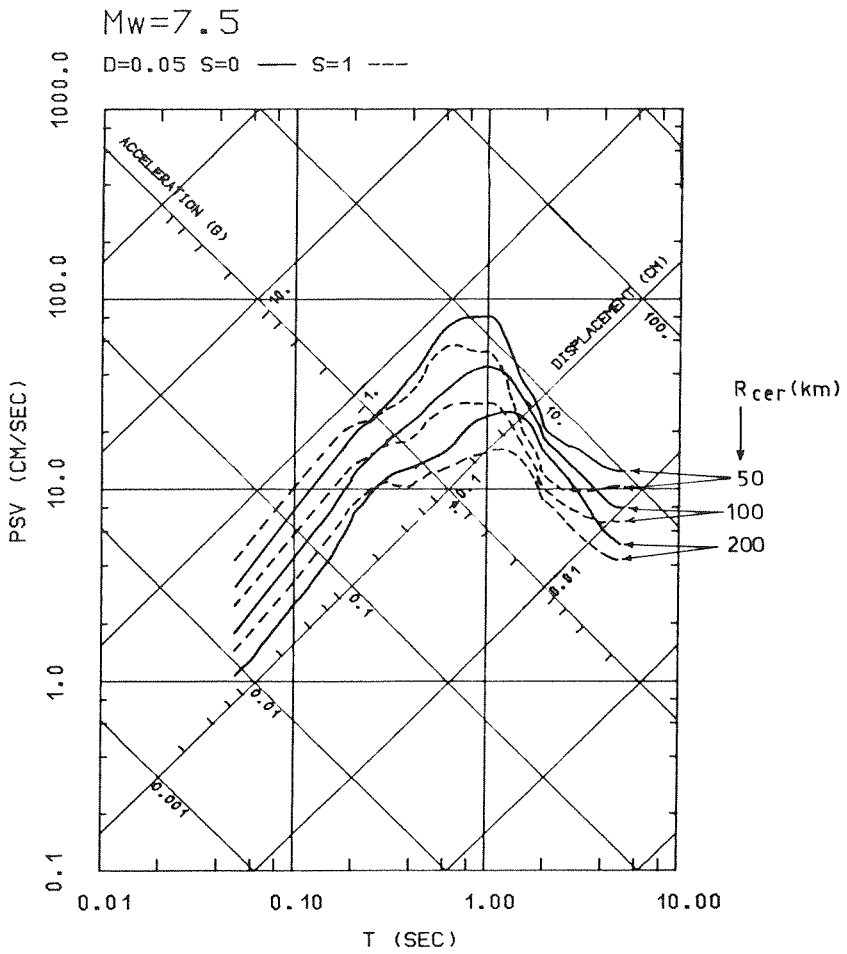
4.5. Συγκρίσεις Σχέσεων Απόσβεσης της Οριζόντιας και Κατακόρυφης Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), και Συμπεράσματα.

Στο σχήμα (4.39) γίνεται σύγκριση των μέσων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας από επιφανειακούς σεισμούς επιφανειακών μεγεθών Ms=5.0, 6.0, 7.0, για επικεντρική απόσταση $R_{επ}$=0 km, εδαφικές συνθήκες "αλλουβιακών αποθέσεων" και παράγοντα απόσβεσης D=0.05, με αντίστοιχα φάσματα απόκρισης από επιφανειακούς σεισμούς τοπικών μεγεθών M_L=4.5, 5.5, 6.5. Οπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, τα φάσματα απόκρισης σεισμού με τα αναφερόμενα επιφανειακά μεγέθη είναι συγκρίσιμα με εκείνα των τοπικών μεγεθών. Δηλαδή ικανοποιείται η σχέση $Ms=M_L+0.5$ (Κυρατζή 1984, Kiratzi and Papazachos 1984). Ανάλογη σύγκριση, με το ίδιο συμπέρασμα, γίνεται στο σχήμα (4.40) για εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" για τις οριζόντιες συνιστώσες. Το ίδιο ισχύει και για τις κατακόρυφες συνιστώσες.

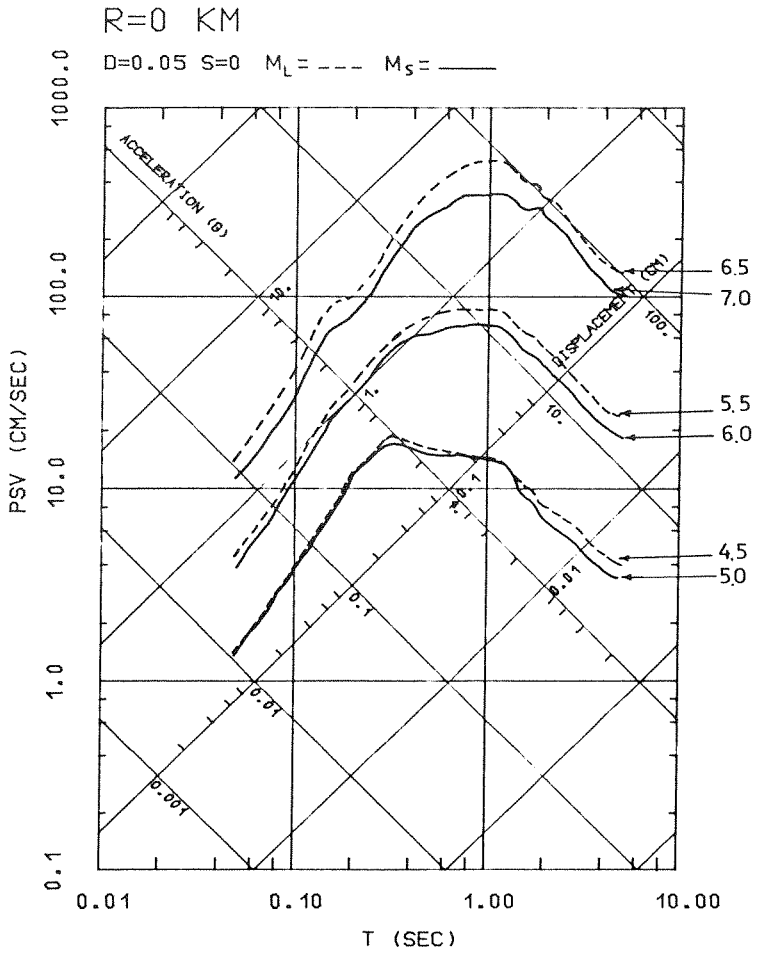
Στα σχήματα (4.41), (4.42) γίνεται σύγκριση της οριζόντιας με την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου για επιφανειακό μέγεθος Ms=7.0, επικεντρικές αποστάσεις $R_{επ}$=0,100 km και για εδαφικές συνθήκες S=0 και S=1, αντίστοιχα. Στα σχήματα αυτά δίνονται οι μέσες τιμές



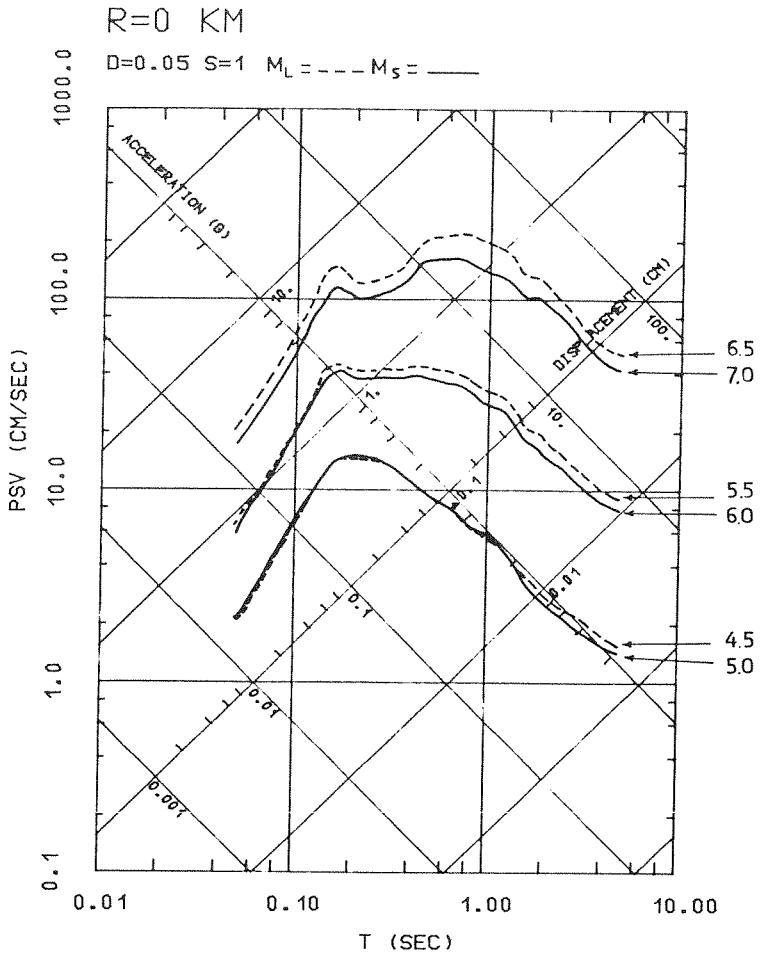
Σχ. 4.37. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



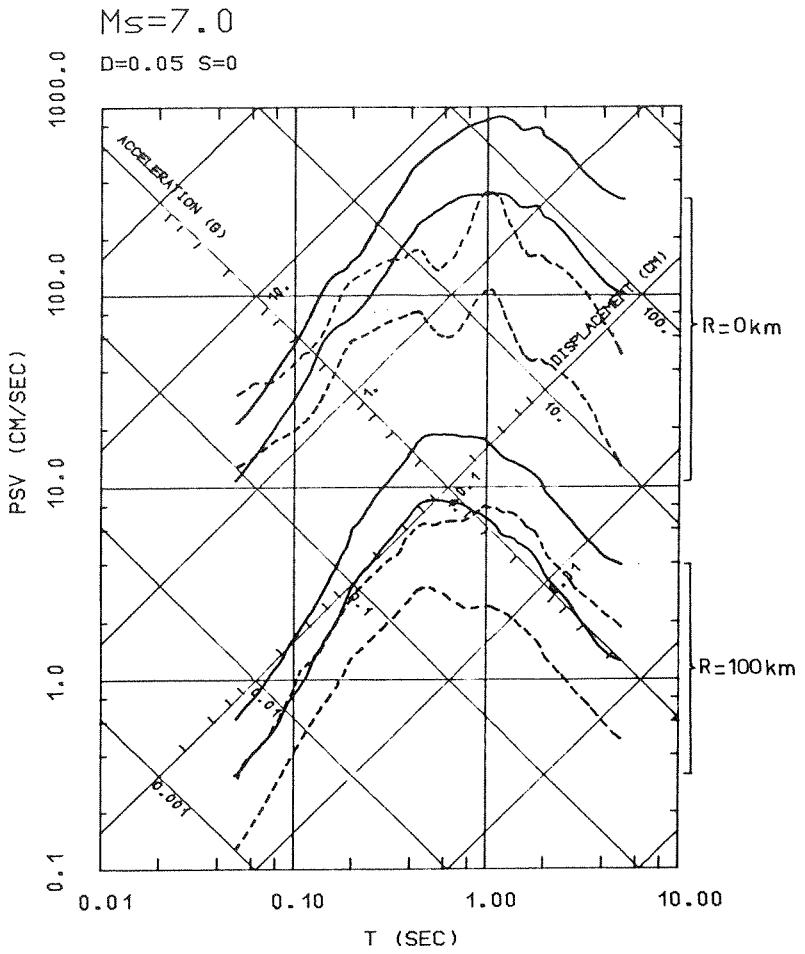
Σχ. 4.38. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



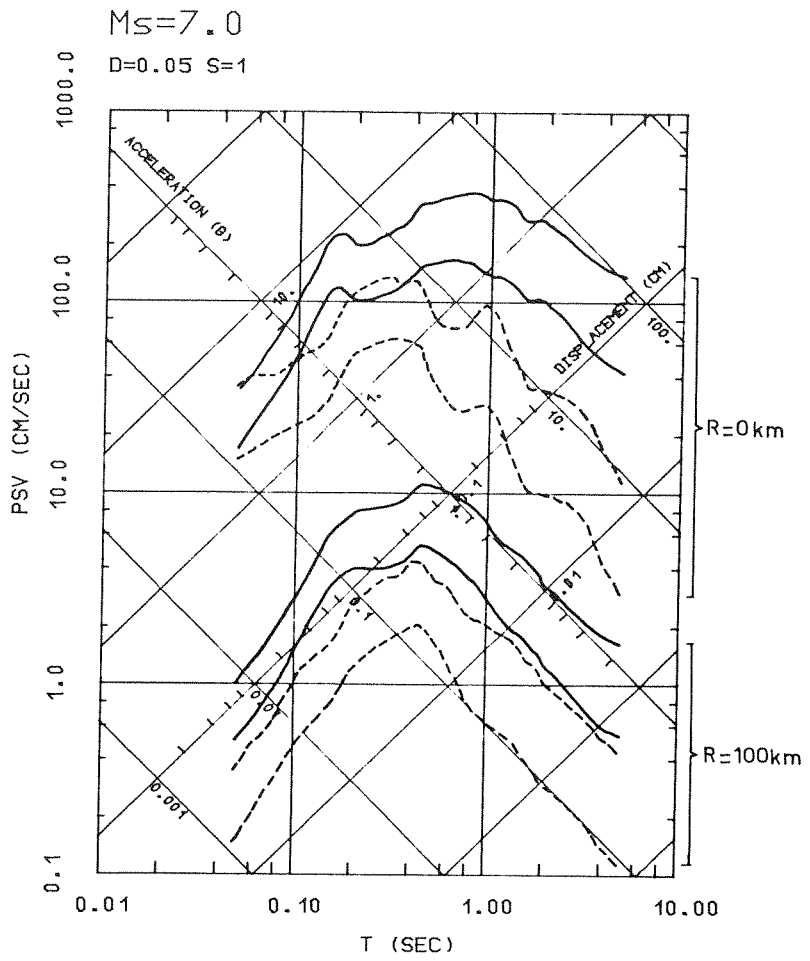
Σχ. 4.39. Σύγκριση μέσων προβλεπομένων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση επιφανειακού και τοπικού μεγέθους, για "αλλουβιακές αποθέσεις".



Σχ. 4.40. Σύγκριση μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με τη χρήση επιφανειακού και τοπικού μεγέθους, για "σκληρό πέτρωμα".



Σχ. 4.41. Σύγκριση μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας (διακεκομμένη γραμμή), για επιφανειακό μέγεθος Ms=7.0 και για "αλλουβιακές αποθέσεις".

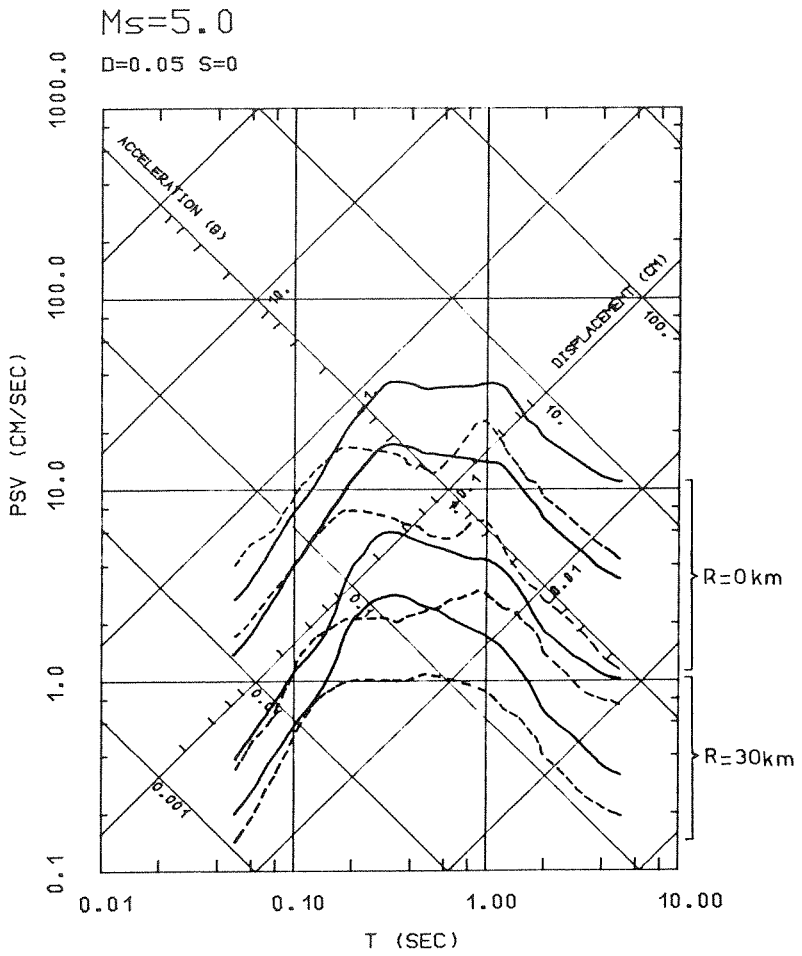


Σχ. 4.42. Σύγκριση μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας με ανάλογα της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας, για επιφανειακό μέγεθος Ms=7.0 και για " σκληρό πέτρωμα".

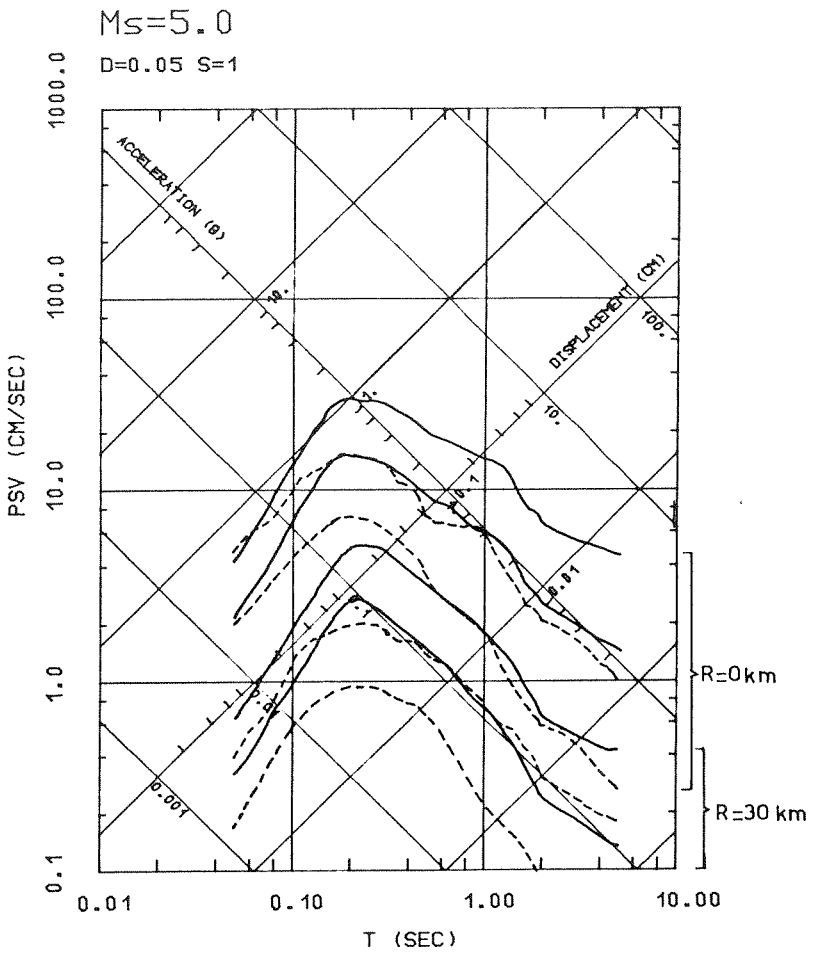
των φασμάτων απόκρισης και οι μέσες + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Στο κοντινό πεδίο, $R_{\varepsilon\pi}$=0 km, φαίνεται ότι για "αλλουβιακές αποθέσεις", η κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα έχει υψηλότερες τιμές από την οριζόντια για μικρές περιόδους, T<0.06 sec. Αντίθετα για μεγαλύτερες περιόδους η οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα έχει υψηλότερες τιμές. Στο μακρυνό πεδίο R=100 km, η οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα έχει υψηλότερες τιμές. Για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος" η κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα δεν υπερβαίνει την οριζόντια αλλά είναι ενισχυμένη στις μικρές περιόδους, στο κοντινό πεδίο.

Ανάλογες παρατηρήσεις απορρέουν από τα σχήματα (4.43), (4.44) για επιφανειακό μέγεθος Ms=5.0 και επικεντρικές αποστάσεις $R_{\varepsilon\pi}$=0,30 km. Στην περίπτωση αυτή για "αλλουβιακές αποθέσεις" η κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα έχει υψηλότερες τιμές από την οριζόντια για περιόδους T<0.12 sec. Ανάλογα συμπεράσματα ισχύουν και για συγκρίσεις της οριζόντιας με την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα με βάση την κλίμακα του τοπικού μεγέθους M_L.

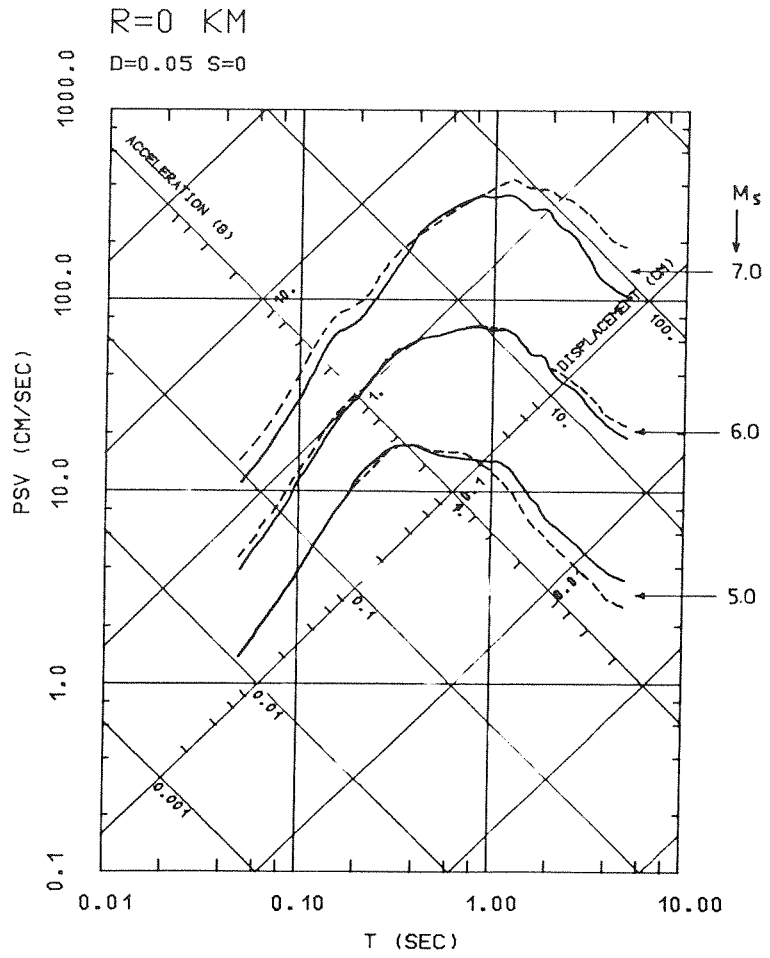
Στο σχήμα (4.45) γίνεται σύγκριση της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με εκείνη των επιφανειακών ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής 7.0<Mw≤7.5, για επικεντρική απόσταση $R_{\varepsilon\pi}$=0 km, παράγοντα απόσβεσης D=0.05, μεγέθη Ms=5.0, 6.0, 7.0 και "αλλουβιακές αποθέσεις". Παρατηρείται ότι το ενισχυμένο δείγμα δίνει υψηλότερες φασματικές τιμές, ιδιαίτερα στις μεγάλες περιόδους T≥1 sec, για Ms≥7.0. Η ενίσχυση αυτή οφείλεται στο γεγονός της συμμετοχής στο συνολικό δείγμα και μεγάλων σεισμών των οποίων το φάσμα της σεισμικής πηγής είναι εμπλουτισμένο στις μεγάλες περιόδους (Trifunac and Anderson 1977,1978a, Katayama 1982, Joyner and Boore 1982). Είναι γνωστό ότι στον Ελληνικό χώρο έχουν συμβεί κατά το παρελθόν επιφανειακοί σεισμοί με επιφανειακά μεγέθη της τάξης του 7.5 (Comninakis and Papazachos 1986) των οποίων όμως η ισχυρή εδαφική κίνηση δεν καταγράφτηκε λόγω έλλειψης εγκατεστημένων επιταχυνσιογράφων. Επομένως η προσθήκη, στο αρχικό δείγμα επιταχυνσιογραμμάτων των Ελληνικών επιφανειακών σεισμών, των δεδομένων ισχυρής κίνησης από παρόμοια σεισμοτεκτονικά



Σχ. 4.43. Σύγκριση μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας με ανάλογα της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας, για επιφανειακό μέγεθος Ms=5.0 και για "αλλουβιακές αποθέσεις".



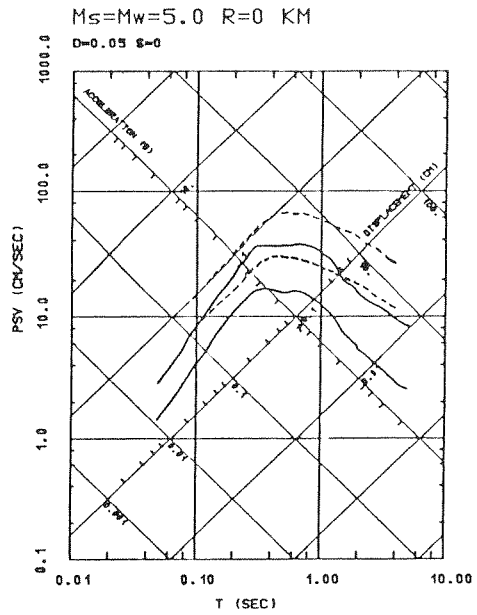
Σχ. 4.44. Σύγκριση μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας με ανάλογα της κατακόρυφης ψευδοταχύτητας, για επιφανειακό μέγεθος Ms=5.0 και για "σκληρό πέτρωμα".

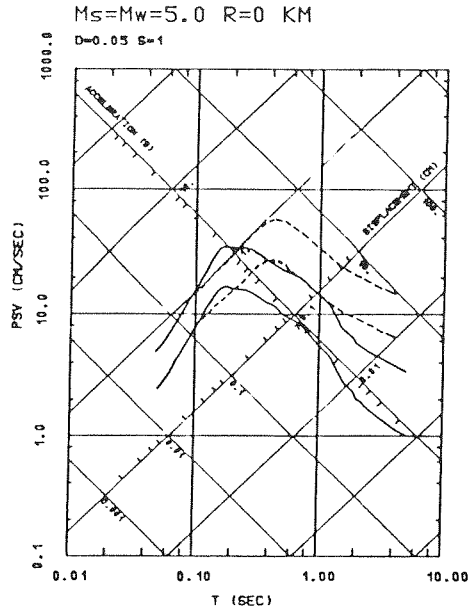


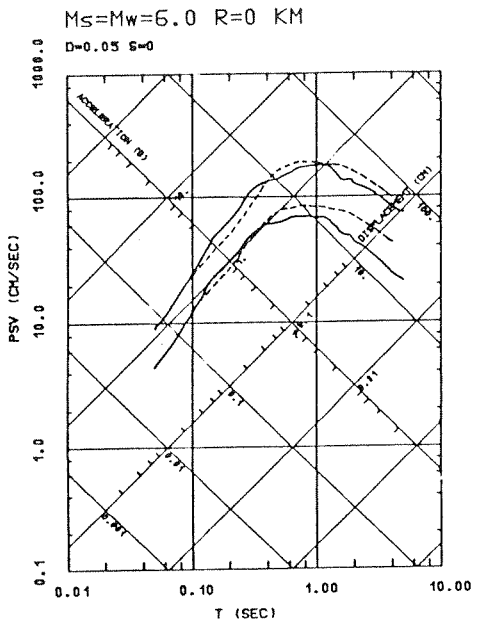
Σχ. 4.45. Σύγκριση των μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα του ίδιου δείγματος ενισχυμένου με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$, (διακεκομμένη γραμμή) για "αλλουβιακές αποθέσεις".

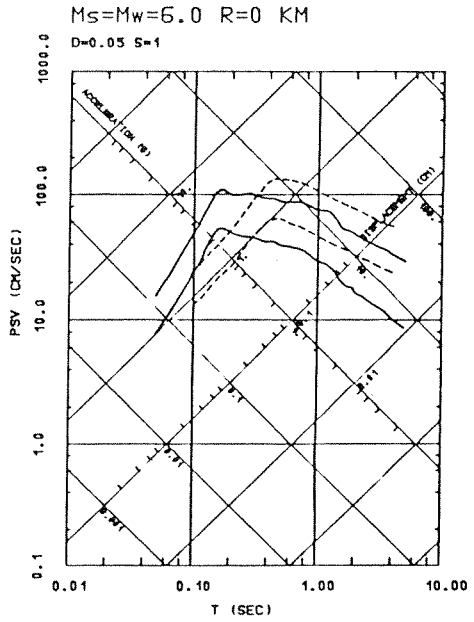
περιβάλλοντα, επιφανειακών σεισμών με μεγέθη ροπής, $7.0<Mw\leq7.5$, ενισχύει την αξιοπιστία στην πρόβλεψη των αναμενόμενων φασμάτων απόκρισης σε μια θέση για το διάστημα επιφανειακών μεγεθών $4.5\leq Ms \leq7.5$. Για το λόγο αυτόν, προτείνεται για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου, ως εμπειρικό μοντέλο πρόβλεψης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), εκείνο της σχέσης (4.4) με τη χρήση των συντελεστών $C_{12}(T)$, $C_{22}(T)$, $C_{52}(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$ των πινάκων (4.22) έως (4.25) και του $C_{33}(T)$ του πίνακα (4.4).

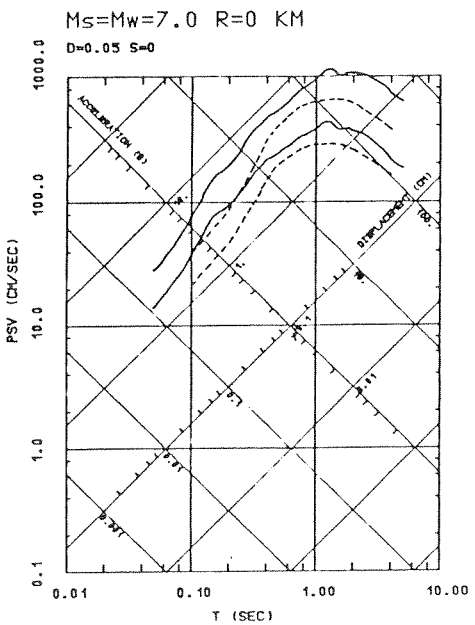
Στο σχήμα (4.46) γίνεται σύγκριση των μέσων και μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα φασμάτων απόκρισης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, ενισχυμένων με σεισμούς μεγεθών $7.0<Mw\leq7.5$, με ανάλογα φάσματα απόκρισης που προτείνονται από τους Joyner και Boore (JB) (1982). Η σύγκριση αναφέρεται σε επικεντρική απόσταση, $R_{\varepsilon\pi}=0$ km, και σε παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Για "αλλουβιακές αποθέσεις" και για επιφανειακό μέγεθος Ms=5.0 οι φασματικές τιμές των (JB) είναι υψηλότερες, για Ms=7.0 χαμηλότερες, ενώ για Ms=6.0 σχεδόν ίδιες με εκείνες που προκύπτουν από το προτεινόμενο στη διατριβή αυτή μοντέλο. Για το "σκληρό πέτρωμα" παρατηρείται ότι σε μικρές περιόδους, $T\leq0.3$ sec, το προτεινόμενο από εμάς μοντέλο δίνει πάντοτε υψηλότερες φασματικές τιμές από εκείνο των (JB) ενώ το αντίθετο συμβαίνει για μεγαλύτερες περιόδους με εξαίρεση το μέγεθος, Ms=7.0. Ανάλογη σύγκριση γίνεται και στο σχήμα (4.47), χρησιμοποιώντας το εμπειρικό μοντέλο πρόβλεψης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας των Trifunac και Anderson (TA) (1978a), για επιφανειακό μέγεθος Ms=6.0, επικεντρική απόσταση $R_{\varepsilon\pi}=0$ km, και για εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος" και "αλλουβιακών αποθέσεων". Στην περίπτωση των "αλλουβιακών αποθέσεων" οι φασματικές τιμές των (TA) είναι γενικά υψηλότερες, ιδιαίτερα για περιόδους $T>0.15$ sec, ενώ στην περίπτωση του "βράχου" είναι χαμηλότερες για $T<0.20$ sec και υψηλότερες για $T>0.20$ sec. Πρέπει να τονισθεί ότι η χρησιμοποιούμενη κλίμακα μεγέθους στο δείγμα των (TA) είναι εκείνη του τοπικού, M_L.

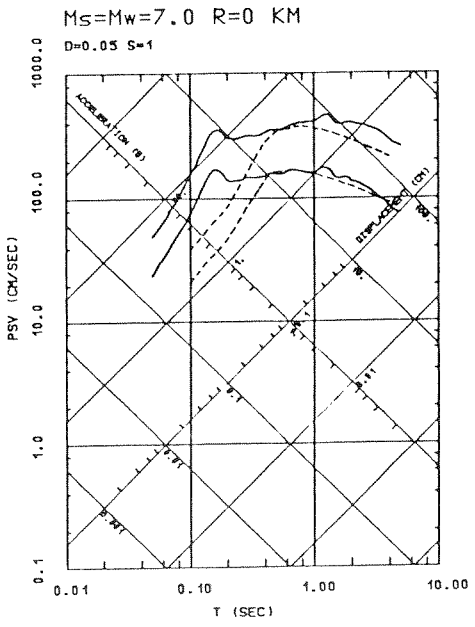




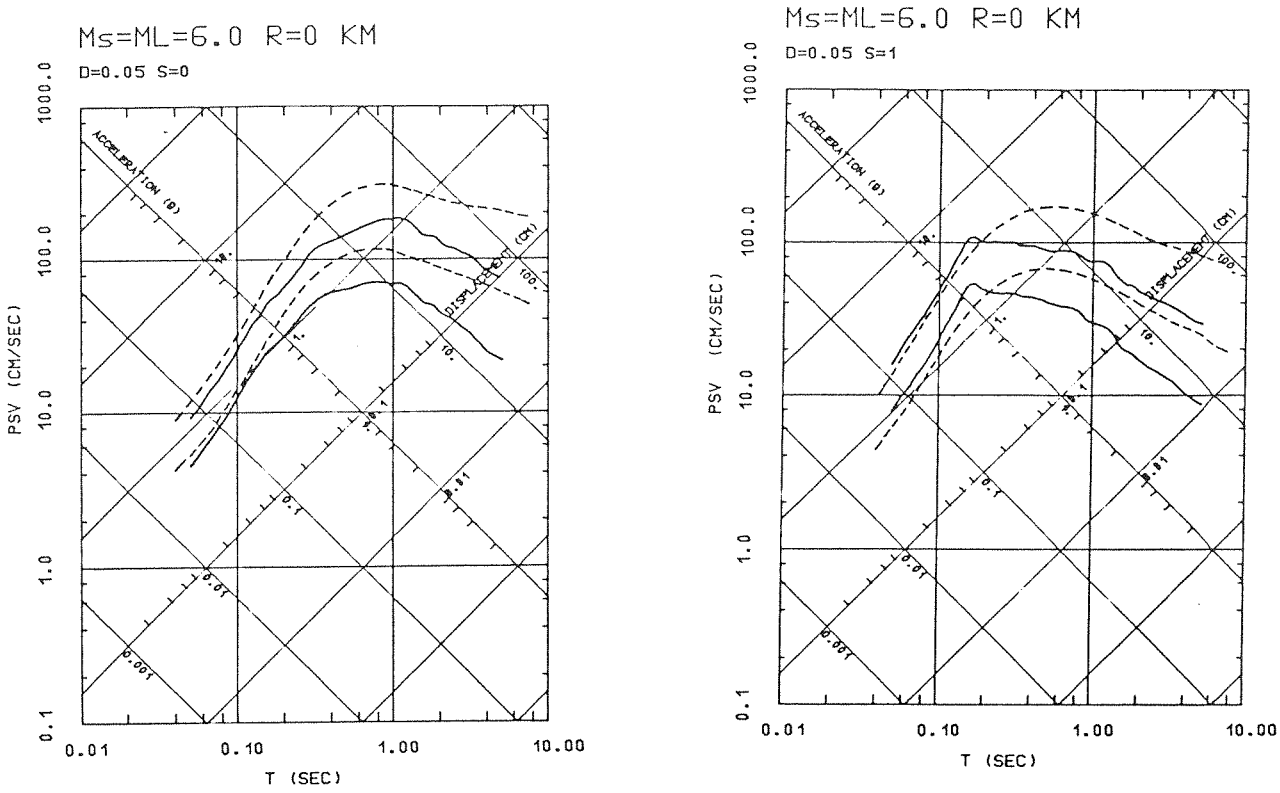








Σχ. 4.46. Σύγκριση των μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$, (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα φάσματα των Joyner και Boore (1982) (διακεκομμένη γραμμή).

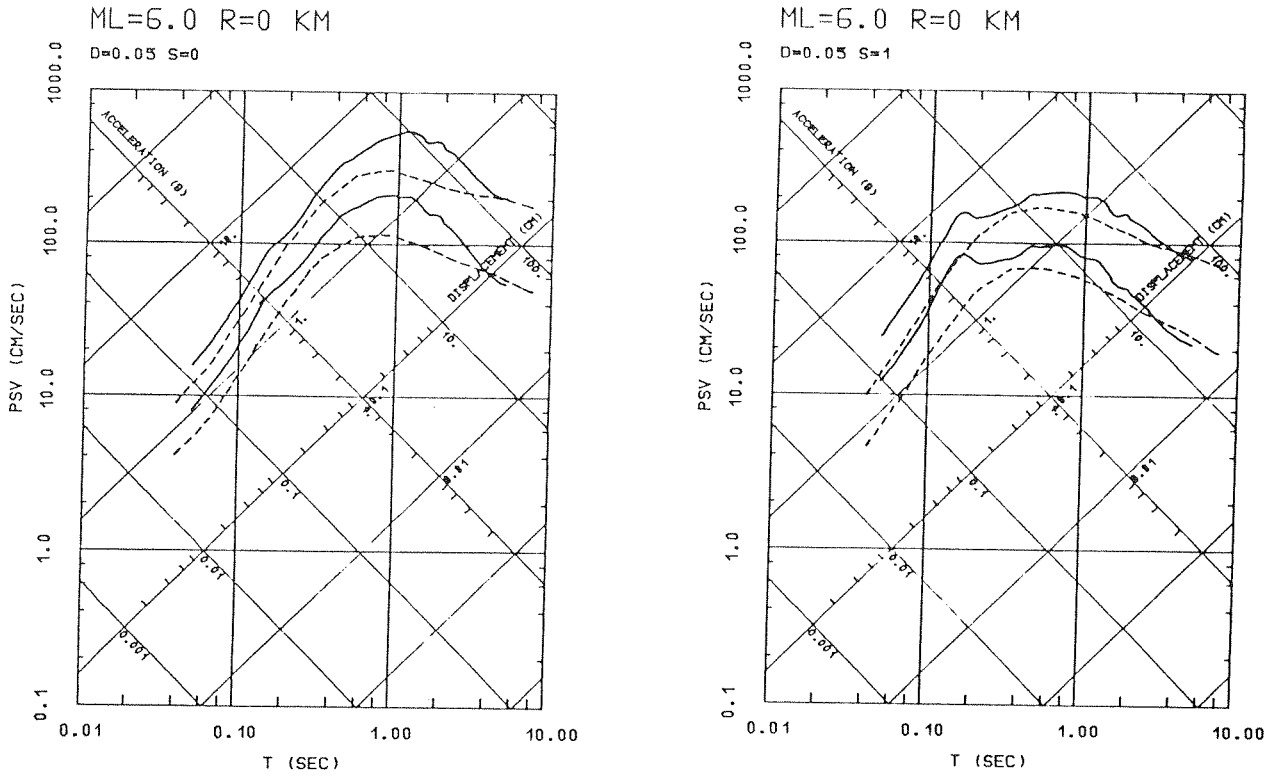


Σχ. 4.47. Σύγκριση των μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$, (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα φάσματα των Trifunac και Anderson (1978a) (διακεκομμένη γραμμή).

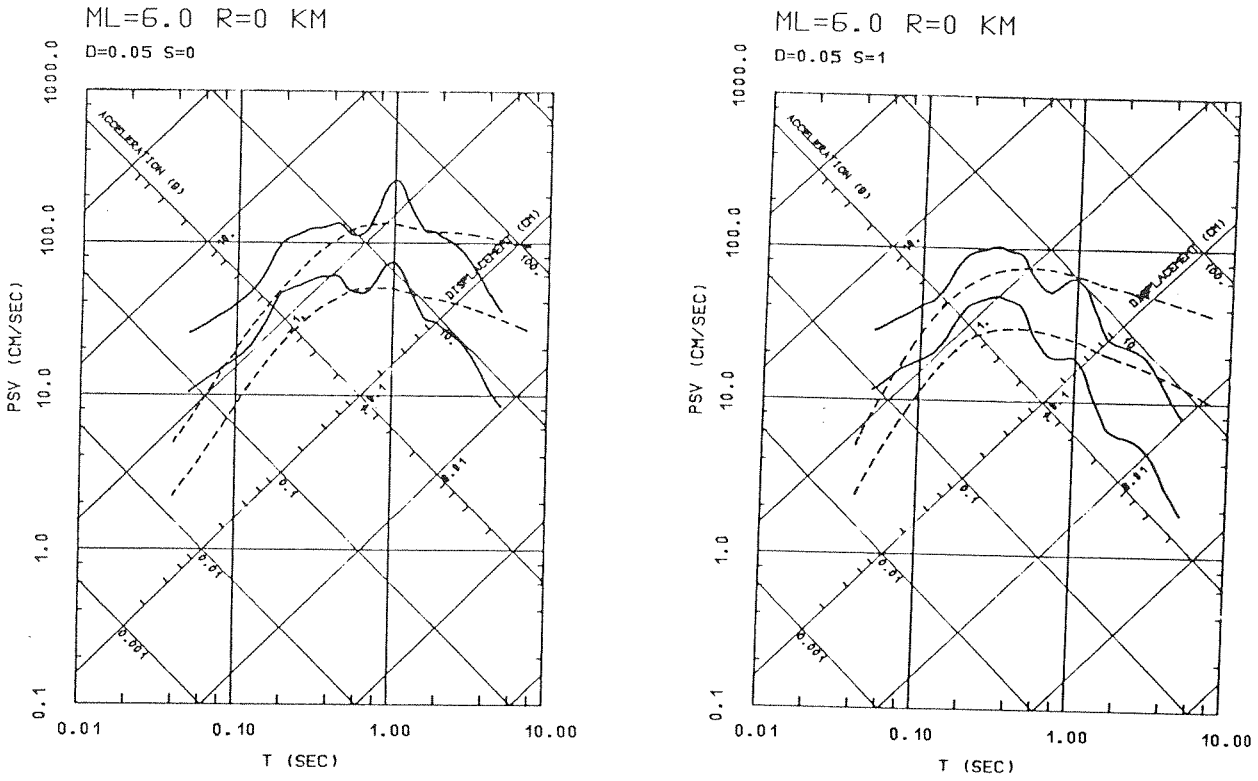
Από τη σύγκριση της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας του εμπειρικού μοντέλου που προέκυψε από το Ελληνικό δείγμα επιφανειακών σεισμών, για M_L=6.0, $R_{\varepsilon\pi}$=0 km, με την ανάλογη των (ΤΑ) στο σχήμα (4.48), φαίνεται ότι οι φασματικές τιμές των (ΤΑ) είναι γενικά χαμηλότερες τόσο για "βράχο" όσο και για "αλλουβιακές αποθέσεις". Είναι εμφανής η επίδραση της επιλογής της κλίμακας μεγέθους κατά την αναγωγή των φασματικών τιμών σε ορισμένο μέγεθος, απόσταση, και συνθήκες υπεδάφους. Στην περίπτωση της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας, όπως φαίνεται στο σχήμα (4.49), το μοντέλο των (ΤΑ) δίνει για περιόδους T≤0.50 sec χαμηλότερες ενώ για T>0.50 sec υψηλότερες φασματικές τιμές.

Στο σχήμα (4.50) δίνονται τα μέσα και μέσα + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενα φάσματα οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας όπως προτάθηκαν για τους επιφανειακούς σεισμούς (ΕΣ) του Ελληνικού χώρου, για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, μέγεθος ροπής, Mw=7.5, εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" και αποστάσεις $R_{\varepsilon\pi}$=R_{CER}=50, 150 km. Στο ίδιο σχήμα δίνονται τα ανάλογα μέσα προβλεπόμενα φάσματα οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας όπως προτάθηκαν για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους (ΣΕΒ) του Ελληνικού τόξου. Για την απόσταση των 50 km το προβλεπόμενο φάσμα απόκρισης των (ΣΕΒ) συμφωνεί ικανοποιητικά με το ανάλογο των (ΕΣ) για περιόδους T<0.4 sec, είναι μεγαλύτερο για 0.4≤T≤1.5 sec και μικρότερο για T>1.5 sec. Όμως, για όλες τις περιόδους το φάσμα των (ΣΕΒ) περιβάλλεται από το μέσο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα των (ΕΣ). Αντίθετα για την απόσταση των 150 km το φάσμα των (ΣΕΒ) έχει σχεδόν για όλες τις περιόδους υψηλότερες τιμές ακόμη και από το ανάλογο μέσο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα των (ΕΣ). Αυτό δείχνει ότι οι φασματικές ψευδοταχύτητες των (ΣΕΒ) αποσβένονται με χαμηλότερο ρυθμό από ότι εκείνες των (ΕΣ) στον Ελληνικό χώρο.

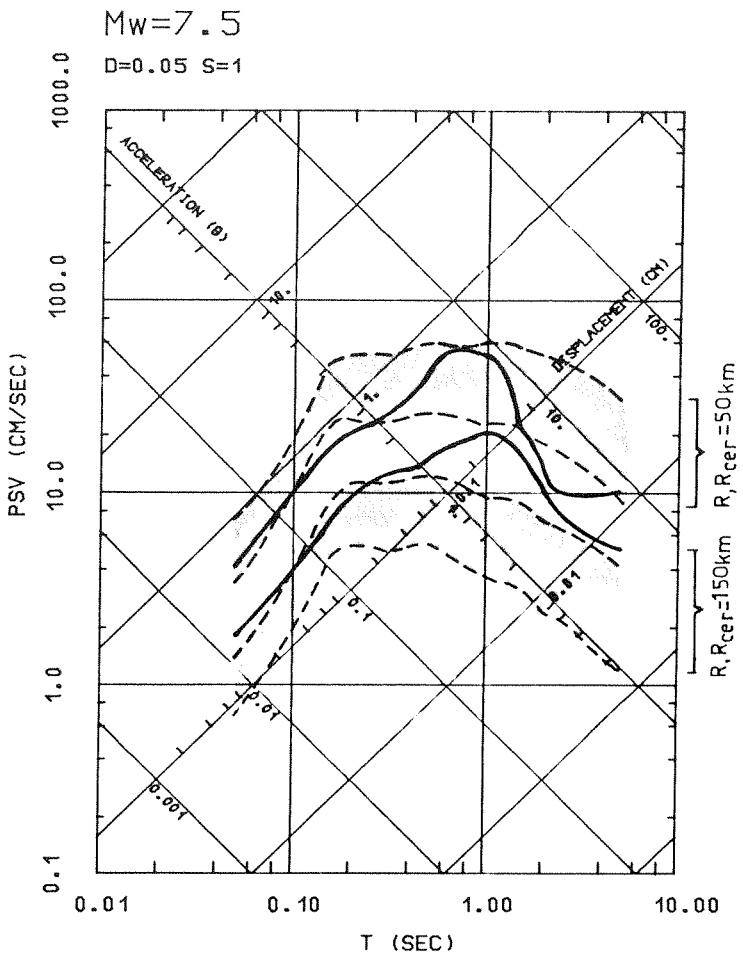
Στο σχήμα (4.51) δίνονται τα μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης (ΣΕΒ) και (ΕΣ) για μέγεθος ροπής Mw=7.5, απόσταση $R_{\varepsilon\pi}$≈R_{CER}=150 km και εδαφικές συνθήκες "αλλουβιακές αποθέσεις". Στο ίδιο σχήμα δίνονται το μέσο και μέσο + ένα μέσο τετραγωνικό



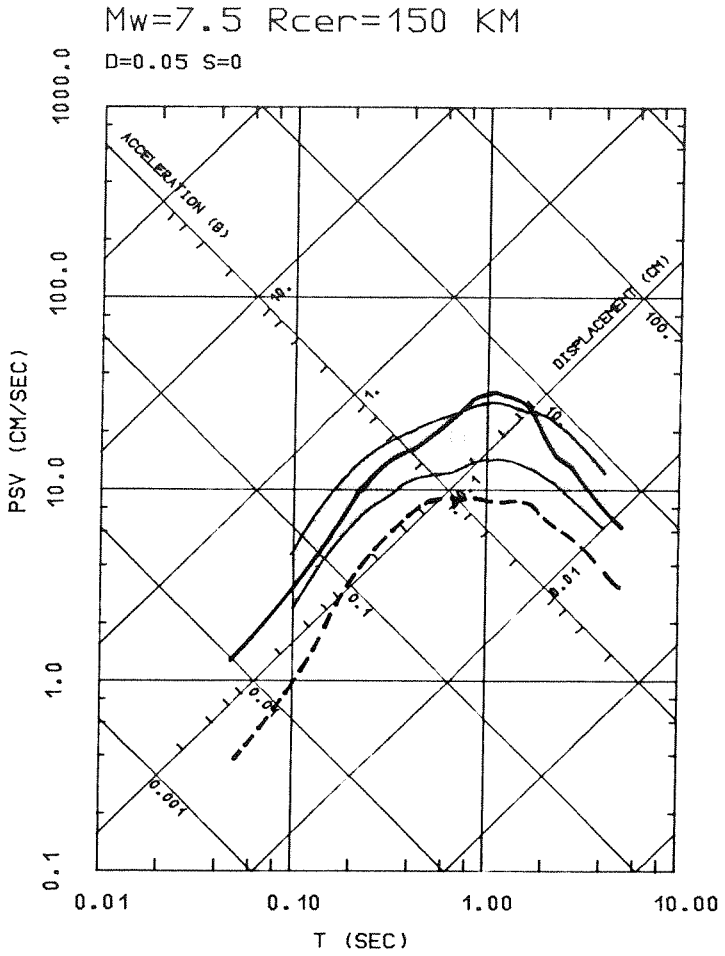
Σχ. 4.48. Σύγκριση των μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα φάσματα των Trifunac και Anderson (1978a) (διακεκομμένη γραμμή).



Σχ. 4.49. Σύγκριση των μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα φάσματα των Trifunac και Anderson (1978a) (διακεκομμένη γραμμή).



Σχ. 4.50. Σύγκριση των μέσων + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα, προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$, (σκιασμένες ζώνες) με τα μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (συνεχόμενες γραμμές).



Σχ. 4.51. Σύγκριση των μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (παχειά συνεχόμενη γραμμή) και των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$, (διακεκομμένη γραμμή) με το ανάλογο μέσο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα φάσμα οριζόντιας ψευδοταχύτητας των Crouse και συνεργατών (1988) (σκιασμένη ζώνη).

σφάλμα ανάλογα φάσματα απόκρισης όπως προτείνονται από τον Crouse και τους συνεργάτες του (1988) βασισμένα σε δεδομένα σεισμών περιβάλλοντος ζώνης κατάδυσης της Ιαπωνίας (N. Honsu), για εστιακό βάθος h=55 km, ανεξάρτητα από το είδος του μηχανισμού γένεσης. Οι παραπάνω ερευνητές έδειξαν ότι ο μηχανισμός γένεσης δεν παίζει σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση των φασματικών τιμών. Παρατηρείται ότι οι μέσες φασματικές τιμές ψευδοταχύτητας των (ΕΣ) είναι μικρότερες από τις ανάλογες των (ΣΕΒ). Οι ψευδοταχύτητες που προβλέπονται από το δικό μας μοντέλο για τους (ΣΕΒ) είναι σε καλή συμφωνία με εκείνες του Crouse και των συνεργατών του (1988) για περιόδους, T≤0.2 sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για 0.2<T<2.0 sec όπου μάλιστα για T=1 sec γίνεται υπέρβαση και του ενός μέσου τετραγωνικού σφάλματος. Οι διαφορές αυτές πιθανό να οφείλονται στα διαφορετικά δείγματα δεδομένων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις αν θεωρηθεί ότι το είδος του μηχανισμού γένεσης των σεισμών δεν παίζει σημαντικό ρόλο στην πρόβλεψη της ισχυρής σεισμικής κίνησης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους. Παρόλα αυτά, το κριτήριό μας για την επιλογή των καταγραφών σεισμών ενδιαμέσου βάθους βασίσθηκε στον προτεινόμενο για το Ελληνικό τόξο μηχανισμό γένεσης τέτοιων σεισμών. Οι υψηλότερες φασματικές τιμές ψευδοταχύτητας από σεισμούς ανάστροφων ρηγμάτων είναι σε ικανοποιητική συμφωνία με την πρόταση του McGarr (1982,1984) ότι για συμπιεστικό πεδίο τάσεων τα ανώτερα όρια της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης είναι σημαντικά υψηλότερα από τα ανάλογα για εκτατικό πεδίο τάσεων. Ασφαλώς, πριν από την τελική επαλήθευση οποιουδήποτε συμπεράσματος, η οποία αναμφισβήτητα θα προέλθει από καταγραφές ισχυρών σεισμικών κινήσεων σεισμών της ζώνης κατάδυσης του νότιου Αιγαίου, χρειάζεται παραπέρα έρευνα για την απόσβεση των εγκαρσίων κυμάτων S, η οποία θα βασίζεται σε ιστορικά ή πρόσφατα σεισμογράμματα τέτοιων σεισμών. Επιπλέον, απαιτείται η εγκατάσταση και σωστή λειτουργία ικανοποιητικού αριθμού επιταχυνσιογράφων κατά μήκος του Ελληνικού τόξου και σε διάφορες εδαφικές συνθήκες (Θεοδουλίδης και συνεργ. 1986).

Εχει παρατηρηθεί χαρακτηριστικά μεγαλύτερη απόσβεση των σεισμικών κυμάτων κατά τη διάδοσή τους στο εσωτερικό μέρος του Ελληνικού τόξου από ότι κατά μήκος αυτού, εξαιτίας των χαμηλών τιμών του παράγοντα Q στον ανώτερο μανδύα (Papazachos and Comninakis 1971, Τάσσος 1984). Το γεγονός αυτό πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά τη χρήση όλων των σχετικών σχέσεων απόσβεσης των προτεινόμενων στη διατριβή αυτή για τον Ελληνικό χώρο, αφού αυτές βασίσθηκαν σε επιταχυνσιογράμματα κυρίως κατά μήκος των τόξων. Είναι φανερό ότι παραπέρα έρευνα στο πρόβλημα αυτό θα συμβάλλει στην κατανόηση της απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής κίνησης στις περιοχές εσωτερικά των νησιωτικών τόξων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

5.1. Εισαγωγή

Οπως έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 3, δεν υπάρχει γνωστή φυσική βάση η οποία θα υποστήριζε την υπόθεση της γραμμικής εξάρτησης του φυσικού λογαρίθμου ορισμένης παραμέτρου της ισχυρής εδαφικής κίνησης από τη μακροσεισμική ένταση. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι οι αποκλίσεις που προκύπτουν από τέτοια απλή συσχέτιση, όπως εκτιμάται από τα διαθέσιμα δεδομένα, μπορεί να μην είναι σημαντικές (Trifunac 1976a, Trifunac and Anderson 1977). Ορισμένες μελέτες για τις συνολικές αβεβαιότητες στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας, έχουν δείξει ότι πιθανολογικά φάσματα Fourier βασισμένα στην απλή συσχέτιση με τη μακροσεισμική ένταση οδηγούν σε κατανομές των εκτιμημένων πλατών με μικρότερη τυπική απόκλιση από τα αντίστοιχα φάσματα τα οποία βασίζονται στις παραμέτρους αναγωγής του μεγέθους και της απόστασης. Αυτό σημαίνει ότι από πρακτικής άποψης οι υποθέσεις της απλής γραμμικής συσχέτισης των φασματικών πλατών με τη μακροσεισμική ένταση δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τα τελικά αποτελέσματα στους υπολογισμούς της σεισμικής επικινδυνότητας (Trifunac and Anderson 1978a).

Για τον Ελληνικό χώρο, η έλλειψη επεξεργασμένων επιταχυνσιογραμμάτων δεν επέτρεψε τη συσχέτιση της φασματικής ψευδοταχύτητας με την παρατηρημένη στο σταθμό καταγραφής μακροσεισμική ένταση. Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται συσχέτιση μεταξύ της φασματικής ψευδοταχύτητας και της μακροσεισμικής έντασης, I_{MM}, για επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου. Ανάλογη συσχέτιση γίνεται και για επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου ύστερα από την ενίσχυσή τους με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$ καθώς και για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους

της ζώνης κατάδυσης του Ελληνικού τόξου.

5.2. Συσχέτιση της Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), με τη Μακροσεισμική Ενταση, I_{MM}, Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού χώρου.

5.2.1. Δεδομένα παρατήρησης

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συσχέτιση της φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), με τη μακροσεισμική ένταση, I_{MM}, δίνονται στον πίνακα (3.1). Οι κωδικοί καταγραφής αυτού του πίνακα παραπέμπουν στις 70 οριζόντιες και 33 κατακόρυφες συνιστώσες, τα φάσματα απόκρισης των οποίων δίνονται στα Παραρτήματα Α και Β. Αναλυτικότερη περιγραφή των δεδομένων του πίνακα (3.1) έγινε σε προηγούμενη παράγραφο (3.2.1).

5.2.2. Μεθοδολογία

Η σχέση της οποίας προσδιορίσθηκαν οι συντελεστές αναγωγής είναι της μορφής,

$$\ln PSV(T)=C_1(T)+C_2(T)I_{MM}+C_3(T)S+\sigma_{\ln PSV(T)}P \qquad (5.1)$$

όπου PSV(T) η φασματική ψευδοταχύτητα που προβλέπεται από τη σχέση, I_{MM} η μακροσεισμική ένταση, S η παράμετρος των εδαφικών συνθηκών (0 για "αλλουβιακές αποθέσεις" και 1 για "σκληρό πέτρωμα") και P παράμετρος η οποία παίρνει την τιμή 0 για το μέσο όρο της εξαρτημένης μεταβλητής, lnPSV(T), και 1 για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα όταν τα υπόλοιπα της σχέσης (5.1) ακολουθούν κανονική κατανομή. Οι $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$ είναι συντελεστές αναγωγής και $\sigma_{\ln PSV}(T)$ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα της σχέσης (5.1) για κάθε διακριτή τιμή της περιόδου,T.

5.2.3. Σχέσεις μεταξύ της μέγιστης οριζόντιας και κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας, PSV(T), και της μακροσεισμικής έντασης, I_{MM}, επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Στους πίνακες (5.1) έως (5.4) και στο σχήμα (5.1) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, για παράγοντες απόσβεσης D=0.0, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 της κρίσιμης, όπως έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (5.1) για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T). Οι συντελεστές αυτοί έχουν εξομαλυνθεί με τη μέθοδο του (1/4+1/2+1/4) "κινητού μέσου" κατά μήκος του άξονα των περιόδων, log(T). Ανάλογα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες (5.5) έως (5.8) και στο σχήμα (5.2) για την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T).

Το μοντέλο πρόβλεψης της φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1) θεωρήθηκε επαρκές αφού έχει δειχθεί (κεφάλαιο 3) για τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση και για τα ίδια δείγματα δεδομένων η επάρκειά του. Η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση τη σχέση (5.1) για την οριζόντια ψευδοταχύτητα, δίνονται στο σχήμα (5.3). Η διερεύνηση γίνεται για περιόδους T=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 sec και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Οπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα η καμπύλη η οποία προσαρμόζεται καλύτερα στα ιστογράμματα έχει τη μορφή καμπάνας και είναι εκείνη της κανονικής κατανομής.

Στο σχήμα (5.4) δίνεται η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση τη σχέση (5.1) για την κατακόρυφη ψευδοταχύτητα. Από τα σχήματα αυτά φαίνεται γενικά ότι ικανοποιείται η κανονική κατανομή για περιόδους T≤0.5 sec. Ο μικρός αριθμός δεδομένων των κατακορύφων συνιστωσών, σχεδόν υποδιπλάσιος των οριζοντίων, δεν επιτρέπει ασφαλή συμπεράσματα για την αιτία για την οποία αυτή δεν ικανοποιείται για μεγαλύτερες περιόδους.

Πίνακας 5.1. Συντελεστές αναγωγής, $C_1(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-4.453	-4.579	-4.576	-4.571	-4.574
0.06	-4.051	-4.278	-4.324	-4.357	-4.393
0.07	-3.645	-3.988	-4.084	-4.152	-4.217
0.08	-3.248	-3.722	-3.865	-3.963	-4.052
0.09	-2.886	-3.485	-3.669	-3.792	-3.901
0.10	-2.587	-3.279	-3.496	-3.640	-3.765
0.11	-2.354	-3.097	-3.339	-3.504	-3.642
0.12	-2.170	-2.935	-3.194	-3.380	-3.532
0.13	-2.010	-2.786	-3.061	-3.264	-3.432
0.14	-1.858	-2.646	-2.935	-3.152	-3.338
0.15	-1.709	-2.510	-2.813	-3.039	-3.250
0.16	-1.558	-2.372	-2.687	-2.923	-3.167
0.17	-1.398	-2.226	-2.553	-2.804	-3.089
0.18	-1.224	-2.070	-2.413	-2.686	-3.016
0.19	-1.048	-1.916	-2.274	-2.576	-2.949
0.20	-0.899	-1.783	-2.150	-2.481	-2.888
0.22	-0.808	-1.689	-2.054	-2.405	-2.837
0.24	-0.788	-1.642	-1.991	-2.350	-2.795
0.26	-0.828	-1.635	-1.960	-2.316	-2.765
0.28	-0.898	-1.652	-1.951	-2.300	-2.746
0.30	-0.973	-1.677	-1.958	-2.301	-2.737
0.32	-1.041	-1.704	-1.975	-2.318	-2.738
0.34	-1.109	-1.737	-2.003	-2.347	-2.745
0.36	-1.188	-1.783	-2.041	-2.383	-2.756
0.38	-1.274	-1.837	-2.084	-2.416	-2.766
0.40	-1.347	-1.883	-2.119	-2.437	-2.771
0.42	-1.377	-1.900	-2.136	-2.441	-2.772
0.44	-1.352	-1.878	-2.132	-2.430	-2.769
0.46	-1.281	-1.825	-2.113	-2.410	-2.766
0.48	-1.198	-1.765	-2.091	-2.393	-2.768
0.50	-1.141	-1.724	-2.081	-2.388	-2.778
0.55	-1.134	-1.721	-2.094	-2.403	-2.800
0.60	-1.179	-1.757	-2.131	-2.437	-2.833
0.65	-1.259	-1.822	-2.185	-2.485	-2.873
0.70	-1.349	-1.894	-2.245	-2.538	-2.916
0.75	-1.428	-1.957	-2.298	-2.588	-2.957
0.80	-1.489	-2.002	-2.337	-2.627	-2.994
0.85	-1.537	-2.032	-2.365	-2.656	-3.029
0.90	-1.586	-2.060	-2.391	-2.681	-3.065
0.95	-1.653	-2.098	-2.424	-2.711	-3.104
1.00	-1.747	-2.159	-2.476	-2.754	-3.150
1.05	-1.874	-2.248	-2.550	-2.817	-3.201
1.10	-2.032	-2.363	-2.642	-2.895	-3.254
1.15	-2.216	-2.497	-2.747	-2.983	-3.309
1.20	-2.417	-2.643	-2.858	-3.071	-3.363
1.25	-2.621	-2.792	-2.969	-3.156	-3.419
1.30	-2.815	-2.940	-3.082	-3.240	-3.476
1.35	-2.995	-3.086	-3.195	-3.324	-3.537
1.40	-3.161	-3.231	-3.310	-3.412	-3.602
1.45	-3.320	-3.376	-3.427	-3.505	-3.669
1.50	-3.480	-3.519	-3.543	-3.601	-3.736
1.55	-3.639	-3.658	-3.654	-3.696	-3.802
1.60	-3.793	-3.788	-3.759	-3.787	-3.864
1.65	-3.938	-3.903	-3.856	-3.872	-3.923
1.70	-4.070	-4.004	-3.945	-3.951	-3.978
1.75	-4.190	-4.094	-4.029	-4.026	-4.032
1.80	-4.295	-4.177	-4.111	-4.097	-4.087
1.85	-4.386	-4.259	-4.194	-4.169	-4.145
1.90	-4.465	-4.342	-4.279	-4.243	-4.207
1.95	-4.536	-4.426	-4.367	-4.322	-4.276
2.00	-4.608	-4.511	-4.458	-4.406	-4.353
2.20	-4.683	-4.594	-4.549	-4.493	-4.436
2.40	-4.757	-4.670	-4.637	-4.580	-4.522
2.60	-4.823	-4.736	-4.718	-4.662	-4.610
2.80	-4.870	-4.788	-4.789	-4.740	-4.697
3.00	-4.892	-4.826	-4.850	-4.812	-4.782
3.20	-4.895	-4.854	-4.902	-4.881	-4.865
3.40	-4.892	-4.880	-4.950	-4.948	-4.945
3.60	-4.897	-4.912	-4.998	-5.012	-5.021
3.80	-4.924	-4.959	-5.052	-5.077	-5.096
4.00	-4.978	-5.022	-5.116	-5.147	-5.172
4.50	-5.055	-5.102	-5.192	-5.224	-5.253
5.00	-5.147	-5.191	-5.276	-5.306	-5.338

Πίνακας 5.2. Συντελεστές αναγωγής, $C_2(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

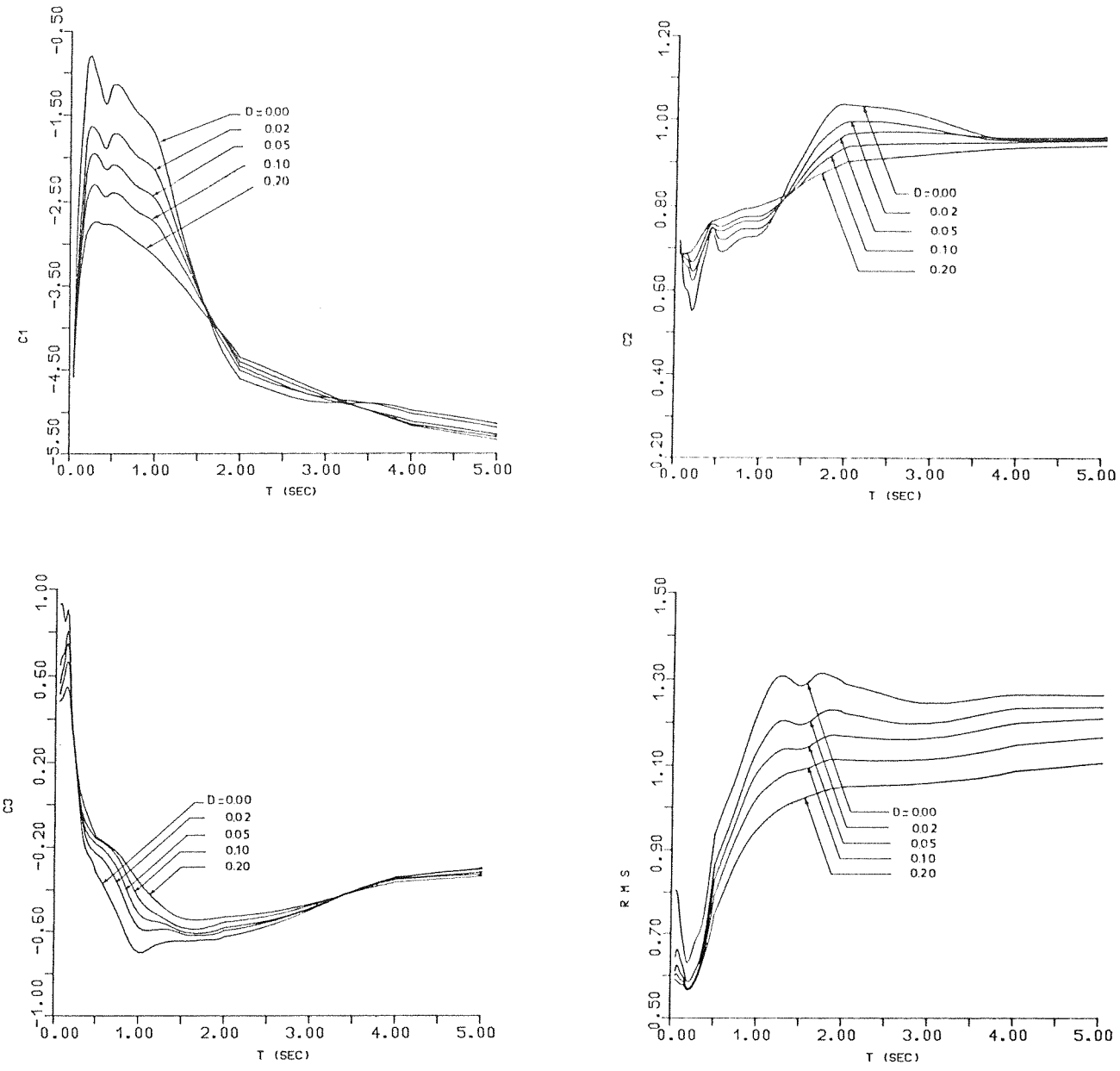
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.718	0.705	0.697	0.690	0.686
0.06	0.700	0.695	0.691	0.689	0.687
0.07	0.679	0.685	0.687	0.687	0.687
0.08	0.656	0.677	0.683	0.686	0.688
0.09	0.635	0.671	0.681	0.685	0.688
0.10	0.619	0.666	0.679	0.685	0.689
0.11	0.610	0.662	0.677	0.685	0.689
0.12	0.606	0.660	0.676	0.686	0.689
0.13	0.603	0.658	0.674	0.685	0.690
0.14	0.601	0.656	0.673	0.685	0.690
0.15	0.597	0.654	0.671	0.683	0.690
0.16	0.591	0.650	0.668	0.679	0.690
0.17	0.583	0.643	0.663	0.674	0.691
0.18	0.571	0.634	0.656	0.670	0.691
0.19	0.558	0.626	0.649	0.667	0.693
0.20	0.551	0.622	0.645	0.667	0.697
0.22	0.555	0.624	0.646	0.670	0.702
0.24	0.569	0.633	0.652	0.676	0.707
0.26	0.592	0.648	0.661	0.684	0.714
0.28	0.617	0.664	0.672	0.693	0.721
0.30	0.641	0.680	0.684	0.703	0.729
0.32	0.660	0.693	0.695	0.714	0.736
0.34	0.678	0.706	0.706	0.725	0.743
0.36	0.696	0.719	0.718	0.737	0.750
0.38	0.716	0.733	0.730	0.747	0.757
0.40	0.731	0.745	0.740	0.755	0.761
0.42	0.739	0.751	0.746	0.758	0.765
0.44	0.735	0.749	0.748	0.758	0.766
0.46	0.723	0.741	0.746	0.756	0.768
0.48	0.707	0.730	0.743	0.753	0.769
0.50	0.695	0.722	0.741	0.752	0.771
0.55	0.691	0.720	0.742	0.754	0.774
0.60	0.696	0.724	0.747	0.758	0.778
0.65	0.704	0.732	0.753	0.764	0.783
0.70	0.714	0.740	0.759	0.769	0.788
0.75	0.721	0.746	0.763	0.774	0.792
0.80	0.725	0.748	0.765	0.776	0.794
0.85	0.726	0.748	0.766	0.777	0.796
0.90	0.727	0.748	0.765	0.776	0.798
0.95	0.729	0.748	0.766	0.777	0.801
1.00	0.736	0.751	0.769	0.779	0.804
1.05	0.747	0.758	0.774	0.784	0.808
1.10	0.762	0.769	0.783	0.791	0.812
1.15	0.783	0.783	0.793	0.799	0.816
1.20	0.806	0.799	0.803	0.808	0.821
1.25	0.830	0.815	0.815	0.816	0.825
1.30	0.853	0.832	0.826	0.824	0.830
1.35	0.873	0.849	0.839	0.832	0.836
1.40	0.891	0.865	0.852	0.842	0.842
1.45	0.908	0.882	0.865	0.852	0.849
1.50	0.926	0.899	0.878	0.864	0.855
1.55	0.944	0.915	0.891	0.875	0.862
1.60	0.963	0.931	0.903	0.885	0.868
1.65	0.981	0.944	0.913	0.894	0.873
1.70	0.997	0.955	0.923	0.902	0.877
1.75	1.011	0.965	0.932	0.910	0.881
1.80	1.023	0.974	0.941	0.916	0.885
1.85	1.032	0.982	0.949	0.923	0.890
1.90	1.036	0.989	0.957	0.929	0.895
1.95	1.038	0.994	0.964	0.934	0.899
2.00	1.037	0.997	0.968	0.938	0.904
2.20	1.034	0.997	0.971	0.942	0.908
2.40	1.030	0.995	0.972	0.944	0.911
2.60	1.024	0.990	0.972	0.945	0.915
2.80	1.015	0.984	0.971	0.946	0.918
3.00	1.003	0.977	0.969	0.946	0.922
3.20	0.989	0.968	0.966	0.947	0.926
3.40	0.976	0.961	0.963	0.947	0.929
3.60	0.964	0.955	0.960	0.948	0.932
3.80	0.957	0.952	0.958	0.948	0.934
4.00	0.954	0.951	0.958	0.949	0.936
4.50	0.954	0.953	0.959	0.951	0.939
5.00	0.957	0.956	0.962	0.953	0.941

Πίνακας 5.3. Συντελεστές αναγωγής, $C_3(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.928	0.650	0.565	0.519	0.485
0.06	0.934	0.672	0.589	0.535	0.488
0.07	0.925	0.687	0.610	0.551	0.492
0.08	0.899	0.695	0.626	0.565	0.498
0.09	0.868	0.700	0.641	0.580	0.505
0.10	0.847	0.711	0.660	0.597	0.516
0.11	0.849	0.733	0.685	0.618	0.528
0.12	0.870	0.763	0.713	0.641	0.541
0.13	0.895	0.792	0.737	0.659	0.549
0.14	0.904	0.806	0.747	0.667	0.550
0.15	0.880	0.794	0.735	0.659	0.541
0.16	0.819	0.751	0.697	0.633	0.522
0.17	0.725	0.680	0.635	0.590	0.493
0.18	0.614	0.592	0.559	0.533	0.456
0.19	0.501	0.499	0.477	0.466	0.410
0.20	0.395	0.410	0.395	0.393	0.358
0.22	0.299	0.327	0.317	0.317	0.301
0.24	0.213	0.250	0.243	0.243	0.243
0.26	0.132	0.176	0.172	0.172	0.187
0.28	0.055	0.103	0.104	0.107	0.136
0.30	-0.019	0.033	0.040	0.050	0.090
0.32	-0.086	-0.030	-0.016	0.001	0.052
0.34	-0.140	-0.083	-0.062	-0.037	0.019
0.36	-0.181	-0.124	-0.097	-0.066	-0.009
0.38	-0.209	-0.155	-0.121	-0.087	-0.033
0.40	-0.229	-0.177	-0.139	-0.103	-0.055
0.42	-0.243	-0.194	-0.151	-0.116	-0.076
0.44	-0.256	-0.205	-0.160	-0.127	-0.095
0.46	-0.270	-0.213	-0.168	-0.138	-0.114
0.48	-0.290	-0.221	-0.176	-0.149	-0.132
0.50	-0.318	-0.231	-0.187	-0.161	-0.148
0.55	-0.353	-0.247	-0.201	-0.173	-0.163
0.60	-0.390	-0.268	-0.218	-0.187	-0.178
0.65	-0.429	-0.296	-0.240	-0.202	-0.192
0.70	-0.470	-0.329	-0.267	-0.222	-0.209
0.75	-0.514	-0.369	-0.301	-0.248	-0.228
0.80	-0.562	-0.415	-0.342	-0.281	-0.251
0.85	-0.611	-0.465	-0.390	-0.321	-0.277
0.90	-0.655	-0.514	-0.438	-0.363	-0.306
0.95	-0.686	-0.554	-0.482	-0.404	-0.335
1.00	-0.699	-0.581	-0.514	-0.439	-0.363
1.05	-0.697	-0.594	-0.534	-0.467	-0.388
1.10	-0.686	-0.595	-0.545	-0.488	-0.411
1.15	-0.673	-0.592	-0.550	-0.503	-0.432
1.20	-0.663	-0.589	-0.553	-0.516	-0.452
1.25	-0.656	-0.588	-0.558	-0.528	-0.471
1.30	-0.650	-0.589	-0.564	-0.540	-0.488
1.35	-0.646	-0.592	-0.573	-0.552	-0.504
1.40	-0.644	-0.598	-0.583	-0.563	-0.517
1.45	-0.644	-0.605	-0.592	-0.573	-0.528
1.50	-0.645	-0.612	-0.600	-0.581	-0.536
1.55	-0.645	-0.617	-0.606	-0.587	-0.542
1.60	-0.645	-0.620	-0.609	-0.589	-0.544
1.65	-0.643	-0.620	-0.609	-0.589	-0.545
1.70	-0.641	-0.620	-0.608	-0.587	-0.544
1.75	-0.639	-0.618	-0.606	-0.584	-0.542
1.80	-0.639	-0.616	-0.604	-0.579	-0.539
1.85	-0.639	-0.614	-0.600	-0.573	-0.537
1.90	-0.638	-0.610	-0.595	-0.567	-0.535
1.95	-0.633	-0.604	-0.589	-0.561	-0.532
2.00	-0.623	-0.594	-0.580	-0.553	-0.528
2.20	-0.607	-0.581	-0.568	-0.544	-0.522
2.40	-0.586	-0.564	-0.554	-0.532	-0.512
2.60	-0.560	-0.543	-0.535	-0.516	-0.499
2.80	-0.530	-0.518	-0.512	-0.496	-0.483
3.00	-0.496	-0.487	-0.485	-0.473	-0.463
3.20	-0.459	-0.453	-0.454	-0.445	-0.441
3.40	-0.423	-0.419	-0.422	-0.416	-0.419
3.60	-0.389	-0.387	-0.392	-0.389	-0.397
3.80	-0.360	-0.359	-0.366	-0.366	-0.377
4.00	-0.336	-0.336	-0.345	-0.347	-0.360
4.50	-0.314	-0.316	-0.328	-0.333	-0.346
5.00	-0.293	-0.298	-0.313	-0.321	-0.333

Πίνακας 5.4. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{\ln Y}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.806	0.644	0.611	0.601	0.592
0.06	0.803	0.656	0.620	0.604	0.591
0.07	0.794	0.663	0.625	0.605	0.589
0.08	0.779	0.663	0.625	0.603	0.587
0.09	0.758	0.657	0.621	0.600	0.585
0.10	0.737	0.648	0.615	0.596	0.583
0.11	0.718	0.640	0.609	0.593	0.581
0.12	0.703	0.634	0.606	0.591	0.580
0.13	0.691	0.629	0.603	0.589	0.580
0.14	0.680	0.624	0.600	0.588	0.579
0.15	0.668	0.617	0.596	0.586	0.578
0.16	0.656	0.608	0.590	0.582	0.575
0.17	0.645	0.600	0.584	0.577	0.572
0.18	0.636	0.593	0.578	0.572	0.569
0.19	0.630	0.587	0.573	0.568	0.566
0.20	0.631	0.585	0.570	0.566	0.565
0.22	0.638	0.586	0.570	0.566	0.566
0.24	0.651	0.591	0.574	0.569	0.568
0.26	0.665	0.599	0.580	0.574	0.573
0.28	0.678	0.608	0.588	0.582	0.580
0.30	0.688	0.616	0.597	0.590	0.588
0.32	0.695	0.625	0.607	0.599	0.597
0.34	0.704	0.636	0.619	0.611	0.608
0.36	0.718	0.653	0.635	0.625	0.620
0.38	0.740	0.676	0.656	0.643	0.633
0.40	0.769	0.704	0.681	0.663	0.648
0.42	0.802	0.736	0.708	0.686	0.663
0.44	0.837	0.768	0.737	0.709	0.680
0.46	0.871	0.801	0.767	0.734	0.699
0.48	0.904	0.833	0.798	0.762	0.721
0.50	0.937	0.864	0.829	0.791	0.745
0.55	0.967	0.893	0.858	0.821	0.770
0.60	0.995	0.920	0.887	0.850	0.797
0.65	1.021	0.946	0.914	0.878	0.823
0.70	1.047	0.974	0.941	0.903	0.847
0.75	1.076	1.004	0.969	0.928	0.870
0.80	1.109	1.036	0.997	0.951	0.890
0.85	1.142	1.068	1.025	0.973	0.908
0.90	1.173	1.096	1.050	0.993	0.924
0.95	1.203	1.121	1.071	1.011	0.938
1.00	1.229	1.141	1.088	1.026	0.950
1.05	1.254	1.159	1.101	1.038	0.961
1.10	1.276	1.175	1.112	1.047	0.971
1.15	1.293	1.188	1.122	1.056	0.980
1.20	1.304	1.198	1.130	1.064	0.988
1.25	1.309	1.204	1.136	1.071	0.995
1.30	1.307	1.205	1.140	1.077	1.001
1.35	1.302	1.204	1.141	1.082	1.007
1.40	1.294	1.200	1.140	1.084	1.011
1.45	1.287	1.197	1.139	1.086	1.015
1.50	1.285	1.195	1.139	1.089	1.019
1.55	1.290	1.197	1.142	1.092	1.023
1.60	1.299	1.203	1.147	1.095	1.026
1.65	1.309	1.211	1.154	1.100	1.030
1.70	1.314	1.218	1.160	1.104	1.034
1.75	1.315	1.224	1.165	1.109	1.038
1.80	1.312	1.228	1.169	1.112	1.041
1.85	1.308	1.230	1.172	1.115	1.044
1.90	1.304	1.230	1.173	1.116	1.046
1.95	1.299	1.228	1.172	1.116	1.047
2.00	1.291	1.223	1.171	1.115	1.049
2.20	1.281	1.216	1.168	1.114	1.050
2.40	1.270	1.208	1.165	1.112	1.052
2.60	1.258	1.201	1.163	1.112	1.053
2.80	1.249	1.198	1.162	1.113	1.055
3.00	1.245	1.198	1.165	1.115	1.058
3.20	1.245	1.203	1.169	1.119	1.062
3.40	1.250	1.211	1.176	1.125	1.066
3.60	1.256	1.219	1.184	1.132	1.071
3.80	1.262	1.227	1.192	1.140	1.078
4.00	1.265	1.233	1.199	1.149	1.086
4.50	1.266	1.235	1.205	1.158	1.096
5.00	1.264	1.236	1.210	1.167	1.106



Σχ. 5.1. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (5.1), γιά την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

Πίνακας 5.5. Συντελεστές αναγωγής, $C_1(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-6.275	-5.910	-5.715	-5.516	-5.341
0.06	-5.423	-5.321	-5.234	-5.110	-5.016
0.07	-4.611	-4.768	-4.781	-4.730	-4.714
0.08	-3.878	-4.277	-4.380	-4.395	-4.450
0.09	-3.259	-3.864	-4.043	-4.116	-4.233
0.10	-2.779	-3.533	-3.775	-3.898	-4.063
0.11	-2.441	-3.282	-3.571	-3.735	-3.939
0.12	-2.228	-3.106	-3.423	-3.623	-3.859
0.13	-2.104	-2.994	-3.325	-3.557	-3.822
0.14	-2.036	-2.934	-3.272	-3.532	-3.820
0.15	-2.001	-2.912	-3.260	-3.541	-3.845
0.16	-1.989	-2.916	-3.279	-3.574	-3.884
0.17	-1.997	-2.937	-3.315	-3.619	-3.924
0.18	-2.021	-2.965	-3.352	-3.659	-3.952
0.19	-2.055	-2.992	-3.379	-3.684	-3.960
0.20	-2.091	-3.016	-3.390	-3.686	-3.947
0.22	-2.121	-3.032	-3.385	-3.665	-3.913
0.24	-2.138	-3.038	-3.365	-3.626	-3.865
0.26	-2.142	-3.028	-3.332	-3.571	-3.807
0.28	-2.139	-3.002	-3.286	-3.506	-3.746
0.30	-2.130	-2.960	-3.229	-3.435	-3.685
0.32	-2.112	-2.906	-3.167	-3.363	-3.629
0.34	-2.078	-2.845	-3.103	-3.297	-3.580
0.36	-2.026	-2.784	-3.043	-3.241	-3.536
0.38	-1.965	-2.726	-2.986	-3.195	-3.499
0.40	-1.908	-2.669	-2.932	-3.153	-3.465
0.42	-1.862	-2.608	-2.875	-3.110	-3.431
0.44	-1.836	-2.543	-2.814	-3.060	-3.395
0.46	-1.846	-2.490	-2.756	-3.007	-3.357
0.48	-1.916	-2.474	-2.715	-2.960	-3.321
0.50	-2.064	-2.517	-2.712	-2.936	-3.299
0.55	-2.285	-2.630	-2.764	-2.952	-3.303
0.60	-2.553	-2.802	-2.877	-3.020	-3.342
0.65	-2.836	-3.012	-3.043	-3.143	-3.422
0.70	-3.108	-3.233	-3.244	-3.310	-3.540
0.75	-3.353	-3.445	-3.458	-3.504	-3.683
0.80	-3.566	-3.638	-3.665	-3.707	-3.837
0.85	-3.745	-3.805	-3.850	-3.900	-3.986
0.90	-3.894	-3.946	-4.010	-4.073	-4.120
0.95	-4.018	-4.065	-4.145	-4.219	-4.233
1.00	-4.123	-4.168	-4.257	-4.333	-4.324
1.05	-4.210	-4.254	-4.346	-4.414	-4.393
1.10	-4.275	-4.322	-4.410	-4.466	-4.444
1.15	-4.315	-4.368	-4.450	-4.494	-4.483
1.20	-4.336	-4.392	-4.470	-4.505	-4.513
1.25	-4.355	-4.405	-4.479	-4.509	-4.539
1.30	-4.387	-4.421	-4.490	-4.514	-4.565
1.35	-4.439	-4.450	-4.511	-4.527	-4.592
1.40	-4.509	-4.497	-4.547	-4.552	-4.624
1.45	-4.592	-4.561	-4.600	-4.592	-4.665
1.50	-4.686	-4.642	-4.670	-4.647	-4.716
1.55	-4.793	-4.739	-4.755	-4.717	-4.778
1.60	-4.919	-4.855	-4.855	-4.800	-4.848
1.65	-5.068	-4.993	-4.967	-4.894	-4.922
1.70	-5.244	-5.150	-5.090	-4.995	-4.998
1.75	-5.446	-5.323	-5.220	-5.101	-5.072
1.80	-5.656	-5.498	-5.352	-5.208	-5.146
1.85	-5.849	-5.661	-5.482	-5.314	-5.221
1.90	-6.001	-5.799	-5.603	-5.421	-5.299
1.95	-6.104	-5.905	-5.712	-5.528	-5.383
2.00	-6.162	-5.981	-5.806	-5.632	-5.471
2.20	-6.188	-6.030	-5.882	-5.728	-5.558
2.40	-6.192	-6.057	-5.939	-5.809	-5.640
2.60	-6.185	-6.069	-5.981	-5.872	-5.712
2.80	-6.173	-6.073	-6.010	-5.919	-5.775
3.00	-6.163	-6.074	-6.030	-5.954	-5.829
3.20	-6.156	-6.075	-6.045	-5.981	-5.877
3.40	-6.157	-6.080	-6.058	-6.004	-5.922
3.60	-6.162	-6.091	-6.075	-6.028	-5.965
3.80	-6.165	-6.105	-6.094	-6.057	-6.013
4.00	-6.154	-6.113	-6.114	-6.093	-6.069
4.50	-6.120	-6.110	-6.131	-6.133	-6.135
5.00	-6.070	-6.098	-6.145	-6.176	-6.208

Πίνακας 5.6. Συντελεστές αναγωγής, $C_2(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

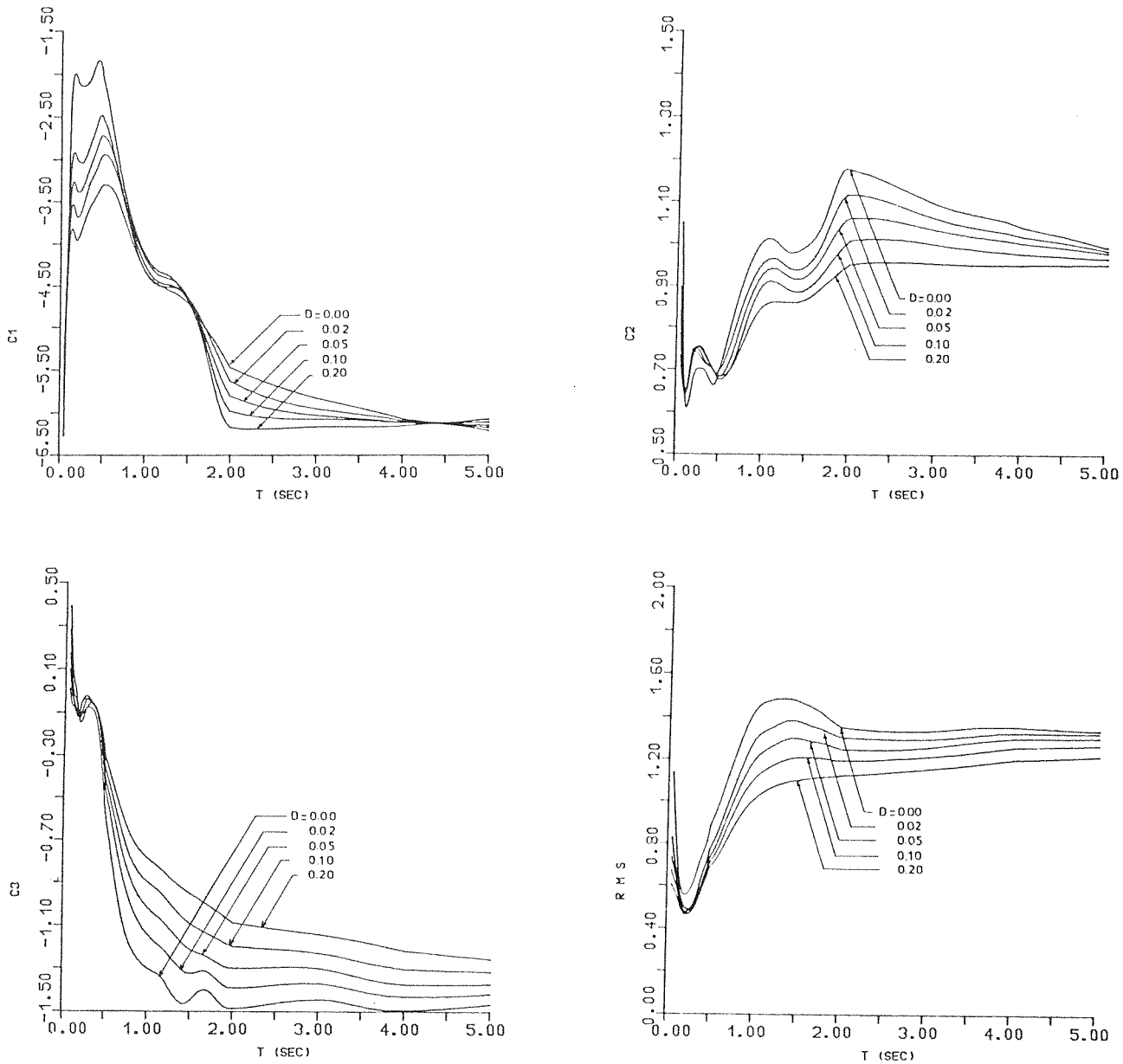
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.050	0.896	0.838	0.784	0.732
0.06	0.959	0.841	0.796	0.750	0.707
0.07	0.870	0.789	0.756	0.718	0.685
0.08	0.788	0.743	0.721	0.691	0.667
0.09	0.719	0.705	0.693	0.669	0.654
0.10	0.665	0.676	0.672	0.655	0.645
0.11	0.631	0.657	0.659	0.647	0.642
0.12	0.614	0.647	0.653	0.645	0.644
0.13	0.610	0.646	0.652	0.650	0.652
0.14	0.613	0.651	0.658	0.659	0.664
0.15	0.619	0.661	0.669	0.673	0.680
0.16	0.628	0.674	0.684	0.690	0.697
0.17	0.639	0.689	0.701	0.708	0.713
0.18	0.651	0.704	0.718	0.725	0.727
0.19	0.666	0.718	0.732	0.738	0.736
0.20	0.679	0.731	0.743	0.747	0.742
0.22	0.691	0.742	0.750	0.751	0.743
0.24	0.699	0.750	0.754	0.751	0.741
0.26	0.702	0.754	0.755	0.748	0.737
0.28	0.703	0.755	0.752	0.743	0.732
0.30	0.703	0.752	0.748	0.736	0.726
0.32	0.702	0.747	0.742	0.729	0.721
0.34	0.698	0.739	0.735	0.722	0.717
0.36	0.692	0.732	0.729	0.717	0.714
0.38	0.684	0.724	0.722	0.713	0.711
0.40	0.676	0.717	0.716	0.710	0.708
0.42	0.669	0.709	0.710	0.705	0.705
0.44	0.664	0.701	0.702	0.699	0.700
0.46	0.664	0.693	0.694	0.691	0.695
0.48	0.674	0.689	0.686	0.683	0.689
0.50	0.695	0.694	0.683	0.677	0.685
0.55	0.728	0.710	0.688	0.678	0.685
0.60	0.768	0.735	0.704	0.686	0.690
0.65	0.811	0.766	0.729	0.705	0.703
0.70	0.852	0.801	0.761	0.732	0.722
0.75	0.890	0.835	0.796	0.764	0.746
0.80	0.923	0.868	0.832	0.799	0.771
0.85	0.952	0.897	0.864	0.832	0.796
0.90	0.976	0.921	0.891	0.861	0.818
0.95	0.995	0.941	0.913	0.884	0.835
1.00	1.007	0.955	0.929	0.901	0.848
1.05	1.013	0.963	0.939	0.909	0.855
1.10	1.012	0.966	0.942	0.912	0.859
1.15	1.005	0.963	0.940	0.909	0.861
1.20	0.994	0.956	0.934	0.904	0.861
1.25	0.985	0.947	0.927	0.897	0.860
1.30	0.979	0.941	0.920	0.891	0.859
1.35	0.978	0.938	0.916	0.887	0.859
1.40	0.981	0.938	0.916	0.885	0.859
1.45	0.987	0.942	0.918	0.886	0.862
1.50	0.994	0.948	0.924	0.890	0.866
1.55	1.003	0.958	0.933	0.898	0.872
1.60	1.016	0.971	0.944	0.907	0.880
1.65	1.035	0.989	0.959	0.919	0.889
1.70	1.060	1.011	0.976	0.932	0.899
1.75	1.091	1.037	0.995	0.946	0.908
1.80	1.124	1.064	1.014	0.961	0.917
1.85	1.152	1.088	1.031	0.974	0.926
1.90	1.172	1.106	1.046	0.987	0.935
1.95	1.179	1.116	1.057	0.998	0.943
2.00	1.176	1.117	1.062	1.007	0.950
2.20	1.165	1.112	1.062	1.012	0.955
2.40	1.149	1.101	1.058	1.013	0.958
2.60	1.130	1.087	1.050	1.011	0.958
2.80	1.112	1.072	1.041	1.006	0.957
3.00	1.095	1.059	1.032	1.000	0.955
3.20	1.082	1.048	1.025	0.994	0.953
3.40	1.073	1.040	1.018	0.990	0.952
3.60	1.065	1.033	1.013	0.985	0.951
3.80	1.056	1.026	1.008	0.982	0.950
4.00	1.041	1.017	1.001	0.978	0.950
4.50	1.020	1.003	0.991	0.973	0.951
5.00	0.994	0.985	0.979	0.967	0.952

Πίνακας 5.7. Συντελεστές αναγωγής, $C_3(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

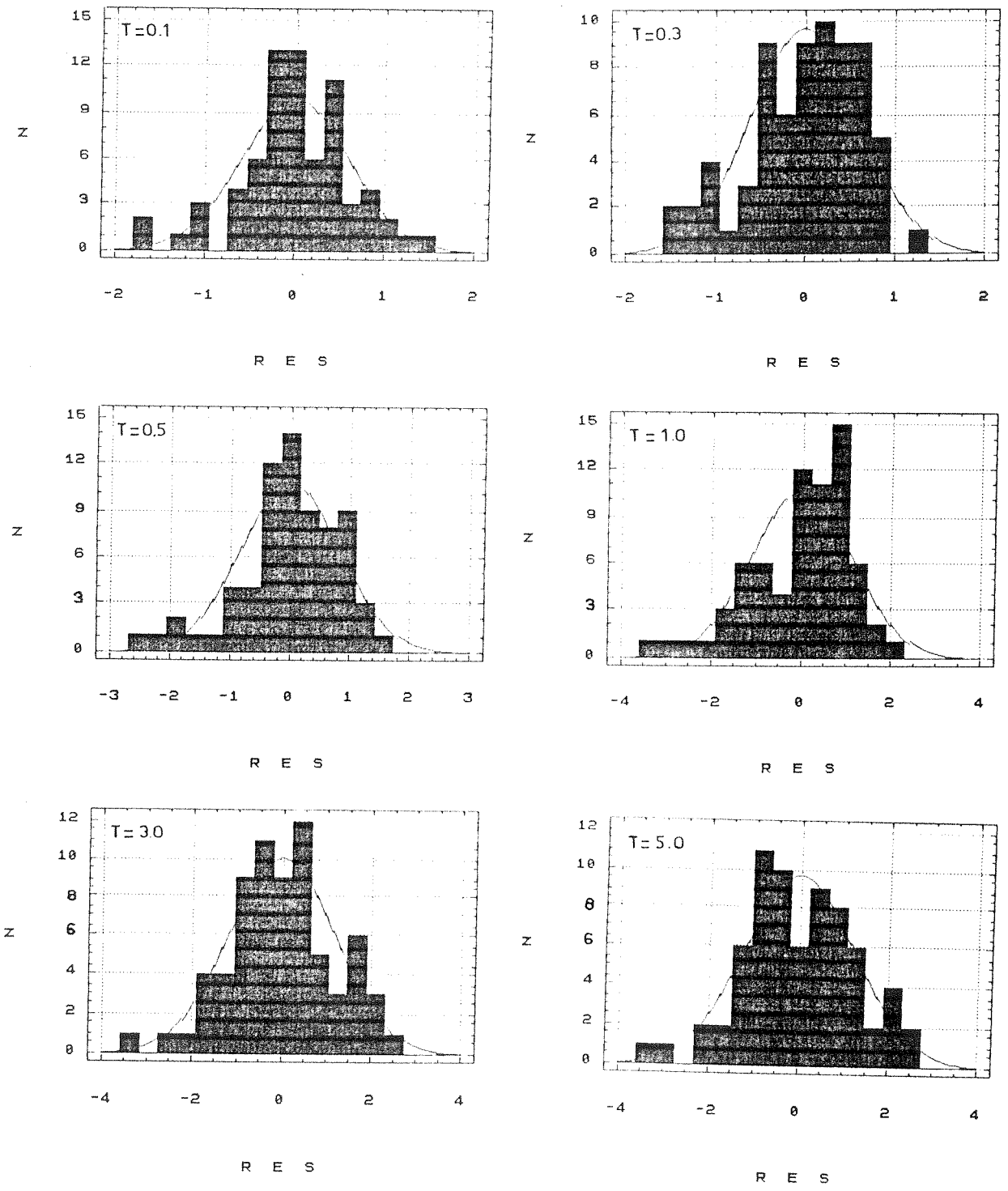
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.390	0.280	0.171	0.098	0.009
0.06	0.313	0.200	0.116	0.058	-0.018
0.07	0.239	0.127	0.065	0.022	-0.041
0.08	0.169	0.068	0.023	-0.007	-0.058
0.09	0.110	0.025	-0.010	-0.030	-0.068
0.10	0.067	-0.002	-0.034	-0.047	-0.074
0.11	0.039	-0.017	-0.051	-0.061	-0.080
0.12	0.021	-0.027	-0.064	-0.075	-0.088
0.13	0.004	-0.036	-0.076	-0.091	-0.099
0.14	-0.019	-0.050	-0.088	-0.105	-0.110
0.15	-0.049	-0.069	-0.098	-0.115	-0.118
0.16	-0.081	-0.093	-0.108	-0.117	-0.118
0.17	-0.108	-0.118	-0.115	-0.111	-0.108
0.18	-0.122	-0.137	-0.116	-0.096	-0.092
0.19	-0.122	-0.146	-0.111	-0.075	-0.072
0.20	-0.113	-0.143	-0.098	-0.054	-0.054
0.22	-0.098	-0.127	-0.079	-0.036	-0.041
0.24	-0.085	-0.104	-0.058	-0.024	-0.035
0.26	-0.077	-0.080	-0.040	-0.020	-0.035
0.28	-0.075	-0.064	-0.032	-0.023	-0.040
0.30	-0.077	-0.057	-0.035	-0.032	-0.048
0.32	-0.081	-0.059	-0.046	-0.045	-0.057
0.34	-0.090	-0.065	-0.060	-0.059	-0.066
0.36	-0.105	-0.072	-0.074	-0.073	-0.077
0.38	-0.132	-0.085	-0.092	-0.089	-0.089
0.40	-0.173	-0.110	-0.118	-0.112	-0.105
0.42	-0.229	-0.153	-0.157	-0.143	-0.128
0.44	-0.296	-0.213	-0.208	-0.184	-0.158
0.46	-0.375	-0.286	-0.269	-0.235	-0.198
0.48	-0.467	-0.369	-0.337	-0.295	-0.248
0.50	-0.577	-0.460	-0.411	-0.362	-0.307
0.55	-0.702	-0.558	-0.492	-0.435	-0.374
0.60	-0.832	-0.661	-0.577	-0.512	-0.443
0.65	-0.956	-0.762	-0.664	-0.590	-0.512
0.70	-1.060	-0.854	-0.745	-0.663	-0.576
0.75	-1.139	-0.932	-0.818	-0.727	-0.632
0.80	-1.196	-0.994	-0.878	-0.782	-0.679
0.85	-1.235	-1.044	-0.926	-0.824	-0.716
0.90	-1.263	-1.083	-0.963	-0.856	-0.745
0.95	-1.286	-1.115	-0.992	-0.880	-0.768
1.00	-1.303	-1.142	-1.016	-0.898	-0.787
1.05	-1.314	-1.164	-1.036	-0.913	-0.804
1.10	-1.323	-1.183	-1.053	-0.930	-0.821
1.15	-1.337	-1.201	-1.071	-0.949	-0.838
1.20	-1.360	-1.220	-1.090	-0.970	-0.857
1.25	-1.391	-1.241	-1.111	-0.993	-0.876
1.30	-1.424	-1.265	-1.134	-1.016	-0.894
1.35	-1.451	-1.289	-1.158	-1.038	-0.911
1.40	-1.464	-1.309	-1.180	-1.058	-0.927
1.45	-1.463	-1.321	-1.199	-1.076	-0.940
1.50	-1.450	-1.325	-1.214	-1.092	-0.953
1.55	-1.430	-1.322	-1.224	-1.105	-0.966
1.60	-1.411	-1.316	-1.232	-1.117	-0.979
1.65	-1.400	-1.313	-1.239	-1.128	-0.992
1.70	-1.402	-1.317	-1.248	-1.138	-1.005
1.75	-1.417	-1.330	-1.259	-1.148	-1.018
1.80	-1.438	-1.347	-1.272	-1.159	-1.031
1.85	-1.460	-1.366	-1.284	-1.171	-1.045
1.90	-1.477	-1.381	-1.295	-1.182	-1.059
1.95	-1.485	-1.389	-1.301	-1.192	-1.073
2.00	-1.485	-1.391	-1.302	-1.200	-1.087
2.20	-1.478	-1.387	-1.300	-1.207	-1.101
2.40	-1.466	-1.380	-1.296	-1.211	-1.112
2.60	-1.454	-1.372	-1.293	-1.216	-1.122
2.80	-1.445	-1.368	-1.295	-1.222	-1.132
3.00	-1.444	-1.371	-1.303	-1.231	-1.141
3.20	-1.453	-1.382	-1.317	-1.245	-1.153
3.40	-1.468	-1.398	-1.335	-1.262	-1.167
3.60	-1.484	-1.415	-1.353	-1.279	-1.184
3.80	-1.495	-1.428	-1.368	-1.295	-1.202
4.00	-1.494	-1.432	-1.375	-1.306	-1.220
4.50	-1.483	-1.427	-1.375	-1.313	-1.239
5.00	-1.464	-1.416	-1.370	-1.317	-1.258

Πίνακας 5.8. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.

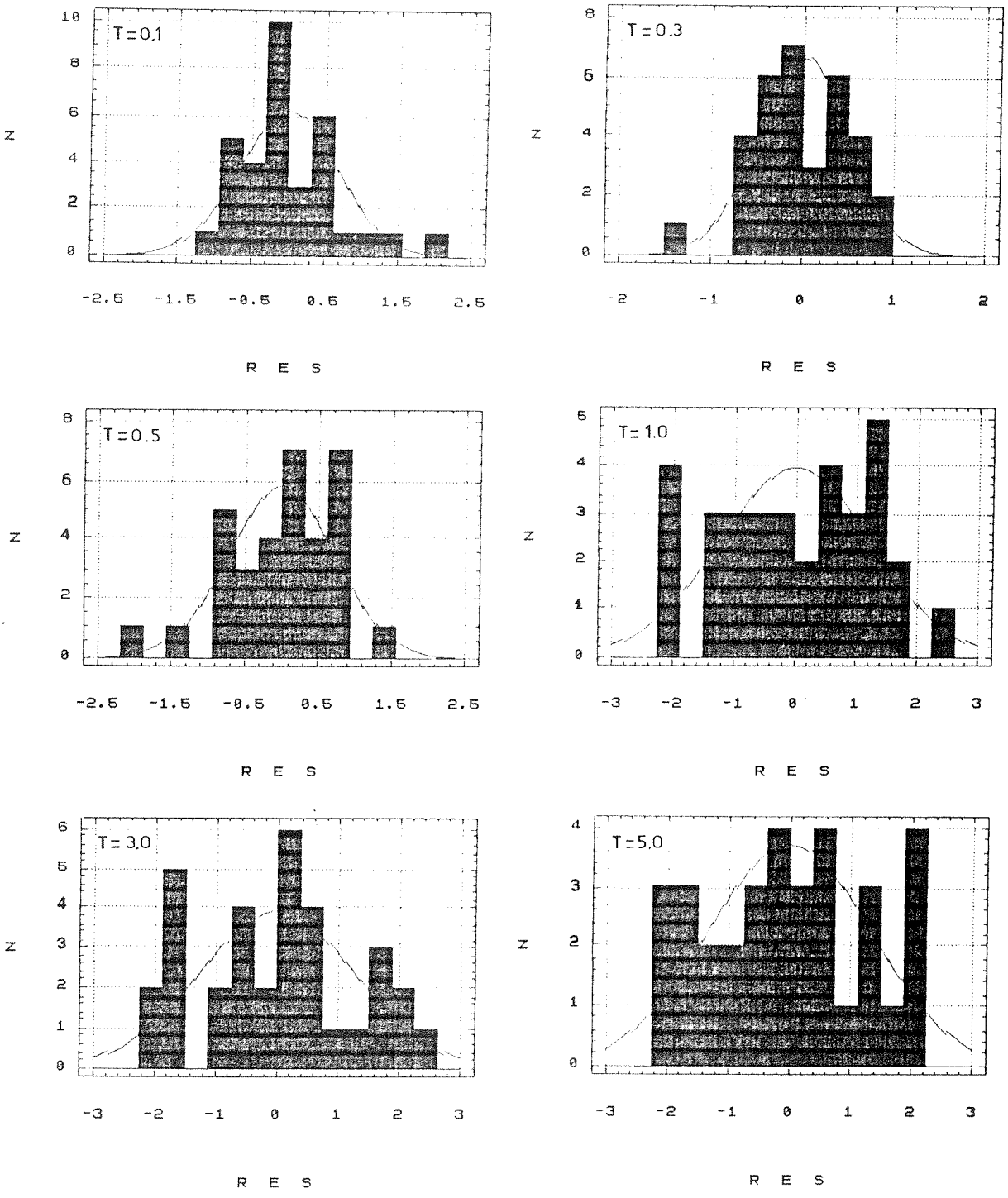
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.137	0.828	0.734	0.672	0.605
0.06	1.068	0.801	0.718	0.659	0.598
0.07	0.998	0.773	0.702	0.646	0.591
0.08	0.929	0.745	0.685	0.633	0.583
0.09	0.864	0.718	0.668	0.622	0.574
0.10	0.805	0.692	0.651	0.610	0.564
0.11	0.753	0.667	0.633	0.598	0.554
0.12	0.707	0.641	0.613	0.584	0.543
0.13	0.667	0.615	0.593	0.568	0.532
0.14	0.633	0.591	0.572	0.551	0.520
0.15	0.607	0.570	0.553	0.532	0.508
0.16	0.588	0.553	0.535	0.514	0.498
0.17	0.574	0.538	0.519	0.498	0.489
0.18	0.565	0.525	0.504	0.484	0.483
0.19	0.559	0.512	0.491	0.474	0.479
0.20	0.557	0.501	0.480	0.468	0.478
0.22	0.559	0.494	0.473	0.466	0.479
0.24	0.564	0.491	0.470	0.467	0.482
0.26	0.575	0.492	0.473	0.472	0.487
0.28	0.590	0.498	0.479	0.478	0.493
0.30	0.610	0.509	0.488	0.487	0.501
0.32	0.634	0.525	0.501	0.499	0.510
0.34	0.660	0.548	0.520	0.514	0.523
0.36	0.687	0.577	0.544	0.534	0.538
0.38	0.713	0.609	0.571	0.558	0.556
0.40	0.737	0.640	0.600	0.583	0.576
0.42	0.758	0.666	0.626	0.608	0.597
0.44	0.780	0.689	0.649	0.631	0.617
0.46	0.804	0.710	0.672	0.653	0.637
0.48	0.837	0.737	0.698	0.678	0.658
0.50	0.879	0.771	0.731	0.707	0.682
0.55	0.932	0.816	0.773	0.742	0.711
0.60	0.992	0.868	0.822	0.784	0.745
0.65	1.056	0.926	0.876	0.831	0.784
0.70	1.120	0.985	0.931	0.879	0.824
0.75	1.182	1.043	0.985	0.927	0.863
0.80	1.243	1.101	1.036	0.972	0.901
0.85	1.301	1.157	1.084	1.014	0.934
0.90	1.354	1.211	1.128	1.051	0.964
0.95	1.400	1.257	1.168	1.083	0.989
1.00	1.434	1.293	1.200	1.109	1.011
1.05	1.456	1.318	1.223	1.130	1.029
1.10	1.468	1.334	1.240	1.146	1.045
1.15	1.474	1.345	1.253	1.160	1.058
1.20	1.480	1.355	1.265	1.172	1.069
1.25	1.484	1.366	1.276	1.183	1.078
1.30	1.488	1.376	1.287	1.193	1.086
1.35	1.489	1.383	1.296	1.201	1.092
1.40	1.487	1.386	1.301	1.207	1.098
1.45	1.482	1.384	1.301	1.210	1.102
1.50	1.475	1.379	1.298	1.211	1.105
1.55	1.466	1.371	1.293	1.211	1.108
1.60	1.457	1.364	1.288	1.211	1.111
1.65	1.448	1.357	1.284	1.210	1.113
1.70	1.437	1.350	1.281	1.209	1.116
1.75	1.425	1.343	1.278	1.207	1.118
1.80	1.411	1.335	1.273	1.205	1.119
1.85	1.395	1.327	1.267	1.202	1.121
1.90	1.379	1.318	1.261	1.199	1.122
1.95	1.366	1.310	1.254	1.197	1.124
2.00	1.355	1.304	1.249	1.196	1.127
2.20	1.347	1.300	1.246	1.198	1.132
2.40	1.341	1.298	1.247	1.202	1.138
2.60	1.337	1.297	1.250	1.207	1.145
2.80	1.335	1.297	1.256	1.213	1.152
3.00	1.337	1.300	1.263	1.219	1.160
3.20	1.342	1.306	1.271	1.226	1.168
3.40	1.350	1.314	1.281	1.235	1.176
3.60	1.358	1.323	1.291	1.245	1.185
3.80	1.362	1.329	1.299	1.255	1.195
4.00	1.361	1.332	1.305	1.263	1.205
4.50	1.354	1.332	1.308	1.270	1.215
5.00	1.344	1.329	1.310	1.276	1.224



Σχ. 5.2. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (5.1), για την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου.



Σχ. 5.3. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (5.1), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης, D=0.05.



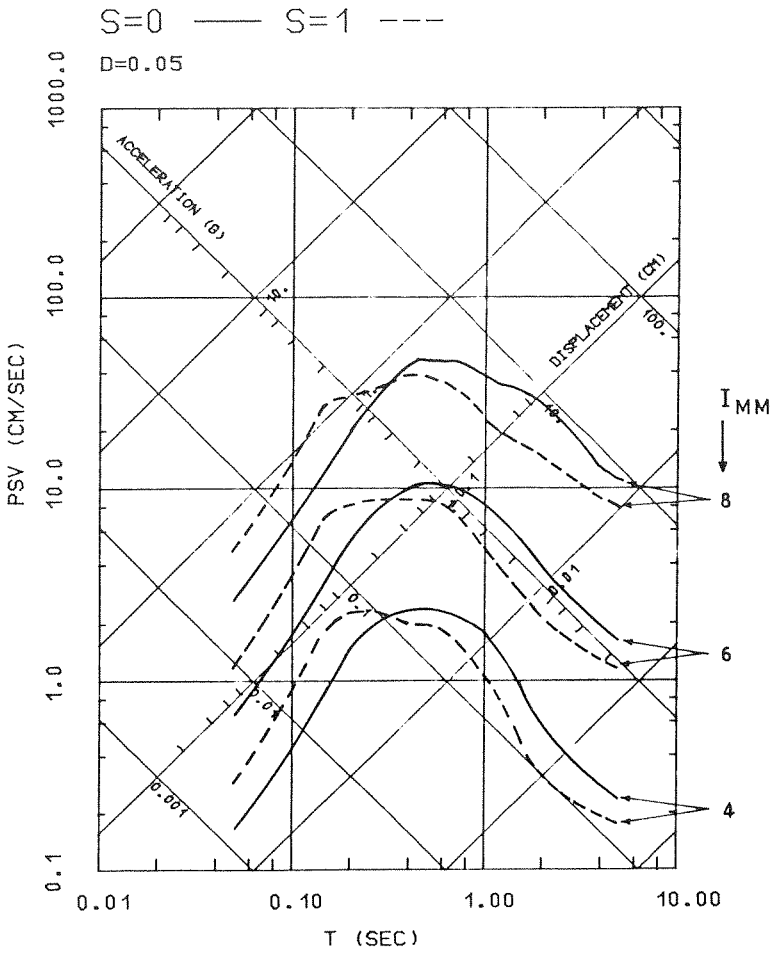
Σχ. 5.4. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (5.1), για την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης, D=0.05.

Στο σχήμα (5.5) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας που προβλέπονται από τη σχέση (5.1) με τη χρήση των συντελεστών $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, των πινάκων (5.1) έως (5.4), για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, για μακροσεισμικές εντάσεις I_{MM}=4,6,8 και για εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" και "αλλουβιακές αποθέσεις". Οι φασματικές ψευδοταχύτητες για τις εδαφικές συνθήκες "σκληρού πετρώματος" είναι υψηλότερες από εκείνες των "αλλουβιακών αποθέσεων" για περιόδους T≤0.3 sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις μεγαλύτερες περιόδους. Με την αύξηση της μακροσεισμικής έντασης παρατηρείται εμπλουτισμός των φασματικών τιμών στις ενδιάμεσες και μεγάλες περιόδους, δηλαδή για T>0.3 sec. Στο σχήμα (5.6) δίνονται ανάλογα μέσα φάσματα απόκρισης για την κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα, όπου παρατηρείται ότι για τις μικρές περιόδους, T≤0.3 sec, οι φασματικές τιμές είναι ανεξάρτητες των εδαφικών συνθηκών ενώ για μεγαλύτερες περιόδους οι φασματικές τιμές για εδαφικές συνθήκες "αλλουβιακών αποθέσεων" είναι υψηλότερες από εκείνες του " σκληρού πετρώματος".

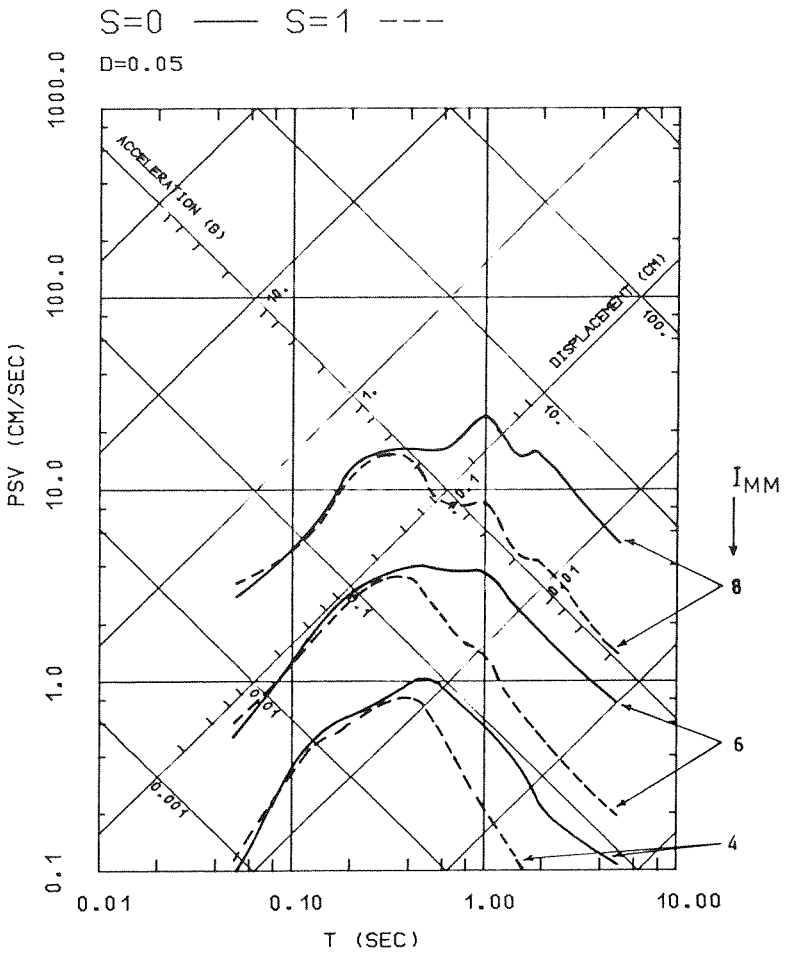
5.3. Συσχέτιση της Φασματικής Ψευδοταχύτητας, PSV(T), με τη Μακροσεισμική Ενταση, I_{MM}, Σεισμών Ενδιαμέσου Βάθους και Επιφανειακών Σεισμών του Ελληνικού Χώρου, Ενισχυμένων με Δεδομένα Σεισμών Μεγεθών Ροπής 7.0<Mw≤7.5 Αλλων Περιοχών.

5.3.1. Σεισμοί ενδιαμέσου βάθους

Η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συντελεστών αναγωγής $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, είναι η (5.1). Τα δεδομένα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους δίνονται στον



Σχ. 5.5. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης, για "σκληρό πέτρωμα" (διακεκομμένη γραμμή) και για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή).



Σχ. 5.6. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης, για "σκληρό πέτρωμα" (διακεκομμένη γραμμή) και για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή).

πίνακα (3.3). Οι κωδικοί καταγραφής αυτού του πίνακα παραπέμπουν στις 70 οριζόντιες συνιστώσες τα φάσματα απόκρισης των οποίων δίνονται στο Παράρτημα Δ.

Στους πίνακες (5.9) έως (5.12) και στο σχήμα (5.7) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, για παράγοντες απόσβεσης D=0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 της κρίσιμης όπως έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (5.1) για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T). Οι συντελεστές αυτοί έχουν εξομαλυνθεί με τη μέθοδο του (1/4+1/2+1/4) "κινητού μέσου" κατά μήκος του άξονα των περιόδων, log(T).

Το μοντέλο πρόβλεψης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1) θεωρήθηκε επαρκές. Η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση αυτή τη σχέση δίνονται στο σχήμα (5.8). Η διερεύνηση γίνεται για περιόδους T=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 sec και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Οπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα, οι συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων ακολουθούν ικανοποιητικά την κανονική κατανομή.

Στο σχήμα (5.9) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης φασματικής ψευδοταχύτητας που προκύπτουν από τη σχέση (5.1) με τη χρήση των συντελεστών αναγωγής $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, των πινάκων (5.9) έως (5.12), για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, για μακροσεισμικές εντάσεις, I_{MM}=4,6,8 και για εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" και "αλλουβιακές αποθέσεις". Οι φασματικές ψευδοταχύτητες για τις εδαφικές συνθήκες του "σκληρού πετρώματος" είναι υψηλότερες από εκείνες των "αλλουβιακών αποθέσεων" για περιόδους T≤0.25 sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις μεγαλύτερες περιόδους. Με την αύξηση της μακροσεισμικής έντασης παρατηρείται εμπλουτισμός των φασματικών τιμών για περιόδους T≥0.6 sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στις μικρότερες περιόδους.

Πίνακας 5.9. Συντελεστές αναγωγής, $C_1(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-3.712	-4.628	-4.583	-4.564	-4.539
0.06	-3.373	-4.257	-4.288	-4.304	-4.308
0.07	-3.022	-3.884	-3.988	-4.043	-4.080
0.08	-2.658	-3.510	-3.685	-3.786	-3.859
0.09	-2.298	-3.147	-3.384	-3.535	-3.649
0.10	-1.972	-2.807	-3.099	-3.300	-3.453
0.11	-1.705	-2.509	-2.843	-3.086	-3.274
0.12	-1.512	-2.260	-2.625	-2.896	-3.112
0.13	-1.380	-2.058	-2.442	-2.728	-2.964
0.14	-1.277	-1.888	-2.284	-2.575	-2.826
0.15	-1.166	-1.728	-2.133	-2.427	-2.697
0.16	-1.027	-1.565	-1.980	-2.280	-2.576
0.17	-0.867	-1.398	-1.822	-2.133	-2.464
0.18	-0.715	-1.239	-1.668	-1.992	-2.362
0.19	-0.601	-1.105	-1.529	-1.865	-2.272
0.20	-0.533	-1.002	-1.415	-1.759	-2.192
0.22	-0.498	-0.929	-1.329	-1.676	-2.122
0.24	-0.473	-0.878	-1.268	-1.617	-2.061
0.26	-0.443	-0.844	-1.229	-1.578	-2.008
0.28	-0.408	-0.823	-1.205	-1.551	-1.964
0.30	-0.384	-0.818	-1.191	-1.532	-1.927
0.32	-0.385	-0.829	-1.188	-1.520	-1.901
0.34	-0.416	-0.857	-1.201	-1.518	-1.888
0.36	-0.475	-0.904	-1.235	-1.534	-1.895
0.38	-0.554	-0.972	-1.295	-1.575	-1.925
0.40	-0.654	-1.063	-1.381	-1.639	-1.978
0.42	-0.779	-1.178	-1.486	-1.722	-2.052
0.44	-0.927	-1.311	-1.602	-1.819	-2.139
0.46	-1.085	-1.450	-1.721	-1.922	-2.235
0.48	-1.234	-1.584	-1.838	-2.030	-2.336
0.50	-1.365	-1.704	-1.948	-2.140	-2.440
0.55	-1.477	-1.809	-2.051	-2.249	-2.544
0.60	-1.577	-1.900	-2.143	-2.353	-2.646
0.65	-1.662	-1.980	-2.224	-2.447	-2.742
0.70	-1.727	-2.050	-2.296	-2.530	-2.831
0.75	-1.777	-2.118	-2.365	-2.608	-2.915
0.80	-1.827	-2.192	-2.442	-2.687	-3.000
0.85	-1.901	-2.283	-2.534	-2.778	-3.093
0.90	-2.018	-2.401	-2.649	-2.888	-3.196
0.95	-2.189	-2.552	-2.792	-3.020	-3.311
1.00	-2.411	-2.738	-2.959	-3.171	-3.436
1.05	-2.669	-2.949	-3.147	-3.334	-3.567
1.10	-2.937	-3.169	-3.341	-3.501	-3.696
1.15	-3.187	-3.377	-3.528	-3.661	-3.819
1.20	-3.404	-3.560	-3.695	-3.807	-3.930
1.25	-3.586	-3.714	-3.838	-3.936	-4.029
1.30	-3.743	-3.842	-3.957	-4.046	-4.114
1.35	-3.883	-3.948	-4.053	-4.139	-4.188
1.40	-4.004	-4.033	-4.130	-4.215	-4.251
1.45	-4.098	-4.097	-4.187	-4.276	-4.306
1.50	-4.153	-4.139	-4.228	-4.323	-4.353
1.55	-4.164	-4.158	-4.253	-4.358	-4.394
1.60	-4.134	-4.156	-4.265	-4.380	-4.429
1.65	-4.075	-4.138	-4.267	-4.393	-4.459
1.70	-4.002	-4.108	-4.258	-4.396	-4.483
1.75	-3.928	-4.070	-4.241	-4.392	-4.503
1.80	-3.860	-4.027	-4.217	-4.383	-4.520
1.85	-3.802	-3.985	-4.190	-4.373	-4.534
1.90	-3.765	-3.955	-4.169	-4.366	-4.548
1.95	-3.765	-3.951	-4.165	-4.369	-4.564
2.00	-3.816	-3.986	-4.189	-4.388	-4.584
2.20	-3.927	-4.065	-4.247	-4.428	-4.612
2.40	-4.091	-4.185	-4.338	-4.490	-4.653
2.60	-4.292	-4.336	-4.454	-4.574	-4.710
2.80	-4.505	-4.502	-4.586	-4.675	-4.782
3.00	-4.710	-4.669	-4.724	-4.787	-4.866
3.20	-4.896	-4.829	-4.861	-4.904	-4.958
3.40	-5.065	-4.981	-4.996	-5.022	-5.054
3.60	-5.231	-5.133	-5.131	-5.142	-5.150
3.80	-5.410	-5.294	-5.273	-5.263	-5.247
4.00	-5.618	-5.476	-5.430	-5.391	-5.344
4.50	-5.855	-5.681	-5.603	-5.527	-5.445
5.00	-6.111	-5.900	-5.787	-5.667	-5.549

Πίνακας 5.10. Συντελεστές αναγωγής, $C_2(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

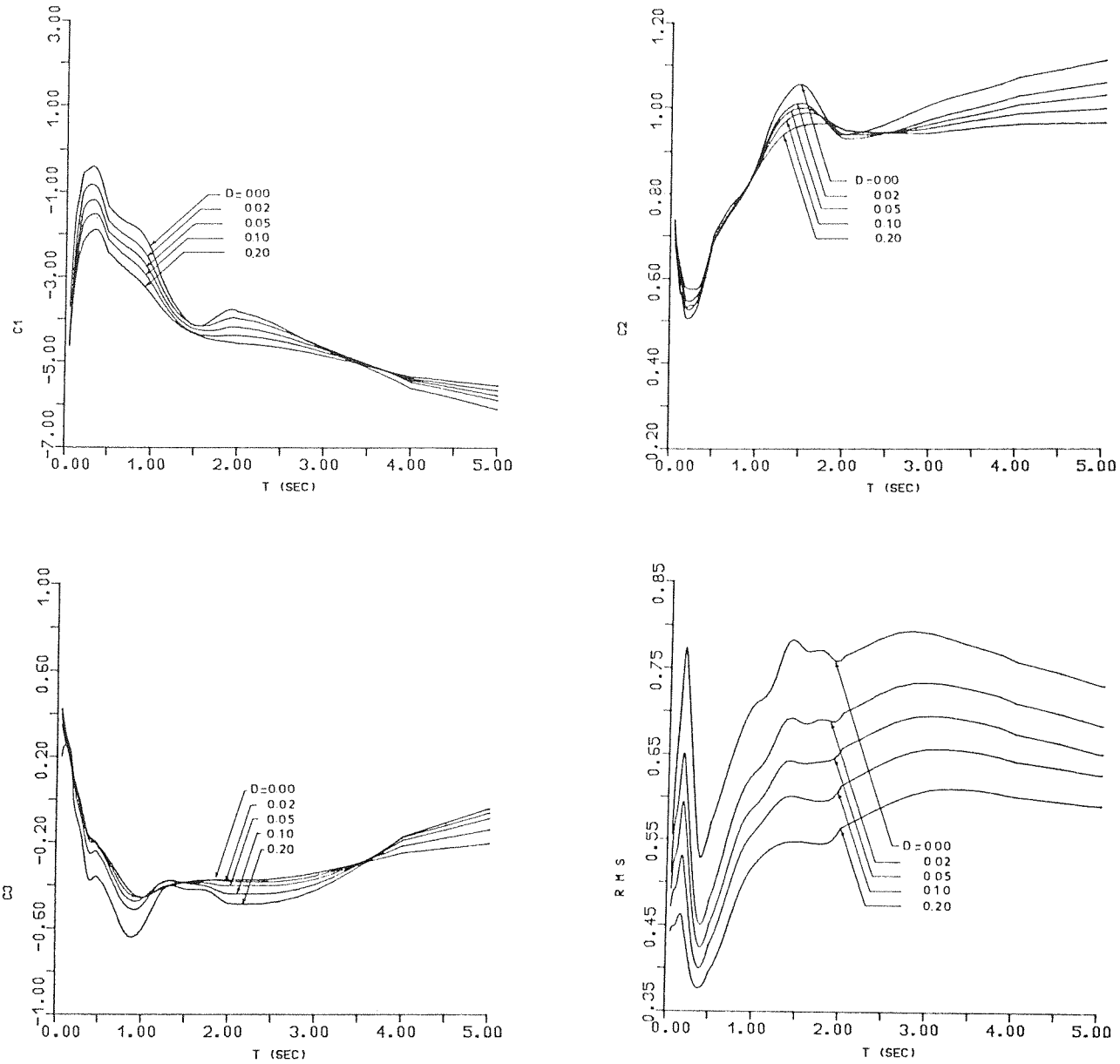
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.679	0.737	0.718	0.705	0.691
0.06	0.667	0.717	0.706	0.697	0.684
0.07	0.652	0.695	0.693	0.686	0.676
0.08	0.632	0.671	0.676	0.674	0.667
0.09	0.609	0.644	0.656	0.661	0.657
0.10	0.587	0.618	0.637	0.646	0.647
0.11	0.571	0.596	0.619	0.633	0.637
0.12	0.563	0.579	0.605	0.622	0.628
0.13	0.563	0.568	0.595	0.612	0.620
0.14	0.565	0.559	0.586	0.603	0.612
0.15	0.564	0.550	0.578	0.594	0.604
0.16	0.557	0.539	0.567	0.584	0.596
0.17	0.546	0.527	0.556	0.573	0.590
0.18	0.536	0.516	0.544	0.563	0.584
0.19	0.531	0.508	0.535	0.554	0.580
0.20	0.531	0.505	0.529	0.548	0.578
0.22	0.534	0.505	0.526	0.546	0.576
0.24	0.537	0.507	0.527	0.546	0.575
0.26	0.537	0.510	0.530	0.548	0.575
0.28	0.537	0.515	0.534	0.552	0.575
0.30	0.539	0.522	0.539	0.556	0.576
0.32	0.545	0.530	0.546	0.560	0.577
0.34	0.556	0.541	0.554	0.566	0.580
0.36	0.569	0.553	0.564	0.573	0.586
0.38	0.583	0.566	0.576	0.582	0.594
0.40	0.598	0.582	0.591	0.595	0.605
0.42	0.615	0.599	0.609	0.610	0.619
0.44	0.636	0.619	0.627	0.627	0.635
0.46	0.658	0.640	0.646	0.644	0.651
0.48	0.679	0.661	0.665	0.663	0.669
0.50	0.700	0.681	0.684	0.682	0.688
0.55	0.720	0.701	0.703	0.702	0.708
0.60	0.739	0.719	0.722	0.722	0.727
0.65	0.757	0.737	0.740	0.741	0.745
0.70	0.773	0.754	0.756	0.758	0.762
0.75	0.785	0.769	0.771	0.774	0.778
0.80	0.796	0.785	0.787	0.789	0.793
0.85	0.809	0.802	0.803	0.805	0.809
0.90	0.827	0.821	0.822	0.822	0.825
0.95	0.850	0.844	0.843	0.842	0.842
1.00	0.879	0.869	0.866	0.863	0.859
1.05	0.910	0.896	0.891	0.885	0.877
1.10	0.941	0.922	0.915	0.906	0.893
1.15	0.968	0.946	0.937	0.926	0.908
1.20	0.990	0.965	0.956	0.942	0.921
1.25	1.007	0.980	0.971	0.956	0.932
1.30	1.023	0.992	0.983	0.967	0.941
1.35	1.036	1.001	0.991	0.976	0.948
1.40	1.048	1.008	0.997	0.982	0.953
1.45	1.055	1.011	1.000	0.986	0.957
1.50	1.056	1.011	1.000	0.988	0.960
1.55	1.050	1.008	0.999	0.989	0.962
1.60	1.037	1.001	0.995	0.987	0.963
1.65	1.021	0.993	0.990	0.985	0.964
1.70	1.003	0.982	0.983	0.981	0.963
1.75	0.986	0.972	0.976	0.976	0.962
1.80	0.970	0.960	0.967	0.970	0.961
1.85	0.957	0.949	0.958	0.964	0.959
1.90	0.946	0.939	0.949	0.958	0.956
1.95	0.939	0.932	0.942	0.952	0.952
2.00	0.938	0.929	0.938	0.947	0.948
2.20	0.944	0.932	0.938	0.944	0.944
2.40	0.956	0.939	0.941	0.943	0.941
2.60	0.973	0.950	0.947	0.945	0.940
2.80	0.991	0.962	0.955	0.949	0.940
3.00	1.008	0.975	0.964	0.955	0.943
3.20	1.022	0.986	0.973	0.962	0.947
3.40	1.033	0.996	0.981	0.969	0.952
3.60	1.044	1.006	0.989	0.975	0.957
3.80	1.056	1.017	0.998	0.981	0.960
4.00	1.071	1.029	1.007	0.987	0.963
4.50	1.090	1.045	1.019	0.993	0.965
5.00	1.111	1.061	1.031	0.999	0.966

Πίνακας 5.11. Συντελεστές αναγωγής, $C_3(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

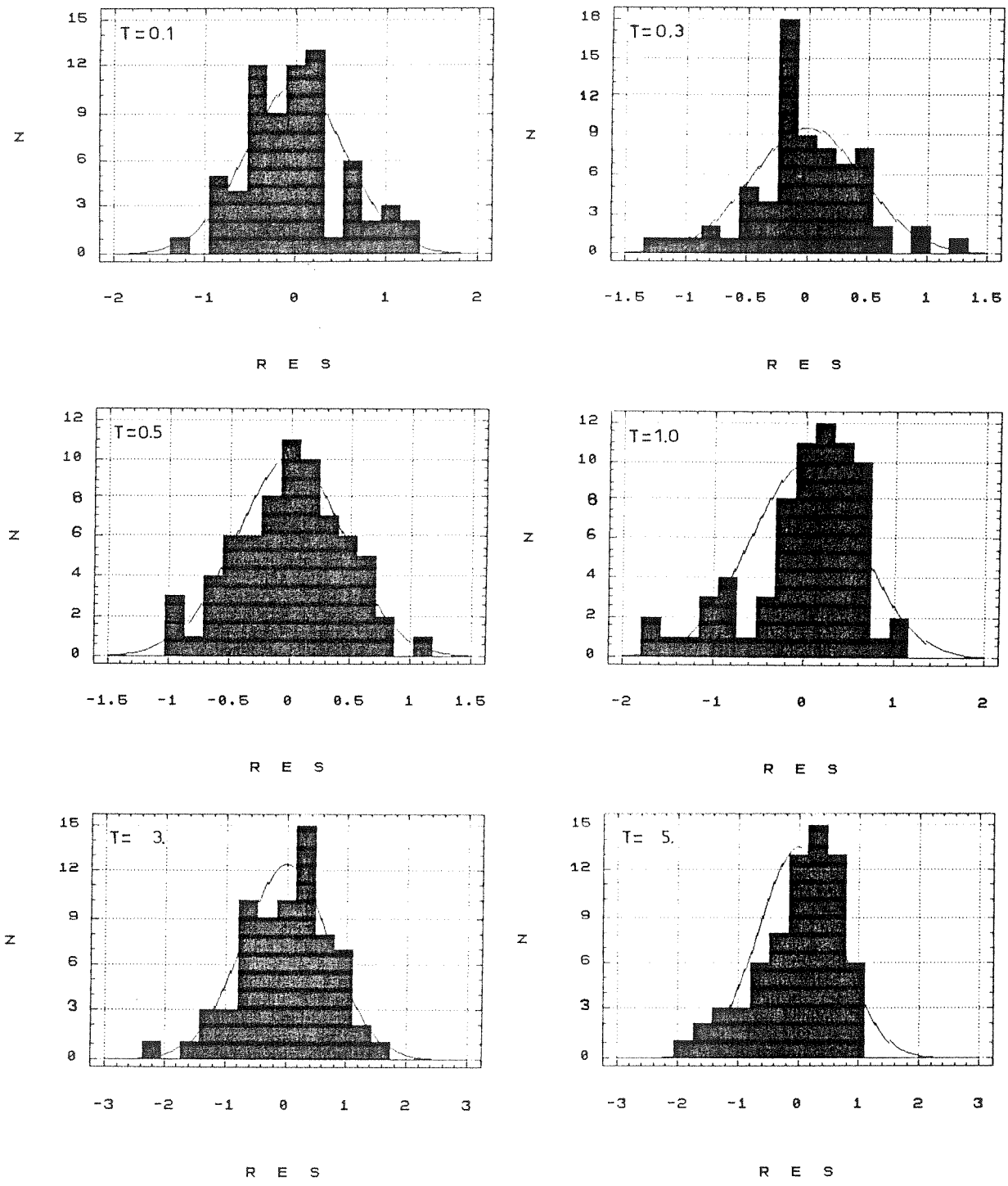
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.202	0.422	0.398	0.383	0.349
0.06	0.228	0.405	0.382	0.364	0.331
0.07	0.246	0.385	0.365	0.344	0.313
0.08	0.252	0.362	0.346	0.324	0.294
0.09	0.252	0.338	0.328	0.305	0.275
0.10	0.253	0.317	0.311	0.288	0.259
0.11	0.254	0.298	0.296	0.275	0.244
0.12	0.253	0.280	0.283	0.263	0.231
0.13	0.244	0.266	0.270	0.252	0.218
0.14	0.228	0.253	0.256	0.241	0.204
0.15	0.205	0.243	0.242	0.229	0.188
0.16	0.178	0.232	0.225	0.214	0.169
0.17	0.144	0.213	0.204	0.194	0.148
0.18	0.100	0.181	0.176	0.170	0.127
0.19	0.048	0.137	0.141	0.142	0.104
0.20	-0.006	0.087	0.105	0.113	0.082
0.22	-0.051	0.040	0.071	0.086	0.059
0.24	-0.083	0.003	0.042	0.059	0.035
0.26	-0.107	-0.026	0.016	0.033	0.010
0.28	-0.136	-0.054	-0.012	0.004	-0.019
0.30	-0.178	-0.088	-0.046	-0.030	-0.049
0.32	-0.234	-0.130	-0.086	-0.067	-0.082
0.34	-0.291	-0.175	-0.127	-0.106	-0.114
0.36	-0.338	-0.214	-0.162	-0.140	-0.142
0.38	-0.367	-0.240	-0.188	-0.166	-0.163
0.40	-0.378	-0.251	-0.201	-0.183	-0.177
0.42	-0.376	-0.251	-0.204	-0.191	-0.185
0.44	-0.368	-0.244	-0.203	-0.196	-0.190
0.46	-0.360	-0.239	-0.204	-0.201	-0.195
0.48	-0.358	-0.242	-0.211	-0.210	-0.204
0.50	-0.368	-0.258	-0.228	-0.226	-0.219
0.55	-0.393	-0.286	-0.256	-0.250	-0.239
0.60	-0.430	-0.326	-0.293	-0.280	-0.266
0.65	-0.477	-0.371	-0.335	-0.315	-0.296
0.70	-0.527	-0.417	-0.379	-0.352	-0.330
0.75	-0.574	-0.457	-0.417	-0.388	-0.363
0.80	-0.612	-0.488	-0.447	-0.418	-0.394
0.85	-0.634	-0.508	-0.466	-0.441	-0.420
0.90	-0.639	-0.515	-0.475	-0.454	-0.439
0.95	-0.630	-0.512	-0.475	-0.460	-0.451
1.00	-0.607	-0.498	-0.466	-0.458	-0.455
1.05	-0.572	-0.474	-0.450	-0.451	-0.452
1.10	-0.531	-0.445	-0.430	-0.440	-0.444
1.15	-0.487	-0.417	-0.410	-0.428	-0.434
1.20	-0.450	-0.395	-0.395	-0.415	-0.423
1.25	-0.423	-0.381	-0.385	-0.405	-0.413
1.30	-0.407	-0.376	-0.381	-0.397	-0.405
1.35	-0.402	-0.376	-0.381	-0.393	-0.399
1.40	-0.404	-0.381	-0.384	-0.390	-0.394
1.45	-0.410	-0.387	-0.387	-0.387	-0.390
1.50	-0.415	-0.393	-0.388	-0.384	-0.387
1.55	-0.418	-0.396	-0.389	-0.380	-0.384
1.60	-0.419	-0.398	-0.389	-0.376	-0.381
1.65	-0.418	-0.399	-0.388	-0.374	-0.378
1.70	-0.419	-0.401	-0.389	-0.373	-0.376
1.75	-0.422	-0.405	-0.391	-0.374	-0.374
1.80	-0.430	-0.413	-0.394	-0.377	-0.373
1.85	-0.443	-0.421	-0.398	-0.379	-0.373
1.90	-0.459	-0.430	-0.401	-0.381	-0.373
1.95	-0.474	-0.437	-0.404	-0.383	-0.374
2.00	-0.485	-0.441	-0.405	-0.385	-0.375
2.20	-0.489	-0.442	-0.404	-0.386	-0.374
2.40	-0.487	-0.439	-0.402	-0.385	-0.372
2.60	-0.476	-0.432	-0.397	-0.380	-0.365
2.80	-0.456	-0.417	-0.386	-0.369	-0.354
3.00	-0.426	-0.393	-0.369	-0.353	-0.339
3.20	-0.386	-0.362	-0.345	-0.332	-0.322
3.40	-0.340	-0.323	-0.313	-0.306	-0.304
3.60	-0.289	-0.278	-0.277	-0.278	-0.286
3.80	-0.233	-0.229	-0.235	-0.247	-0.267
4.00	-0.173	-0.175	-0.188	-0.213	-0.246
4.50	-0.108	-0.118	-0.137	-0.176	-0.225
5.00	-0.041	-0.058	-0.083	-0.137	-0.202

Πίνακας 5.12. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{inY}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.

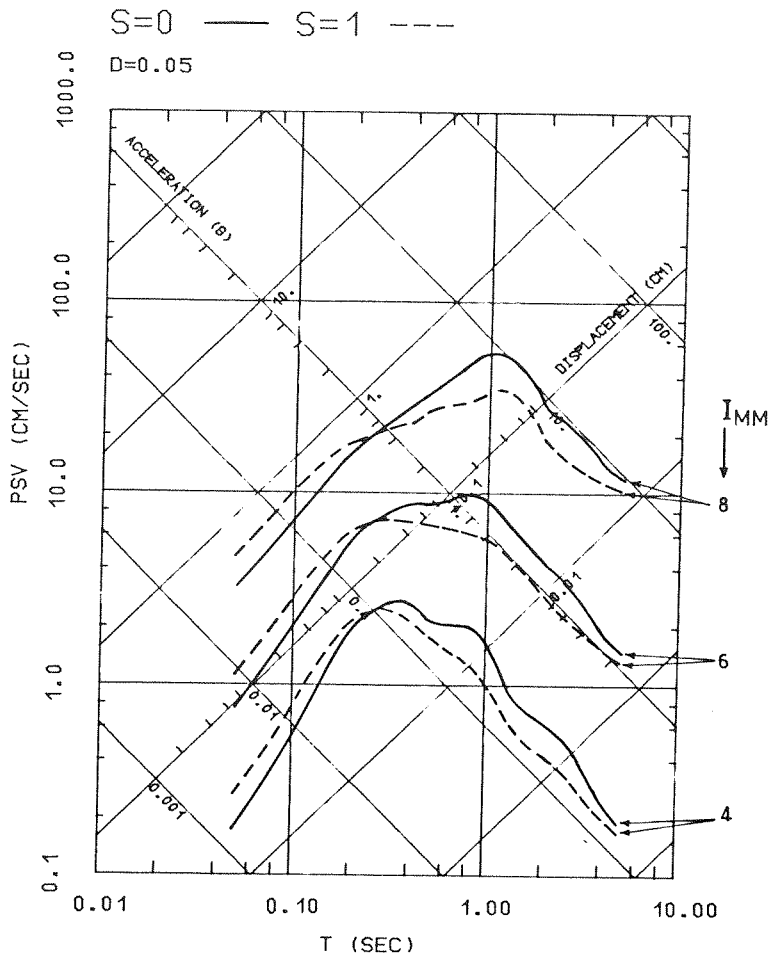
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.556	0.512	0.492	0.471	0.443
0.06	0.583	0.532	0.505	0.479	0.446
0.07	0.609	0.549	0.517	0.485	0.447
0.08	0.632	0.563	0.524	0.489	0.448
0.09	0.651	0.571	0.529	0.490	0.449
0.10	0.667	0.578	0.531	0.492	0.449
0.11	0.682	0.583	0.534	0.494	0.451
0.12	0.699	0.591	0.540	0.499	0.453
0.13	0.718	0.602	0.550	0.506	0.456
0.14	0.738	0.616	0.563	0.515	0.459
0.15	0.757	0.630	0.577	0.523	0.462
0.16	0.769	0.642	0.588	0.529	0.463
0.17	0.773	0.650	0.594	0.531	0.462
0.18	0.770	0.651	0.594	0.530	0.460
0.19	0.760	0.645	0.588	0.523	0.454
0.20	0.742	0.632	0.575	0.512	0.446
0.22	0.718	0.611	0.556	0.497	0.435
0.24	0.691	0.587	0.533	0.478	0.423
0.26	0.663	0.561	0.509	0.459	0.410
0.28	0.635	0.535	0.487	0.442	0.399
0.30	0.607	0.511	0.467	0.428	0.390
0.32	0.580	0.489	0.452	0.417	0.384
0.34	0.556	0.472	0.440	0.409	0.380
0.36	0.538	0.459	0.431	0.403	0.378
0.38	0.529	0.452	0.426	0.401	0.377
0.40	0.529	0.451	0.425	0.400	0.377
0.42	0.534	0.452	0.426	0.402	0.378
0.44	0.541	0.456	0.429	0.406	0.380
0.46	0.549	0.461	0.435	0.411	0.383
0.48	0.557	0.468	0.442	0.419	0.388
0.50	0.569	0.479	0.451	0.428	0.395
0.55	0.583	0.493	0.463	0.439	0.404
0.60	0.601	0.511	0.479	0.452	0.415
0.65	0.620	0.532	0.497	0.468	0.429
0.70	0.638	0.553	0.516	0.486	0.445
0.75	0.655	0.573	0.535	0.504	0.461
0.80	0.670	0.591	0.552	0.520	0.477
0.85	0.684	0.605	0.566	0.534	0.491
0.90	0.696	0.615	0.576	0.544	0.502
0.95	0.705	0.623	0.584	0.552	0.512
1.00	0.711	0.629	0.589	0.559	0.519
1.05	0.714	0.635	0.595	0.565	0.525
1.10	0.717	0.641	0.602	0.571	0.531
1.15	0.725	0.650	0.610	0.579	0.535
1.20	0.738	0.661	0.620	0.586	0.539
1.25	0.754	0.674	0.630	0.592	0.542
1.30	0.770	0.685	0.637	0.597	0.545
1.35	0.781	0.692	0.642	0.600	0.546
1.40	0.784	0.694	0.643	0.602	0.547
1.45	0.782	0.691	0.643	0.602	0.548
1.50	0.777	0.688	0.642	0.601	0.548
1.55	0.772	0.686	0.640	0.600	0.548
1.60	0.770	0.687	0.640	0.599	0.548
1.65	0.771	0.689	0.641	0.598	0.547
1.70	0.773	0.691	0.641	0.597	0.546
1.75	0.772	0.692	0.642	0.596	0.546
1.80	0.769	0.691	0.643	0.596	0.545
1.85	0.764	0.689	0.643	0.597	0.546
1.90	0.760	0.689	0.646	0.600	0.550
1.95	0.760	0.692	0.651	0.606	0.556
2.00	0.765	0.700	0.659	0.615	0.564
2.20	0.775	0.710	0.669	0.626	0.575
2.40	0.785	0.721	0.680	0.637	0.586
2.60	0.793	0.730	0.689	0.647	0.596
2.80	0.796	0.735	0.695	0.654	0.604
3.00	0.793	0.735	0.697	0.658	0.609
3.20	0.787	0.732	0.696	0.658	0.612
3.40	0.781	0.729	0.694	0.657	0.612
3.60	0.776	0.724	0.690	0.654	0.611
3.80	0.770	0.719	0.685	0.650	0.608
4.00	0.761	0.711	0.677	0.645	0.603
4.50	0.748	0.700	0.666	0.637	0.598
5.00	0.733	0.686	0.654	0.629	0.592



Σχ. 5.7. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (5.1), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους.



Σχ. 5.8. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (5.1), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των σεισμών ενδιαμέσου βάθους, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης, D=0.05.



Σχ. 5.9. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης, για "σκληρό πέτρωμα" (διακεκομμένη γραμμή) και για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή).

5.3.2. Επιφανειακοί σεισμοί του Ελληνικού χώρου ενισχυμένοι με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής 7.0<Mw≤7.5.

Η σχέση η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συντελεστών αναγωγής είναι η (5.1) ενώ τα δεδομένα των σεισμών μεγεθών ροπής 7.0<Mw≤7.5, δίνονται στον πίνακα (3.5). Οι κωδικοί καταγραφής αυτού του πίνακα παραπέμπουν στις 16 οριζόντιες συνιστώσες τα φάσματα απόκρισης των οποίων δίνονται στο Παράρτημα Γ.

Στους πίνακες (5.13) έως (5.16) και στο σχήμα (5.10) παρουσιάζονται οι τιμές των συντελεστών αναγωγής $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, για παράγοντες απόσβεσης D=0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20 της κρίσιμης όπως έχουν προκύψει από τη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (5.1) για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T). Οι συντελεστές αυτοί έχουν εξομαλυνθεί με τη μέθοδο του (1/4+1/2+1/4) "κινητού μέσου" κατά μήκος του άξονα των περιόδων, log(T). Το μοντέλο πρόβλεψης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1) θεωρήθηκε επαρκές. Η κατανομή των υπολοίπων τα οποία έχουν προκύψει με βάση αυτή τη σχέση δίνονται στο σχήμα (5.11). Η διερεύνηση γίνεται για περιόδους T=0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 sec και για παράγοντα απόσβεσης D=0.05. Οπως φαίνεται από τα παραπάνω σχήματα οι συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων ακολουθούν ικανοποιητικά την κανονική κατανομή.

Στο σχήμα (5.12) δίνονται τα μέσα φάσματα απόκρισης οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας που προκύπτουν από τη σχέση (5.1) με τη χρήση των συντελεστών αναγωγής $C_1(T)$, $C_2(T)$, $C_3(T)$, $\sigma_{lnPSV(T)}$, των πινάκων (5.13) έως (5.16), για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, για μακροσεισμικές εντάσεις, I_{MM}=4,6,8 και για εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" και "αλλουβιακές αποθέσεις". Οι φασματικές ψευδοταχύτητες για τις εδαφικές συνθήκες του "σκληρού πετρώματος" είναι υψηλότερες από εκείνες των "αλλουβιακών αποθέσεων" για περιόδους T≤0.3 sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις μεγαλύτερες περιόδους. Με την αύξηση της

Πίνακας 5.13. Συντελεστές αναγωγής, $C_1(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$.

T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	-4.390	-4.066	-4.076	-4.086	-4.092
0.06	-3.937	-3.752	-3.807	-3.857	-3.901
0.07	-3.497	-3.454	-3.553	-3.637	-3.715
0.08	-3.092	-3.185	-3.323	-3.434	-3.538
0.09	-2.747	-2.951	-3.119	-3.251	-3.373
0.10	-2.476	-2.751	-2.941	-3.088	-3.222
0.11	-2.275	-2.579	-2.783	-2.943	-3.087
0.12	-2.121	-2.427	-2.641	-2.813	-2.965
0.13	-1.987	-2.292	-2.512	-2.694	-2.855
0.14	-1.862	-2.169	-2.394	-2.582	-2.756
0.15	-1.742	-2.056	-2.283	-2.475	-2.665
0.16	-1.624	-1.947	-2.172	-2.367	-2.580
0.17	-1.494	-1.831	-2.056	-2.257	-2.501
0.18	-1.342	-1.703	-1.933	-2.147	-2.426
0.19	-1.171	-1.563	-1.804	-2.040	-2.355
0.20	-1.002	-1.424	-1.679	-1.940	-2.291
0.22	-0.864	-1.303	-1.569	-1.854	-2.234
0.24	-0.775	-1.214	-1.485	-1.786	-2.186
0.26	-0.736	-1.160	-1.429	-1.737	-2.150
0.28	-0.732	-1.134	-1.396	-1.705	-2.124
0.30	-0.745	-1.127	-1.381	-1.690	-2.108
0.32	-0.770	-1.133	-1.379	-1.690	-2.101
0.34	-0.808	-1.152	-1.390	-1.702	-2.101
0.36	-0.863	-1.186	-1.412	-1.721	-2.105
0.38	-0.928	-1.226	-1.438	-1.741	-2.109
0.40	-0.982	-1.259	-1.462	-1.754	-2.113
0.42	-1.003	-1.270	-1.474	-1.760	-2.116
0.44	-0.979	-1.255	-1.476	-1.758	-2.120
0.46	-0.924	-1.225	-1.473	-1.758	-2.129
0.48	-0.865	-1.200	-1.477	-1.766	-2.148
0.50	-0.833	-1.201	-1.499	-1.792	-2.181
0.55	-0.851	-1.239	-1.546	-1.840	-2.229
0.60	-0.920	-1.316	-1.621	-1.910	-2.291
0.65	-1.027	-1.419	-1.715	-1.996	-2.362
0.70	-1.152	-1.532	-1.818	-2.088	-2.438
0.75	-1.279	-1.642	-1.918	-2.179	-2.517
0.80	-1.402	-1.743	-2.011	-2.263	-2.596
0.85	-1.526	-1.838	-2.096	-2.342	-2.676
0.90	-1.659	-1.934	-2.179	-2.420	-2.759
0.95	-1.807	-2.039	-2.272	-2.505	-2.846
1.00	-1.975	-2.164	-2.382	-2.604	-2.938
1.05	-2.167	-2.313	-2.515	-2.721	-3.032
1.10	-2.385	-2.489	-2.669	-2.853	-3.129
1.15	-2.627	-2.684	-2.837	-2.995	-3.226
1.20	-2.886	-2.891	-3.010	-3.137	-3.323
1.25	-3.149	-3.101	-3.182	-3.275	-3.421
1.30	-3.405	-3.306	-3.346	-3.408	-3.519
1.35	-3.642	-3.503	-3.503	-3.536	-3.617
1.40	-3.856	-3.689	-3.654	-3.660	-3.715
1.45	-4.047	-3.865	-3.798	-3.782	-3.812
1.50	-4.219	-4.029	-3.935	-3.899	-3.905
1.55	-4.377	-4.181	-4.066	-4.011	-3.994
1.60	-4.526	-4.320	-4.187	-4.115	-4.076
1.65	-4.668	-4.445	-4.298	-4.211	-4.155
1.70	-4.805	-4.556	-4.399	-4.300	-4.230
1.75	-4.935	-4.656	-4.494	-4.387	-4.306
1.80	-5.057	-4.753	-4.589	-4.476	-4.386
1.85	-5.172	-4.855	-4.691	-4.573	-4.474
1.90	-5.287	-4.972	-4.807	-4.683	-4.573
1.95	-5.413	-5.110	-4.943	-4.812	-4.688
2.00	-5.556	-5.267	-5.099	-4.958	-4.819
2.20	-5.713	-5.435	-5.267	-5.118	-4.962
2.40	-5.875	-5.600	-5.436	-5.279	-5.110
2.60	-6.023	-5.746	-5.592	-5.432	-5.253
2.80	-6.142	-5.865	-5.726	-5.570	-5.387
3.00	-6.225	-5.955	-5.836	-5.689	-5.509
3.20	-6.275	-6.021	-5.923	-5.790	-5.617
3.40	-6.301	-6.071	-5.991	-5.875	-5.714
3.60	-6.312	-6.108	-6.045	-5.946	-5.801
3.80	-6.317	-6.139	-6.090	-6.009	-5.881
4.00	-6.322	-6.164	-6.133	-6.071	-5.960
4.50	-6.331	-6.187	-6.178	-6.134	-6.042
5.00	-6.343	-6.209	-6.225	-6.200	-6.125

Πίνακας 5.14. Συντελεστές αναγωγής, $C_2(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$.

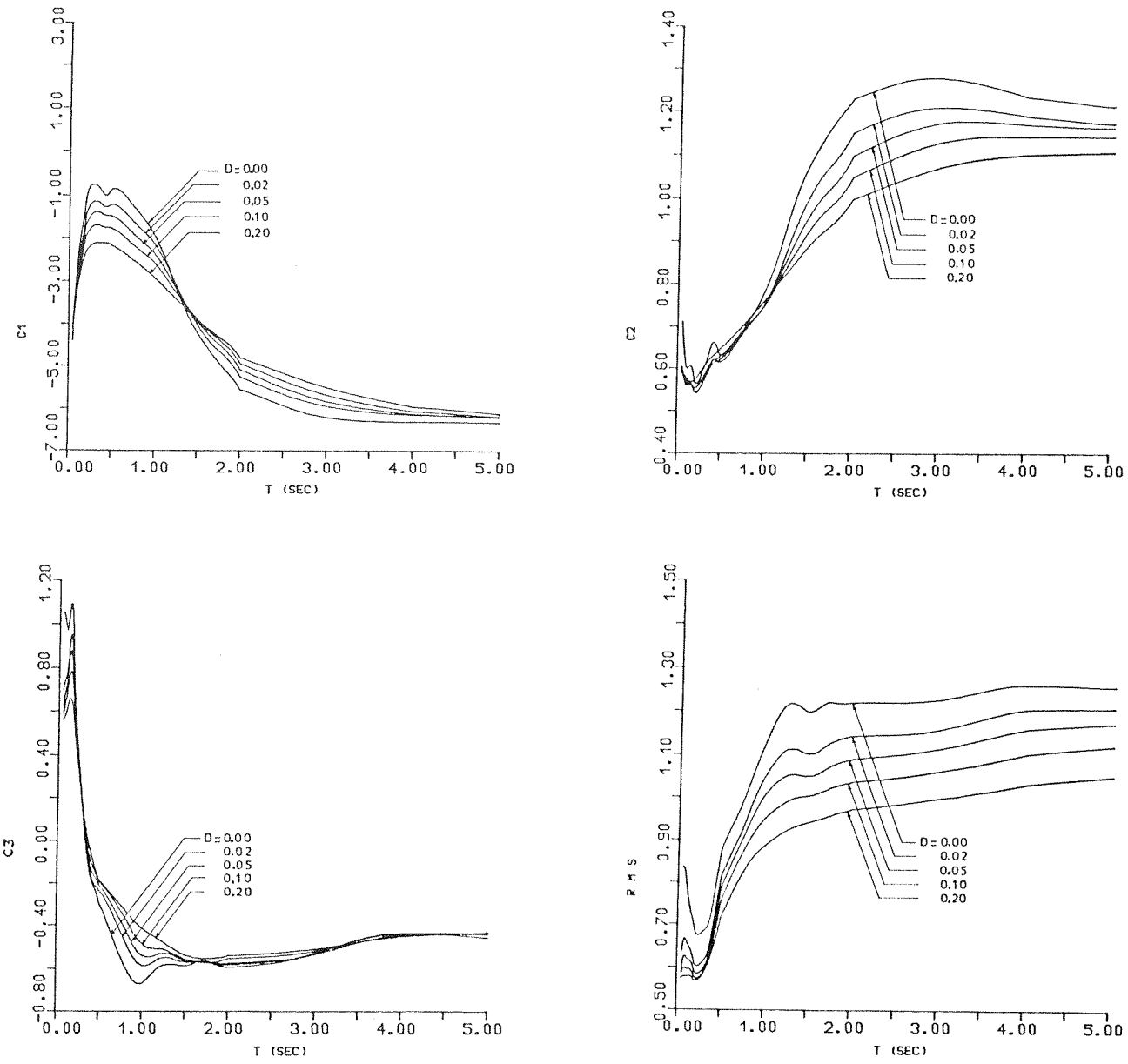
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.712	0.604	0.597	0.593	0.589
0.06	0.683	0.592	0.589	0.588	0.587
0.07	0.655	0.580	0.581	0.584	0.586
0.08	0.631	0.571	0.575	0.580	0.584
0.09	0.613	0.566	0.571	0.577	0.581
0.10	0.602	0.562	0.569	0.575	0.578
0.11	0.599	0.560	0.567	0.573	0.576
0.12	0.600	0.560	0.565	0.571	0.574
0.13	0.602	0.560	0.564	0.570	0.572
0.14	0.604	0.561	0.564	0.569	0.571
0.15	0.605	0.562	0.563	0.567	0.570
0.16	0.605	0.563	0.562	0.565	0.569
0.17	0.601	0.561	0.560	0.561	0.569
0.18	0.593	0.557	0.555	0.558	0.569
0.19	0.581	0.551	0.550	0.555	0.570
0.20	0.570	0.545	0.546	0.554	0.572
0.22	0.564	0.542	0.544	0.554	0.576
0.24	0.564	0.543	0.546	0.558	0.581
0.26	0.572	0.549	0.550	0.563	0.587
0.28	0.582	0.556	0.557	0.569	0.593
0.30	0.594	0.565	0.564	0.576	0.599
0.32	0.605	0.575	0.572	0.584	0.605
0.34	0.617	0.585	0.580	0.593	0.611
0.36	0.631	0.596	0.589	0.601	0.617
0.38	0.646	0.608	0.598	0.609	0.622
0.40	0.658	0.617	0.606	0.615	0.627
0.42	0.663	0.622	0.611	0.619	0.630
0.44	0.660	0.622	0.614	0.621	0.633
0.46	0.650	0.618	0.615	0.622	0.637
0.48	0.638	0.614	0.617	0.625	0.641
0.50	0.631	0.614	0.621	0.630	0.648
0.55	0.632	0.620	0.629	0.638	0.656
0.60	0.641	0.632	0.641	0.649	0.667
0.65	0.655	0.648	0.655	0.663	0.678
0.70	0.672	0.664	0.670	0.676	0.690
0.75	0.689	0.680	0.685	0.689	0.701
0.80	0.705	0.694	0.698	0.701	0.713
0.85	0.721	0.707	0.709	0.712	0.724
0.90	0.739	0.720	0.721	0.722	0.735
0.95	0.758	0.734	0.733	0.734	0.747
1.00	0.780	0.750	0.747	0.747	0.760
1.05	0.804	0.769	0.765	0.762	0.772
1.10	0.832	0.792	0.785	0.780	0.785
1.15	0.864	0.819	0.808	0.799	0.798
1.20	0.899	0.847	0.832	0.819	0.810
1.25	0.936	0.876	0.855	0.837	0.823
1.30	0.971	0.905	0.878	0.855	0.836
1.35	1.004	0.932	0.899	0.873	0.849
1.40	1.032	0.958	0.920	0.890	0.863
1.45	1.056	0.981	0.939	0.906	0.875
1.50	1.077	1.002	0.957	0.922	0.888
1.55	1.095	1.021	0.974	0.937	0.899
1.60	1.112	1.038	0.989	0.950	0.909
1.65	1.129	1.053	1.002	0.962	0.918
1.70	1.146	1.066	1.014	0.972	0.927
1.75	1.162	1.078	1.025	0.982	0.936
1.80	1.177	1.089	1.036	0.992	0.945
1.85	1.190	1.102	1.049	1.003	0.956
1.90	1.203	1.116	1.063	1.017	0.968
1.95	1.216	1.132	1.079	1.032	0.982
2.00	1.230	1.150	1.098	1.050	0.997
2.20	1.245	1.169	1.117	1.069	1.014
2.40	1.260	1.185	1.136	1.087	1.031
2.60	1.272	1.198	1.152	1.103	1.046
2.80	1.278	1.206	1.164	1.117	1.060
3.00	1.280	1.210	1.173	1.128	1.072
3.20	1.276	1.211	1.178	1.135	1.081
3.40	1.269	1.208	1.179	1.140	1.089
3.60	1.259	1.204	1.178	1.143	1.094
3.80	1.248	1.198	1.175	1.143	1.098
4.00	1.236	1.191	1.171	1.143	1.101
4.50	1.225	1.182	1.167	1.143	1.104
5.00	1.213	1.173	1.163	1.142	1.107

Πίνακας 5.15. Συντελεστές αναγωγής, $C_3(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής $7.0 < Mw \leq 7.5$.

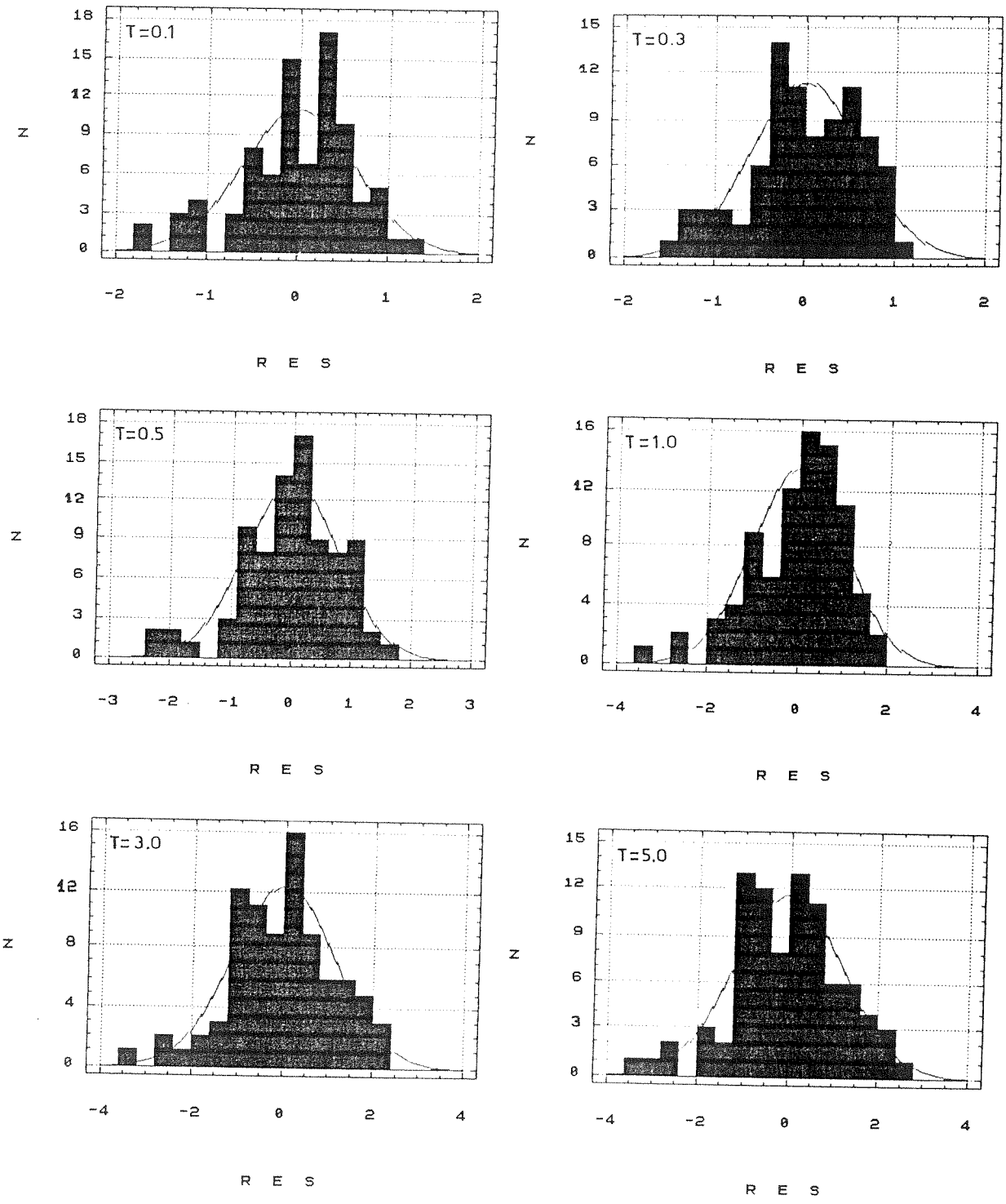
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	1.049	0.699	0.627	0.590	0.562
0.06	1.044	0.721	0.652	0.609	0.569
0.07	1.030	0.739	0.673	0.626	0.577
0.08	1.006	0.751	0.691	0.641	0.584
0.09	0.982	0.761	0.709	0.657	0.594
0.10	0.972	0.778	0.731	0.676	0.606
0.11	0.986	0.808	0.761	0.701	0.621
0.12	1.020	0.851	0.799	0.729	0.637
0.13	1.062	0.898	0.838	0.757	0.651
0.14	1.092	0.936	0.867	0.778	0.660
0.15	1.094	0.950	0.877	0.785	0.659
0.16	1.060	0.934	0.861	0.775	0.648
0.17	0.991	0.885	0.819	0.745	0.625
0.18	0.897	0.811	0.755	0.696	0.590
0.19	0.786	0.722	0.676	0.632	0.544
0.20	0.668	0.625	0.589	0.556	0.488
0.22	0.549	0.526	0.499	0.473	0.424
0.24	0.432	0.427	0.408	0.386	0.356
0.26	0.320	0.329	0.317	0.300	0.287
0.28	0.215	0.233	0.228	0.218	0.221
0.30	0.119	0.141	0.143	0.143	0.160
0.32	0.033	0.058	0.066	0.077	0.106
0.34	-0.040	-0.015	-0.000	0.021	0.058
0.36	-0.100	-0.076	-0.054	-0.025	0.016
0.38	-0.146	-0.125	-0.096	-0.063	-0.021
0.40	-0.182	-0.162	-0.127	-0.092	-0.053
0.42	-0.207	-0.189	-0.150	-0.116	-0.082
0.44	-0.224	-0.205	-0.166	-0.136	-0.110
0.46	-0.240	-0.214	-0.179	-0.155	-0.135
0.48	-0.261	-0.223	-0.193	-0.174	-0.160
0.50	-0.295	-0.238	-0.211	-0.194	-0.184
0.55	-0.341	-0.264	-0.236	-0.217	-0.208
0.60	-0.393	-0.300	-0.267	-0.242	-0.232
0.65	-0.446	-0.341	-0.302	-0.269	-0.256
0.70	-0.495	-0.384	-0.337	-0.298	-0.279
0.75	-0.542	-0.428	-0.374	-0.329	-0.303
0.80	-0.585	-0.470	-0.413	-0.363	-0.327
0.85	-0.624	-0.511	-0.452	-0.399	-0.352
0.90	-0.654	-0.547	-0.489	-0.434	-0.376
0.95	-0.670	-0.573	-0.520	-0.464	-0.397
1.00	-0.668	-0.586	-0.538	-0.487	-0.416
1.05	-0.652	-0.586	-0.545	-0.500	-0.431
1.10	-0.629	-0.577	-0.543	-0.506	-0.443
1.15	-0.607	-0.564	-0.536	-0.507	-0.455
1.20	-0.591	-0.553	-0.529	-0.508	-0.466
1.25	-0.581	-0.547	-0.526	-0.511	-0.478
1.30	-0.577	-0.546	-0.529	-0.516	-0.491
1.35	-0.577	-0.551	-0.536	-0.525	-0.504
1.40	-0.581	-0.559	-0.545	-0.535	-0.516
1.45	-0.585	-0.567	-0.554	-0.545	-0.527
1.50	-0.586	-0.571	-0.560	-0.553	-0.536
1.55	-0.582	-0.571	-0.564	-0.560	-0.543
1.60	-0.573	-0.567	-0.566	-0.565	-0.548
1.65	-0.565	-0.565	-0.567	-0.568	-0.551
1.70	-0.561	-0.565	-0.569	-0.570	-0.553
1.75	-0.563	-0.568	-0.572	-0.571	-0.553
1.80	-0.570	-0.574	-0.574	-0.570	-0.551
1.85	-0.580	-0.579	-0.576	-0.566	-0.549
1.90	-0.588	-0.583	-0.576	-0.562	-0.545
1.95	-0.592	-0.583	-0.574	-0.556	-0.541
2.00	-0.591	-0.580	-0.571	-0.551	-0.537
2.20	-0.586	-0.574	-0.567	-0.546	-0.532
2.40	-0.579	-0.568	-0.563	-0.541	-0.527
2.60	-0.567	-0.559	-0.557	-0.536	-0.522
2.80	-0.551	-0.546	-0.547	-0.528	-0.515
3.00	-0.528	-0.527	-0.532	-0.516	-0.506
3.20	-0.502	-0.503	-0.511	-0.501	-0.494
3.40	-0.474	-0.478	-0.488	-0.483	-0.482
3.60	-0.451	-0.455	-0.467	-0.466	-0.469
3.80	-0.437	-0.439	-0.450	-0.452	-0.457
4.00	-0.434	-0.433	-0.440	-0.442	-0.447
4.50	-0.442	-0.435	-0.437	-0.435	-0.438
5.00	-0.458	-0.442	-0.437	-0.429	-0.430

Πίνακας 5.16. Συντελεστές αναγωγής, $\sigma_{lnY}(T)$, της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1), των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με στοιχεία σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$.

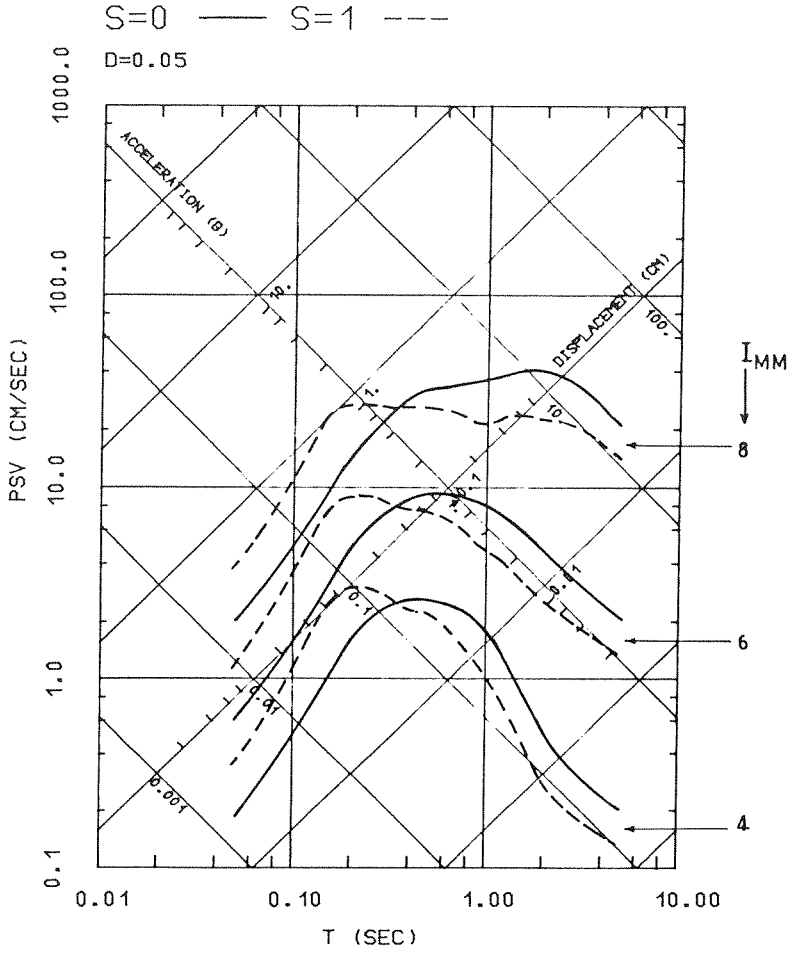
T(sec) \ D	0.00	0.02	0.05	0.10	0.20
0.05	0.837	0.638	0.600	0.587	0.574
0.06	0.835	0.652	0.612	0.592	0.576
0.07	0.830	0.662	0.621	0.597	0.577
0.08	0.820	0.667	0.626	0.599	0.578
0.09	0.804	0.666	0.626	0.599	0.578
0.10	0.786	0.661	0.624	0.598	0.578
0.11	0.769	0.656	0.621	0.597	0.578
0.12	0.755	0.652	0.619	0.597	0.578
0.13	0.742	0.649	0.617	0.597	0.579
0.14	0.733	0.645	0.616	0.597	0.580
0.15	0.725	0.641	0.615	0.596	0.580
0.16	0.718	0.635	0.612	0.594	0.579
0.17	0.711	0.629	0.608	0.590	0.577
0.18	0.703	0.622	0.602	0.586	0.574
0.19	0.693	0.615	0.596	0.581	0.571
0.20	0.683	0.608	0.590	0.577	0.569
0.22	0.676	0.604	0.586	0.574	0.568
0.24	0.673	0.602	0.584	0.574	0.569
0.26	0.675	0.604	0.586	0.575	0.571
0.28	0.678	0.608	0.589	0.579	0.575
0.30	0.682	0.612	0.593	0.584	0.580
0.32	0.684	0.617	0.600	0.590	0.587
0.34	0.689	0.625	0.609	0.600	0.596
0.36	0.699	0.638	0.622	0.613	0.606
0.38	0.715	0.657	0.640	0.628	0.617
0.40	0.739	0.682	0.661	0.646	0.630
0.42	0.766	0.709	0.685	0.665	0.643
0.44	0.795	0.737	0.709	0.684	0.658
0.46	0.823	0.763	0.734	0.706	0.675
0.48	0.850	0.789	0.760	0.729	0.694
0.50	0.877	0.814	0.786	0.754	0.715
0.55	0.903	0.838	0.812	0.781	0.738
0.60	0.926	0.862	0.837	0.807	0.761
0.65	0.948	0.885	0.861	0.831	0.784
0.70	0.971	0.908	0.885	0.853	0.805
0.75	0.997	0.934	0.908	0.874	0.824
0.80	1.025	0.962	0.931	0.893	0.841
0.85	1.054	0.989	0.954	0.910	0.855
0.90	1.082	1.013	0.975	0.926	0.867
0.95	1.108	1.035	0.993	0.940	0.877
1.00	1.133	1.053	1.008	0.952	0.886
1.05	1.156	1.069	1.020	0.961	0.894
1.10	1.178	1.084	1.030	0.970	0.902
1.15	1.196	1.097	1.039	0.977	0.909
1.20	1.209	1.107	1.046	0.984	0.916
1.25	1.216	1.112	1.051	0.990	0.922
1.30	1.217	1.114	1.054	0.995	0.927
1.35	1.214	1.113	1.054	0.998	0.931
1.40	1.207	1.108	1.052	1.000	0.935
1.45	1.201	1.104	1.049	1.001	0.938
1.50	1.198	1.102	1.049	1.003	0.941
1.55	1.201	1.103	1.051	1.005	0.944
1.60	1.208	1.108	1.055	1.009	0.947
1.65	1.215	1.116	1.062	1.013	0.950
1.70	1.220	1.123	1.068	1.017	0.954
1.75	1.221	1.129	1.074	1.022	0.957
1.80	1.219	1.133	1.078	1.025	0.961
1.85	1.218	1.137	1.082	1.028	0.964
1.90	1.217	1.139	1.085	1.031	0.966
1.95	1.218	1.142	1.087	1.033	0.969
2.00	1.219	1.143	1.090	1.036	0.972
2.20	1.220	1.145	1.094	1.039	0.976
2.40	1.220	1.146	1.098	1.044	0.981
2.60	1.220	1.148	1.102	1.049	0.986
2.80	1.223	1.152	1.108	1.055	0.992
3.00	1.227	1.159	1.115	1.062	0.997
3.20	1.235	1.168	1.123	1.069	1.003
3.40	1.244	1.179	1.133	1.076	1.010
3.60	1.254	1.190	1.143	1.085	1.016
3.80	1.261	1.200	1.152	1.094	1.024
4.00	1.264	1.206	1.161	1.103	1.032
4.50	1.263	1.208	1.168	1.112	1.042
5.00	1.259	1.209	1.174	1.122	1.051



Σχ. 5.10. Συντελεστές αναγωγής της σχέσης (5.1), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$.



Σχ. 5.11. Συναρτήσεις συχνότητας των υπολοίπων, RES, της σχέσης (5.1), για την οριζόντια φασματική ψευδοταχύτητα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_w\leq7.5$, για διάφορες περιόδους και για παράγοντα απόσβεσης, D=0.05.



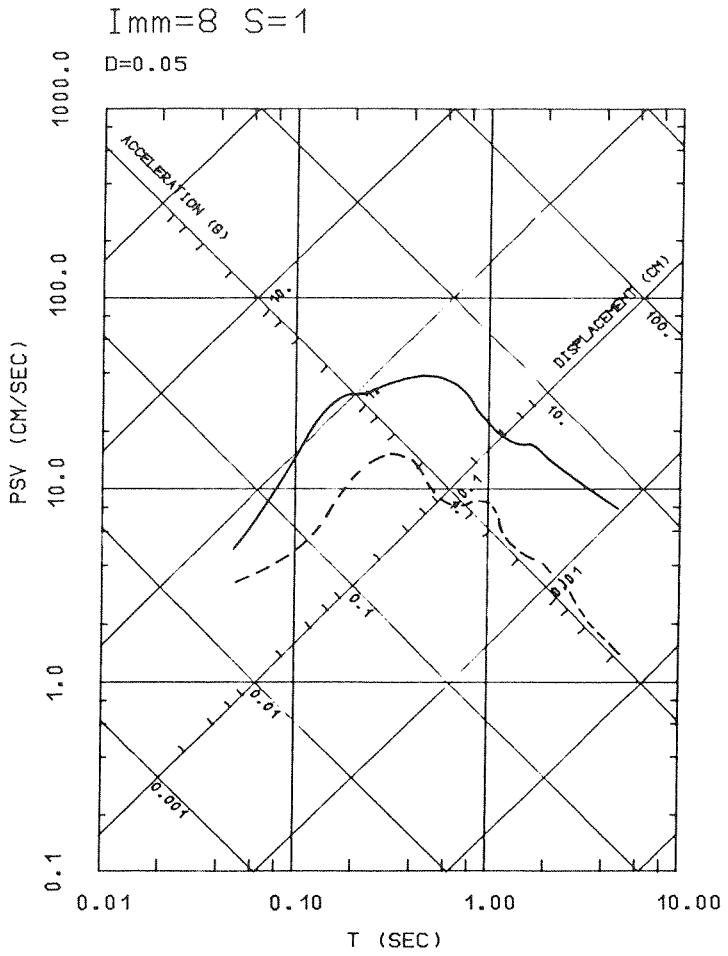
Σχ. 5.12. Μέσα προβλεπόμενα φάσματα απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$, για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης, για "σκληρό πέτρωμα" (διακεκομμένη γραμμή) και για "αλλουβιακές αποθέσεις" (συνεχόμενη γραμμή).

μακροσεισμικής έντασης παρατηρείται εμπλουτισμός των φασματικών τιμών για τις ενδιάμεσες και μεγάλες περιόδους, δηλαδή για T>0.3 sec.

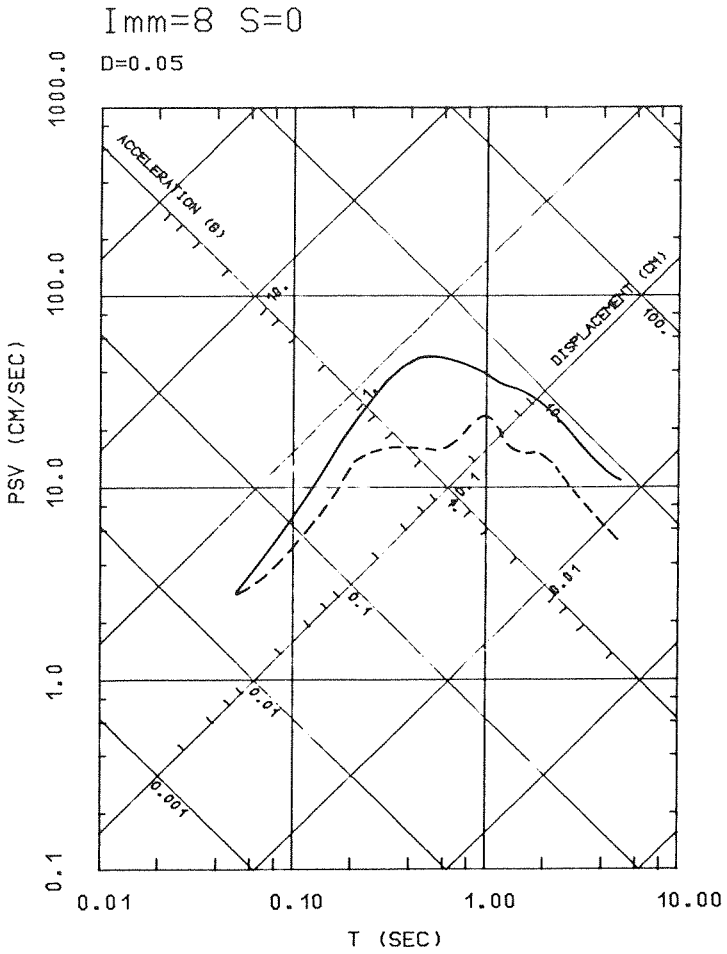
5.4. Συγκρίσεις Σχέσεων Συσχέτισης της Φασματικής Ψευδοταχύτητας με τη Μακροσεισμική Ενταση και Συμπεράσματα.

Στα σχήματα (5.13), (5.14) δίνονται τα μέσα φάσματα της οριζόντιας και κατακόρυφης ψευδοταχύτητας για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, μακροσεισμική ένταση I_{MM}=8 και εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" και "αλλουβιακές αποθέσεις", αντίστοιχα. Παρατηρείται ότι η μέση κατακόρυφη φασματική ψευδοταχύτητα έχει γενικά χαμηλότερες τιμές από την οριζόντια μέχρι 5 φορές για τις εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα" και μέχρι 3 φορές για "αλλουβιακές αποθέσεις".

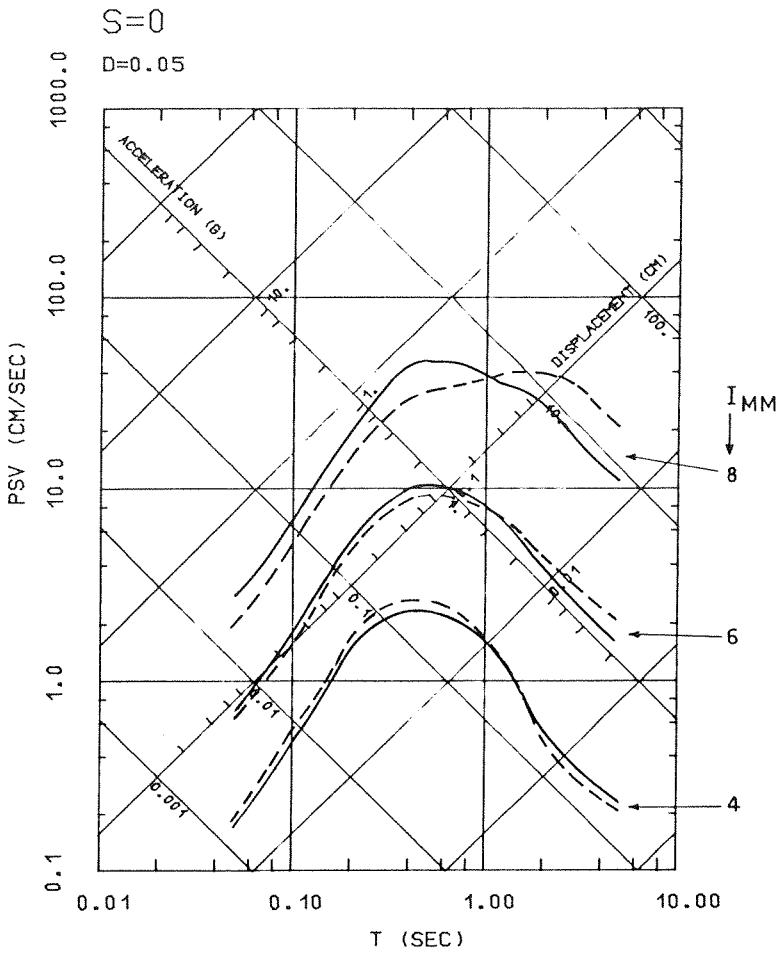
Στο σχήμα (5.15) δίνονται τα μέσα φάσματα οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου μόνον και των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$, για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, μακροσεισμικές εντάσεις I_{MM}=4,6,8 και εδαφικές συνθήκες "αλλουβιακές αποθέσεις". Παρατηρείται ότι για τις μακροσεισμικές εντάσεις 4 και 6 τα αναμενόμενα φάσματα απόκρισης είναι σχεδόν ίδια. Ομως, για I_{MM}=8 το ενισχυμένο δείγμα των επιφανειακών σεισμών δίνει χαμηλότερες φασματικές τιμές για περιόδους $T\leq1$ sec και υψηλότερες για T>1 sec. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται κυρίως στο γεγονός ότι το δείγμα το οποίο προστέθηκε σε εκείνο των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου μόνον, περιέχει πρώτον μακροσεισμικές εντάσεις $I_{MM}>6$ από σεισμούς με μεγέθη ροπής $7.0<Mw\leq7.5$, που ενισχύουν τις μεγάλες περιόδους της φασματικής ψευδοταχύτητας, και δεύτερον επικεντρικές αποστάσεις μεγαλύτερες, για παρόμοιες μακροσεισμικές εντάσεις του αρχικού δείγματος, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη απόσβεση των φασματικών τιμών των μικρών περιόδων. Δεδομένου ότι η ενίσχυση του αρχικού δείγματος των επιφανειακών σεισμών αναφέρεται σε



Σχ. 5.13. Σύγκριση μέσου προβλεπόμενου φάσματος απόκρισης ορι-ζόντιας ψευδοταχύτητας (συνεχόμενη γραμμή) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με ανάλογο φάσμα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας (διακεκομμένη γραμμή) για μακροσεισμική ένταση, I_{MM}=8 και για "σκληρό πέτρωμα".



Σχ. 5.14. Σύγκριση μέσου προβλεπόμενου φάσματος απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας (συνεχόμενη γραμμή) των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με ανάλογο φάσμα απόκρισης κατακόρυφης ψευδοταχύτητας (διακεκομμένη γραμμή) για μακροσεισμική ένταση, I_{MM}=8 και για "αλλουβιακές αποθέσεις".

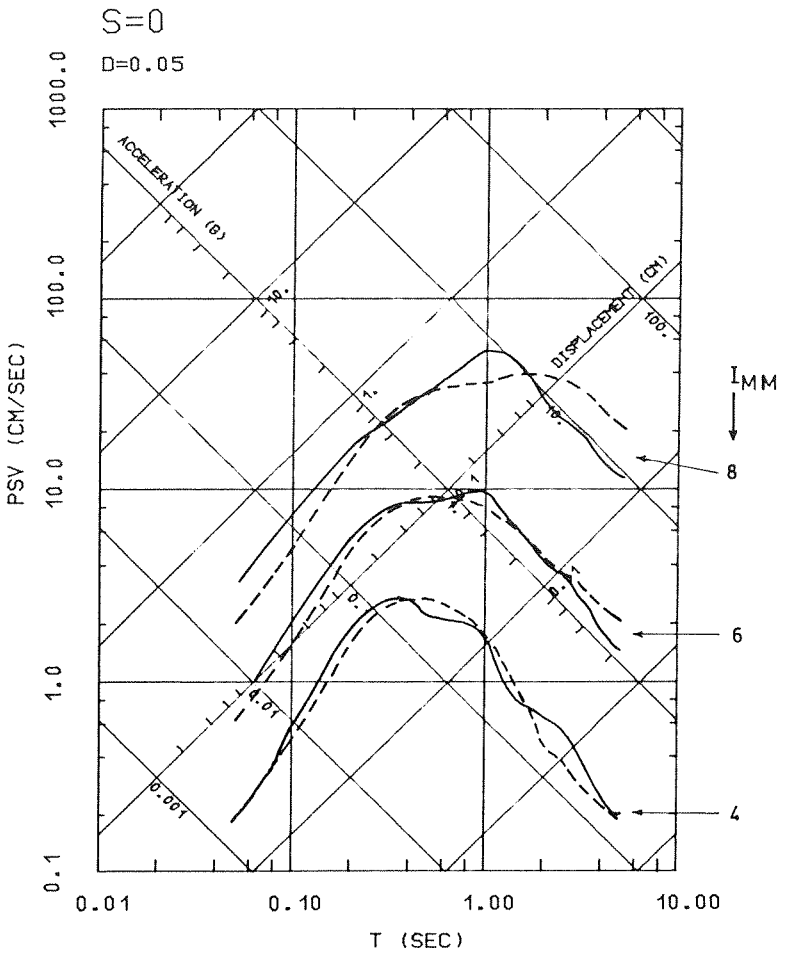


Σχ. 5.15. Σύγκριση μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα φάσματα απόκρισης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_W \leq 7.5$, (διακεκομμένη γραμμή) για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης και για "αλλουβιακές αποθέσεις".

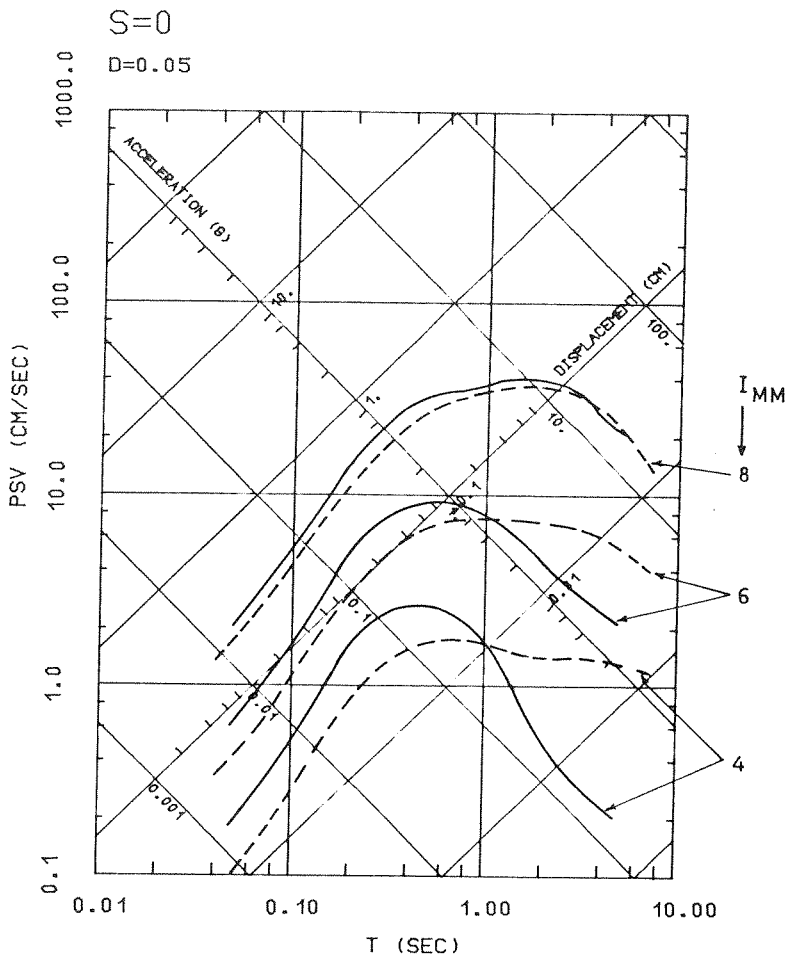
μακροσεισμικές εντάσεις $I_{MM}>6$ για τις οποίες το ποσοστό συνεισφοράς είναι μικρό, περίπου 10%, θεωρήθηκε ότι για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου ισχύει το μοντέλο πρόβλεψης οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας της σχέσης (5.1) με τη χρήση των συντελεστών αναγωγής των πινάκων (5.13) έως (5.16).

Στο σχήμα (5.16) γίνεται σύγκριση των μέσων φασμάτων οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους με τα ανάλογα των επιφανειακών σεισμών που προτείνονται για τον Ελληνικό χώρο, για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, I_{MM}=4,6,8 και εδαφικές συνθήκες "αλλουβιακές αποθέσεις". Ουσιαστική διαφοροποίηση των δύο εμπειρικών μοντέλων πρόβλεψης φασματικής ψευδοταχύτητας φαίνεται να υπάρχει για I_{MM}=8, στις μικρές περιόδους, $T\leq 0.2$ sec και στις ενδιάμεσες $0.5<T<1.5$ sec όπου οι σεισμοί ενδιαμέσου βάθους δίνουν υψηλότερες φασματικές τιμές ενώ το αντίθετο συμβαίνει για, $T\geq 1.5$, περιόδους για τις οποίες τα επιφανειακά κύματα των μεγάλων επιφανειακών σεισμών έχουν και την κύρια συνεισφορά στο περιεχόμενο συχνοτήτων της ισχυρής σεισμικής κίνησης.

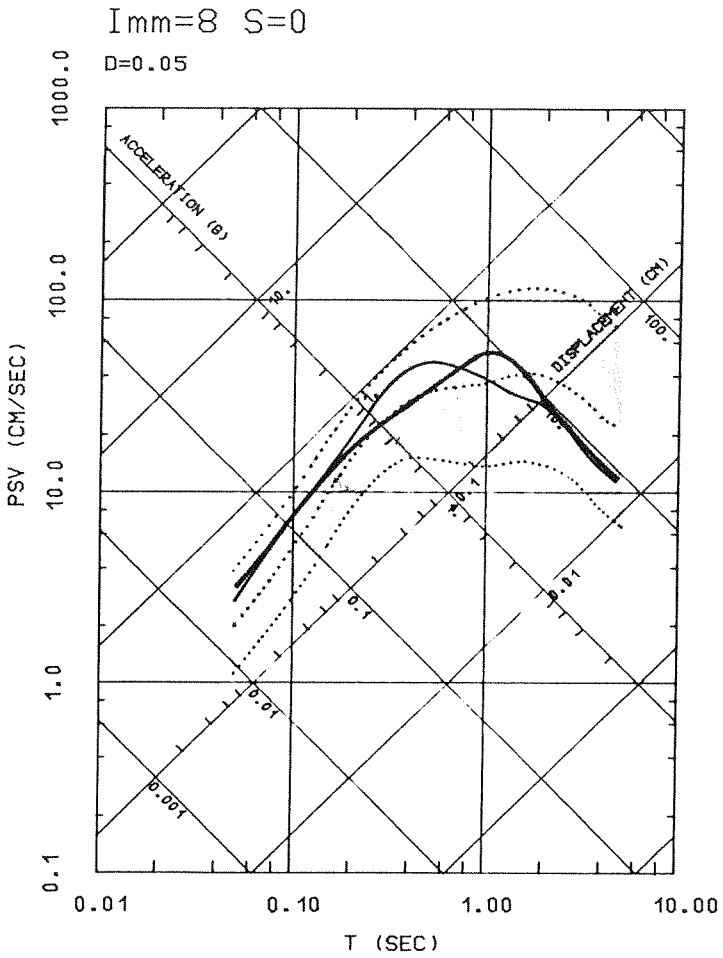
Στο σχήμα (5.17) γίνεται ανάλογη με τα σχήματα (5.15), (5.16) σύγκριση των προτεινομένων για τον Ελληνικό χώρο φασμάτων ψευδοταχύτητας επιφανειακών σεισμών, με μέσα φάσματα ψευδοταχύτητας επιφανειακών σεισμών των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. όπως προτείνονται από τους Trifunac και Anderson (1978a). Είναι αξιοσημείωτη η ομοιότητα των μέσων προβλεπόμενων φασμάτων για I_{MM}=8 ενώ το ίδιο δεν συμβαίνει για μικρότερες μακροσεισμικές εντάσεις για τις οποίες οι επιφανειακοί σεισμοί του Ελληνικού χώρου δίνουν μεγαλύτερες φασματικές ψευδοταχύτητες για περιόδους $T<1$ sec και μικρότερες για $T\geq 1$ sec από εκείνους των δυτικών ακτών των Η.Π.Α. Οι αιτίες για τη διαφοροποίηση αυτή είναι δύσκολο να διερευνηθούν λόγω των πολλών παραγόντων που υπεισέρχονται στην εκτίμηση της μακροσεισμικής έντασης η οποία θεωρήθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή στη γραμμική παλινδρόμηση της σχέσης (5.1) και λόγω του οριακού αριθμού του διαθέσιμου, για τα Ελληνικά δεδομένα, δείγματος. Η συλλογή περισσότερων δεδομένων ισχυρής



Σχ. 5.16. Σύγκριση μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (συνεχόμενη γραμμή) με ανάλογα φάσματα απόκρισης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$, (διακεκομμένη γραμμή) για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης και για "αλλουβιακές αποθέσεις".



Σχ. 5.17. Σύγκριση μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < M_w \leq 7.5$ (συνεχόμενη γραμμή), με ανάλογα φάσματα απόκρισης των Trifunac και Anderson (1978a) (διακεκομμένη γραμμή), για διάφορες τιμές μακροσεισμικής έντασης και για "αλλουβιακές αποθέσεις".



Σχ. 5.18. Σύγκριση μέσων προβλεπόμενων φασμάτων απόκρισης οριζόντιας ψευδοταχύτητας των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου (λεπτή γραμμή), και των σεισμών ενδιαμέσου βάθους (παχειά γραμμή) με το ανάλογο μέσο φάσμα απόκρισης των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0<M_W\leq7.5$ (διάστικτη γραμμή) ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα (σκιασμένη ζώνη), για τιμή μακροσεισμικής έντασης, $I_{MM}=8$ και "αλλουβιακές αποθέσεις".

εδαφικής κίνησης σεισμών του Ελληνικού χώρου τα οποία θα συσχετίζονται άμεσα με παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις θα συμβάλλει ουσιαστικά τόσο στη βελτίωση των προτεινόμενων στο κεφάλαιο αυτό εμπειρικών μοντέλων πρόβλεψης της φασματικής ψευδοταχύτητας όσο και στην κατανόηση των πιθανών διαφορών από ανάλογα μοντέλα προτεινόμενα για άλλες περιοχές της Γης.

Στο σχήμα (5.18) δίνονται τα μέσα φάσματα οριζόντιας ψευδοταχύτητας, για παράγοντα απόσβεσης D=0.05, μακροσεισμική ένταση I_{MM}=8, εδαφικές συνθήκες "αλλουβιακές αποθέσεις", για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου, τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους και τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου ενισχυμένους με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής $7.0<Mw\leq7.5$. Για την τελευταία κατηγορία η οποία υιοθετήθηκε για τον Ελληνικό χώρο δίνονται και οι μέσες φασματικές τιμές ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Παρατηρείται ότι, παρά τις διαφορές που υπάρχουν, η ζώνη των φασματικών τιμών η οποία σχηματίζεται από τις μέσες φασματικές τιμές ± ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθων ροπής $7.0<Mw\leq7.5$, εμπεριέχει τις μέσες φασματικές τιμές των άλλων δύο κατηγοριών .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΣΥΝΟΨΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη διατριβή αυτή μελετάται η απόσβεση της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης στον Ελληνικό χώρο. Για το σκοπό αυτό, αρχικά αξιοποιήθηκε το διαθέσιμο δείγμα 105 οριζοντίων και 51 κατακορύφων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων επιφανειακών σεισμών του χώρου αυτού με επιφανειακά μεγέθη $4.5 \leq M_s \leq 7.0$ ή τοπικά μεγέθη $3.9 \leq M_L \leq 6.1$, για τη χρονική περίοδο 1972–1986. Οι επικεντρικές αποστάσεις καταγραφής είναι $1km \leq R_{\epsilon\pi} \leq 128km$ και οι εδαφικές συνθήκες "σκληρό πέτρωμα", S=1, και "αλλουβιακές αποθέσεις", S=0. Οι παράμετροι των οποίων μελετήθηκε η απόσβεση είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση, a_g (cm/sec^2), ταχύτητα, v_g (cm/sec), μετάθεση, d_g (cm) και φασματική ψευδοταχύτητα, PSV(T) (cm/sec). Το μαθηματικό μοντέλο της σχέσης το οποίο υιοθετήθηκε είναι της μορφής,

$$\ln Y = C_1 + C_2 M + C_3 \ln(R + C_4) + C_5 S + \sigma_{\ln Y} P \qquad (6.1)$$

όπου Y είναι η εξεταζόμενη παράμετρος της ισχυρής κίνησης, M το μέγεθος του σεισμού, R η επικεντρική απόσταση, S παράμετρος που χαρακτηρίζει τις εδαφικές συνθήκες, $\sigma_{\ln Y}$ το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων της σχέσης, P είναι μηδέν για το μέσο όρο των τιμών lnY και μονάδα για το μέσο όρο + ένα μέσο τετραγωνικό σφάλμα και $C_1, \ldots, C_5$ είναι οι συντελεστές αναγωγής.

Οι σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν για τους επιφανειακούς σεισμούς του Ελληνικού χώρου, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, για επιφανειακό, M_s, και για τοπικό μέγεθος, M_L, είναι,

$$\ln a_g = 4.37 + 1.02Ms - 1.65 \ln(R+15) + 0.31S + 0.66P \quad (6.2)$$

$$\ln a_g = 4.27 + 1.12M_L - 1.58 \ln(R+15) + 0.27S + 0.70P \quad (6.3)$$

$$\ln v_g = -0.18 + 1.29Ms - 1.62 \ln(R+10) - 0.22S + 0.73 \quad (6.4)$$

$$\ln v_g = 0.02 + 1.36M_L - 1.53 \ln(R+10) - 0.27S + 0.78P \quad (6.5)$$

$$\ln d_g = -4.05 + 1.74Ms - 1.85 \ln(R+5) - 0.98S + 1.19P \quad (6.6)$$

$$\ln d_g = -3.73 + 1.84M_L - 1.74 \ln(R+5) - 1.05S + 1.27P \quad (6.7)$$

ενώ της μέγιστης κατακόρυφης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, είναι,

$$\ln a_g = 5.23 + 0.87Ms - 1.81 \ln(R+15) + 0.04S + 0.72P \quad (6.8)$$

$$\ln a_g = 4.82 + 1.04M_L - 1.79 \ln(R+15) + 0.02S + 0.75P \quad (6.9)$$

$$\ln v_g = -1.05 + 1.13Ms - 1.37 \ln(R+10) - 0.41S + 0.75P \quad (6.10)$$

$$\ln v_g = -1.06 + 1.25M_L - 1.33 \ln(R+10) - 0.44S + 0.80P \quad (6.11)$$

$$\ln d_g = -5.14 + 1.55Ms - 1.53 \ln(R+5) - 1.58S + 1.62P \quad (6.12)$$

$$\ln d_g = -4.43 + 1.58M_L - 1.45 \ln(R+5) - 1.63S + 1.68P \quad (6.13)$$

Ακόμη, προτάθηκαν οι σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας, για 73 τιμές της περιόδου, T, και για παράγοντες απόσβεσης D=0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20, οι οποίες προκύπτουν με βάση τη σχέση (6.1), με δεδομένο το συντελεστή C_4=15 km: (α) για επιφανειακό μέγεθος, Ms, με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) και (β) για τοπικό μέγεθος, M_L, με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (4.7), (4.8), (4.9), (4.10), (4.11). Οι ανάλογες σχέσεις απόσβεσης της

κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας προκύπτουν με βάση τη σχέση (6.1), με δεδομένο το συντελεστή C_4=15 km: (α) για το επιφανειακό μέγεθος, Ms, με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (4.12), (4.13), (4.14), (4.15), (4.16) και (β) για τοπικό μέγεθος, M_L, με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (4.17), (4.18), (4.19), (4.20), (4.21).

Στο δείγμα οριζοντίων συνιστωσών των επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου προστέθηκαν 16 οριζόντιες συνιστώσες επιφανειακών σεισμών με μεγέθη ροπής $7.0<Mw\leq7.5$, από περιβάλλοντα ζωνών κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών. Οι σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση με την αξιοποίηση του ενισχυμένου δείγματος των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου είναι,

$$\ln a_g = 3.88 + 1.12Ms - 1.65\ln(R+15) + 0.41S + 0.71P \qquad (6.14)$$

$$\ln v_g = -0.79 + 1.41Ms - 1.62\ln(R+10) - 0.22S + 0.80P \qquad (6.15)$$

$$\ln d_g = -5.92 + 2.08Ms - 1.85\ln(R+5) - 0.97S + 1.23P \qquad (6.16)$$

Ακόμη, προτάθηκαν οι σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας οι οποίες προκύπτουν με βάση τη σχέση (6.1), με δεδομένο το συντελεστή C_4=15 km, και με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (4.22), (4.23), (4.4), (4.24), (4.25).

Η απόσβεση της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης των σεισμών ενδιαμέσου βάθους του νότιου Αιγαίου με βάθος $h>35$ km, μελετήθηκε με τη χρήση 70 οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων ανάλογων σεισμών από περιοχές ζωνών κατάδυσης λιθοσφαιρικών πλακών. Οι σεισμοί αυτοί είχαν μεγέθη $5.2\leq M\leq7.9$ ($M=Mw$ ή M_{JMA}) και αποστάσεις καταγραφής από το κέντρο έκλυσης ενέργειας, $42km\leq R_{CER}\leq231$ km. Οι σχέσεις απόσβεσης που προτάθηκαν, για τους σεισμούς ενδιαμέσου βάθους του νότιου Αιγαίου, της μέγιστης οριζόντιας εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης, είναι,

$$\ln a_g = 3.47 + 0.75Mw - 0.85 \ln R_{CER} + 0.27S + 0.66P \qquad (6.17)$$

$$\ln v_g = -1.05 + 0.88Mw - 0.58 \ln R_{CER} - 0.26S + 0.75P \qquad (6.18)$$

$$\ln d_g = -5.13 + 1.30Mw - 0.71 \ln R_{CER} - 0.23S + 0.86P \qquad (6.19)$$

Ακόμη, προτάθηκαν οι σχέσεις απόσβεσης της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας, για 73 τιμές της περιόδου, T, και για παράγοντες απόσβεσης D=0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20, οι οποίες προκύπτουν με βάση τη σχέση (6.1), με δεδομένο το συντελεστή C_4=0 km, και με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (4.26), (4.27), (4.28), (4.29), (4.30).

Για 70 οριζόντιες και 33 κατακόρυφες συνιστώσες από το δείγμα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου υπήρχαν οι παρατηρημένες μακροσεισμικές εντάσεις, I_{MM}, στη θέση καταγραφής. Με βάση τη σχέση της μορφής,

$$\ln Y = C_1 + C_2 I_{MM} + C_3 S + \sigma_{\ln Y} P \qquad (6.20)$$

έγινε συσχέτιση της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης με τη μακροσεισμική ένταση. Για τη μέγιστη οριζόντια εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, προτάθηκαν οι παρακάτω σχέσεις,

$$\ln a_g = 0.28 + 0.67 I_{MM} + 0.42S + 0.59P \qquad (6.21)$$

$$\ln v_g = -3.02 + 0.79 I_{MM} - 0.04S + 0.70P \qquad (6.22)$$

$$\ln d_g = -5.82 + 0.96 I_{MM} - 0.49S + 1.24P \qquad (6.23)$$

ενώ για την κατακόρυφη εδαφική επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση, οι σχέσεις,

$$\ln a_g = -0.43 + 0.68 I_{MM} + 0.002S + 0.56P \qquad (6.24)$$

$$\ln v_g = -3.45 + 0.71 I_{MM} - 0.32S + 0.67P \qquad (6.25)$$

$$\ln d_g = -7.76 + 1.14 I_{MM} - 1.53 S + 1.55 P \qquad (6.26)$$

Ακόμη, προτάθηκαν οι σχέσεις της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας με τη μακροσεισμική ένταση, για 73 τιμές της περιόδου,T, και για παράγοντες απόσβεσης D=0.00, 0.02, 0.05, 0.10, 0.20, οι οποίες προκύπτουν με βάση τη σχέση (6.20) και με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (5.1), (5.2), (5.3), (5.4). Ανάλογα, οι σχέσεις της κατακόρυφης φασματικής ψευδοταχύτητας με τη μακροσεισμική ένταση προκύπτουν με βάση τη σχέση (6.20) και με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (5.5), (5.6), (5.7), (5.8).

Για το δείγμα των 86 οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου ενισχυμένων με δεδομένα σεισμών μεγεθών ροπής, $7.0 < Mw \leq 7.5$, ισχύουν οι σχέσεις συσχέτισης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης με τη μακροσεισμική ένταση, (6.21), (6.22), (6.23), αντίστοιχα. Οι σχέσεις της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας με τη μακροσεισμική ένταση, για το ίδιο δείγμα, προκύπτουν για κάθε περίοδο, T, με βάση τη σχέση (6.20) και με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (5.13), (5.14), (5.15), (5.16).

Για το δείγμα των 70 οριζοντίων συνιστωσών επιταχυνσιογραμμάτων σεισμών ενδιαμέσου βάθους ισχύουν οι σχέσεις συσχέτισης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, ταχύτητας, μετάθεσης με τη μακροσεισμική ένταση, (6.21), (6.22), (6.23), αντίστοιχα. Οι σχέσεις της οριζόντιας φασματικής ψευδοταχύτητας με τη μακροσεισμική ένταση, για το ίδιο δείγμα, προκύπτουν για κάθε περίοδο, T, με βάση τη σχέση (6.20) και με τη χρήση των συντελεστών των πινάκων (5.9), (5.10), (5.11), (5.12).

Οι σχέσεις απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής εδαφικής κίνησης καθώς και η συσχέτιση αυτής με τη μακροσεισμική ένταση που προτείνονται στη διατριβή αυτή, συμβάλλουν σημαντικά, (α) στην κατανόηση των ιδιοτήτων του δρόμου διάδοσης των κυμάτων που είναι κατά κύριο λόγο υπεύθυνα για τις βλάβες των κατασκευών και (β) στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας στον Ελληνικό χώρο αφού παρέχεται το μοντέλο απόσβεσης τόσο των μεγίστων εδαφικών

παραμέτρων (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετάθεση) όσο και των φασματικών τιμών στην περιοχή των συχνοτήτων (ψευδοταχύτητα). Οι παραπάνω σχέσεις βασιζόμενες σε Ελληνικά δεδομένα καθώς και σε δεδομένα σεισμών από σεισμοτεκτονικά περιβάλλοντα παρόμοια με εκείνο του Αιγαιακού χώρου, δίνουν σε ικανοποιητικό βαθμό ρεαλιστικές τιμές σεισμικών κινήσεων σχεδιασμού που αποτελούν τη βάση για τον Αντισεισμικό Κανονισμό.

Πρέπει να τονισθεί η ανάγκη για την απόκτηση επιταχυνσιογραμμάτων επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου με επιφανειακά μεγέθη Ms>6.5 στο κοντινό πεδίο R<30 km καθώς και σεισμών ενδιαμέσου βάθους του νότιου Αιγαίου για τους οποίους μέχρι σήμερα υπάρχει πλήρης έλλειψη δεδομένων. Ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με την πύκνωση, σε περιοχές της χώρας με υψηλή πιθανότητα σεισμικής διέγερσης, και τη σωστή λειτουργία του εθνικού δικτύου επιταχυνσιογράφων. Η εγκατάσταση των επιταχυνσιογράφων σε θέσεις των οποίων τα γεωλογικά και γεωτεχνικά χαρακτηριστικά θα είναι γνωστά μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη γνώση της επίδρασης των εδαφικών συνθηκών στην ισχυρή σεισμική κίνηση. Τέλος, η καθιέρωση ενός ομοιόμορφου και ορθολογικού τρόπου επεξεργασίας των επιταχυνσιογραμμάτων θα βελτιώσει σημαντικά τόσο τις μέγιστες εδαφικές όσο και τις φασματικές τιμές, ιδιαίτερα στις μεγάλες περιόδους, T>1.0 sec, στις οποίες περιλαμβάνονται οι ιδιοπερίοδοι εύκαμπτων κατασκευών μεγάλης σπουδαιότητας.

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF STRONG GROUND MOTION IN GREECE

by

N.P. Theodulidis, Geophysical Laboratory, Aristotelian University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece

ABSTRACT

Acquisition of accelerograms from 36 shallow earthquakes in Greece with surface wave magnitudes $4.5 \leq Ms \leq 7.0$, for the period 1972 to 1986, have motivated the research on strong motion scaling studies. For this purpose, two empirical models for the scaling of the strong motion parameters examined, Y (Y: peak ground, acceleration, a_g, velocity, v_g, displacement, d_g, and spectral pseudovelocity, PSV(T), for 73 periods and 5 damping values) were presented. One of these models describes Y, in terms of magnitude (Ms, M_L, M_W), epicentral distance or distance from the center of energy release and site geology, S (S=1 for "rock" and S=0 for "alluvium"), through the equation,

$$\ln Y = C_1 + C_2 M + C_3 \ln(R+C_4) + C_5 S + \sigma_{\ln Y} P$$

and the other characterizes the dependence of Y on modified Mercalli intensity, Imm, and site geology, through the equation,

$$\ln Y = C_1 + C_2 Imm + C_3 S + \sigma_{\ln Y} P$$

where $C_1, \ldots, C_5$ are scaling coefficients determined by regression analysis, $\sigma_{\ln Y}$ is the residuals root mean square and P is zero for 50-percentile and one for 84-percentile level of non-exceedence.

Due to lack of strong motion data from shallow and intermediate depth subduction earthquakes in Greece, such data have been gathered from other regions of the world with seismotectonic environment comparable with that of the Aegean sea. Out of a large sample, 4 shallow and 28 intermediate depth subduction earthquakes which gave 16 and 70 horizontal components, respectively, were chosen. These data were also taken into account in defining suitable empirical scaling relations of a_g, v_g, d_g, PSV(T) for the area of Greece.

Scaling relations proposed in this thesis is believed that contribute significantly (a) towards understanding attenuation characteristics of the seismic waves that are mainly responsible for the damage of structures and (b) to seismic hazard assessment in Greece, since a realistic attenuation model of strong motion parameters is suggested.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abrahamson, N.A. and Litehiser, J.J., Attenuation of vertical peak acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 79, 549-567, 1989.

Aki, K., Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, Bull. Earth. Res. Inst., Tokyo Univ., 44, 23-88, 1966.

Aki, K., Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves, J.Geophys. Res., 74, 615-631, 1969.

Aki, K., Characterization of barriers on an earthquake fault, J. Geophys. Res., 84, 6140-6148, 1979.

Aki. K., Scattering and attenuation of shear waves in the lithosphere, J. Geophys. Res, 85, 6496-6504, 1980a.

Aki, K., Attenuation of shear waves in the lithosphere for frequencies from 0.05 to 25 Hz, Phys. Earth. Planet. Interiors, 21, 50-60, 1980b.

Aki, K., A probalilistic synthesis of precursory phenomena, Earthquake Prediction (eds. Simpson, D.W. and Richards, P.G.) Maurice Ewing Series 4, (Am. Geophys. Union), 1981.

Aki, K.,Strong motion prediction using mathematical modeling techniques, Bull. Seism. Soc. Am., 72, S29-S41, 1982.

Aki, K., Asperities, barriers, characteristic earthquakes and strong motion prediction, J. Geophys. Res., 89, 5867-5872, 1984.

Aki, K., Magnitude-frequency relation for small earthquakes: A clue to the origin of f_{max} of large earthquakes, J. Geophys. Res., 92, 1349-1355, 1987.

Aki, K. and Chouet, B., Origin of coda waves: Source, attenuation and scattering effects, J. Geophys. Res., 80, 3322-3342, 1975.

Aki, K., Bouchon, M., Chouet, B. and Das, S., Quantitative prediction of strong motion for a potential earthquake fault, Annali di Geofisica, 30, 341-368, 1977.

Aki, K. and Richards, Quantitative Seismology, Theory and Methods, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1980.

Algermissen, S.T., Perkins, D.M., Isherwood, W., Gordon, D., Reagor, G. and Howard, C., Seismic risk evaluation of the Balkan region, Proc. Sem. on Seismic Zoning maps, Skopje 1975, II, 172-240, 1976.

Ambraseys, N., The correlation of intensity with ground motions, Proc. 14th Conference European Seismological Commission, Ttieste, 1974.

Ambraseys, N.N., Preliminary analysis of European strong-motion data 1965-1978 (Part II), Rept. EAEE Working Group on Strong Ground Movements and Foundation Engineering, 4, 17-37, 1978.

Ambraseys, N., Uniform magnitude reevaluation of European earthquakes accosiated with strong motion records, Earth. Eng. Str. Dyn., 19, 1-20, 1990.

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Στοιχεία αντισεισμικής δυναμικής ανάλυσης κατασκευών με φάσματα απόκρισης - σχεδιασμού, Εργασία ΙΤΣΑΚ: 86-01, 56 σελ., Θεσσαλονίκη, 1986.

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Μέθοδοι καθορισμού σεισμικών δράσεων για τον αντισεισμικό Ευρωκώδικα, Πρακτικά 1ου Συμπόσιου για τις Νέες Εξελίξεις στη Σεισμολογία και Γεωφυσική του Ελληνικού Χώρου, 209-224, Θεσσαλονίκη, 1988.

Αναγνωστόπουλος, Σ.Α., Μάργαρης, Β.Ν., Θεοδουλίδης, Ν.Π., Βορριάς, Ε.Ε. και Μαρίνος, Α.Σ., Δελτία καταγραφής ισχυρών σεισμικών κινήσεων από το δίκτυο του ΙΤΣΑΚ (Περίοδος 1980-1985), Εργασία ΙΤΣΑΚ:85-01, 42 σελ., Θεσσαλονίκη, 1986α.

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 επιταχυνσιογραφημάτων, συσχετισμός με τον αντισεισμικό κανονισμό επισκόπηση βλαβών και συμπεράσματα, Εργασία ΙΤΣΑΚ:86-05, 103 σελ., Θεσσαλονίκη, 1986β.

Anagnostopoulos, S.A., Rinaldis, D., Lekidis, V.A., Margaris V.N. and Theodulidis N.P. "The Kalamata, Greece, Earthquake of September 13, 1986", Earthquake Spectra, 3, 365-402, 1987.

Anderson, J.G. and Luco, J.E., Parametric study of near-field ground motion for oblique-slip and dip-slip fault models, Proc. Workshop XVI, The Dynamic Characteristics of Faulting Inferred from Recordings of Strong Ground Motion, 2, U.S.G.S. Open-File Rept., 82-591, 534-561, 1982.

Anderson, J.G. and Hough, S.E., A model for the shape of the Fourier amplitute spectrum of acceleration at high frequencies, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 1969-1993, 1984.

Andrews, D.J., A stochastic fault model, 1. Static case, J.Geophys. Res., 85, 3867-3877, 1980.

Andrews, D.J., A stochastic fault model, 2. Time-dependent case, J. Geophys. Res., 86, 10821-10834, 1981.

Archuleta, R.J., Analysis of near-source static and dynamic measurements from the 1979 Imperial Valley earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1927-1956, 1982.

Archuleta, R.J. and Day, S.M., Near-field particle motion resulting from a propagating stress-relaxation over a fault embedded within a layered medium, Trans. Amer. Geophys. Union, 58, 445, 1977.

Archuleta, R.J., Granswick, E., Mueller, C. and Spudich, P., Source parameters of the 1980 Mammoth Lakes, California earthquake sequence, J. Geophys. Res., 87, 4595-4607, 1982.

Arias, A., A measure of earthquake intensity, Seismic Design for Nuclear Power Plants, (R. Hansen, editor), MIT, Cambridge, 438-483, 1969.

ATC-3, Tentative provisions for the development of seismic regulations for buildings, Applied Technology Council, Publ. ATC3-06, Palo Alto, California, 1978.

Atkinson, G.M., Attenuation of strong ground motion in Canada from a random vibrations approach, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 2629-2653, 1984.

Atkinson, G. and Boore, D., Recent trends in ground motion and spectral response relations for North America, Earth. Spectra, 6, 15-35, 1990.

Barosh, P.J., Use of seismic intensity data to predict the effects of earthquakes and underground nuclear explosions in various geologic settings, U.S. Geol. Surv. Bull., 1279, 1969.

Basili, M., Data acquisition and processing in strong motion seismology, Strong Ground Motion Seismology (M. Erdik and N. Toksöz, editors), 251-331, 1987.

Basili, M. and Brady, G., Low frequency filtering and the selection of limits for accelerogram corrections, Proc. 6th European Conference on Earth. Eng., Ljubljana, Yugoslavia, 1978.

Beavan, J. and Jacob, K., Processed strong-motion data from subduction zones: Alaska, Lamont-Processed Strong Motion Data, Rep.1, Lamont Doherty Observatory of Columbia University, 1984.

Beck, J., Randal, P. and Hefford, R., Computer analysis of New Zealand earthquake accelerograms, Vol. I, DSIR, Physics and Engineering Laboratory, 1986.

Benioff, H., Mechanism and strain characteristics of the White Wolf fault as indicated by the aftershock sequence, Earthquakes in Kern County California During 1955 (edt. Oakeshott G.B.), Bull. 171, Calif. Div. Mines and Geol., Sacramento, 199-202, 1955.

Ben-Menahem, A., Vered, M. and Brooke, D., Earthquake risk in the Holy land, Boll. di Geof. Teor. ed Appl., 24, 175-203, 1982.

Berckhemer, H., Some aspects of the evolution of marginal seas deduced from observations in the Aegean region, Proc. XXV Congr. Plenary Assembly of ICSE, Split, 303-314, 1976.

Berg, G., Bolt, B., Sozen, M. and Rojahn, C., Earthquake in Romania March 4, 1977, National Research Council and Earth Engn. Res. Institute, An Engineering Report, 35 pp., 1980.

Bernreuter, D.L., Scaling and estimation of earthquake ground motion as a function of the earthquake source parameters and distance, NUREG/CR-2103, UCRL-53020, 1981.

Biot, M.A., A mechanical analyser for the prediction of earthquake stresses, Bull. Seism. Soc. Am., 31, 151-171, 1941.

Boatwright, J., A dynamic model for the far field acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1049-1068, 1982.

Boatwright, J., The seismic radiation from composite models of faulting, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 489-508, 1988.

Boatwright, J. and Boore, D., Analysis of the ground accelerations radiated by the 1980 Livermore Valley earthquakes for directivity and dynamic source characteristics, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1843-1865, 1982.

Bolt, B.A., Duration of strong ground motion, Proc. 5th World Conf. on Earth. Eng., Rome, 1973.

Bolt, B. and Abrahamson, N., New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 2307-2321, 1982.

Boore, D., The effect of simple topography on seismic waves: implications for the accelerations recorded at Pacoima dam, San Fernando valley, California, Bull. Seism. Soc. Am., 63, 1603-1609, 1973.

Boore, D., On the attenuation of peak velocity, Proc. 7th World Conf. on Earth. Eng., 2, 577-584, Istabul, Turkey, 1980.

Boore, D., Strong-motion seismology, Reviews of Geophysics and space physics, 21, 1308-1318, 1983a.

Boore, D., Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1865-1894, 1983b.

Boore, D., Short-period P-and S-wave radiation from large earthquakes: implications for spectral scaling relations, Bull. Seism. Soc. Am., 76, 43-64, 1986.

Boore, D., The prediction of strong ground motion, Strong Ground Motion Seismology (M.Erdik and N.Toksoz, editors), 109-141, 1987.

Boore, D., and Joyner, W., The influence of rupture incoherence on seismic directivity, Bull. Seism. Soc. Am., 68, 283-300, 1978.

Boore, D., Joyner, W., Oliver, A. and Page, R., Peak acceleration, velocity, and displacement from strong-motion records, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 305-321, 1980.

Boore, D. and Joyner, W., The empirical prediction of ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 72, S43-S60, 1982.

Borcherdt, R., Anderson, J., Crouse, C., Donovan, N., McEvilly, T. and Shakal, A., National planning considerations for the acquisition of strong ground motion data, EERI, Rept. 84-08, 1984.

Bouchon, M., Predictability of ground displacement and velocity near an earthquake fault. An examble: The Parkfield earthquake of 1966, J. Geophys. Res., 84, 6149-6156., 1979.

Bouchon, M. and Aki, K., Simulation of long-period, near-field motion for the great California earthquake of 1857, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 1669-1682, 1980.

Brady, G. and Perez, V., Strong-motion earthquake accelerograms: digitization and analysis, records from Lima, Peru, 1951 to 1974, Open-File Rept. 77-587, 25pp., U.S.G.S, 1977.

Brady, A., Rojahn, C., Perez, V., Carydis, P. and Sbokos, J., Seismic engineering data report Romanian and Greek records 1972-77, Open-File Rep. 78-1022, 221 pp., U.S.G.S., 1978.

Bravo, M., Sanchez-Sesma, F. and Chavez-Garcia, F., Ground motion of stratified alluvial deposits for incident SH waves, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 436-450, 1988.

Bravo, M. and Sanchez - Sesma, F., Seismic response of alluvial valleys for incident P, SV and Rayleigh waves, Soil. Dyn. Earth. Eng., 9, 16-24, 1990.

Brune, J.N., Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J. Geophys. Res., 75, 4957-5009, 1970.

Campbell, K.W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 2039-2070, 1981.

Campbell, K.W., Near-source scaling characteristics of peak horizontal acceleration for moderate-to-large earthquakes, Proc. Workshop XVI, The Dynamic Characteristics of Faulting Inferred from Recordings of Strong Ground Motion, Incline Village, California, U.S.G.S. Open-File Rep. 82-591, 1, 120-184, 1982.

Campbell, K.W., The effects of site characteristics on near-source recording of strong ground motion, Proc. XXII Conf.- Workshop on Site Specific Effects on Soil and Rock on Ground Motion and Their Implications for Earth. Resistant Design, Santa Fe, New Mexico, USGS, Open File Rep. 83-845, 280-309, 1983.

Campbell, K.W., Observed structural modification of recorded strong ground motion, Proc. Seminar and Workshop on Earth. Ground Motion and Building Damage Potential, San Francisco, California, Rep. ATC-10-1, Palo Alto, 1984.

Campbell, K.W., Strong-motion attenuation relations: A ten-year perspective, Earthquake Specta, 1, 759-804, 1985.

Campbell, K., Empirical prediction of free-field ground motion using statistical regression models, Proc. Workshop on Soil-Structure Interaction, Bethesda, Maryland, 1986.

Campbell, K., Engineering Seismology, Encyclop. of Phys. Science and Technology, 5, 145-159, 1987.

Campbell, K., The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude, distance and site effects for small magnitude earthquakes in California and Eastern North America, Bull. Seism. Soc. Am., 79, 1311-1346, 1989.

Campbell, K.W. and Duke, C.K., Bedrock intensity attenuation and site factors from San Fernando earthquake records, Bull. Seism. Soc. Am., 64, 173-185, 1974.

Campillo, M., Gariel, j., Aki, K. and Sanchez-Sesma, F., Destructive strong ground motion in Mexico City: Source, path and site effects during great 1985 Michoacan earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 79, 1718-1735, 1989.

Canas, J., Egozcue, J. and Pujadas L., seismic attenuation in southern Mexico using the coda Q method, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 1807-1817, 1988.

Carydis, P.G., Features of Greek strong motion records and response spectra, Proc. Symposium on the Analysis of Seismicity and on Seismic Risk, 219-238, Liblice, 1977.

Carydis, P.G., Tilford, N.R., Brandow, G.E. and Jirsa, J.O., The central Greece earthquakes of February-March 1981 (A Reconnaissance and Engineering Report), NRC and EERI, 160 pp., Washington, 1982.

Carydis, P.G., Drakopoulos, J.C., Pantazopoulou, S. and Taflambas, J., Evaluation of the June 20 and July 5, 1978, Thessaloniki strong motion records, The Thessaloniki, Northern Greece, Earthquake of June 20, 1978 and its Seismic Sequence, (Papazachos, B.C. and Carydis P.G., editors), Tech. Chamber of Greece, Sect. of Centr. Macedonia, 231-256, Thessaloniki, 1983.

Carydis, P.G. and Mouzakis, H., Processing of Strong Motion Accelerograph Records in Greece, Preliminary Proccedings of Workshop on Investigation of Strong Motion Processing Procedures, Vol. II, 199-210, Rome, 1985.

Celebi, M. and Hanks, T., Unique site response conditions of two major earthquakes of 1985: Chile and Mexico, Proc. Intern, Symposium of Engineering Geology Problems in Seismic Areas, IV, Bari, Italy, April, 1986.

Chavez-Garcia, F., Pedotti, G., Hatzfeld, D. and Bard, P., An experimental study of site effects near Thessaloniki (northern Greece), Bull. Seism. Soc. Am., 80, 784-806, 1990.

Chiaruttini, C. and Siro, L., The correlation of peak ground acceleration with magnitude, distance and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy, and the Alpide belt, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1993-2009, 1981.

Cipar, J., Broadband time domain modelling of earthquakes from Friuli, Italy, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1215-1231, 1981.

Cloud, W.K. and Hudson, D.E., A simplified device for recording strong motion earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 51, 1961.

Clough, R.W. and Penzien, J., Dynamics of structures, McGraw-Hill, Inc., New York, 1975.

Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C., Space and time distribution of the intermediate focal depth earthquakes in the Hellenic arc, Tectonophysics, 70, T35-T47, 1980.

Comninakis, P.E. and Papazachos, B.C., A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1985, Publ. Geophys. Lab., 1, University of Thessaloniki, 167 pp., Thessaloniki, 1986.

Constantinescu, R. and Sandi, H., Earthquake in Romania August 31, 1986, EERI Newsletter, 10-11, 1987.

Crouse, C., Horizontal ground motion in Los Angeles during the San Fernando earthquake, Earth. Eng. Str. Dyn., 4, 333-347, 1976.

Crouse, C., Prediction of free-field earthquake grond motions, Proc. ASCE Specialty Conf. Earth. Eng. and Soil Dyn., Pasadena, California, I, 359-379, 1978.

Crouse, C., Hileman, J.A., Turner, B.E., Martin G.R. and Fugro. Inc., Compilation, assesment and expansion of the strong earthquake ground motion data base, Lawrence Livermore Lab., Rep. NUREG/CR-1660 UCRL-15227, 127 PP., Livermore, USA, 1980.

Crouse, C., Liang, G., and Martin, G., Experimental study of soil structure interaction at an accelerograph station, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 1995-2013, 1984.

Crouse, C., Vyas, Y. and Schell, B., Ground motions from subduction-zone earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 1-25,1988.

Crouse, C. and Hushmand, B., Soil-structure interaction at CDMG and USGS accelerograph stations, Bull. Seism. Soc. Am., 79, 1-14, 1989.

Dahle, A., Bungum, H. and Kvamme, L., Attenuation models inferred from intraplate earthquake recordings, Earth. Eng. Str. Dyn., 19, 1125-1141, 1990.

Das, S., Relation between average slip and average stress drop for rectangular faults with multiple asperities, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 924-930, 1988.

Das, S. and Aki, K., A numerical study of two-dimensional spontaneous rupture propagation, Geophys. J.R. Astr. Soc., 50, 643-668, 1977.

Das, S. and Kostrov, B.V., Breaking a single asperity: rupture process and seismic radiation, J. Geophys. Res., 88, 4277 - 4288, 1983.

Davis, L. and West, L., Observed effects of topography on ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 63, 283-298, 1973.

Day, S.M., Three-dimensional finite difference simulation of fault dynamics: rectangular faults with fixed rupture velocity, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 705-727, 1982a.

Day, S.M., Three-dimensional simulation of spontaneous rupture: the effect of nonuniform prestress, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1881-1902, 1982b.

Deschamps, A., Gaudemer, Y. and Cisternas, A., The El Asnam, Algeria, earthquake of 10 October 1980: multiple-source mechanism determined from long-period records, Bull. Seism. Soc. Am., 1111-1128, 1982.

Dewey, J.F. and Sengor, C., Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, Geol. Soc. Am. Bull., 90, 84-92, 1979.

Donovan, N.C., Strong motion attenuation equations: a critique, Proc. 3rd International Earth. Microzonation Conference, Seattle, Washington, I, 377-388, 1982.

Donovan, N., A review of spectral attenuation relationships, Proc. Annual meeting of SSA, Victoria, British Columbia, 1989 (under publication).

Donovan, N.C. and Bornstein, Uncertainties in seismic risk procedures, J.Geotech. Eng. Div., ASCE, 104, 869-887, 1978.

Dravinski, M., Amplification of P, SV, and Rayleiph waves by two alluvial valleys, Soil Dyn. Earth. Eng., 2, 66-77, 1983.

Earthquake Resistant Regulations, A World List, Compiled by the Inter. Assoc. for Earth. Eng., 845 pp., 1980.

Espinosa, A.F., Particle-velocity attenuation relations: San Fernando earthquake of February 9, 1971, Bull. Seism. Soc. Am., 67, 1195-1214, 1977.

Esteva, L. Seismic risk and seismic design decisions, Seismic Design for Nuclear Power Plants, (editor R.J. Hanson), M.I.T. Press, Cambridge, Masachusetts, 142-182, 1970.

Faccioli, E., Measures of strong ground motion derived from a stochastic source model, Soil Dyn. Earth. Eng., 2, 135-149, 1983.

Fenves, G. and Serino, G., Soil-structure interaction in buildings from earthquake records, Earth. Spectra, 6, 641-655, 1990.

Frankel, A., The effects of attenuation and site response on the spectra of microearthquakes in the northeastern Caribean, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1379-1402, 1982.

Frankel, A. and Wennerberg, L., Energy-flux model of seismic coda: Separation of scattering and intrinsic attenuation, Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1223-1251, 1987.

Fukushima, Y. and Tanaka, T., A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan, Bull. Seism. Soc. Am., 80, 757-783, 1990.

Gazetas, G., Dakoulas, P. and Papageorgiou, A., Local-soil and source-mechanism effects in the 1986 Kalamata (Greece) earthquake, Earth. Eng. Str. Dyn., 19, 431-456, 1990.

Geli, L., Bard, P. and Jullien, B., The effect of topography on earthquake ground motion: A review and new results, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 42-63, 1988.

Gibowicz, S., Physics of fracturing and seismic energy release: A review, Papeoph, 124, 611-658, 1986.

Gupta, I., Mclaughlin, K., Attenuation of ground motion in the Eastern United States, 77, 366-383, 1987.

Gusev, A.A., Descriptive statistical model of earthquake source radiation and its application to an estimation of short period strong motion, Geophys. J.R. Astr. Soc., 74, 787-808, 1983.

Gutenberg, B. and Richter, C.F., Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 32, 163-191, 1942.

Gutenberg, B. and Richter, C.F., Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration, paper II, Bull. Seism. Soc. Am., 46, 105-195, 1956.

Guzman, R.A. and Jennings, P.C., Design spectra for nuclear power plants, Journal of the Power Division, 102, PO2, 165-178, 1976.

Hadley, D.M., Helmberger, D.V. and Orcutt J.A., Peak acceleration scaling studies, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 959-979, 1982.

Hanks, T.C., Strong ground motion of the San Fernando, California, earthquake: Ground displacements, Bull. Seism. Soc. Am., 65, 193-226, 1975.

Hanks, T.C., b values and $\omega^{-\gamma}$ seismic source models: implications for tectonic stress variations along active crustal fault zones and estimation of high frequency strong ground motion, J. Geophys. Res., 84, 2235-2241, 1979.

Hanks, T.C., f_{max}, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1867-1879, 1982.

Hanks, T.C. and Johnson, D.A., Geophysical assessment of peak acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 959-968, 1976.

Hanks, T. and Kanamori, H., A moment magnitude scale, J. Geophys. Res., 84, 2348-2350, 1979.

Hanks, T. and McGuire, R., The character of high frequency strong ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 2071-2095, 1981.

Hartzell, S. and Helmberger, D.V., Strong-motion modelling of the Imperial Valley earthquake of 1979, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 571-596, 1982.

Hartzell, S. and Heaton, T., Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1553-1583, 1983.

Hasegawa, H.S., Basham, P.W. and Berry, M.J., Attenuation relations for strong seismic ground motion in Canada, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1943-1962, 1981.

Haskell, N.A., Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating fault, Bull. Seism. Soc. Am., 54, 1811-1842, 1964.

Hatzfeld, D., Pedotti, G., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D., Scordilis, M., Drakopoulos, J., Makropoulos, K., Delibasis, N., Latousakis, J., Baskoutas, J. and Frogneux, M., The Hellenic subduction beneath the Peloponnesus: first results of a microearthquake study, Earth and Planetary Science Letters, 93, 283-291, 1989.

Hatzfeld, D., Pedotti, G., Hatzidimitriou, P. and Makropoulos, K., The strain pattern in the western Hellenic arc deduced from a microearthquake survey, Geoph. J. Int., 101, 181-202, 1990.

Hatzidimitriou, P.M., Papadimitriou, E.E., Mountrakis, D.M. and Papazachos, B.C., The seismic parameter b of the frequency-magnitude relation and its association with the geological zones of Greece, Tectonophysics, 120, 141-151, 1985.

Hauksson, E., Teng, T. and Henyey, T., Results from a 1500 m deep, three-level downhole seismometer array: site response, low Q values and f_{max}, Bull. Seism. Soc. Am., 1883-1904, 1987.

Havskov, J., Malone, S., McClure, D. and Crosson, R., Coda Q for the state of Washington, 79, 1024-1038, 1989.

Heaton, T., Tajima, F., Mori, W., Estimating ground motions using recorded accelerograms, Surv. Geophys., 8, 25-83, 1986.

Heaton, T. and Hartzell, S., Estimation of strong ground motions from hypothetical earthquakes on the Cascadia subdsuction zone, Pacific northwest, Pageoph, 129, 131-201, 1989.

Herrmann, R.B., Q estimates using the coda of local earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 447-465, 1980.

Housner, G.W., Calculation of the response of an oscillator to arbitrary ground motion , Bull. Seism. Soc. Am., 31, 143-149, 1941.

Housner, G.W., Strong ground motion, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. (editor R. Wiegel), 75-91, 1970.

Housner, G.W. and Jennings, P.C., Generation of artificial earthquakes, J.Eng. Mech. Div., ASCE, 90 (EMI), Proceedings paper 3806, 1964.

Housner, G.W. and Jennings, P.C., Earthquake design criteria, Monograph, Caltech, 140 pp., USA, 1982.

Houston, H. and Kanamori, H., Source spectra of great earthquakes: Teleseismic constraints on rupture process and strong motion, Bull. Seism. Soc. Am., 76, 19-42, 1986.

Houston, H. and Kanamori, H., Comparison of strong-motion spectra for three magnitude 8 subduction-zone earthquakes, 80, 913-934, 1990.

Huang, M., Haroun, M.A. and Housner, G.W., A study on strong motion data of the 1979 Imperial Valley earthquake, Proc. 3rd Inter. Earth. Microzonation Conf., Seattle, Washington, I, 401-412, 1982.

Hudson, D.E., Ground motion measurements, Prentice-Hall, Inc., Enlewood Cliffs, N.J. (editor R. Wiegel), 107-125, 1970.

Hudson, D.E. (edit), Strong motion earthquake accelerograms index volume, EERL, Rep. 76-02, Caltech, Pasadena, 1976.

Hudson, D.E., Reading and interpreting strong motion accelerograms, Monograph, EERI, 112 pp., 1979.

Hudson, D.E., Strong motion instrumentation system, Proc. Golden Anniversary Workshop on Strong Motion Seismometry, March 30 - 31, 1983, Dept. of Civil Eng. U.S.C., Los Angeles, California, 1983.

Hudson, D.E., Nigam, N.C. and Trifunac, M.D., Analysis of strong-motion accelerograph records, Proc. 4th World Conf. on Earth. Eng., Santiago, Chile, 1969.

Husid, R., Analysis de terremotos: Analysis general, Revista del IDIEM, 8, 21-42, Santiago, Chile, 1969.

Θεοδουλίδης, Ν., Μάργαρης, Β. και Παπασταματίου Δ., Σχεδιασμός δικτύου επιταχυνσιογράφων, Εργασία ΙΤΣΑΚ: 86-04, Θεσσαλονίκη, 1986.

Θεοδουλίδης, Ν., Μάργαρης, Β. και Παπασταματίου, Δ., Προγραμματισμός μετασεισμικών μελετών, Εργασία ΙΤΣΑΚ: 88-03, Θεσσαλονίκη, 1988.

Ibanez, J., Del Pezzo, E., De Miguel, F., Herraiz, M., Alguacil, G. and Morales, J., Depth-dependent seismic attenuation in the Granada zone (southern Spain), Bull. Seism. Soc. Am., 80, 1232-1244, 1990.

Idriss, I.M., Characteristics of earthquake ground motions, ASCE Earth. Eng. Soil. Dyn. Conf.and Exhibit, Pasadena, California, June 19-21, 1151-1265, 1978.

Iwan, W., The deployment of strong-motion earthquake instrument arrays, Earth. Eng. Str. Dyn., 7, 413-426, 1979.

Jacob, K.H. and Mori, J., Strong-motions in Alaska-type subduction zone environments, Proc. 8th World Conf. on Earth. Eng., San Francisco, II, 311-317, 1984.

Jarpe, S., Cramer, C., Turkey, B. and Shakal, A., A comparison of observations of ground response to weak and strong ground motion at Coalinga, California, Bull. Seism. Soc. Am., 78, 421-435, 1988.

Jennings, P.G. and Kanamori, H., Effects of distance on local magnitudes from strong-motion records, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 265-280, 1983.

Joyner, W.B., A scaling law for the spectra of large earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 1167-1188, 1984.

Joyner, W.B. and Boore, D.M., A stochastic source model for synthetic strong-motion seismograms, Proc. 7th World Conf. Earth. Eng., Istanbul, Turkey, 1, 1-8, 1980.

Joyner, W.B. and Boore, D.M., Peak acceleration and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. , 71, 2011-2038, 1981.

Joyner, W.B., Warrick, R.E. and Fumal, T.E., The effect of Quaternary alluvium on strong ground motion in the Coyote Lake, California, earthquake of 1979, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1333-1349, 1981.

Joyner, W.B. and Boore, D.M., Estimation of response-spectra values as functions of magnitude, distance, and site conditions, Open-File Rep. 82-881, U.S.G.S, 1982.

Joyner, W.B., Fumal, T.E. and Tinsley, J.C., Estimating site effects of strong ground motion using local shear-wave velocity, Proc. XXII Conf.-Workshop on Site Specific Effects of Soil and Rock on Ground Motion and Their Implications for Earthquake - Resistant Design, Santa Fe, New Mexico, U.S.G.S., Open-File Rept. 83-845, 251-260, 1983.

Joyner, W.B. and Fumal, T.E., Use of measured shear-wave velocity for predicting geologic site effects on strong ground motion, Proc. 8th World Conf. Earth. Eng., San Francisco, California, III, 777-784, 1984.

Kamiyama, M. and Yanagisawa, E., A statistical model for estimating response spectra of strong earthquake ground motions with emphasis on local soil conditions, Soil and Foundations, 26, 16-32, 1986.

Kanamori, H., The nature of seismicity patterns before major earthquakes, Earthquake Prediction (eds. Simpson, D.W. and Richards, P.G.), Maurice Ewing Ser. 4, Am. Geophys. Union, 1-19, 1981.

Kanamori, H. and Stewart, G., Seismological aspects of the Guatemala earthquake of February 4, 1976, J. Geophys. Res., 83, 3427-3434, 1978.

Kanamori, H. and McNally, K.C., Variable rupture mode of the subduction zone along the Ecuador-Colombia coast, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1241-1253, 1982.

Καρακώστας, Β., Σχέση της σεισμικής δράσης με γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία του ευρύτερου χώρου του Αιγαίου, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 243 σελ.,Θεσσαλονίκη 1988.

Karnik, V., Seismicity of the European area, Part I., 364 pp., D. Reidel, Dordrecht, Netherlands, 1969.

Καρύδης, Π., Αναγνωστόπουλος, Σ., Μακρόπουλος, Κ., Λεβεντάκης, Γ., Μπούρμπουλης, Α., Δρακάτος, Γ., και Κυριατζής, Ε., Εθνικό δίκτυο επιταχυνσιογράφων - Προγραμματισμός ανάπτυξης, Τελική Εκθεση, 29 σελ., 1986.

Katayama, T., An engineering prediction model of acceleration response spectra and its application to seismic hazard mapping, Earth. Eng. Str. Dyn., 10, 149-163, 1982.

Kawase, H. and Aki, K., A study on the response of a soft basin for incident S, P and Rayleigh waves with special reference to the long duration observed in Mexico City, Bull. Seism. Soc. Am., 5, 1361-1382, 1989.

Kawase, H. and Aki, K., Topography effect at the critical SV-waves incidence: Possible explanation of damage pattern by the Whittier Narrows, California, earthquake of 1 October 1987, Bull. Seism. Soc. Am., 80, 1-22, 1990.

Kawashima, K., Aizawa, K. and Takahashi, K., Attenuation of peak ground motion and absolute acceleration response spectra, Proc. 8th World Conf. on Earth. Engineering, II, 257-264, San Francisco, 1984.

Kawashima, K., Aizawa, K. and Takahashi, K., Attenuation of peak ground acceleration, velocity and displacement based on multiple regression analysis of Japanese strong motion records, Earth. Eng. Str. Dyn., 14, 199-215, 1986.

Khemici, O. and Shah, H.C., Frequency domain corrections of earthquake accelerograms with experimental verifications, The John A. Blume Earth. Eng. Center, Rep. 55, 103 pp., 1982.

King, G., The accommodation of large strains in the upper lithosphere of the Earth and other solids by self-similar fault systems: the geometrical origin of b-value, Pageoph, 121, 761-815, 1983.

King, G., The geometry of the initiation and termination of earthquake rupture and the evolution of morphology and geological structures, preprint 5, Maurice Ewing Symposium on Earthquake Source Mechanics, 19-23 May 1985, Arden House, Harriman, New York, 1985.

King, G. and Yielding, G., The evolution of a thrust fault system: processes of rupture initiation, propagation and termination in the 1980 El Asman (Algeria) earthquake, Geophys. J.R. Astr. Soc., 80, 677-693, 1984.

King, J. and Tucker, B., Observed variations of earthquake motion across a sediment-field valley, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 137-151, 1984.

Kiratzi, A. and Papazachos, B.C., Magnitude scales for earthquakes in Greece, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 969-985, 1984.

Kouskouna, V., Makropoulos, K., Drakopoulos, J. and Burton, P., Effects of site geology on the attenuation of macroseismic intensity in Central Greece, Geofizika, 5, 49-62, 1988.

Krishna, J. and Chandrasekaran, A.R., Structural response recorders, Proc. of 3rd World Conf. on Earth. Eng., New Zealand, 1965.

Κυρατζή, Α., Κλίμακες μεγεθών των σεισμών στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 189 σελ., Θεσσαλονίκη, 1984.

Κυρατζή, Α., Σκορδύλης, Ε., Θεοδουλίδης, Ν. και Παπαζάχος, Β., Ιδιότητες των σεισμικών εστιών και του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων που καθορίζουν τις σεισμικές βλάβες στον Ελληνικό χώρο, Πρακτικά Συνεδρίου, Σεισμοί και Κατασκευές, Αθήνα, Ι, 262-274, 1984.

Κυρατζή, Α. και Λεκίδης, Β. (επιστημονικοί υπεύθυνοι), Καθορισμός ισοβλαβών της Καλαμάτας, Τελική Εκθεση του Προγράμματος, 19 σελ., Θεσσαλονίκη, 1987.

Lay, T. and Kanamori, H., An asperity model of large earthquake sequences, Earthquake Prediction (eds. Simpson, D.W. and Richards P.G.), Maurice Ewing Ser. 4, Am. Geophys. Union, 579-592, 1981.

Lay, T., Kanamori, H. and Ruff, L., The asperity model and the nature of large subduction zone earthquakes, Earth. Prediction Res., 1, 3-71, 1982.

Lee,V.W., Three-dimensional diffraction of plane P, SV & SH waves by a hemispherical alluvial valley, Soil Dyn. Earth. Eng., 3, 133-144, 1984.

Lee, V.W, Scaling PSV spectra in terms of site intensity, and both local soil and geological site classifications, Europ. Earth. Eng., 1, 3-12, 1990.

Lee, V.W., Trifunac, M.D. and Feng, C.C., Effects of foundation size on Fourier spectrum amplitudes of earthquake accelerations recorded in buildings, Soil. Dyn. Earth. Eng., 1, 52-58, 1982.

Lee, V.W. and Trifunac, M., Current developments in data processing of strong motion accelerograms, U.S.C., Rept. 84-01, 1984.

Liu, H.L. and Helmberger, D.V., The 23:19 aftershock of the 15 October 1979 Imperial Valley earthquake: more evidence for an asperity, Bull. Seism. Soc. Am., 75, 689-708, 1985.

Luco, J.E. and Anderson, J.G., Steady-state response of an elastic half-space to a moving dislocation of finite width, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1-21, 1983.

Luco, J.E., Anderson, J.G. and Georgevich, M., Soil-structure interaction effects on strong motion accelerograms recorded on instrument shelters, Earth. Eng. Str. Dyn., 19, 119-131, 1990.

Madariaga, R., On the relation between seismic moment and stress drop in the presence of stress and strength heterogeneity, J., Geophys. Res., 84, 2243-2250, 1979.

Madariaga, R., High frequency radiation from dynamic earthquake fault models, Ann. Geophys., 1, 17-23, 1983.

Madariaga, R., Advantages, disadvantages, hopes and problems of data processing (Summary of the discussion), Proc. Workshop on investigation of strong-motion processing procedures, II, 389-390, Rome, 1985.

Makris, J., A dynamic model of the Hellenic arc deduced from geophysical data, Tectonophysics, 36, 339-346, 1976.

Makris, J., The crust and upper mantle of the Aegean region from deep seismic soundings, Tectonophysics, 46, 269-284, 1978.

Makropoulos, K., The statistics of large earthquake magnitude and an evaluation of Greeke seismicity, Ph. D. thesis, Univ. Edinburgh, 193 pp., 1978.

Makropoulos, K. and Burton P., Greek tectonics and seismicity, Tectonophysics, 106, 275-304, 1984.

Makropoulos, K. and Burton, P., Seismic hazard in Greece. II. Ground accelerations, Tectonophysics, 117, 259-294, 1985.

Mandelbrot, B., Fractals: Form, Chance and Dimension (W.H. Freeman, San Francisco 1977), 365 pp., 1977.

Μάργαρης, B., Rinaldis, D., Αναγνωστόπουλος, Σ., Θεοδουλίδης, Ν. και Λεκίδης, Β., Διορθωμένες και φασματικές τιμές των καταγραφών ισχυρής εδαφικής κίνησης (περίοδος 1980-1986), Εργασία ΙΤΣΑΚ: 89-03, Θεσσαλονίκη, 1989 (υπό εκτύπωση).

McGarr, A., Analysis of peak ground motion in terms of a model of inhomogeneous faulting, J. Geophys. Res., 86, 3901-3912, 1981.

McGarr, A., Upper bounds on near-source peak ground motion based on a model of inhomogeneous faulting, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1825-1841, 1982.

McGarr, A., Scaling of ground motion parameters, state of stress, and focal depth, J.Geophys. R., 89, 6969-6979, 1984.

McGuire, R.K., The use of intensity data in seismic hazard analysis, Proc. 6th World Conf. Earth. Eng., New Delhi, India, 1, 709-714, 1977a.

McGuire, R.K., Seismic design spectra and mapping procedures using hazard analysis based directly on oscillator response, Earth. Eng. Str. Dyn., 5, 211-234, 1977b.

McGuire, R.K., Seismic ground motion parameter relations, J.Geot. Eng. Div., 104, 481-490, 1978a.

McGuire, R.K., A simple model for estimating Fourier amplitude spectra of horizontal ground acceleration, Bull. Seism. Soc. Am., 68, 803-822, 1978b.

McGuire, R.K., Ground motion estimation in regions with few data, Proceedings of the 8th World Conf. on Earth. Eng., San Francisco, California, 1984, II, 327-334, 1984.

McGuire, R.K. and Hanks, T.C., RMS accelerations and spectral amplitudes of strong motion during the San Fernando, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 1907-1919, 1980.

McGuire, R.K., Becker, A.M. and Donovan, N.C., Spectral estimates of seismic shear waves, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 1427-1440, 1984.

McKenzie, D., The plate tectonics of the Mediterranean region, Nature, 226, 239-243, 1970.

McKenzie, D., Active tectonics of the Mediterranean region, Geophys. J.R. astr. Soc., 30, 109-185, 1972.

McKenzie, D., Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophys. J.R. Astr. Soc., 55, 217-254, 1978.

Medvedev, S.V., Engineering Seismology, Academy of Sciences of USSR, Moscow 1962 (Translatted from Russian, printed in Jerusalem by S. Monson), 260 pp., Jerusalem, 1965.

Mitchell, B. and Hwang, H., Effect of low Q sediments and crustal Q on Lg attenuation in the United States, Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1197-1210, 1987.

Mohammadioun, B., French practice in the area of seismic hazard assessment on nuclear facility sites and related research, Proc. Intern. Symposium on a Safety Codes and Guides in the Light of Current Safety Issues, Atonic Energy Agency, IAEA - SM - 275/56, Vienne, 639-651, 1985.

Mohraz, B., A study of earthquake response spectra for different geological conditions, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 915-935, 1976.

Mohraz, B., Hall, W.J. and Newmark, N.M., A study of vertical and horizontal earthquake spectra, Nathan M.Newmark Consulting Engineering Services, Urbana, Illinois (AEC Report WASH-1255), 151 pp., 1973.

Mori, A.W., Crouse, C.B., Strong-motion data from Japanese earthquakes, Rep. SE-29, World Dara Center A., U.S. NOAA, 1981.

Mori, J. and Shimazaki, K., High stress drop of short-period subevents from the 1968 Tokachi-Oki earthquake as observed on strong-motion records, Bull. Seism. Soc. Am. 74, 1529-1544, 1984.

Murphy, J.R. and O'brien, L.J., The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters, Bull. Seism. Soc. Am., 67, 877-915, 1977.

Nau, J.M. and Hall, W.J., Scaling methods for earthquake response spectra, Journal of Str. Eng., 110, 7, 1984.

Naumovski, N., Determining seismic design parameters for nuclear power plants, Ph. D. Thesis, 187 pp., Skopie, 1984.

Nazarov, A.G., The method of engineering analysis of seismic forces, Armenian Academy of Sciences, 1959 (in Russian).

Newmark, N.M., Blume, J.A. and Kapur, K.K., Seismic Design for Nuclear Power Plants, Journmal of the Power Division, 99, PO2, 287-303, 1973.

Niazi, M., Source dynamics of the 1979 Imperial Valley earthquake from near-source observations (of ground acceleration and velocity), Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1957-1968, 1982.

Nuttli, O.W., Advances in seismicity and tectonics, Proc. 3rd Int. Conf. Earth. Microzonation,1, Seattle, Wash., 2-24,1982a.

Nuttli, O.W. and Herrmann, R.B., Earthquake magnitude scales, J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 783-786, 1982b.

Okamoto, S., Introduction to Earthquake Engineering, John Wiley, New York, 1973.

Okubo, P.G. and Aki, K., Fractal geometry of the San Andreas fault system (abstract), EOS, Trans. Am. Geophys. Union, 64, 766, 1983.

Ormsby, J.F.A., Design of numerical filters with aplication to missile data processing, Association for Computing Machinery, Jour. 8, 440-466, 1961.

Orphal, D.L. and Lahoud, J.A., Prediction of peak ground motion from earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 64, 1563-1574, 1974.

Παναγιωτόπουλος, Δ., Καμπύλες χρόνων διαδρομής και δομή του φλοιού στο νότιο Βαλκανικό χώρο, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 173 σελ., Θεσσαλονίκη, 1984.

Panagiotopoulos, D., Scordilis, E., Hatzidimitriou, P., Rocca, A. and Papazachos, B., Further evidence on the deep tectonics of the Aegean and eastern Mediterranean area, Proc. XIX General Assembly of European Seismological Commission, 494-499, Moscow, 1984.

Panagiotopoulos, D., Hatzidimitriou, P., Karakaisis, G., Papadimitriou, E. and Papazachos, B., Travel time residuals in southeastern Europe, Pageoph, 123, 221-231, 1985.

Papageorgiou A., On an earthquake source model of inhomogeneous faulting and its applications to earthquake engineering, Ph. D. thesis, M.I.T., 195 pp., 1981.

Papageorgiou, A., On two characteristic frequencies of acceleration spectra: Patch corner frequency and f_{max}, 509-529, 1988.

Papageorgiou, A.S. and Aki, K., A specific barrier model of the quantitative description of inhomogeneous faulting and the prediction of strong ground motion, I. Description of the model, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 693-722, 1983.

Papageorgiou, A.S. and Aki, K., Scaling law of far-field spectra based on observed parameters of the specific barrier model, Pageoph, 123, 353-374, 1985.

Παπαϊωάννου, Χ.Α., Απόσβεση των σεισμικών εντάσεων και σεισμική επικινδυνότητα στον Ελληνικό χώρο, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 200 σελ., Θεσσαλονίκη, 1984.

Papaioannou, Ch.A., Kiratzi, A.A., Papazachos, B.C. and Theodulidis, N.P., Seismic hazard and scaling of earthquake response spectra in Greece, Publ. Geoph. Lab.,7, Univ. Thessaloniki, 1984.

Παπασταματίου, Δ., Μάργαρης, Β., Θεοδουλίδης, Ν. και Μαρίνος, Α., Πειραματική σεισμολογία ισχυρής δόνησης στον Ελληνικό χώρο, Πρακτικά 1ου Ελληνικού Συνεδρίου Γεωφυσικής, Αθήνα, 1989 (υπό εκτύπωση).

Παπαζάχος, Β.Κ., Στοιχεία αριθμητικής ανάλυσης, Μονογραφία, 147 σελ., 1966.

Papazachos, B.C., A lithospheric model to interpret focal properties of intermediate and shallow shocks in central Greece, Pageoph, 115, 655-666, 1977.

Papazachos, B.C., Seismicity rates and long-term prediction in the Aegean area, Quat. Geod., 3, 171-190, 1980.

Παπαζάχος, Β.Κ., Τεκτονική βάθους και σεισμικότητα του ελληνικού χώρου, Πρακτικά Συνεδρίου Σεισμοί και Κατασκευές, Αθήνα, 1, 207-227, 1984.

Παπαζάχος, Β.Κ., Μέτρα σεισμικού μεγέθους στον ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές, Πρακτικά 1ου Ελληνικού Συνεδρίου Γεωφυσικής, Αθήνα, 1989 (υπό εκτύπωση).

Παπαζάχος, Β.Κ., Εισαγωγή στη Σεισμολογία, 382 σελ., Θεσσαλονίκη, 1990.

Papazachos, B.C.,Seismicity of the Aegean and surrounding area, Tectonophysiscs, 178, 287-308, 1990.

Papazachos, B. and Comninakis, P., Geophysical features of the Greek island arc and eastern Mediterranean ridge, Com. Ren. de Seance de la Conference Reunie a Madrid, 16, 74-75, 1969.

Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E., Geophysical and tectonic features of the Aegean arc, J.Geophys. Res., 76, 8517-8533, 1971.

Papazachos, B.C. and Comninakis, P.E.,Geotectonic significance of the deep seismic zones in the Aegean area,Thera and the Aegean World, The Second Intern. Scient. Conpress, 1, 121-129, 1978.

Papazachos, B.C., Comninakis, P.E., Hatzidimitriou, P.M., Kiriakidis, E.C., Kiratzi, A.A., Panagiotopoulos, D.G., Papadimitriou, E.E., Papaioannou, C.A., Pavlides, S.B. and Tzanis, E.P., Atlas of isoseismal maps for earthquakes in Greece, 1902-1981, Publication of Geophysical Laboratory A.U.T., 4, 126 pp., Thessaloniki, 1982.

Papazachos, B.C., Kiratzi, A., Hatzidimitriou, P. and Roca, A., Seismic faults in the Aegean area, Tectonophysics, 106, 71-85, 1984.

Παπαζάχος, Β. και Δρακόπουλος, Ι. (επιστημονικοί υπεύθυνοι), Μελέτη και συνεχής ενημέρωση του Υπουργείου Δημοσίων Εργων σε θέματα σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού χώρου, Εκθέσεις για το Υ.Δ.Ε., 1985.

Papazachos, B.C., Papadimitriou, E.E., Karacostas, B.C. and Karakaisis, G.F., Long-term prediction of great intermediate depth earthquakes in Greece, 12th Regional Seminar on Earthquake Engineering, Halkidiki, Greece, Sep. 1985.

Papazachos, B.C., Kiratzi, A., Hatzidimitriou, P. and Karacostas, B., Seismotectonic properties of the Aegean area that restrict valid geodynamic models, Proc. 2nd Wegener/Medlas conference, Athens, 1986.

Παπαζάχος, Β.Κ.,Παναγιωτόπουλος, Δ., Ρόκκα, Α., Σκορδύλης, Ε. και Χατζηδημητρίου, Π., Στατικές και δυναμικές ιδιότητες της λιθόσφαιρας στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου και στην ανατολικη Μεσόγειο, Bull. Geol. Soc. Greece, XIX, 9-44, 1987.

Παπαζάχος, Β.Κ., Κυρατζή, Α.Α., Παπαιωάννου, Χ.Α. και Θεοδουλίδης, Ν.Π., Σύγχρονη μεθοδολογία αντιμετώπισης του σεισμικού κινδύνου με αξιοποίηση σεισμοτεκτονικών δεδομένων και δυνατότητες εφαρμογής της στην Ελλάδα, Πρακτ. 2ου Γεωλ. Συνεδρ. ΕΓΕΣΕΓ Αθήνα 1984, Δελτ. Ελλ. Γεωμ. Εταιρ., 19, 352-363, 1987.

Papazachos,B.C.,Kiratzi, A., Karacostas, B., Panagiotopoulos, D., Scordilis, E. and Mountrakis, D., 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, 1988.

Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου Κ., Οι σεισμοί της Ελλάδας, 356 σελ., Θεσσαλονίκη, 1989.

Papazachos,B.C.,Kiratzi, A. and Papadimitriou, E., Regional focal mechanisms for earthquakes in the Aegean area, Publ. Geoph. Lab.,2, 14 pp., Univ. Thes/niki, 1991.

Peng, K., Wu, F. and Song L., Attenuation characteristics of peak horizontal accelelation in northeast and southwest China, Earth. Eng. Str. Dyn., 13, 337-350, 1985.

Petrovski, D. and Naumovski, N., Processing of strong motion accelerograms, Part I - Analytical methods, Publ. No. 66, Skopje, 1979.

Phillips, W., The separation of source, path and site effects on high frequency seismic waves: An analysis using coda wave techniques, Ph.D. thesis, M.I.T., 195 pp., 1985.

Prevost, J. and Scanlan, R., Dynamic soil-structure interaction: Centrifugal modeling, Soil Dyn. Earth. Eng., 2, 212-221, 1983.

Rautian, T.G. and Khalturin, V.I., The use of the coda for determination of the earthquake source spectrum, Bull. Seism. Soc. Am., 68, 923-948, 1978.

Rial, J.A., The Caracas, Venezuela, earthquake of July, 1967: a multiple source event, J. Geophys. Res., 83, 5405-5414, 1978.

Richter, C.F., Elementary Seismology, Freeman, San Francisco, Calif., 768 pp., 1958.

Rinaldis, D., A methodology to process strong-motion records, Proc. Workshop on Investigation of Strong Motion Processing Procedures, II, Rome, 1985.

Rinaldis, D. and Bongiovanni, G., Investigation of strong motion processing procedures, some preliminary results, Proc. Workshop on Investigation of Strong Motion Processing Procedures, II, Rome, 1985.

Ritsema, A., Seismotectonic implications of a review of European earthquake mechanism, Geologische Rundschau, 59, 37-55, 1969.

Ritsena, A., The earthquake mechanisms of the Balkan region, R. Netherl. Meteorol. Inst. Sci. Rep., 74, 1-36, 1974.

Rogers, A.M., Katz, L.J. and Benett, T.J., Topographic effect on ground motion for incident P waves: a model study, Bull. Seism. Soc. Am., 64, 437-456, 1974.

Rogers, A.M., Convington, P.A., Borcherdt, R.D. and Tinsley, J.C., Comparative ground response studies in Los Angeles using NTS nuclear explosions and San Fernabdo earthquake data, Proc. XII Conf., Evaluation of Regional Seismic Hazard and Risk, U.S.G.S., Open - File Rep. 81-437, 143-161, 1981.

Rogers, A.M., Tinsley, J.C. and Borcherdt, R.D., Geographic variation in ground shaking as a function of changes in near-surface properties and geologic structure near Los Angeles, California, Proc. 8th World Conf. Earth. Eng., San Francisco, California, II, 737-744, 1984.

Rotstein, Y., Tectonics of the Aegean block: Rotation, side arc collision and crustal extension, Tectonophysics, 117, 117-137, 1985.

Row, L., An earthquake strong-motion data catalogue for personal computers (SMCAT), User Manual, World Data Center A, 1989.

Rudnicki, J. and Kanamori, H., Effects of fault interaction on moment, stress drop and strain energy release, J. Geophys. Res., 86, 1785-1793, 1981.

Ruff, L.J., Tomographic imaging of the earthquake rupture process, Geophys. Res. Lett., 11, 629-632, 1984.

Rundle, J.B., Kanamori, H. and McNally, K.C., An inhomogeneous fault model for gaps, asperities, barriers, and seismicity migration, J. Geophys. Res, 89, 10219-10231, 1984.

Sabetta, F., Data processing in strong ground motion seismology, Proc. Workshop on Investigation of Strong Motion Processing Procedures, I, Rome, 1985.

Sabetta, F. and Pugliese, A., Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records, Bull. Seism. Soc. Am., 77, 1491-1511, 1987.

Safak, E., Analytical approach to calculation of response spectra from seismological models of ground motion, Earth. Eng. Str. Dyn., 16, 121-134, 1988.

Safak, E., Mueller C. and Boatwright, J., A simple model for strong ground motions and response spectra, Earth. Eng. Str. Dyn., 16, 203-215, 1988.

Sandi, H., Engineering aspects and possible refinements of the concept of seismic intensity, Proc. 12th Regional Seminar on Earth. Eng., Halkidiki, Greece, 1985.

Sandi, H., An approach to the development of an up-to-date intensity scale, Proc. 9th E.C.E.E., Moscow, 1990 (in press).

Sarma, S. and Yang, S., An evaluation of strong motion records and a new parameter A_{95}, Earth. Eng. Str. Dyn., 15, 119-132, 1987.

Schnabel, B. and Seed, B., Accelerations in rock for earthquakes in the western United States, Bull. Seism. Soc. Am., 63, 501-516, 1973.

Scholz, C.H., Scaling relations for strong ground motion in large earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1903-1909, 1982.

Scordilis, E., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D. and Hatzfeld, D., Microearthquake study and near-field seismic wave attenuation in the Mygdonian graben (northern Greece), Geologica Phodopica, 1, 84-92, 1989.

Seale, S. and Archuleta, R., Site amplification and attenuation of strong ground motion, Bull. Seism. Am., 79, 1673-1698, 1989.

Seed, B., Ugas, C. and Lysmer, J., Site-dependent spectra for earthquake-resistant design, Bull. Seism. Soc. Amer., 66, 221-243, 1976a.

Seed, B., Murarka, R., Lysmer, J. and Idriss, I., M., Relationships between maximum acceleration, maximum velocity, distance from source and local site conditions for moderately strong earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1323-1342, 1976b.

Seed, B. and Lysmer, J., The seismic soil-structure interaction problem for nuclear facilities, University of California, Rep. to Lawrence Livermore National Laboratory, Berkeley, California, 1980.

Silva, W. and Green, R., Magnitude and distance scaling of response spectral shapes for rock sites with applications to north American tectonic environment, Earth. Spectra, 5, 591-623, 1989.

Singh, J.P., Importance of local structure and source characteristics in estimating of near field strong ground motions, Proc. 3rd Int. Conf. Earth. Microzonation, 2, Seattle, Wash., 623-636, 1982.

Singh, S. and Herrmann R.B., Regionalization of crustal coda Q in the continental United States, J. Geophys. Res., 88, 527-538, 1983.

Singh, S., Mena, E., Castro, R. and Carmona, C., Empirical prediction of ground motion in Mexico City from coastal earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am., Short Note, 77, 1862-1867, 1987.

Siro, L. Southern Italy November 23, 1980 earthquake, Proc. 7th. European Conf. Earth. Eng., Athens, Greece, Sept. 20-25, 1982.

Smalley, R. Turcotte, D. and Solla, S., A renormalization group approach to the stick-slip behaviour of faults, J. Geophys. Res., 90, 1894-1900, 1985.

Stavrakakis, G., Drakopoulos J., Attenuation of strong ground motion in Greece based on random vibration theory, Project Seismic hazard map of Greece, 1989.

Stojkovic, M., Estimation of attenuation functions and effective ground accelerations of strong earthquakes on the basis of macroseismic field functions, Proc. E.C.E.E., Lisbon, 1986.

Sunders, S. and Connor, J., A new procedure for processing strong-motion earthquake signals, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 643-661, 1982.

Swanger, H. and Boore, D., Simulation of strong-motion displacements using surface-wave modal superposition, Bull. Seism. Soc. Am., 68, 907-922, 1978.

Swanger, H., Day, S.M., Murphy, J.R. and Guzman, R., State - of - the art concerning near field earthquake ground motion, U.S. Nuclear Regulatory Commission Rept. NUREG/CR-1978, 1981.

Τάσσος, Σ.Τ., Στατικές και δυναμικές ιδιότητες του πάνω μανδύα στο νότιο Αιγαίο, Διδακτορική διατριβή,Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 155 σελ., Θεσσαλονίκη, 1984.

Toksöz, N., Wu, S. and Schmitt, P., Physical mechanisms contributing to seismic attenuation in the crust, Strong Ground Motion Seismology (M. Erdik and N. Toksoz, editors), 225-243, 1987.

Trifunac, M.D., Low frequency digitization errors and a new method for zero baseline correction of strong-motion accelerograms, Caltech, Rep. 70-07, Pasadena, 1970.

Trifunac, M.D., A method for synthesizing realistic strong ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 61, 1739-1753, 1971.

Trifunac,M.D.,A note on correction of strong-motion accelerograms for instrument response, Bull. Seism. Soc. Am., 62, 401-409, 1972.

Trifunac, M.D., A note on the range of peak amplitudes of recorded accelerations, velocities and displacements with respect to the modified Mercalli intensity scale, Earth. Notes, 47, 9-24, 1976a.

Trifunac, M.D., Preliminary empirical model for scaling Fourier amplitude spectra of strong ground acceleration in terms of earthquake magnitude, source-to-station distance, and recording site conditions, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 4, 1343 - 1373, 1976b.

Trifunac, M.D., Preliminary analysis of the peaks of strong earthquake ground motion-dependence of peaks on earthquake magnitude, epicentral distance, and recording site conditions, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 189-219, 1976c.

Trifunac, M.D. and Hudson, D.E., Laboratory evaluation and instrument corrections of strong-motion accelerographs,E.E.R.L., Rep. 70-04, Cal. Inst. Techn., Pasadena, 1970.

Trifunac, M.D. and Lee, V., Routine computer processing of strong-motion accelerograms,E.E.R.L., Rep. 73-03, Cal. Inst. Techn., Pasadena, 1973.

Trifunac, M.D., Udwadia, F.E. and Brady, A.G., Analysis of errors in digitized strong-motion accelerograms, Bull. Seism. Soc. Am., 63, 157-187, 1973.

Trifunac, M.D. and Brady, G., A study on the duration of strong earthquakes ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 65, 581-626, 1975a.

Trifunac, M.D.and Brady, G., On the correlation of seismic intensity scales with the peaks of recorded strong ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 65, 139-162, 1975b.

Trifunac, M.D.and Brady, G., Correlations of peak acceleration, velocity and displacement with earthquake magnitude, distance and site conditions, Earth. Eng. Str. Dyn., 4, 455-471, 1976.

Trifunac, M.D., Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling absolute acceleration spectra, Rep. 77-03, U.S.C. Dep. of Civil Eng., 141 pp., 1977.

Trifunac, M.D.and Lee, V.W., Dependence of the Fourier amplitude spectra of strong motion acceleration on the depth of sedimentary deposits,Rep. 78-14,U.S.C., Dep. of Civil Eng.,39pp., 1978.

Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., Preliminary empirical models for scaling pseudo-relative velocity spectra, Rep. 78-04, U.S.C. Dep. of Civil Eng., 87 pp., 1978a.

Trifunac, M.D. and Anderson, J.G., Preliminary empirical model for scaling relative velocity spectra, Rep. 78-05, U.S.C. Dep. of Civil Eng., 69 pp., 1978b.

Trifunac, M.D. and Lee, V.W., Dependence of pseudo-relative velocity spectra of strong motion acceleration on the depth of sedimentary deposits, Rep. 79-02, U.S.C., Dep. of Civil Eng., 1979a.

Trifunac, M.D. and Lee, V.W., Automatic digitization and processing of strong motion accelerograms, Rep. 79-15, U.S.C. Dep. of Civil Eng., 379, pp., 1979b.

Trifunac, M.D. and Lee, V.W., Frequency dependent attenuation of strong earthquake ground motion, Rep. 85-02, U.S.C., Dep. of Civil Eng., 70pp.,1985.

Trifunac,M.D.and Lee,V.W., Empirical models for scaling pseudorelative velocity spectra of strong earthquake accelerations in terms of magnitude, distance, site intensity and recording site conditions, Soil. Dyn. and Earth. Eng., 8, 126-144, 1989.

Trifunac,M.D.and Lee,V.W., Frequency dependent attenuation of strong earthquake ground motion, Soil Dyn. and Earth. Eng., 9, 3-15, 1990.

Tucker, B., King, J., Hatzfeld, D. and Nersesov, I., Observations of hard-rock site effects, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 121-136, 1984.

Tucker, B. and King, J., Dependence of sedimend-field valley response on input amplitude and valley properties, Bull. Seism. Soc. Am., 74, 153-165, 1984.

Wallace, T.C., Helmberger, D.V. and Ebel, J.E., A broadband study of the 13 August 1978 Santa Barbara earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 1701-1718, 1981.

Westaway, R. and Smith, R., Strong ground motion in normal faulting earthquakes, Geoph. J., 96, 529-559, 1989.

Wood, H.O. and Neumann, F., Modified Mercalli intensity scale of 1931, Bull. Seism. Soc. Am., 21, 277-283, 1931.

Woodgold, C., Estimation of Q in eastern Canada using coda waves, Bull. Seism. Soc. Am., 80, 411-429, 1990.

Woodward-Clyde Consultants, Development and initial application of software for seismic exposure evaluation, II: Seismic exposure software application, Final Report prepared for NOAA, contract NA-80-RAC-000-91, San Francisco, 1982.

Wyss, M. and Baer, M., Earthquake hazard in the Hellenic arc, Earthquake Prediction, Am. Geophys. Union, Maurice Ewing Ser. 4, 153-172, 1981.

Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας, Εργ. Γεωφ. και Γεωθερμ. Πανεπ. Αθηνών, Εργ. Γεωφ. Πανεπ. Θεσ/νίκης, Γεωδυναμικό Ινστ. Εθν. Αστ. Αθηνών, ΙΤΣΑΚ, (Πρόγραμμα του ΟΑΣΠ), 1989.

Χατζηδημητρίου, Μ.Π., Σεισμογόνοι χώροι και σεισμικές πηγές στο χώρο του Αιγαίου και στις γύρω περιοχές, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης, 162 σελ., Θεσσαλονίκη, 1984.

Youngs, R., Day, S. and Stevens, J., Near-field ground motions on rock for large subduction earthquakes, Proc. Earth. Eng. & Soil Dyn. II GT Div/ASCE, Park City, Utah, 445-462, 1988.

Zeng, X. and Cakmak, A., Dynamic structure-soil interaction under the action of vertical ground motion, Part I: the axisymmetric problem, Soil. Dyn. Earth. Eng., 3, 200-210, 1984a.

Zeng, X., and Cakmak, A., Dynamic structure-soil interaction under the action of vertical ground motion, Part II: the plane problem, Soil Dyn. Earth. Eng., 3, 210-219, 1984b.

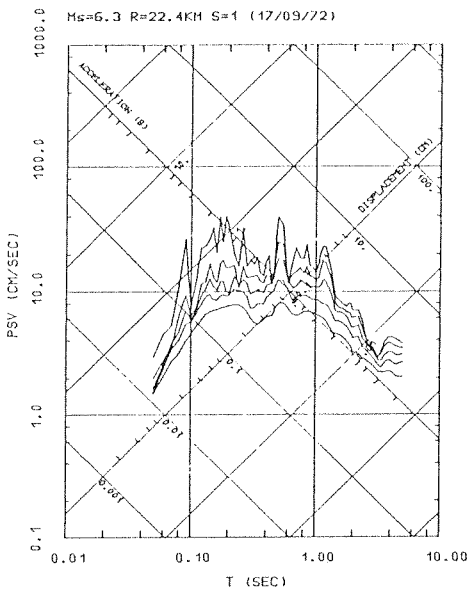
Zeng, X., Askar, A. and Cakmak, A.S., Soil-structure interaction in coupled rocking and sliding vibration-the plane problem, Soil Dyn. and Earth. Eng., 4, 140-150, 1985.

Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Α

ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ (105 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ)

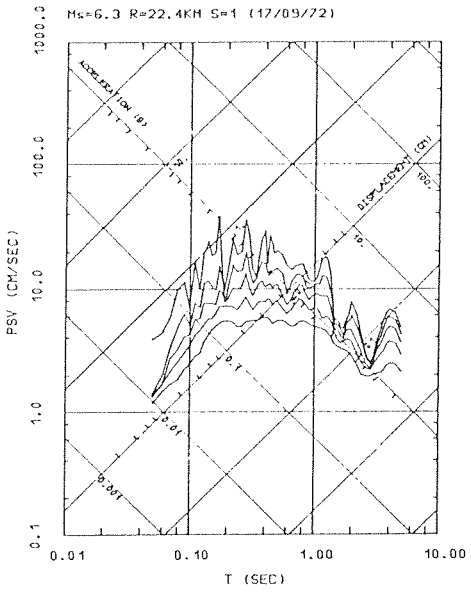
ARG72-1A-L

Ms=6.3 R=22.4KM S=1 (17/09/72)



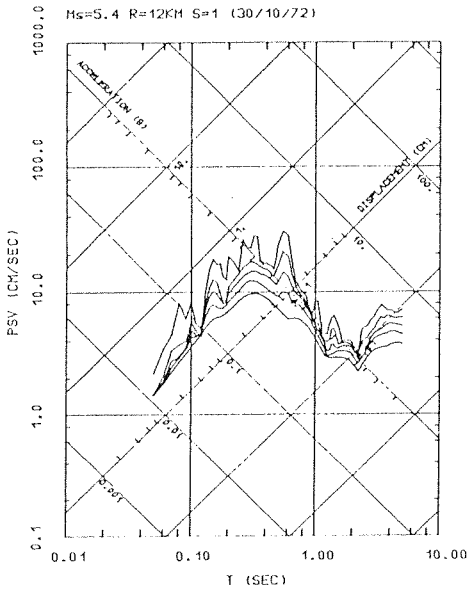
ARG72-1A-T

Ms=6.3 R=22.4KM S=1 (17/09/72)



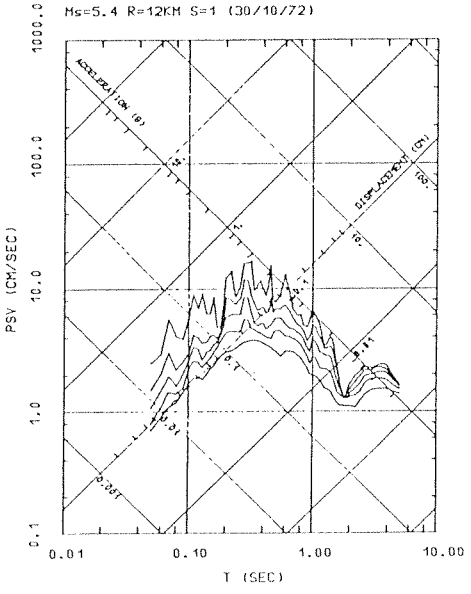
ARG72-2A-L

Ms=5.4 R=12KM S=1 (30/10/72)



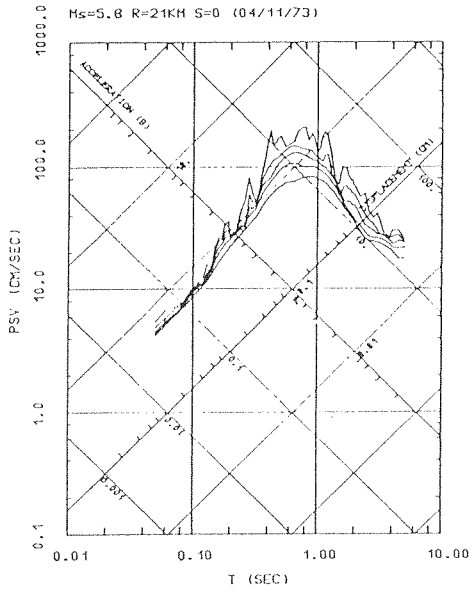
ARG72-2A-T

Ms=5.4 R=12KM S=1 (30/10/72)



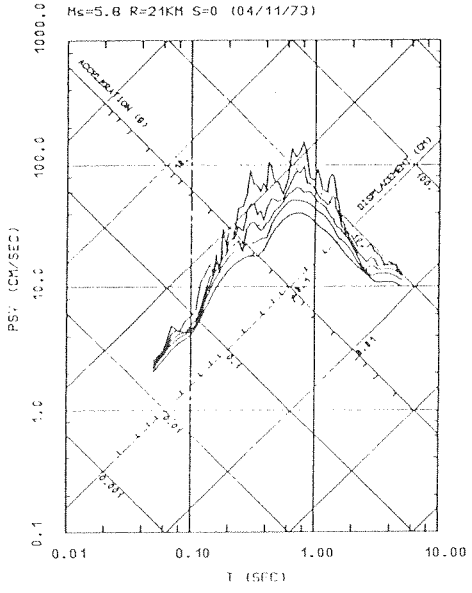
LEF73-1A-L

Ms=5.8 R=21KM S=0 (04/11/73)



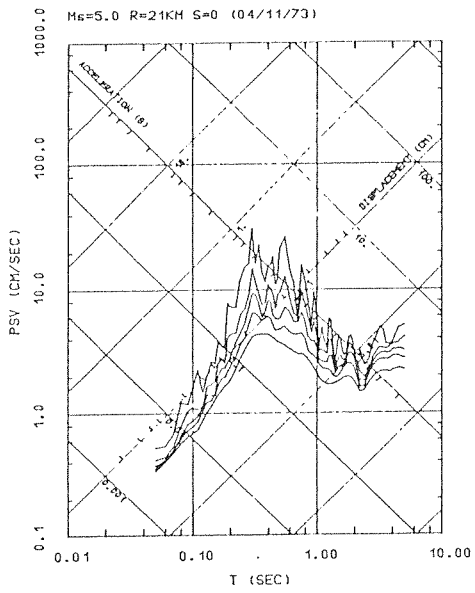
LEF73-1A-T

Ms=5.8 R=21KM S=0 (04/11/73)



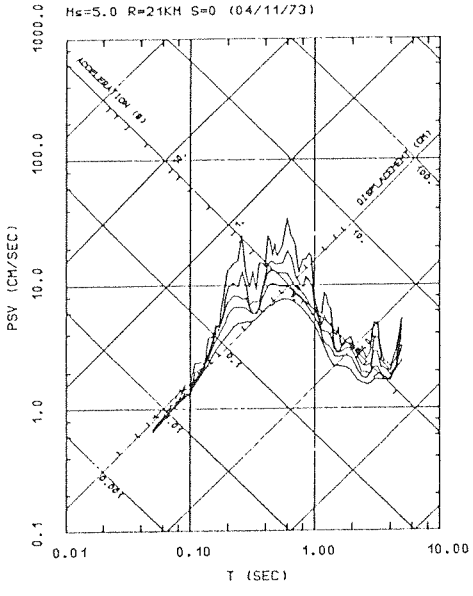
LEF73-2A-L

Ms=5.0 R=21KM S=0 (04/11/73)



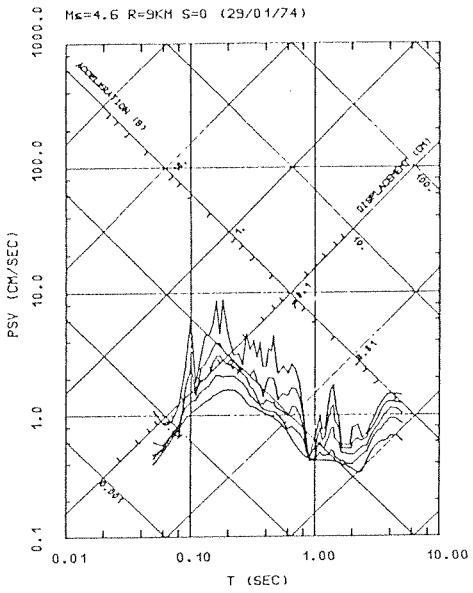
LEF73-2A-T

Ms=5.0 R=21KM S=0 (04/11/73)



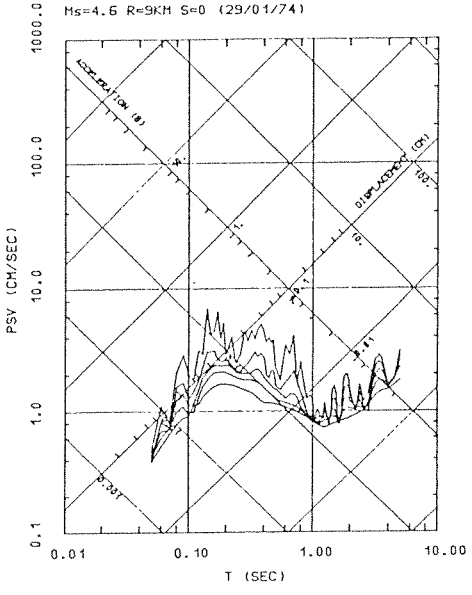
PAT74-1A-L

Ms=4.6 R=9KM S=0 (29/01/74)



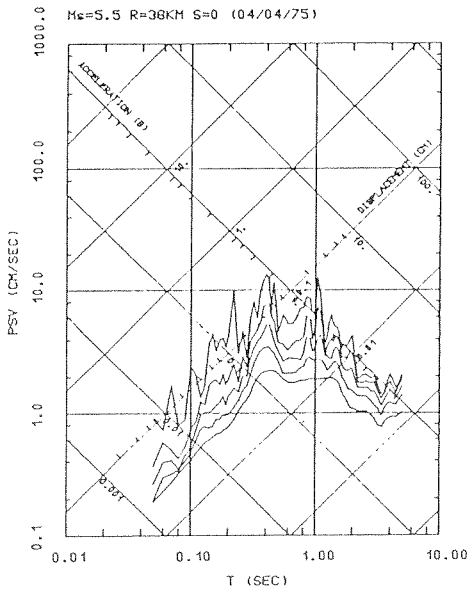
PAT74-1A-T

Ms=4.6 R=9KM S=0 (29/01/74)



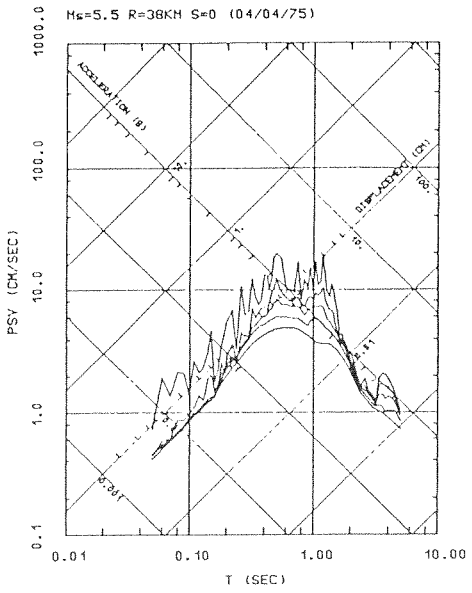
PAT75-1A-L

Ms=5.5 R=38KM S=0 (04/04/75)



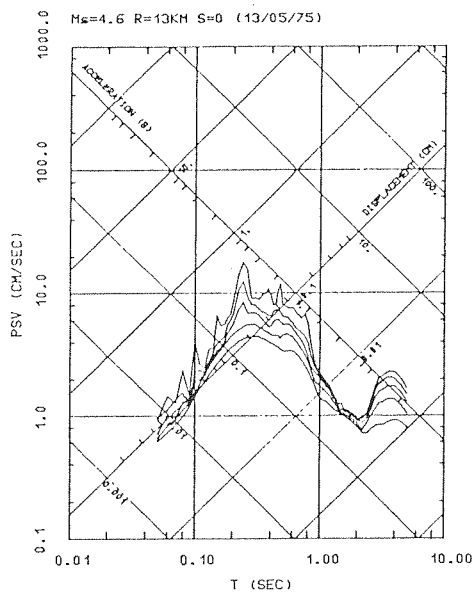
PAT75-1A-T

Ms=5.5 R=38KM S=0 (04/04/75)



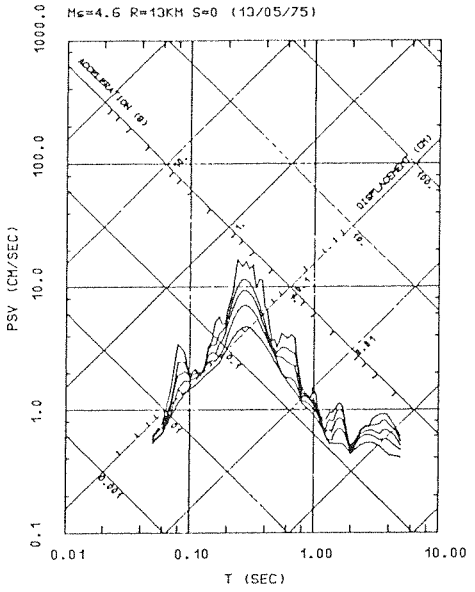
XYL75-1A-L

Mε=4.6 R=13KM S=0 (13/05/75)



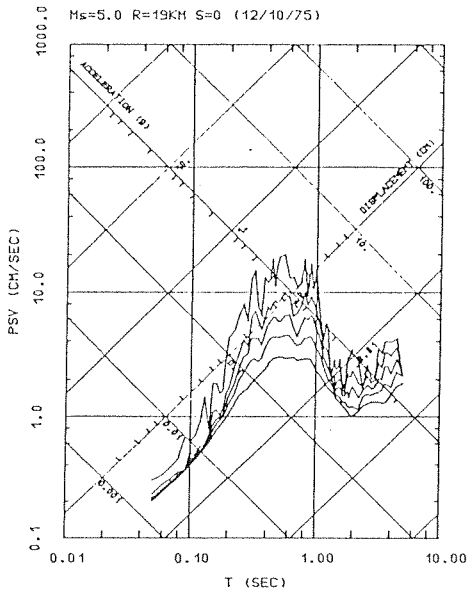
XYL75-1A-T

Mε=4.6 R=13KM S=0 (13/05/75)



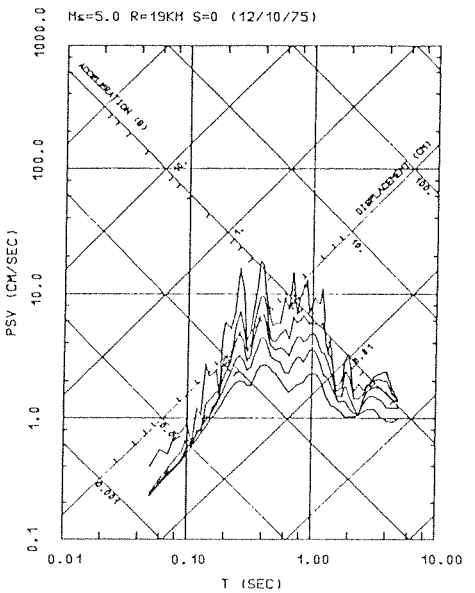
KOR75-1A-L

Mε=5.0 R=19KM S=0 (12/10/75)



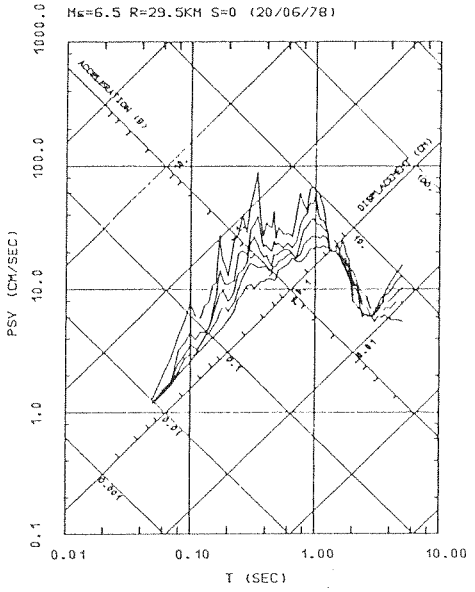
KOR75-1A-T

Mε=5.0 R=19KM S=0 (12/10/75)



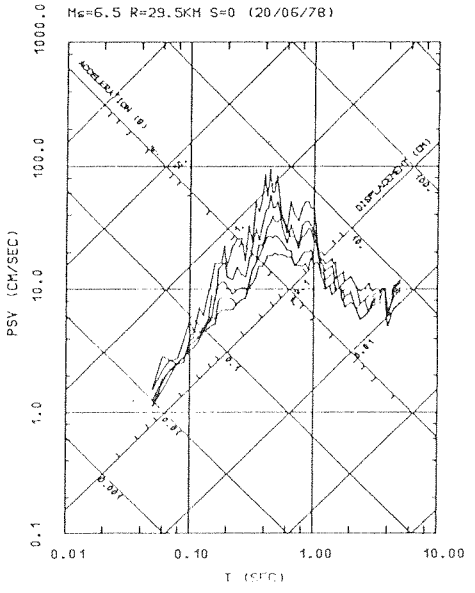
THE78-1A-L

Mε=6.5 R=29.5KM S=0 (20/06/78)

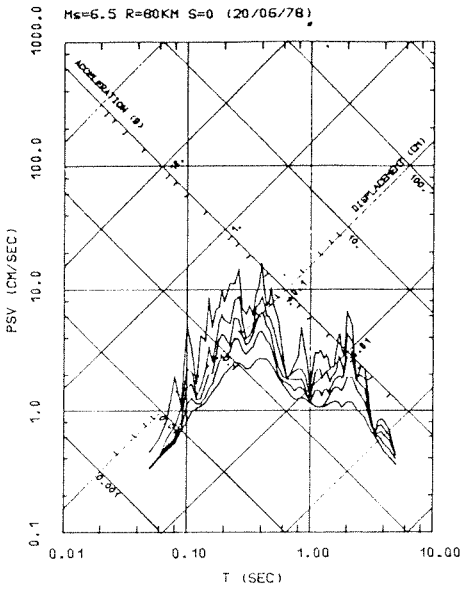


THE78-1A-T

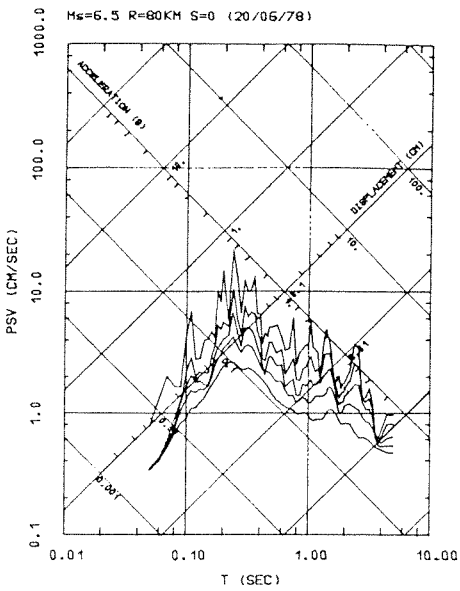
Mε=6.5 R=29.5KM S=0 (20/06/78)



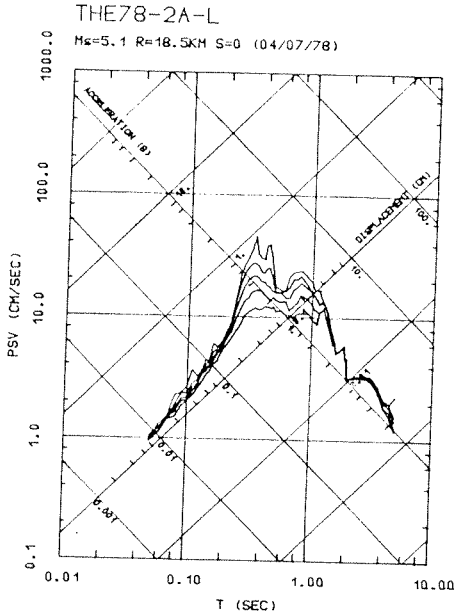
GEV78-1Y-L



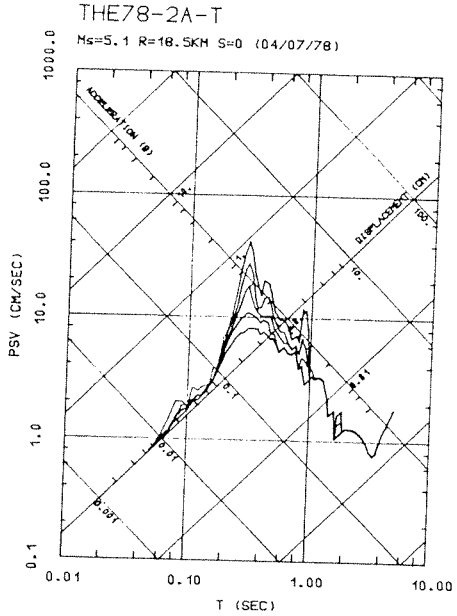
GEV78-1Y-T



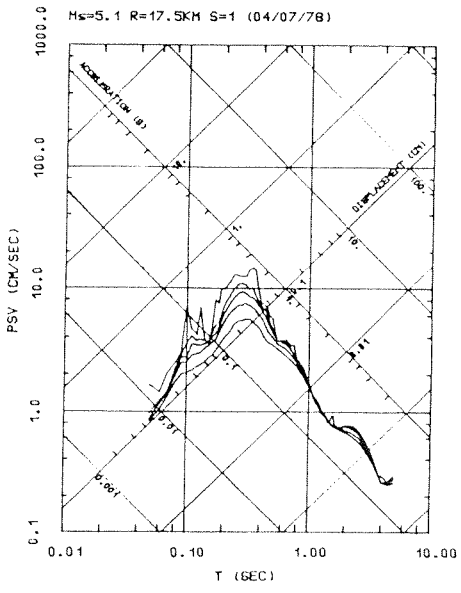
THE78-2A-L



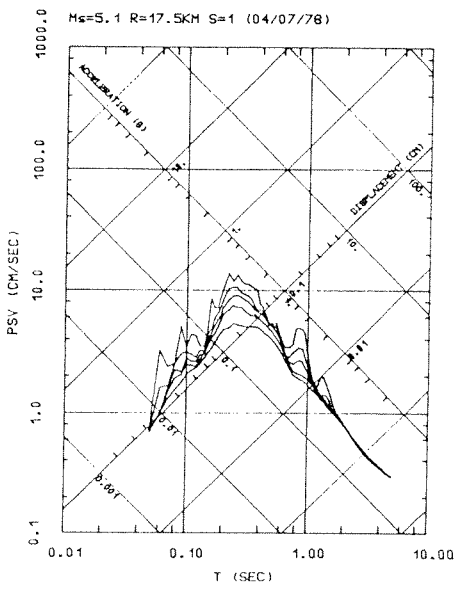
THE78-2A-T



THE178-2Y-L

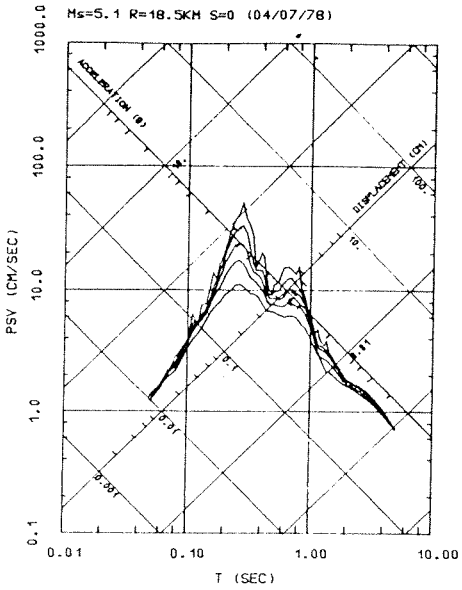


THE178-2Y-T



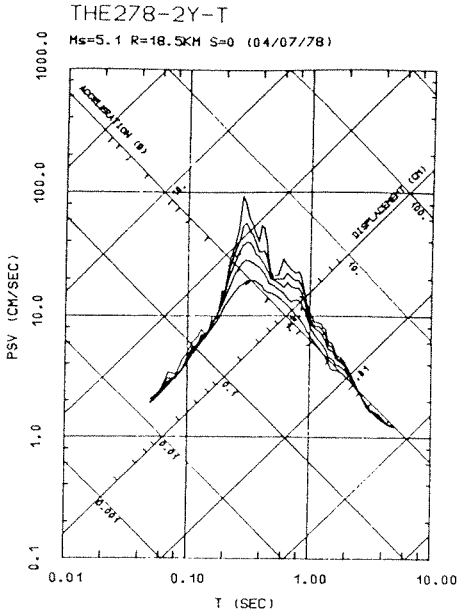
THE278-2Y-L

Ms=5.1 R=18.5KM S=0 (04/07/78)



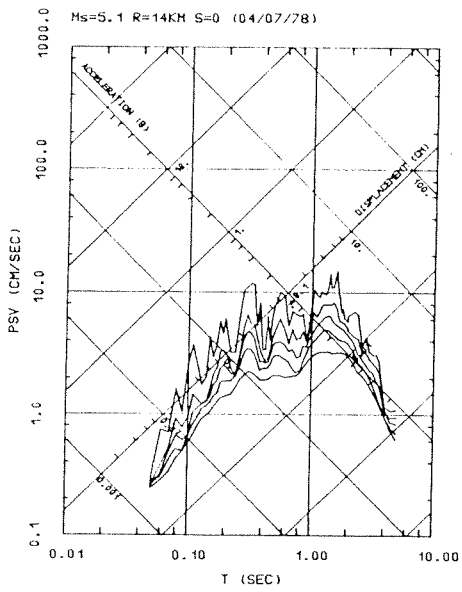
THE278-2Y-T

Ms=5.1 R=18.5KM S=0 (04/07/78)



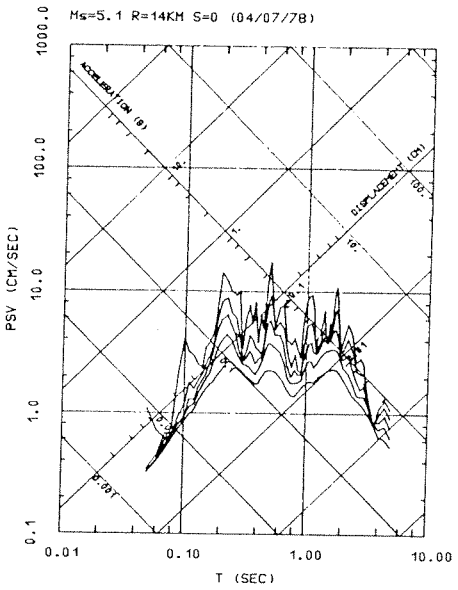
SH078-1Y-L

Ms=5.1 R=14KM S=0 (04/07/78)



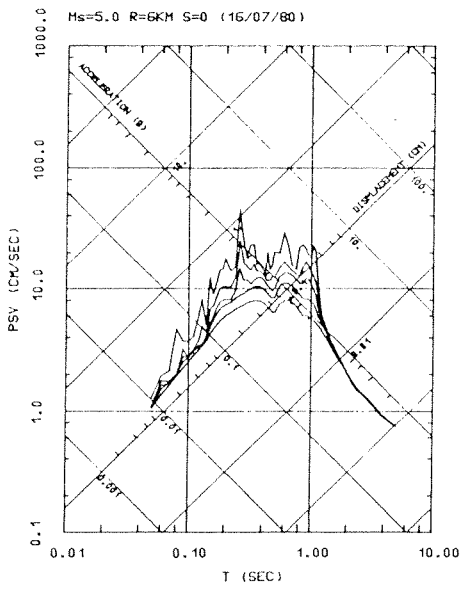
SH078-1Y-T

Ms=5.1 R=14KM S=0 (04/07/78)



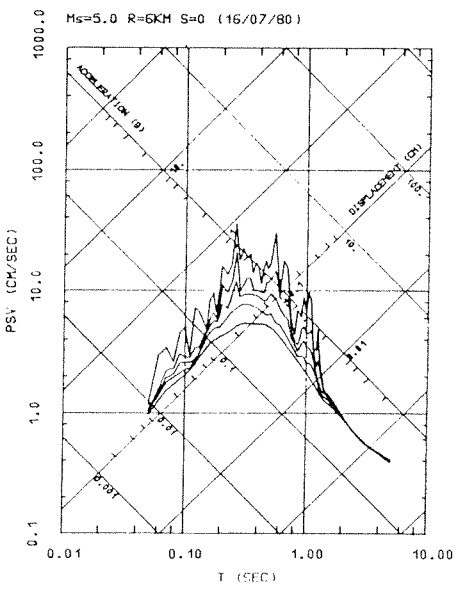
ALM80-2U-L

Ms=5.0 R=6KM S=0 (16/07/80)



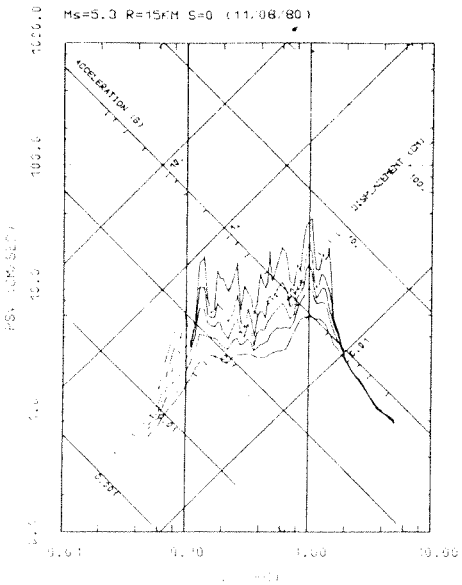
ALM80-2U-T

Ms=5.0 R=6KM S=0 (16/07/80)



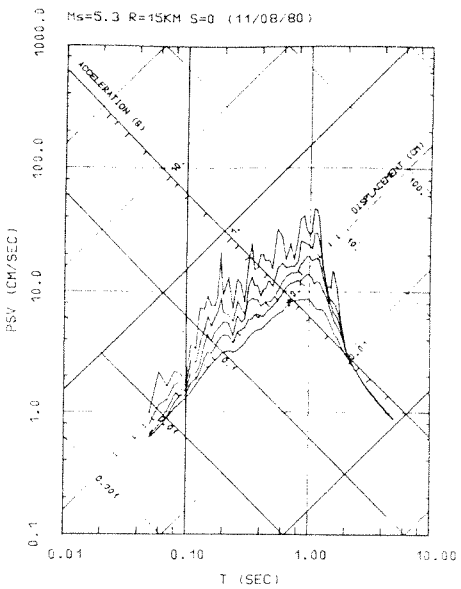
ALM80-4U-L

Ms=5.3 R=15KM S=0 (11/08/80)



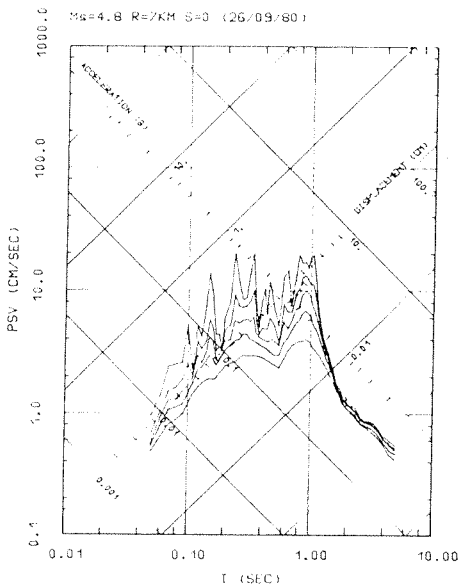
ALM80-4U-T

Ms=5.3 R=15KM S=0 (11/08/80)



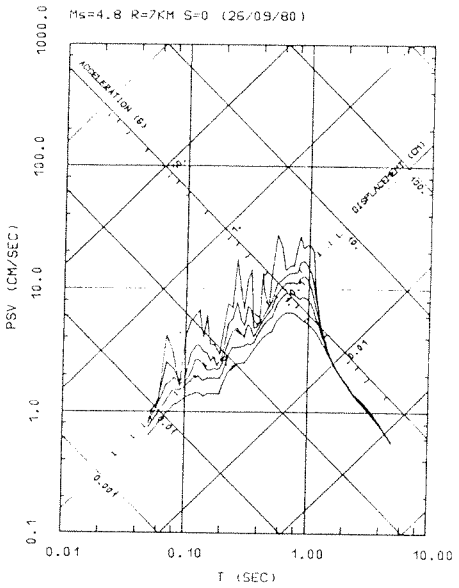
ALM80-5U-L

Ms=4.8 R=7KM S=0 (26/09/80)



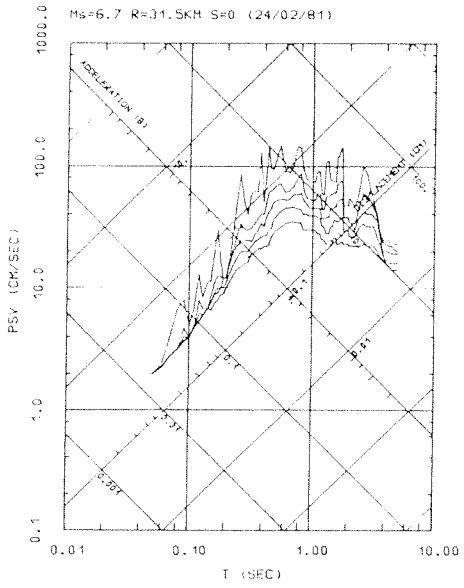
ALM80-5U-T

Ms=4.8 R=7KM S=0 (26/09/80)



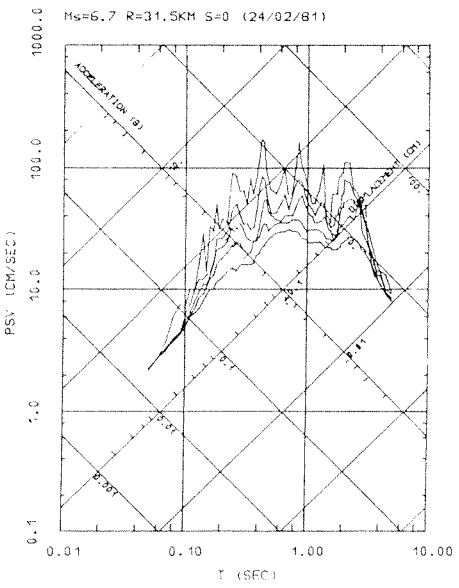
KOR81-1A-L

Ms=6.7 R=31.5KM S=0 (24/02/81)

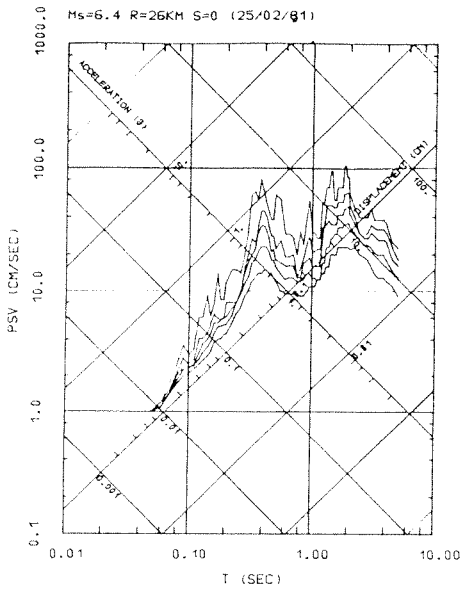


KOR81-1A-T

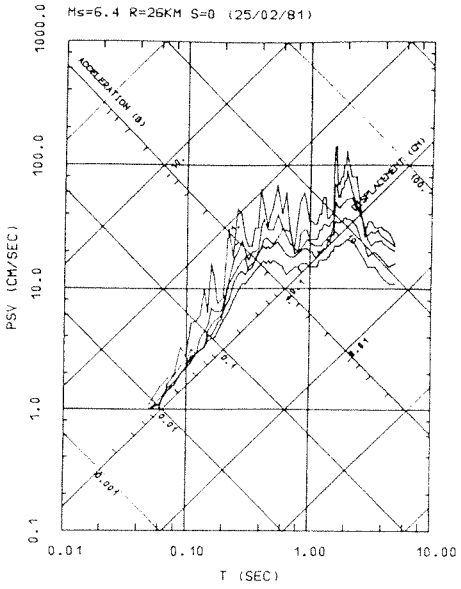
Ms=6.7 R=31.5KM S=0 (24/02/81)



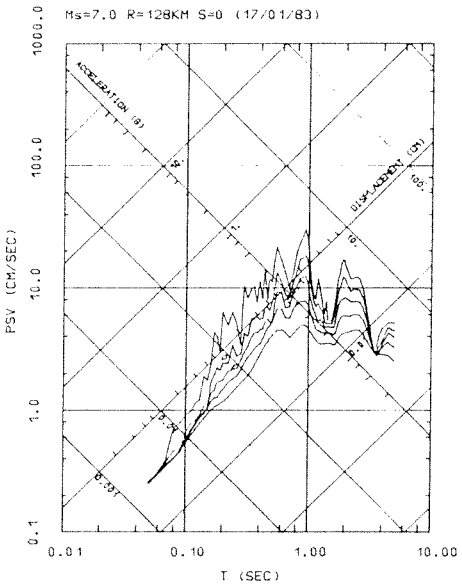
KOR81-2A-L



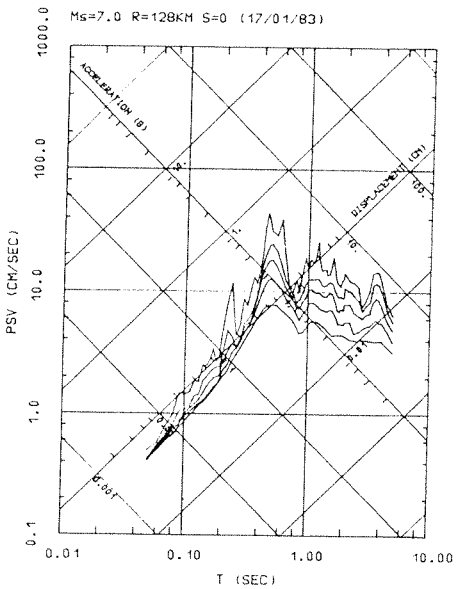
KOR81-2A-T



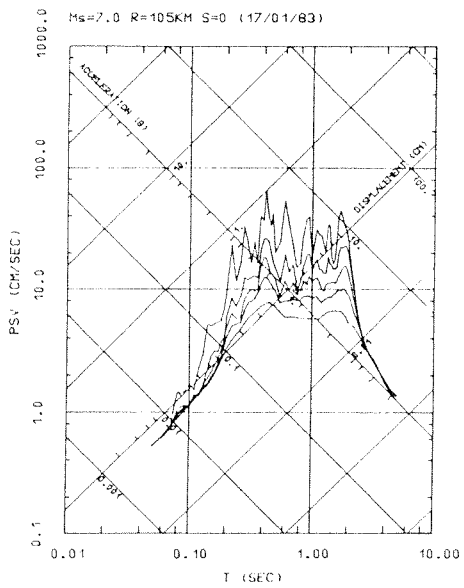
AGR83-1-L



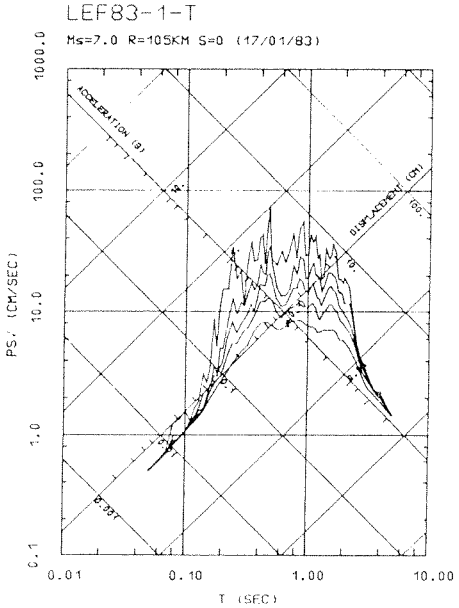
AGR83-1-T



LEF83-1-L

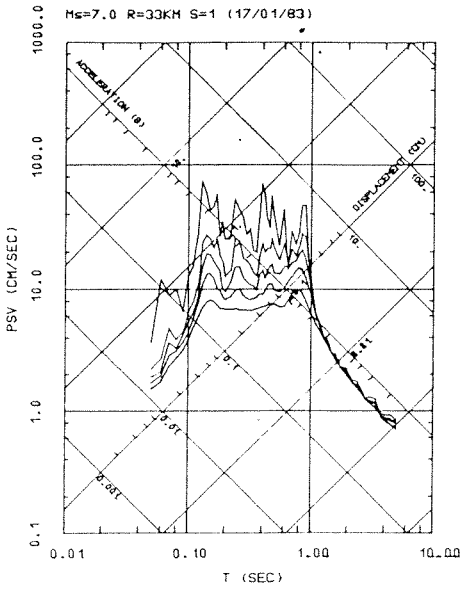


LEF83-1-T



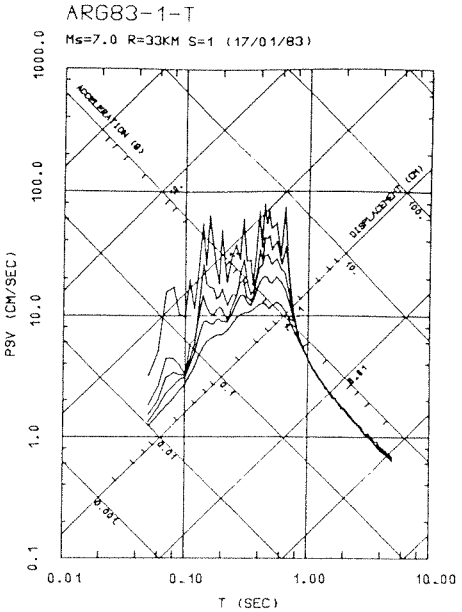
ARG83-1-L

Ms=7.0 R=33KM S=1 (17/01/83)



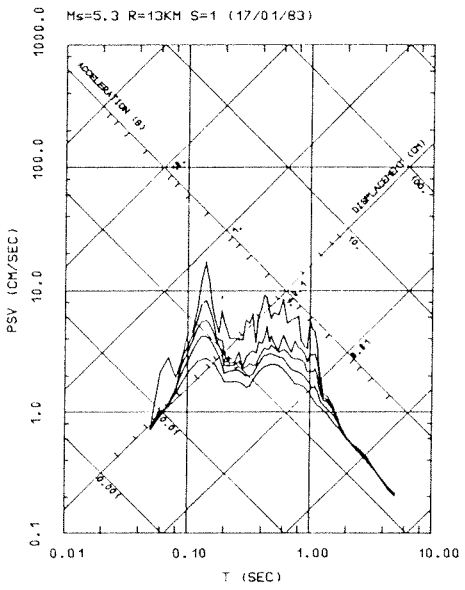
ARG83-1-T

Ms=7.0 R=33KM S=1 (17/01/83)



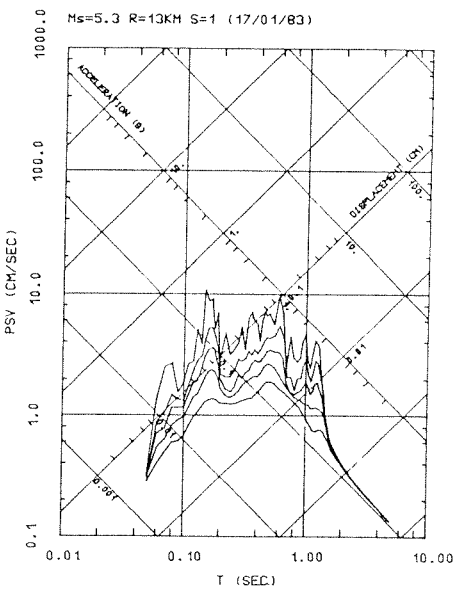
ARG83-3-L

Ms=5.3 R=13KM S=1 (17/01/83)



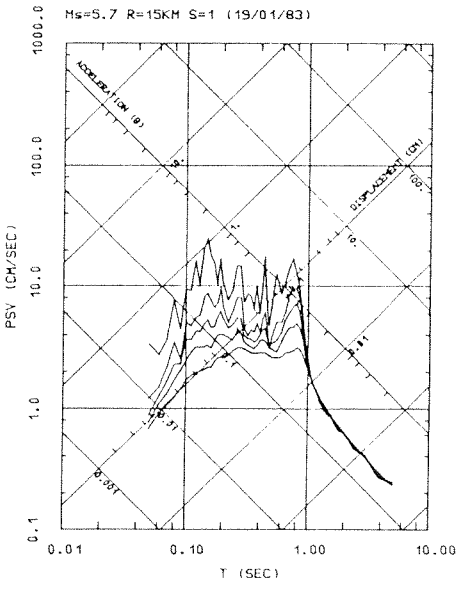
ARG83-3-T

Ms=5.3 R=13KM S=1 (17/01/83)



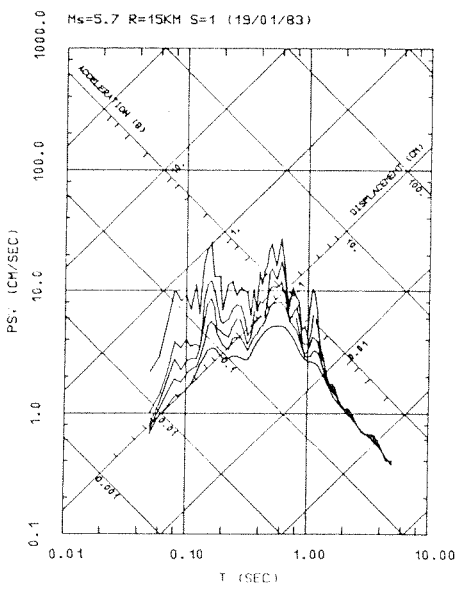
ARG83-4-L

Ms=5.7 R=15KM S=1 (19/01/83)

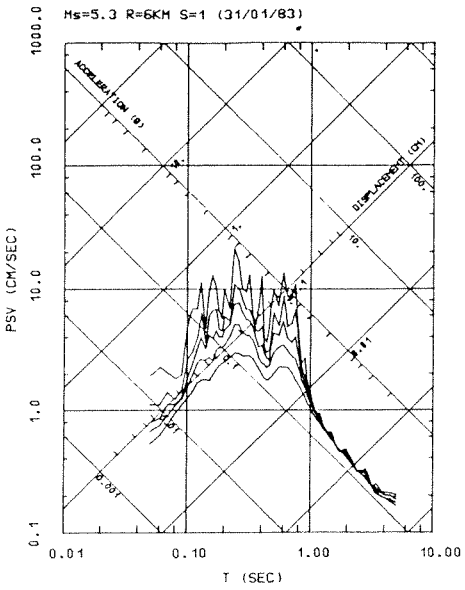


ARG83-4-T

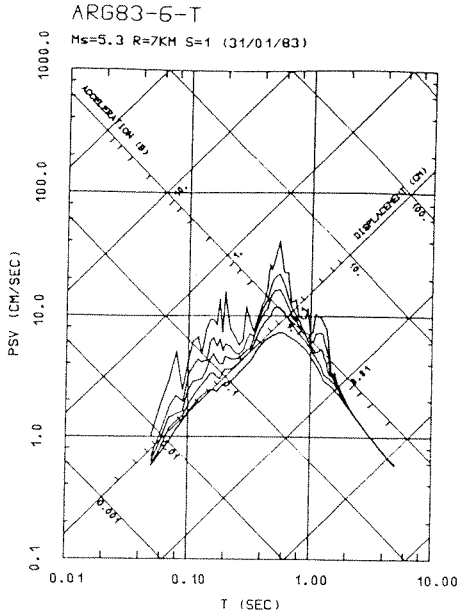
Ms=5.7 R=15KM S=1 (19/01/83)



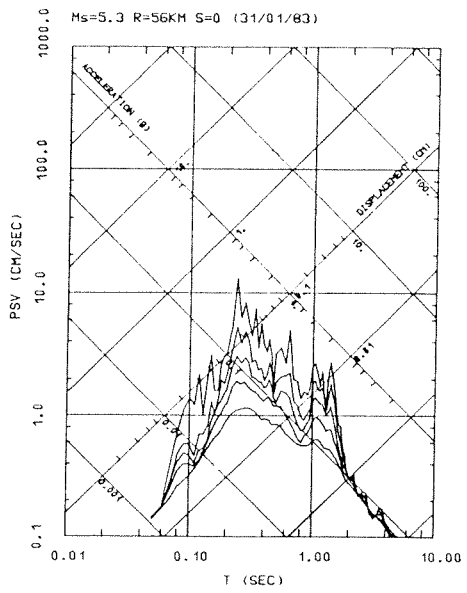
ARG83-6-L



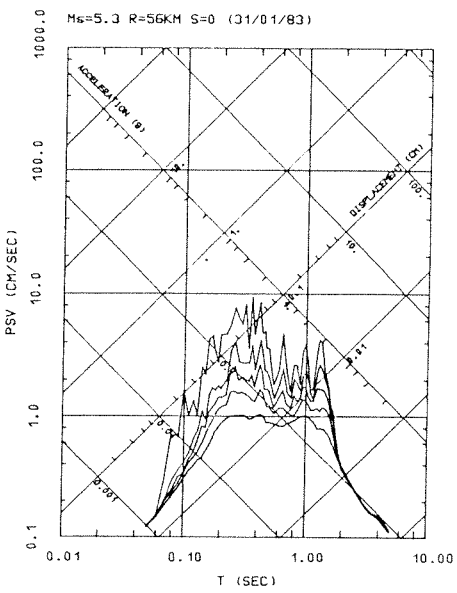
ARG83-6-T



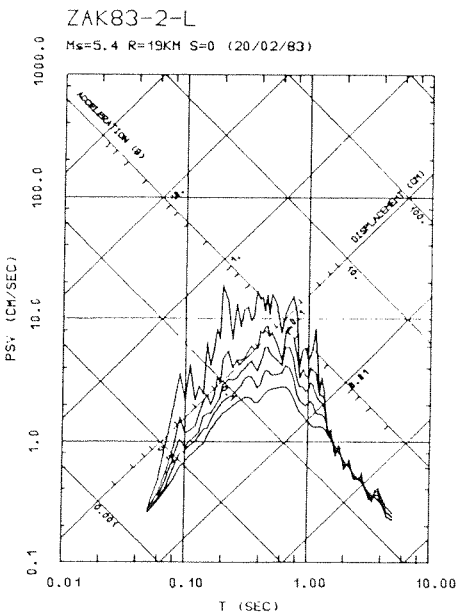
ZAK83-1-L



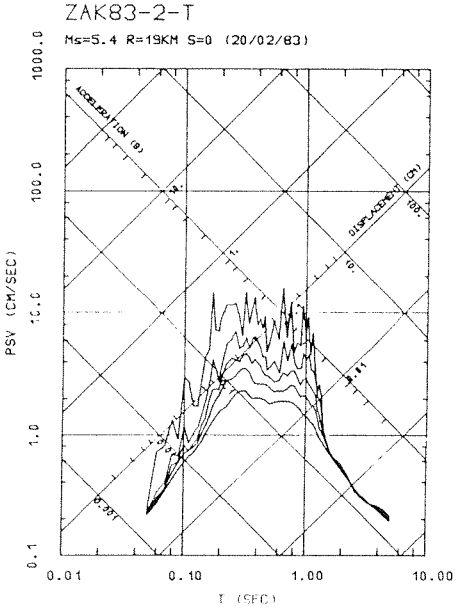
ZAK83-1-T



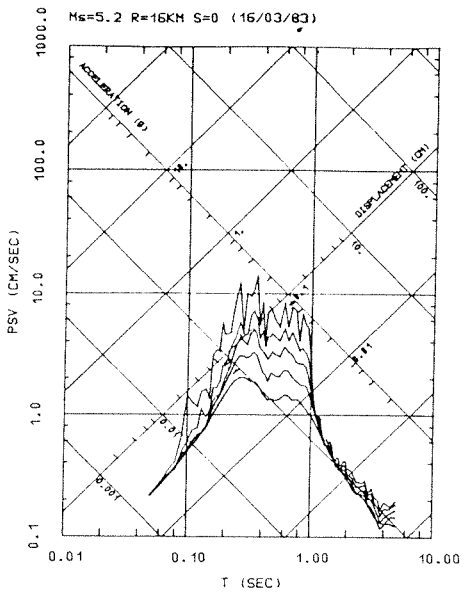
ZAK83-2-L



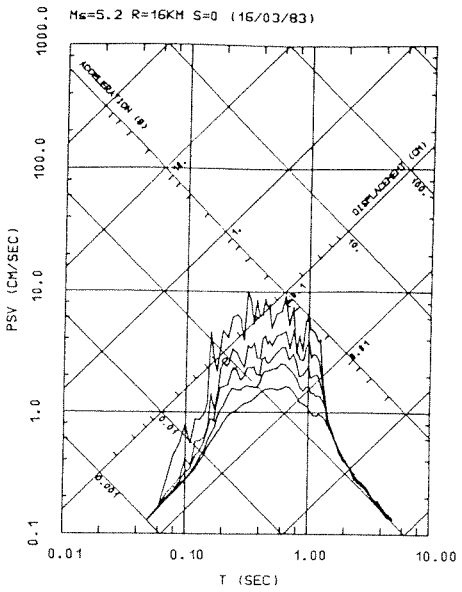
ZAK83-2-T



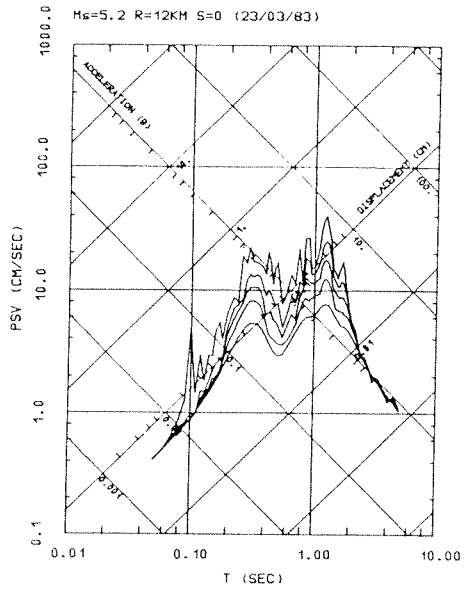
LEF83-2-L



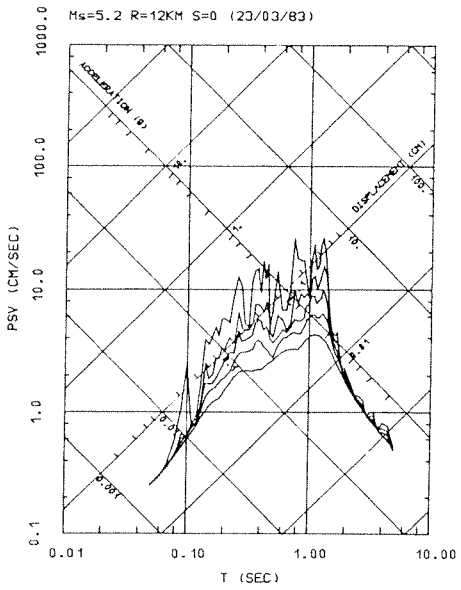
LEF83-2-T



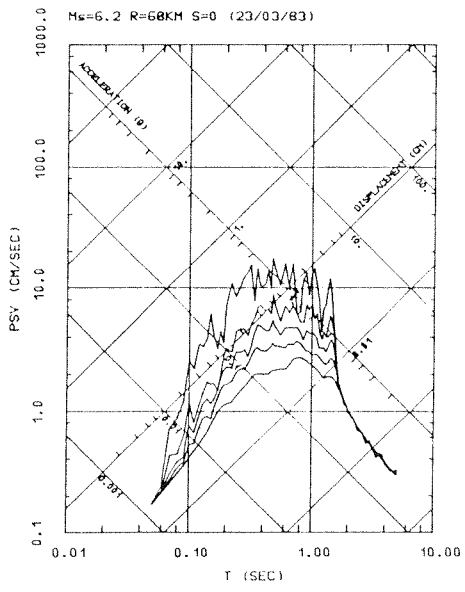
LEF83-3-L



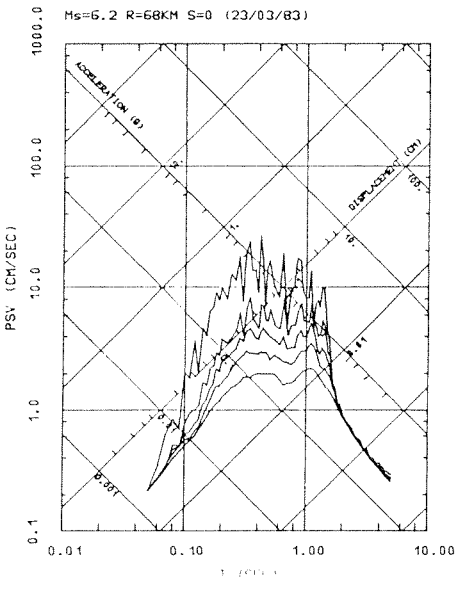
LEF83-3-T



ZAK83-3-L

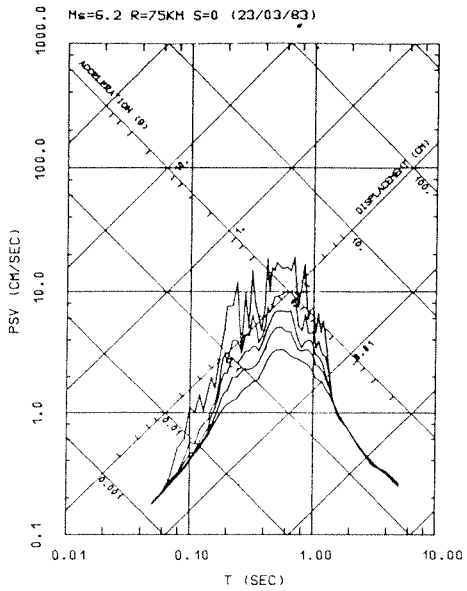


ZAK83-3-T



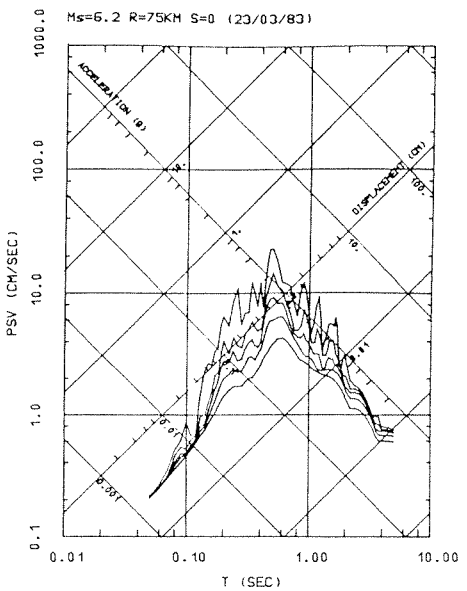
LEF83-4-L

Ms=6.2 R=75KM S=0 (23/03/83)



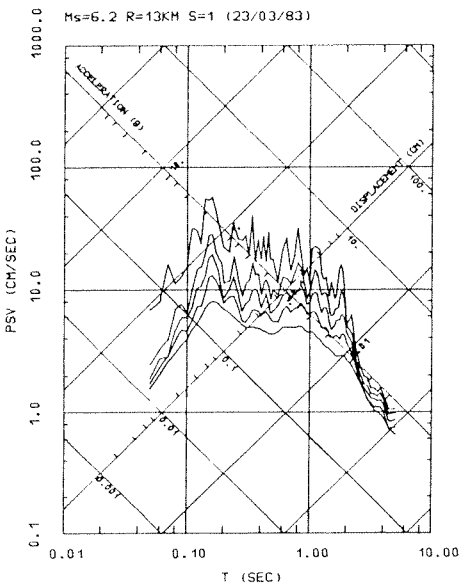
LEF83-4-T

Ms=6.2 R=75KM S=0 (23/03/83)



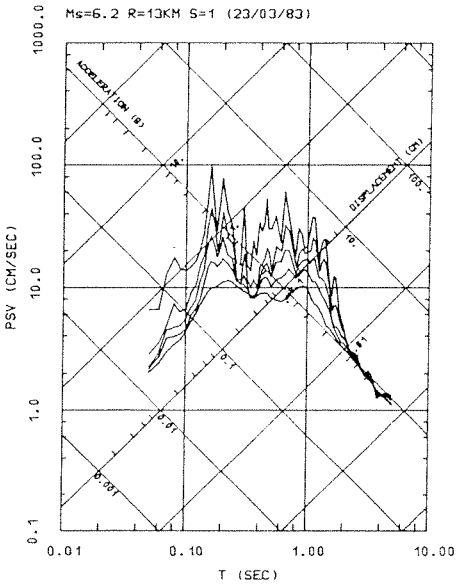
ARG83-7-L

Ms=6.2 R=13KM S=1 (23/03/83)



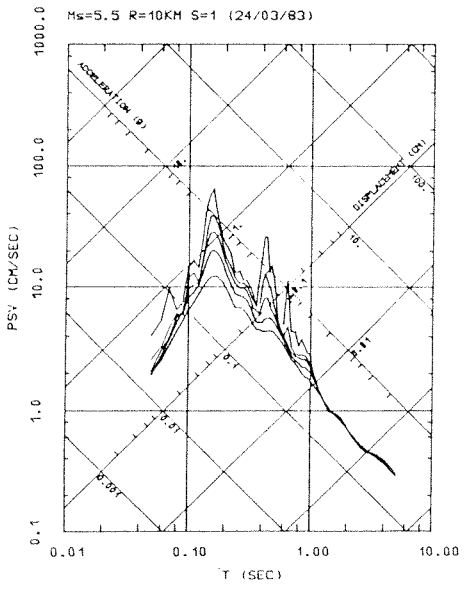
ARG83-7-T

Ms=6.2 R=13KM S=1 (23/03/83)



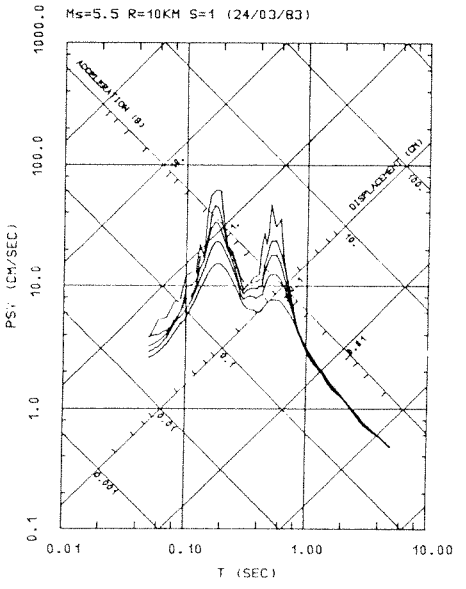
ARG83-8-L

Ms=5.5 R=10KM S=1 (24/03/83)



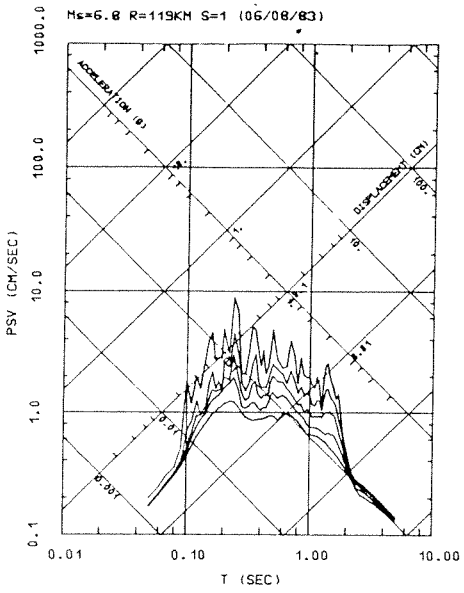
ARG83-8-T

Ms=5.5 R=10KM S=1 (24/03/83)



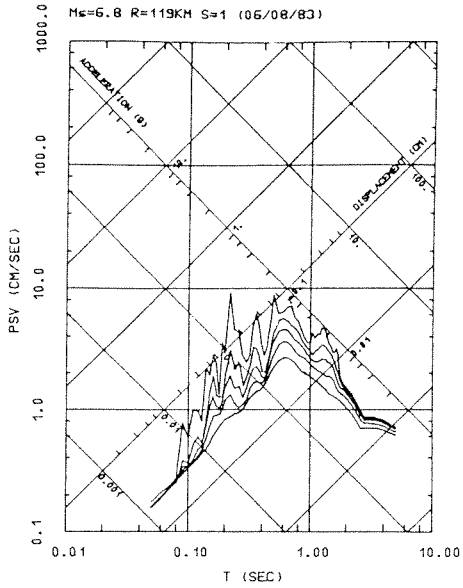
POL83-1-L

Ms=6.8 R=119KM S=1 (06/08/83)



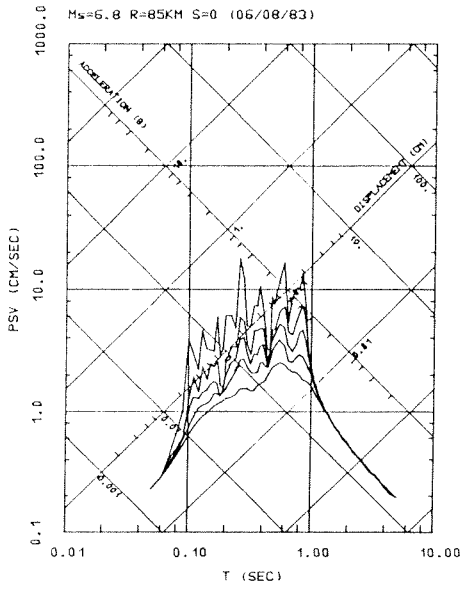
POL83-1-T

Ms=6.8 R=119KM S=1 (06/08/83)



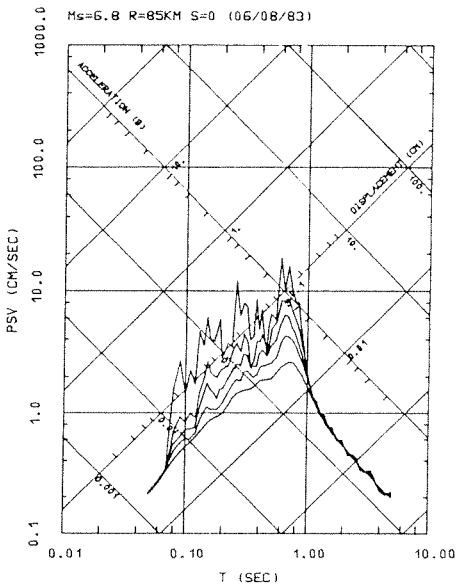
IER83-2-L

Ms=6.8 R=85KM S=0 (06/08/83)



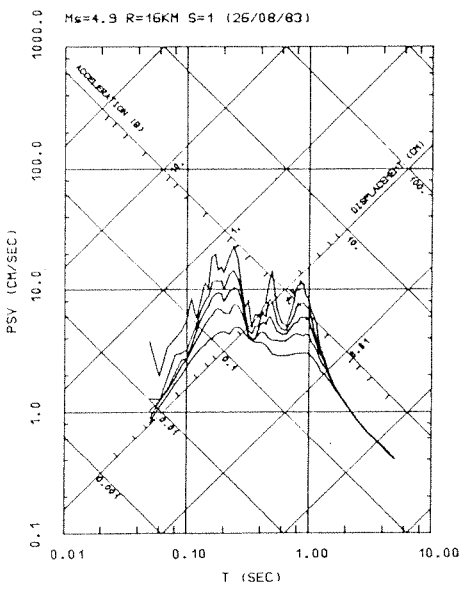
IER83-2-T

Ms=6.8 R=85KM S=0 (06/08/83)



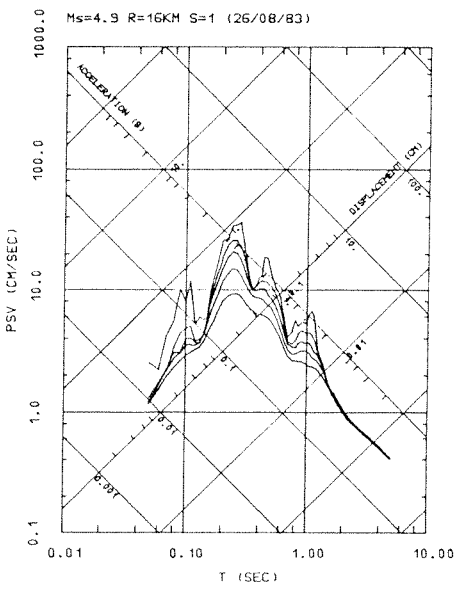
OUR83-2U-L

Ms=4.9 R=16KM S=1 (26/08/83)

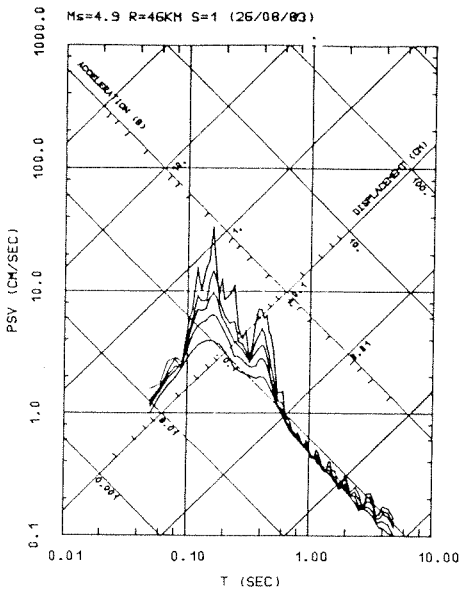


OUR83-2U-T

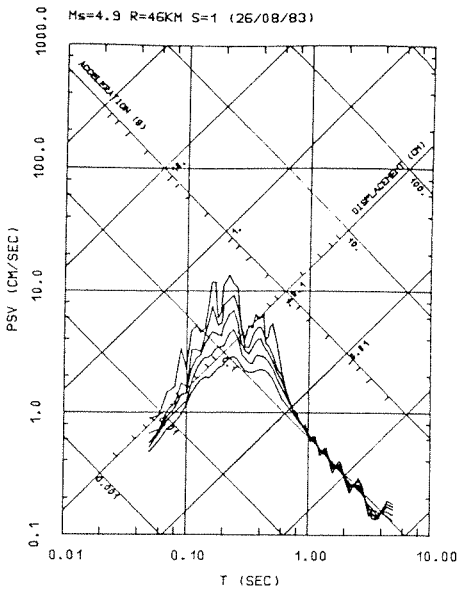
Ms=4.9 R=16KM S=1 (26/08/83)



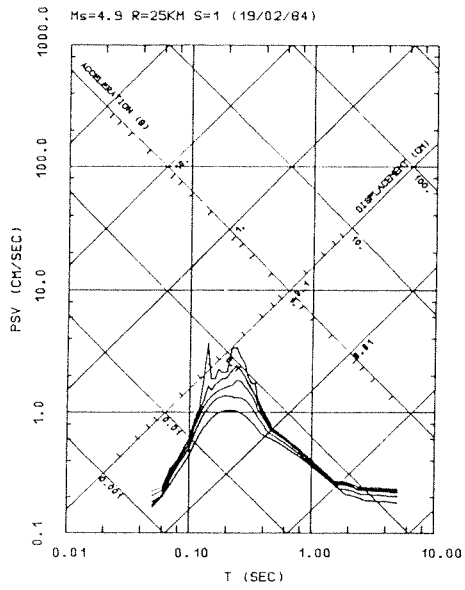
POL83-2-L



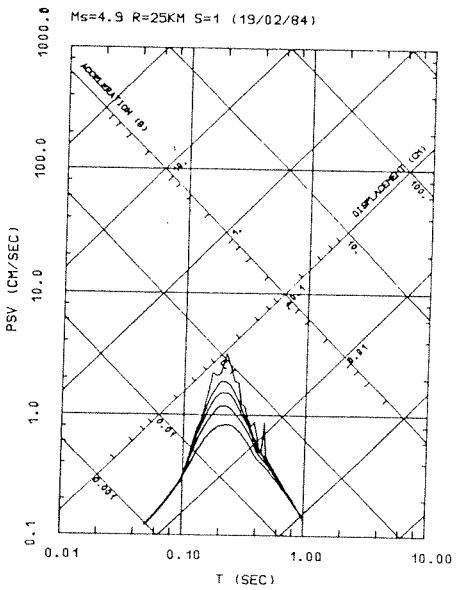
POL83-2-T



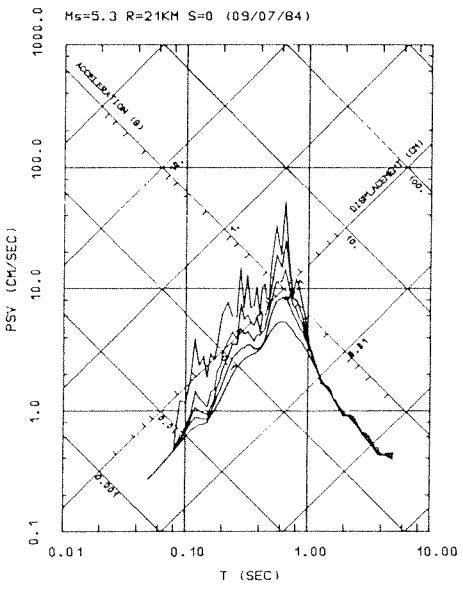
POL84-1-L



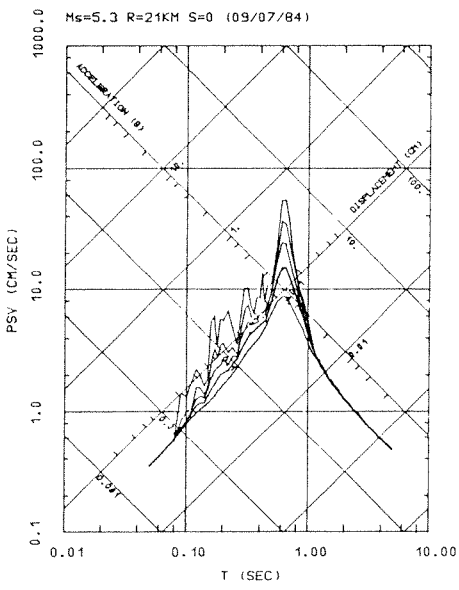
POL84-1-T



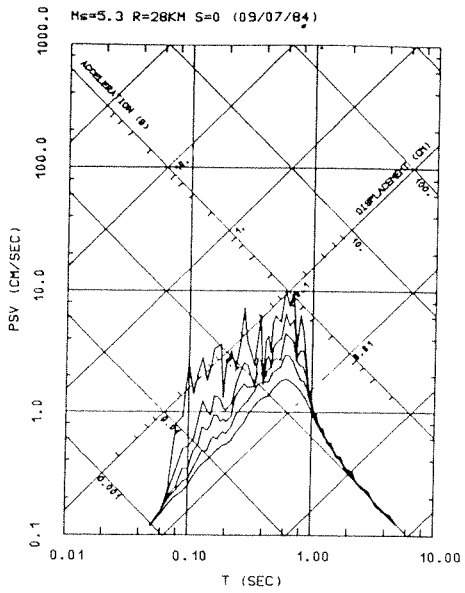
EDE84-1-L



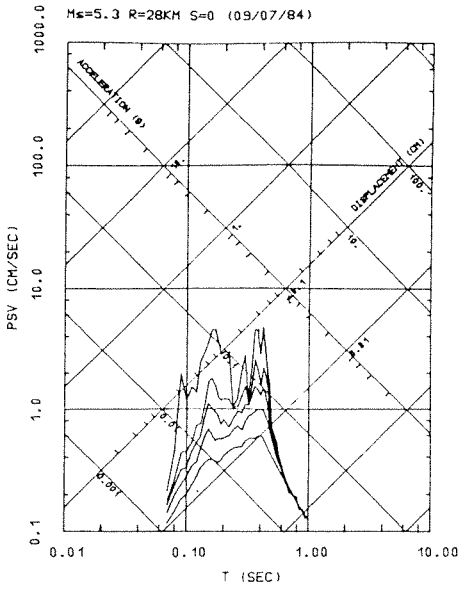
EDE84-1-T



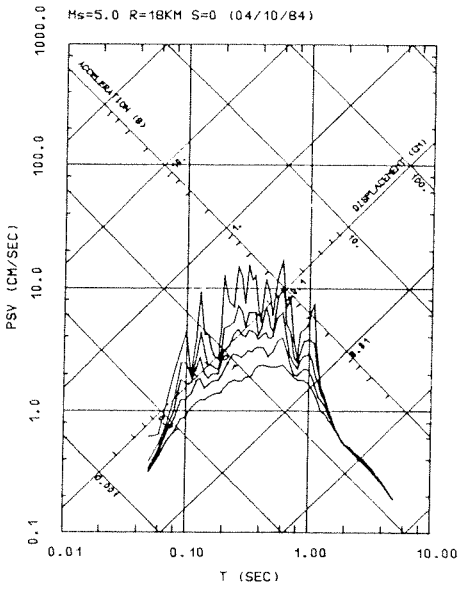
VER84-1-L



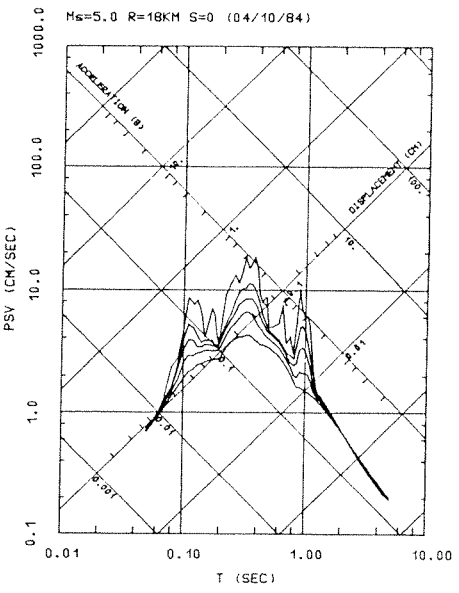
VER84-1-T



ZAK84-1-L



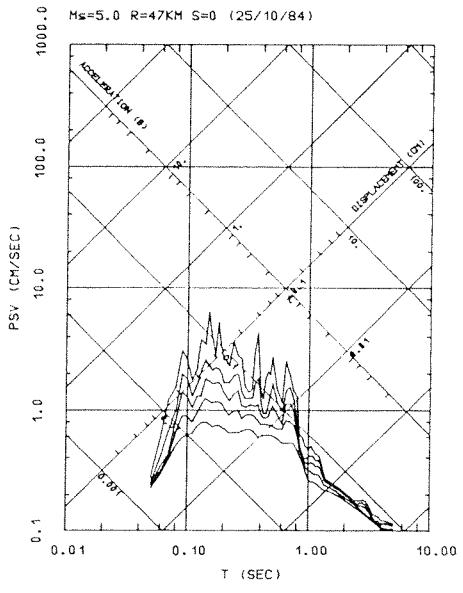
ZAK84-1-T



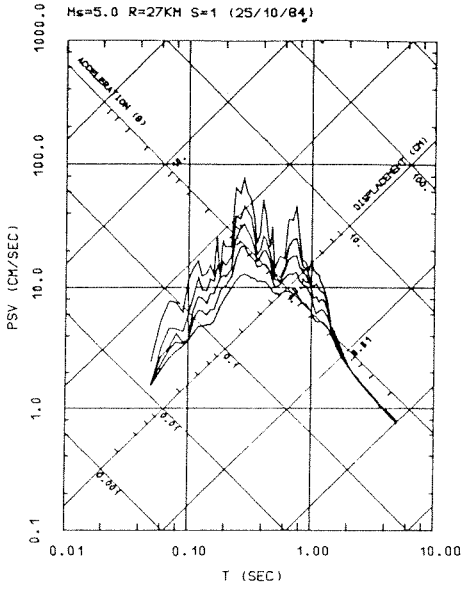
KYP84-2-L

ΔΕΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΗΣΕ

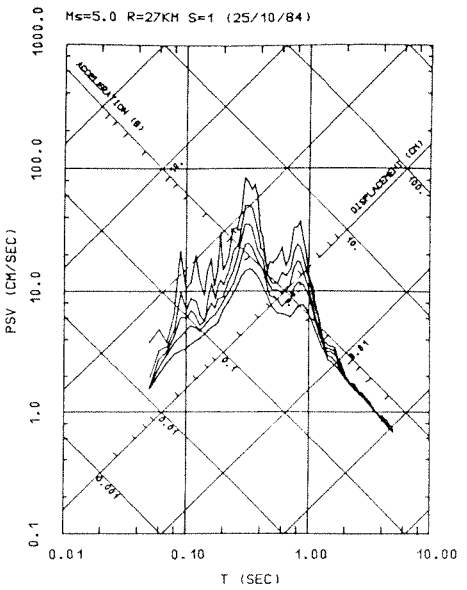
KYP84-2-T



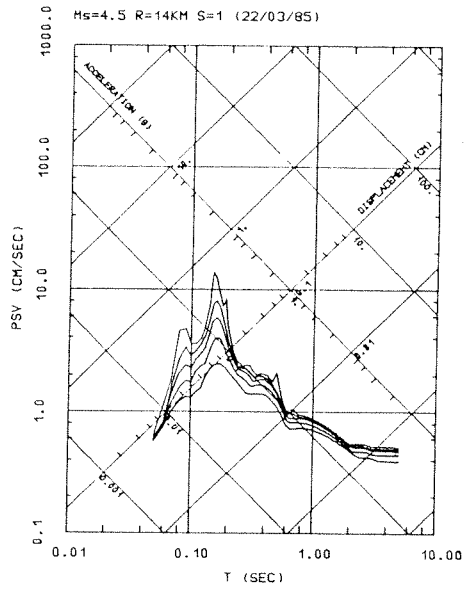
PEL84-1-L



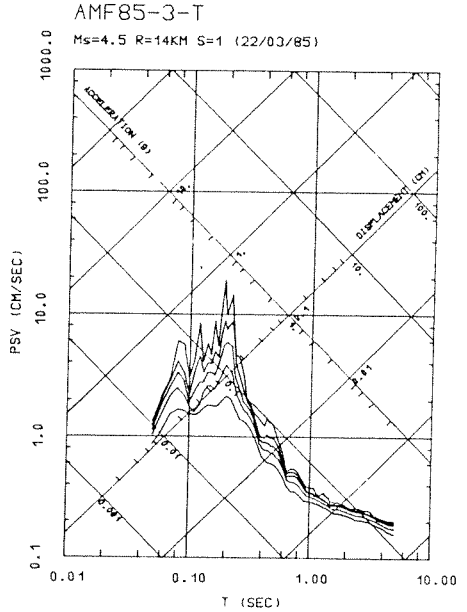
PEL84-1-T



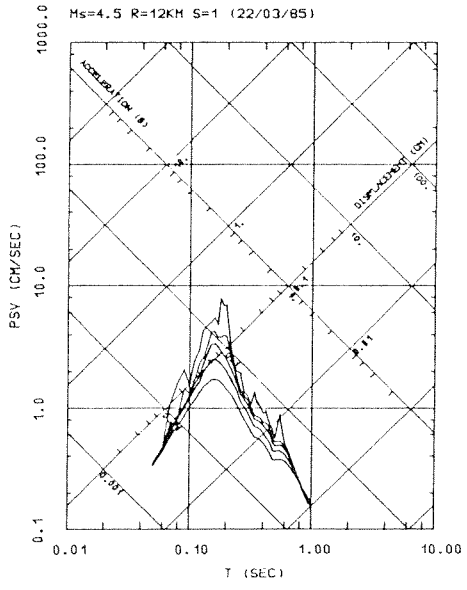
AMF85-3-L



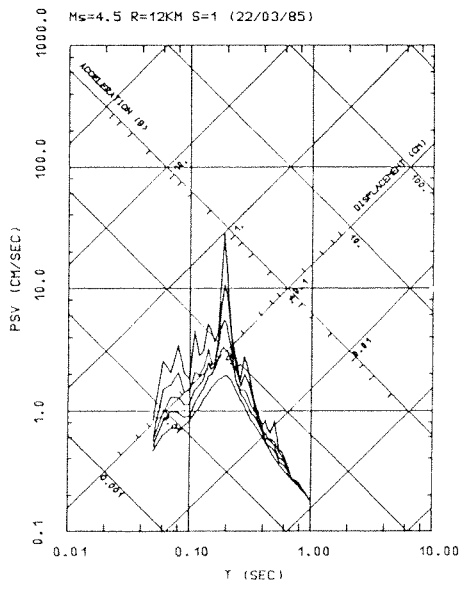
AMF85-3-T



AMF85-4-L

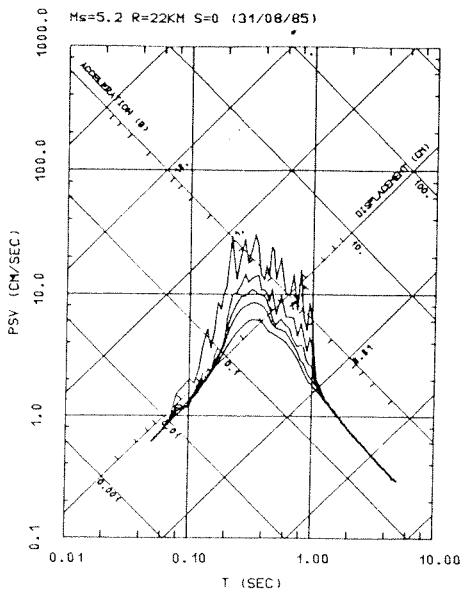


AMF85-4-T



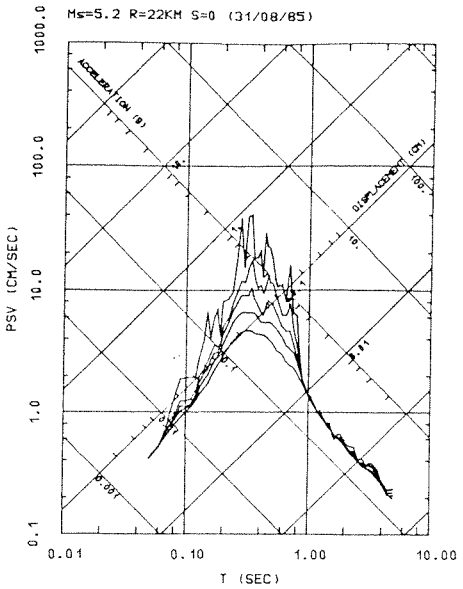
LEF85-1-L

Ms=5.2 R=22KM S=0 (31/08/85)



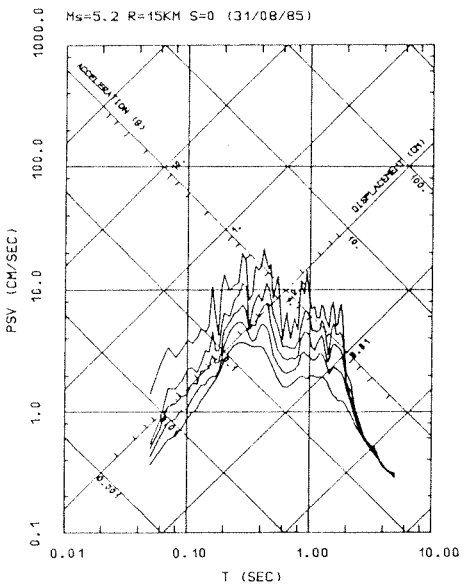
LEF85-1-T

Ms=5.2 R=22KM S=0 (31/08/85)



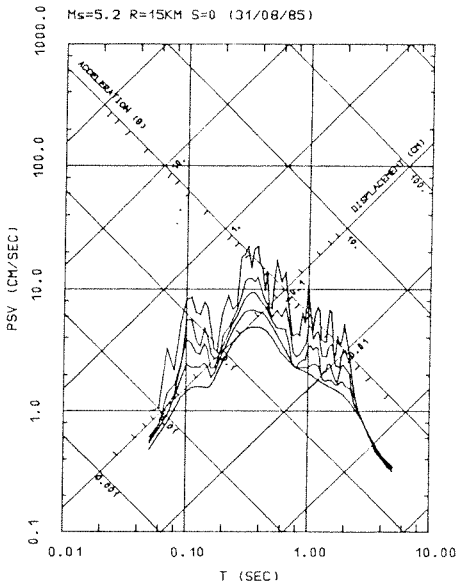
PRE85-1-L

Ms=5.2 R=15KM S=0 (31/08/85)



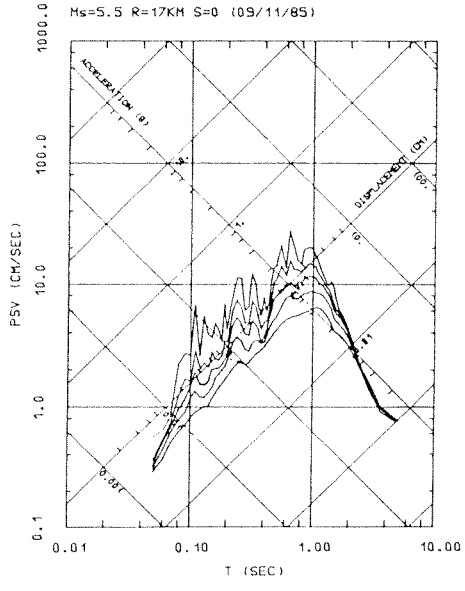
PRE85-1-T

Ms=5.2 R=15KM S=0 (31/08/85)



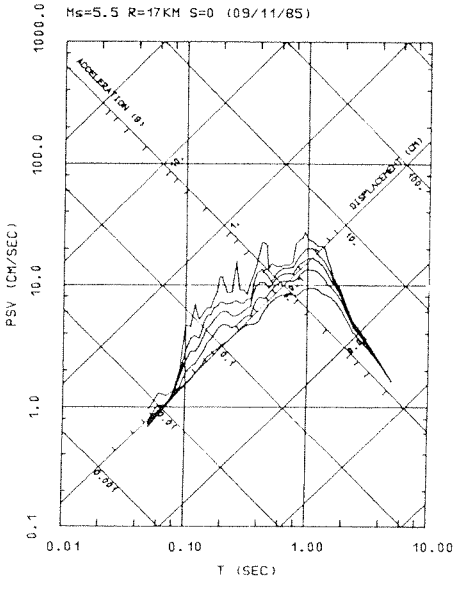
DRA85-1-L

Ms=5.5 R=17KM S=0 (09/11/85)



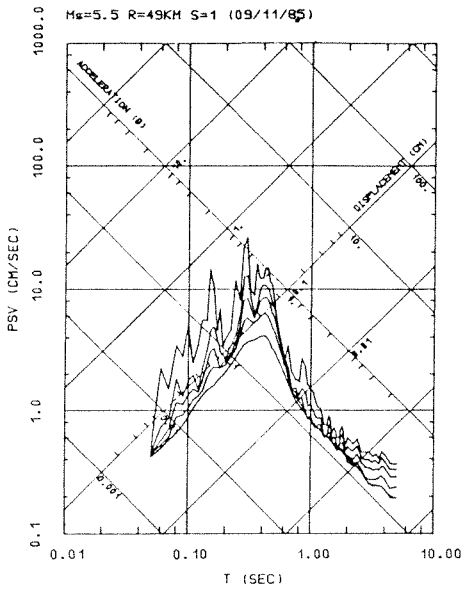
DRA85-1-T

Ms=5.5 R=17KM S=0 (09/11/85)



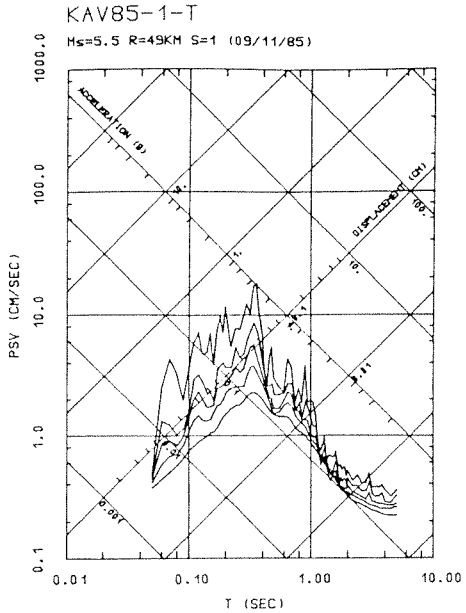
KAV85-1-L

Ms=5.5 R=49KM S=1 (09/11/85)



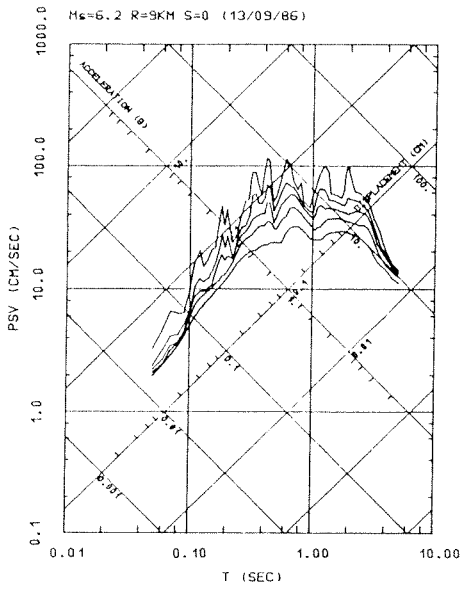
KAV85-1-T

Ms=5.5 R=49KM S=1 (09/11/85)



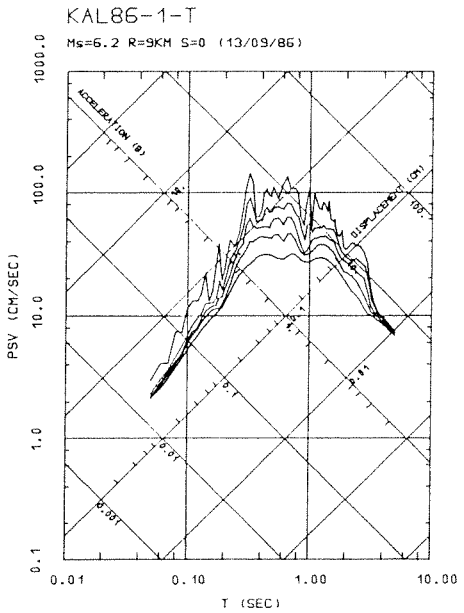
KAL86-1-L

Ms=6.2 R=9KM S=0 (13/09/86)



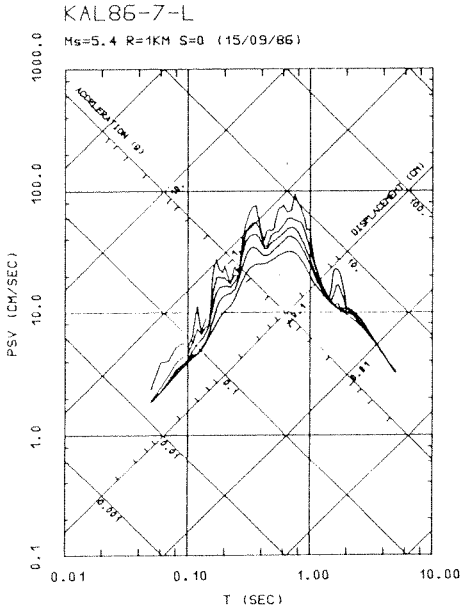
KAL86-1-T

Ms=6.2 R=9KM S=0 (13/09/86)



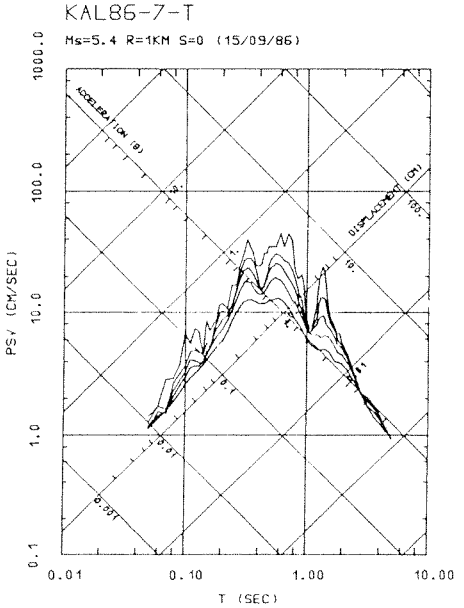
KAL86-7-L

Ms=5.4 R=1KM S=0 (15/09/86)



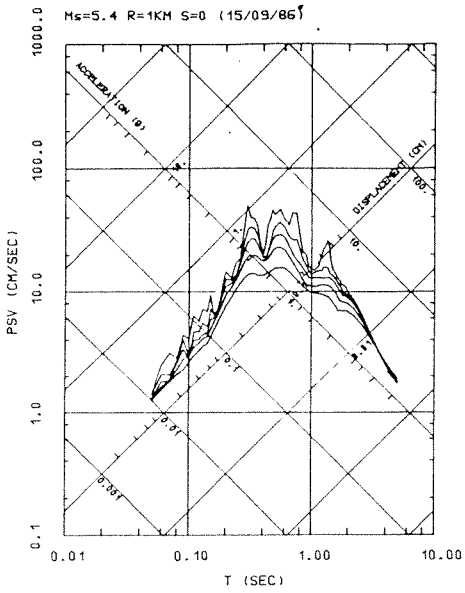
KAL86-7-T

Ms=5.4 R=1KM S=0 (15/09/86)



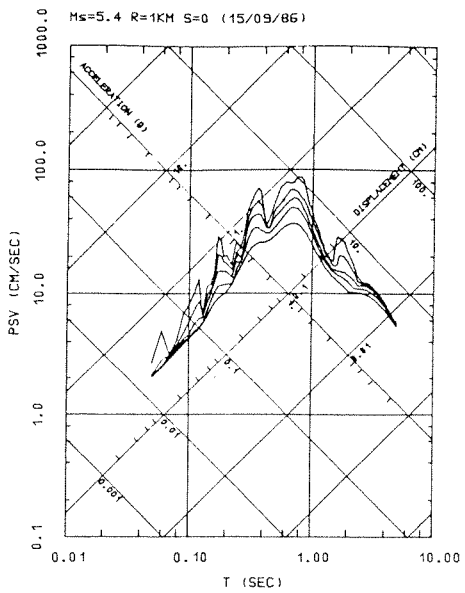
KAL*86-2-L

Ms=5.4 R=1KM S=0 (15/09/86)



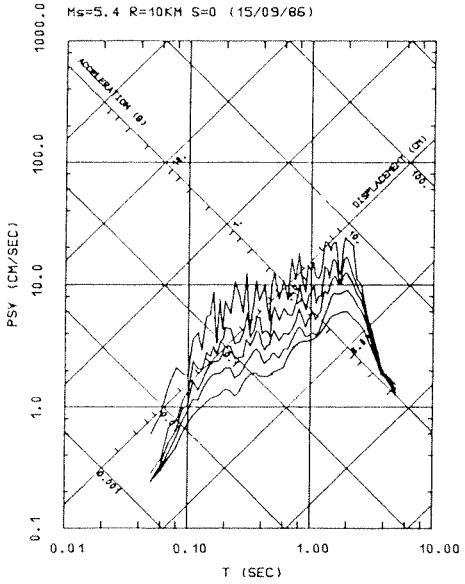
KAL*86-2-T

Ms=5.4 R=1KM S=0 (15/09/86)



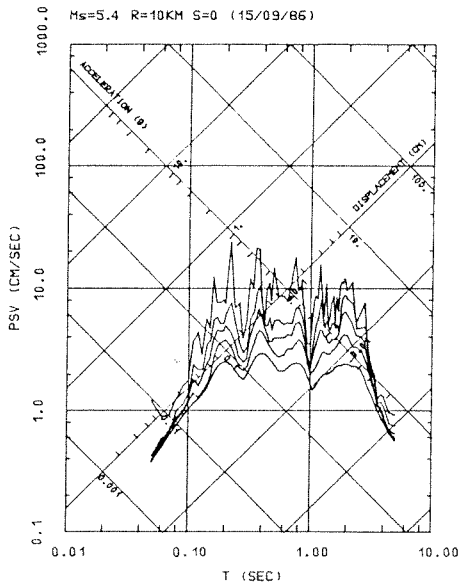
MES*86-1-L

Ms=5.4 R=10KM S=0 (15/09/86)



MES*86-1-T

Ms=5.4 R=10KM S=0 (15/09/86)

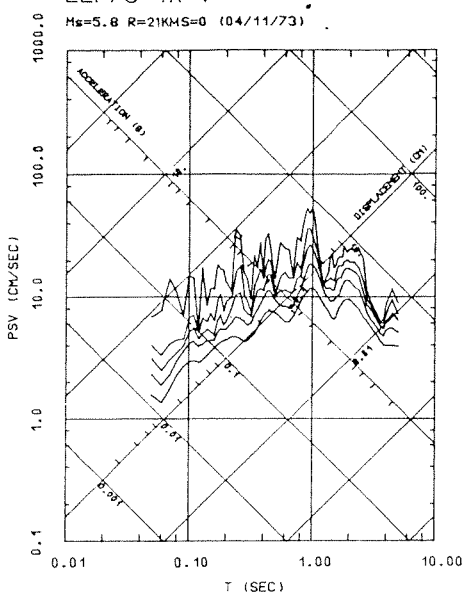


Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Β

ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ (51 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ)

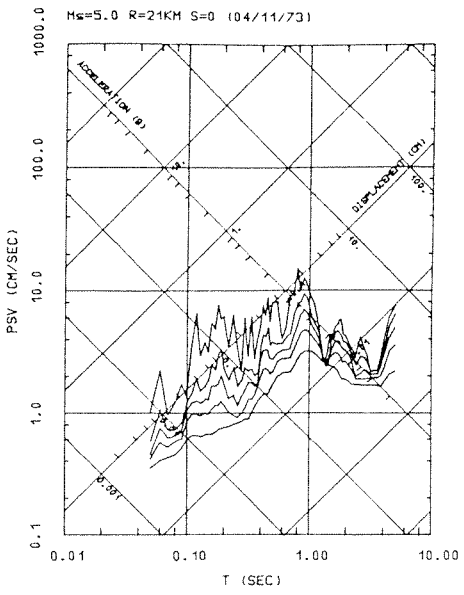
LEF73-1A-V

Ms=5.8 R=21KM S=0 (04/11/73)



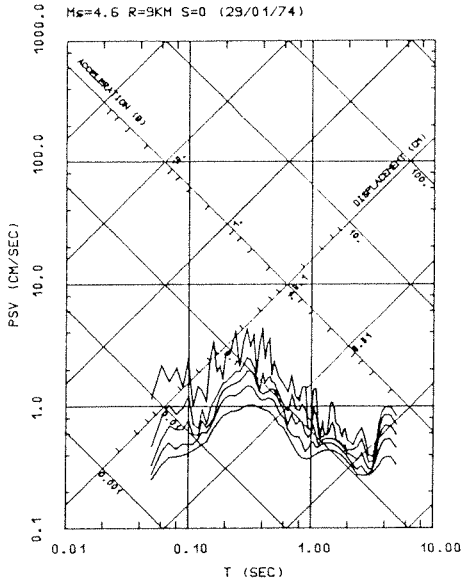
LEF73-2A-V

Ms=5.0 R=21KM S=0 (04/11/73)



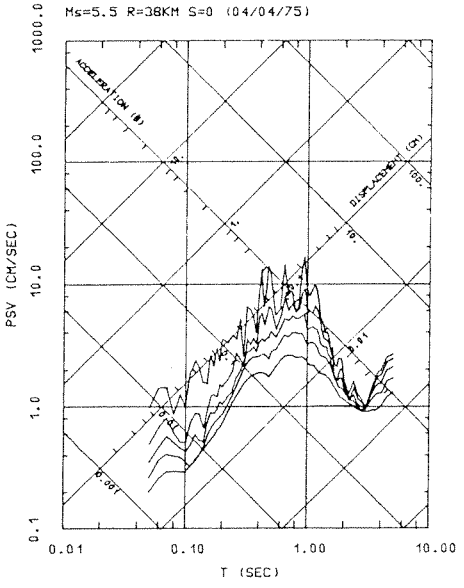
PAT74-1A-V

Ms=4.6 R=9KM S=0 (29/01/74)



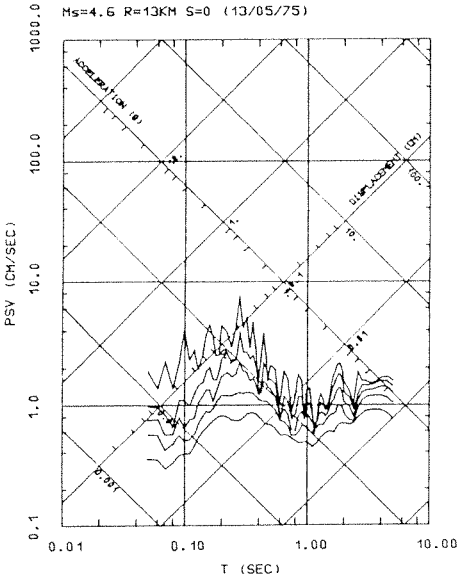
PAT75-1A-V

Ms=5.5 R=38KM S=0 (04/04/75)



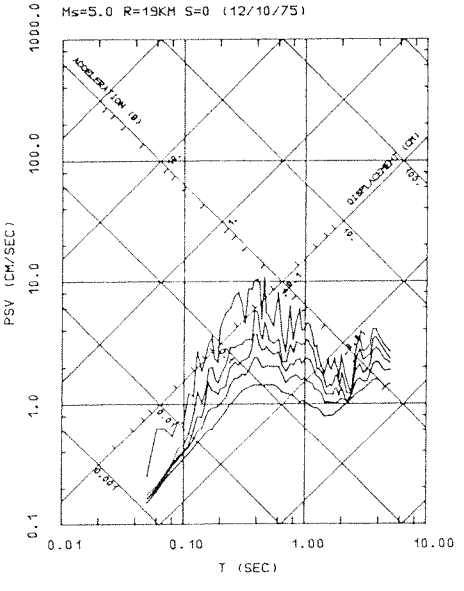
XYL75-1A-V

Ms=4.6 R=13KM S=0 (13/05/75)



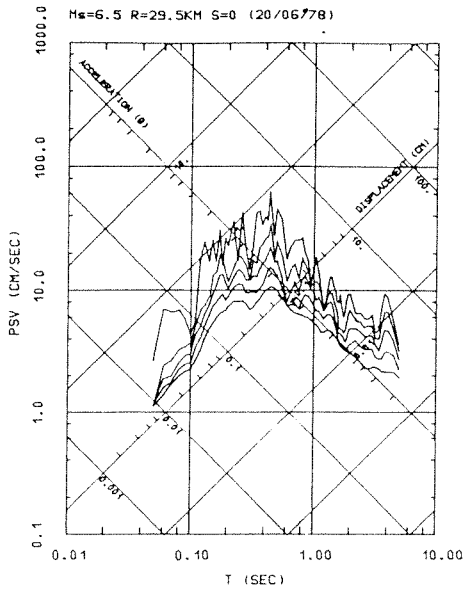
KOR75-1A-V

Ms=5.0 R=19KM S=0 (12/10/75)



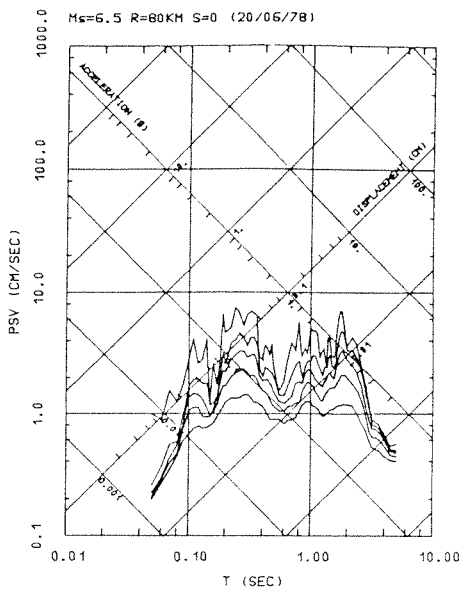
THE78-1Y-V

Ms=6.5 R=29.5KM S=0 (20/06/78)



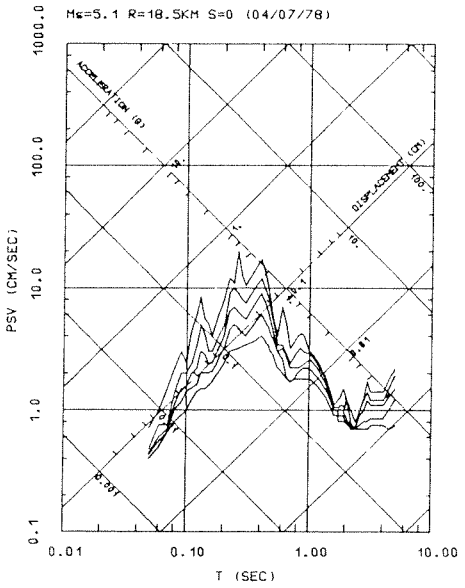
GEV78-1Y-V

Ms=6.5 R=80KM S=0 (20/06/78)



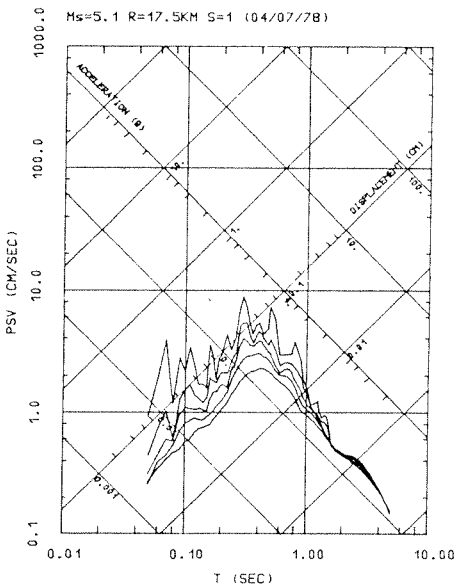
THE7 8-2A-V

Ms=5.1 R=18.5KM S=0 (04/07/78)



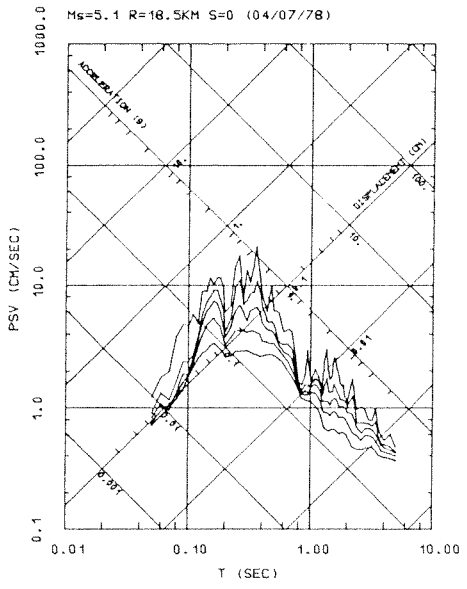
THE178-2Y-V

Ms=5.1 R=17.5KM S=1 (04/07/78)



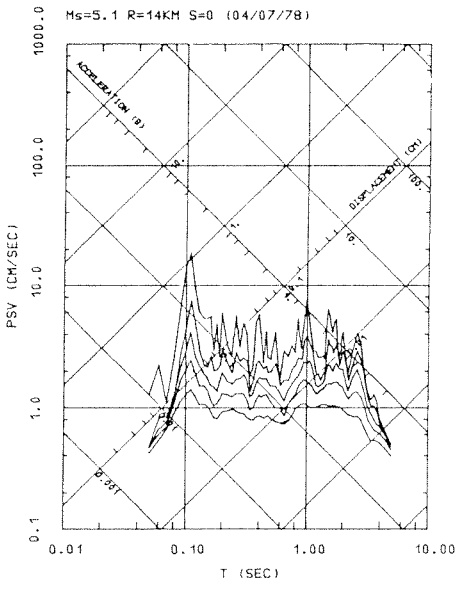
THE278-2Y-V

Ms=5.1 R=18.5KM S=0 (04/07/78)



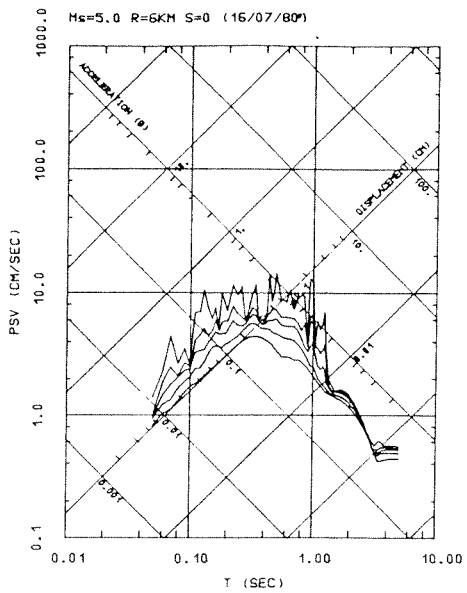
SH078-1Y-V

Ms=5.1 R=14KM S=0 (04/07/78)



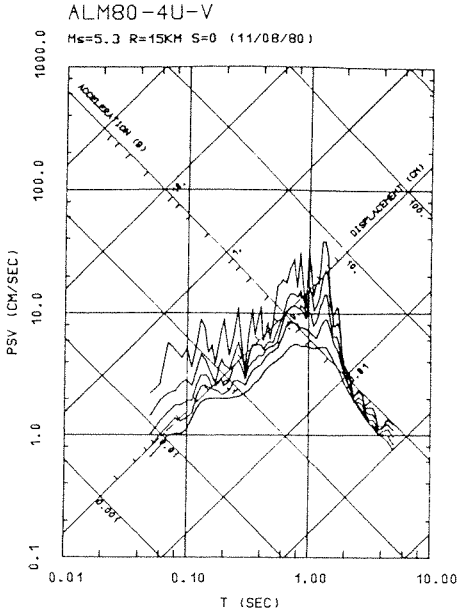
ALM80-2U-V

Ms=5.0 R=6KM S=0 (16/07/80)



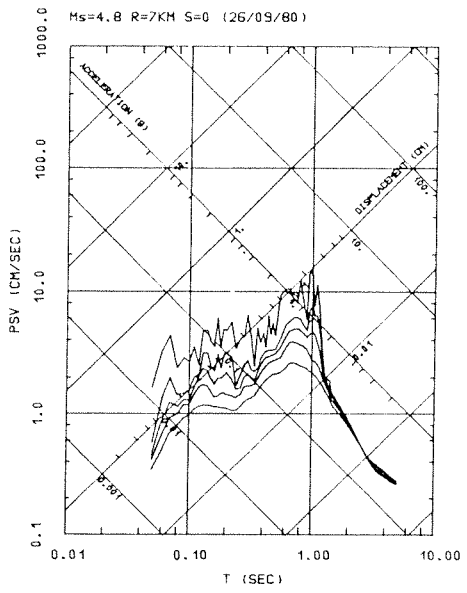
ALM80-4U-V

Ms=5.3 R=15KM S=0 (11/08/80)



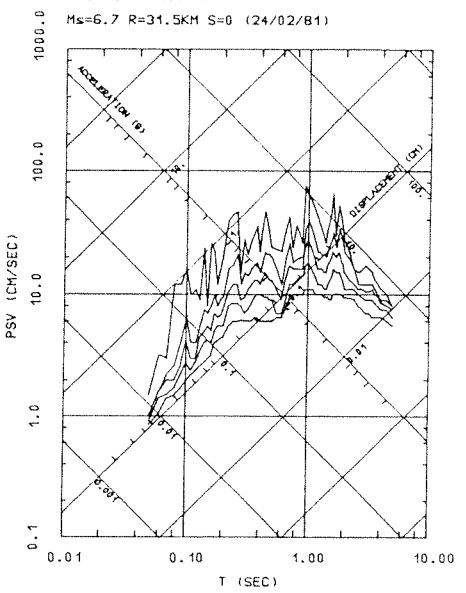
ALM80-5U-V

Ms=4.8 R=7KM S=0 (26/09/80)



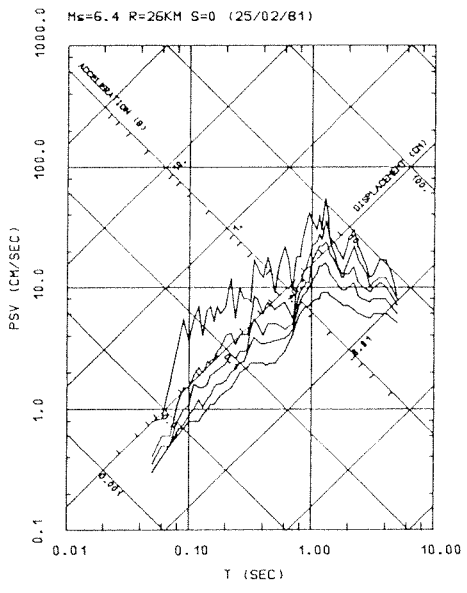
KOR81-1A-V

Ms=6.7 R=31.5KM S=0 (24/02/81)



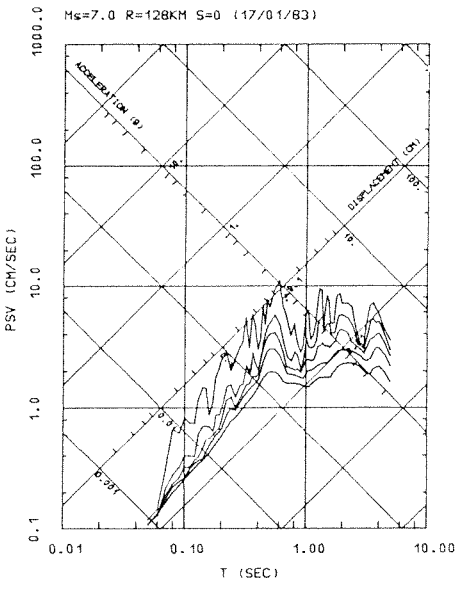
KOR81-2A-V

Ms=6.4 R=26KM S=0 (25/02/81)



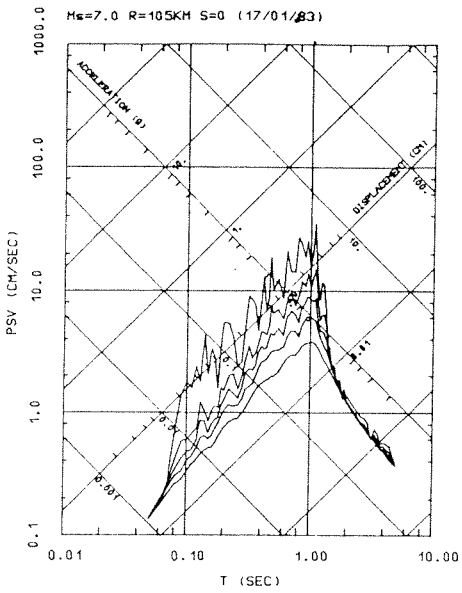
AGR83-1-V

Ms=7.0 R=128KM S=0 (17/01/83)



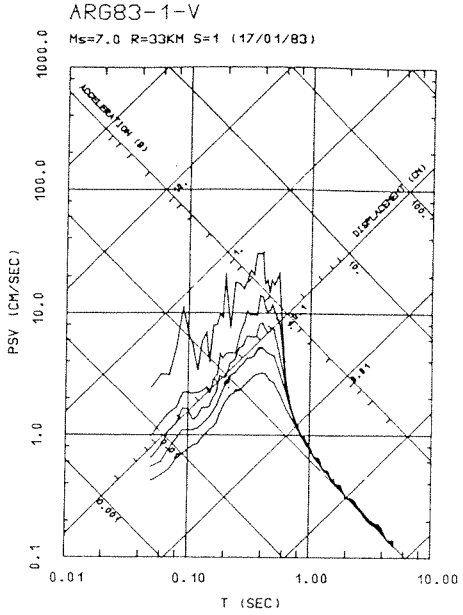
LEF83-1-V

Ms=7.0 R=105KM S=0 (17/01/83)



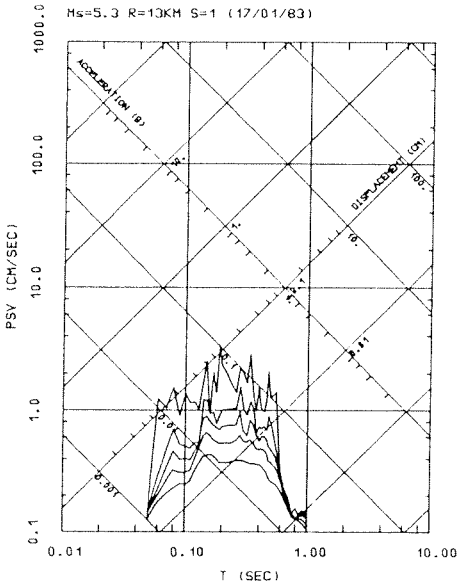
ARG83-1-V

Ms=7.0 R=33KM S=1 (17/01/83)



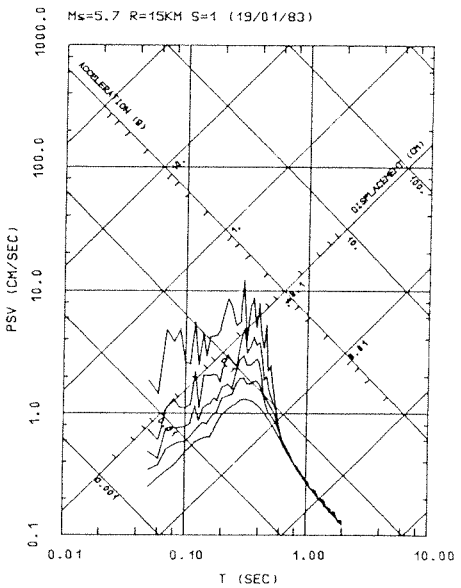
ARG83-3-V

Ms=5.3 R=13KM S=1 (17/01/83)



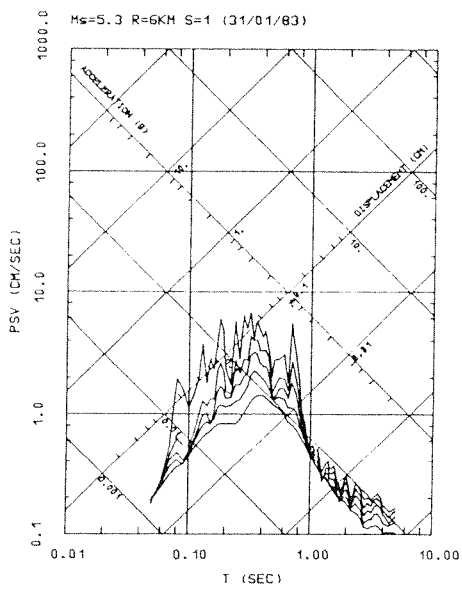
ARG83-4-V

Ms=5.7 R=15KM S=1 (19/01/83)



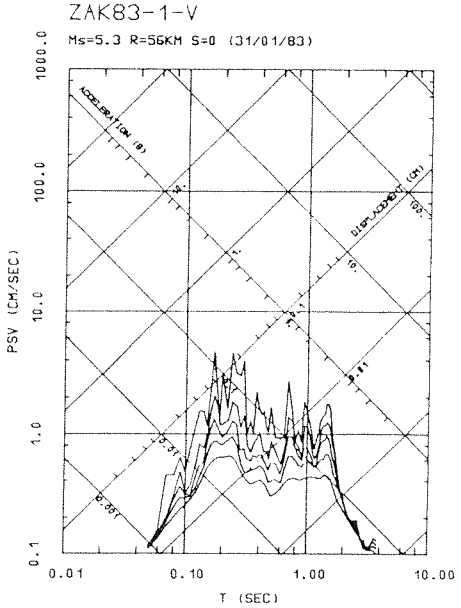
ARG83-6-V

Ms=5.3 R=6KM S=1 (31/01/83)



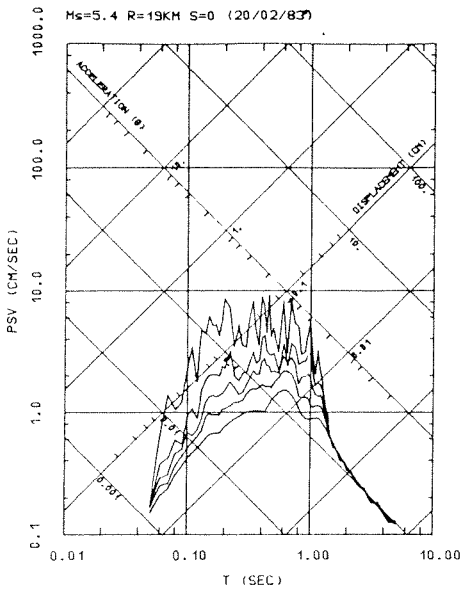
ZAK83-1-V

Ms=5.3 R=56KM S=0 (31/01/83)



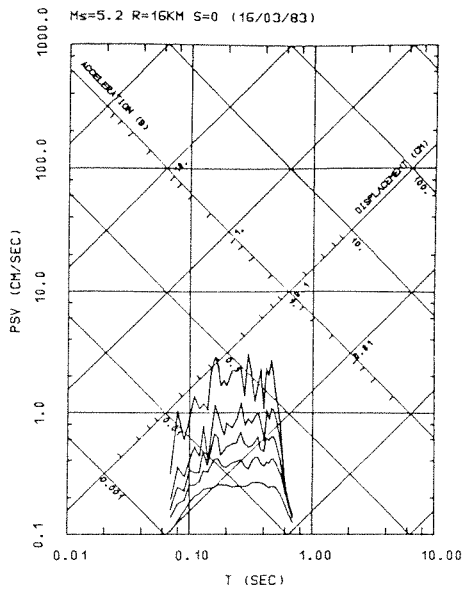
ZAK83-2-V

Ms=5.4 R=19KM S=0 (20/02/83)



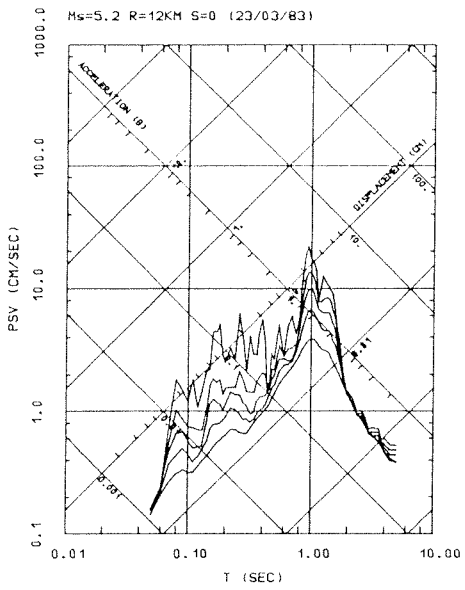
LEF83-2-V

Ms=5.2 R=16KM S=0 (16/03/83)



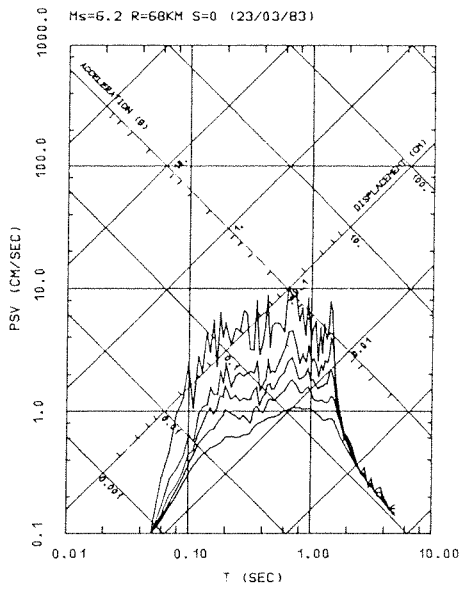
LEF83-3-V

Ms=5.2 R=12KM S=0 (23/03/83)



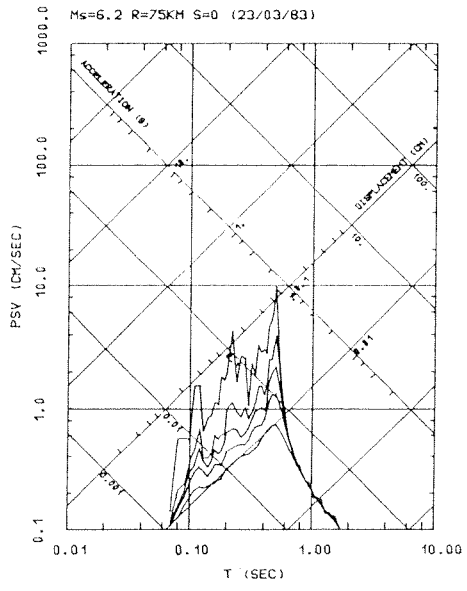
ZAK83-3-V

Ms=6.2 R=68KM S=0 (23/03/83)



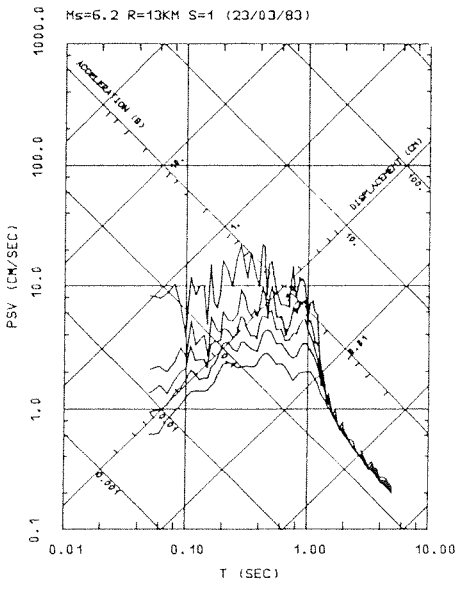
LEF83-4-V

Ms=6.2 R=75KM S=0 (23/03/83)



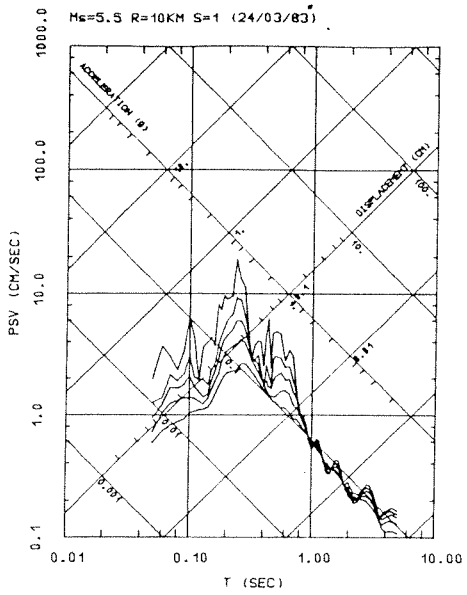
ARG83-7-V

Ms=6.2 R=13KM S=1 (23/03/83)



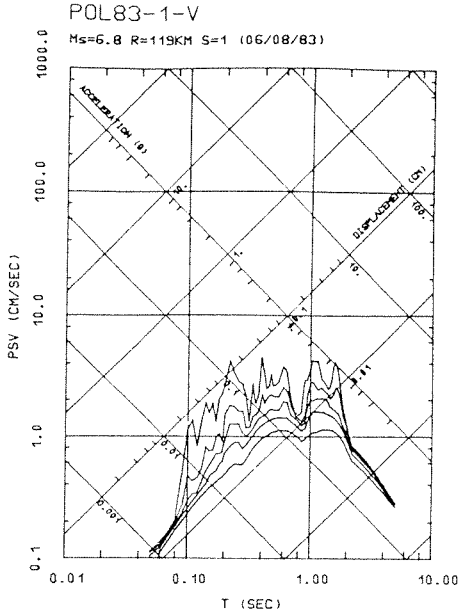
ARG83-8-V

Ms=5.5 R=10KM S=1 (24/03/83)



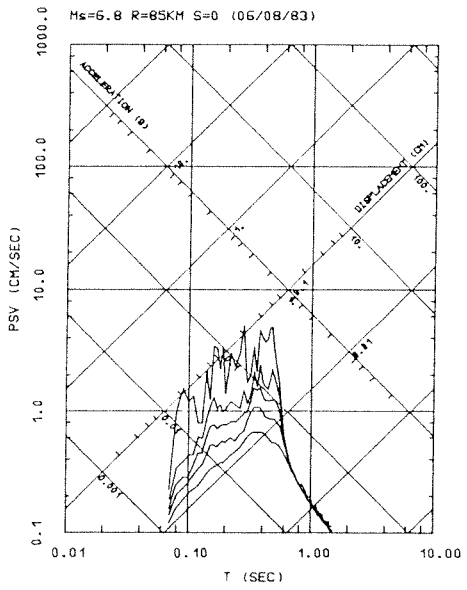
POL83-1-V

Ms=6.8 R=119KM S=1 (06/08/83)



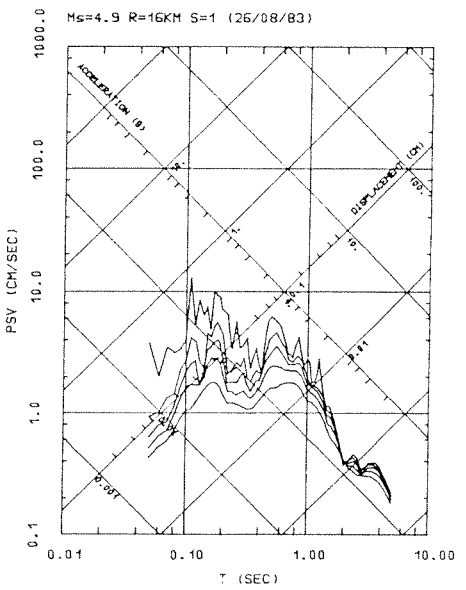
IER83-2-V

Ms=6.8 R=85KM S=0 (06/08/83)



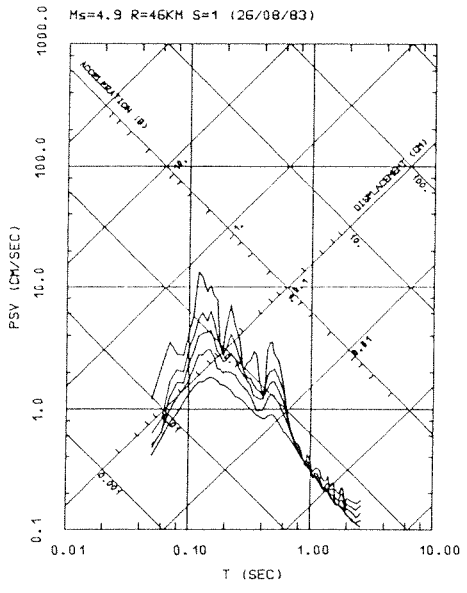
OUR83-2U-V

Ms=4.9 R=16KM S=1 (26/08/83)



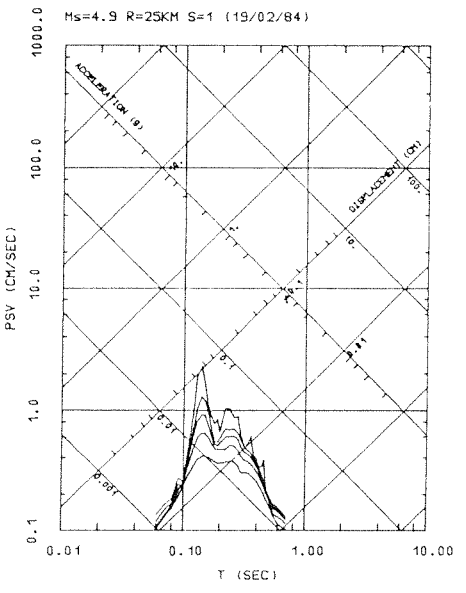
POL83-2-V

Ms=4.9 R=46KM S=1 (26/08/83)



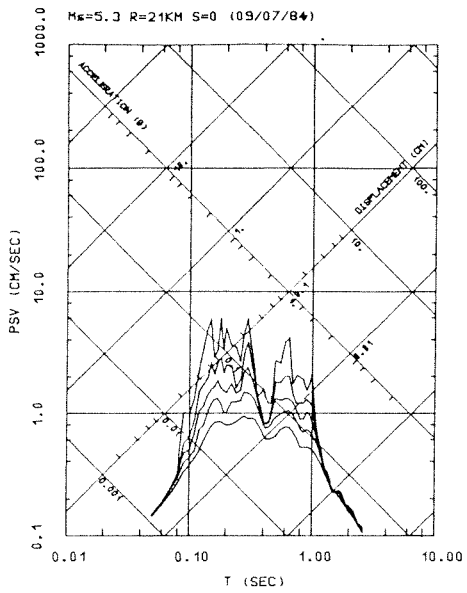
POL84-1-V

Ms=4.9 R=25KM S=1 (19/02/84)



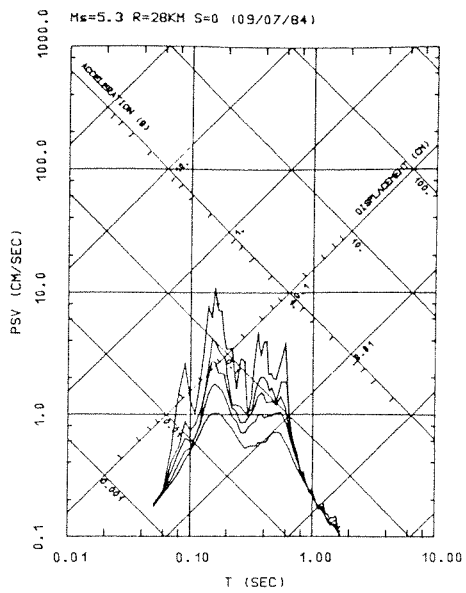
EDE84-1-V

Ms=5.3 R=21KM S=0 (09/07/84)



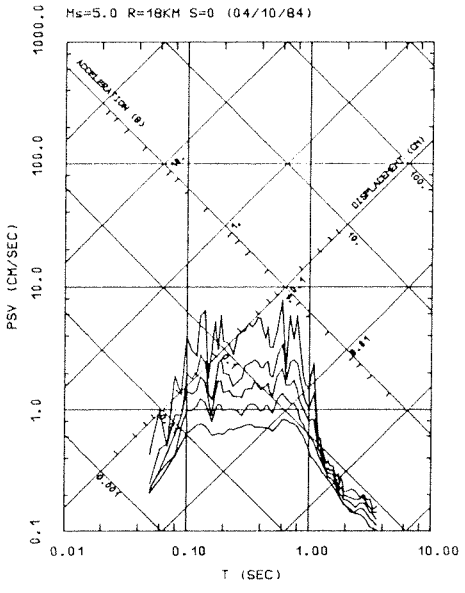
VER84-1-V

Ms=5.3 R=28KM S=0 (09/07/84)



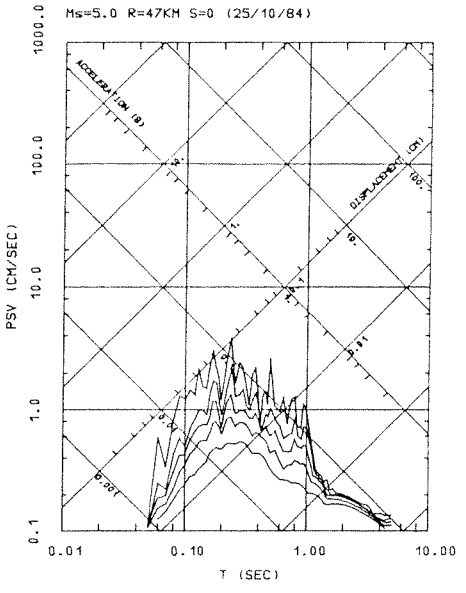
ZAK84-1-V

Ms=5.0 R=18KM S=0 (04/10/84)



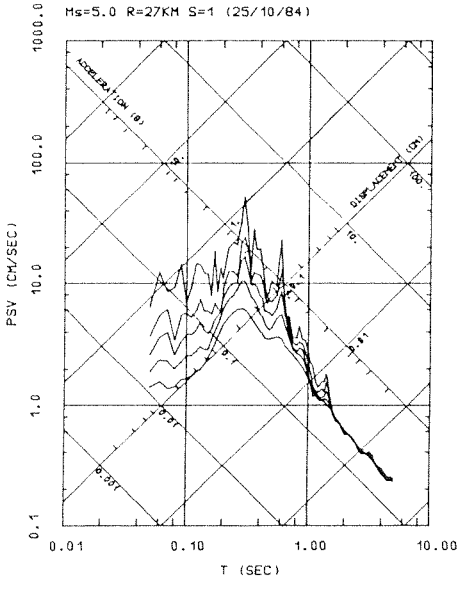
KYP84-2-V

Ms=5.0 R=47KM S=0 (25/10/84)



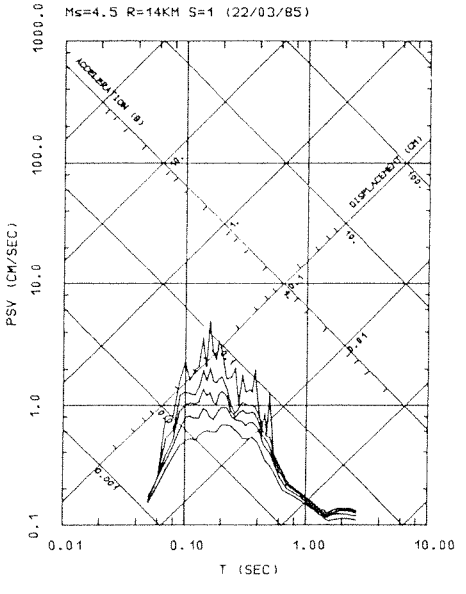
PEL84-1-V

Ms=5.0 R=27KM S=1 (25/10/84)



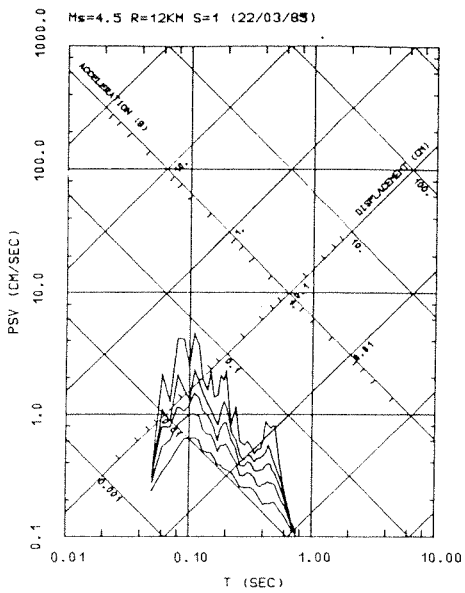
AMF85-3-V

Ms=4.5 R=14KM S=1 (22/03/85)



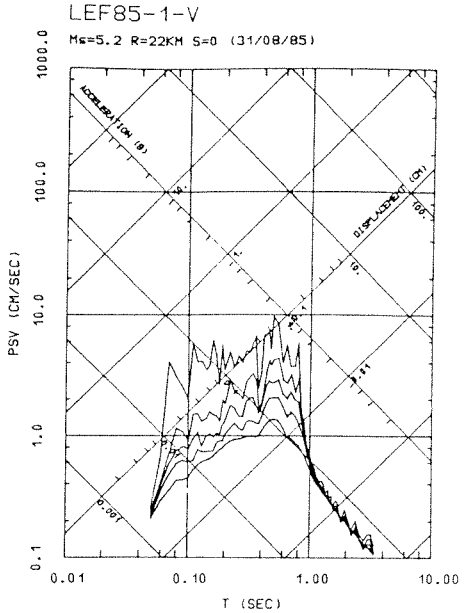
AMF85-4-V

Ms=4.5 R=12KM S=1 (22/03/85)



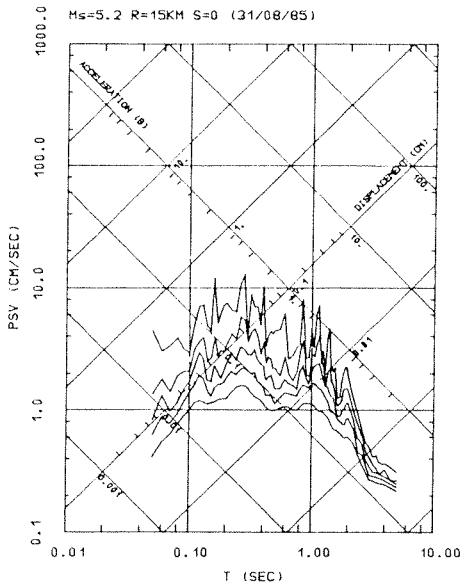
LEF85-1-V

Ms=5.2 R=22KM S=0 (31/08/85)



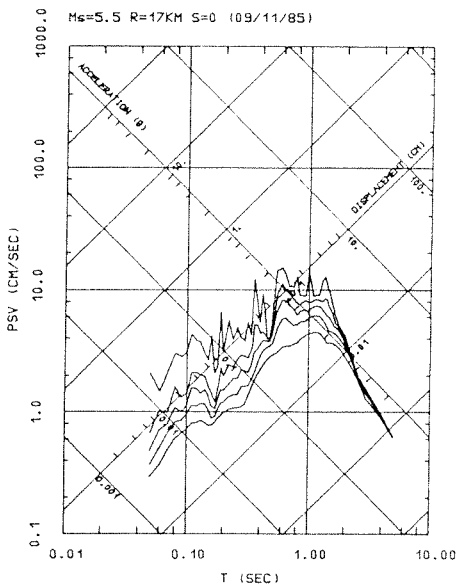
PRE85-1-V

Ms=5.2 R=15KM S=0 (31/08/85)



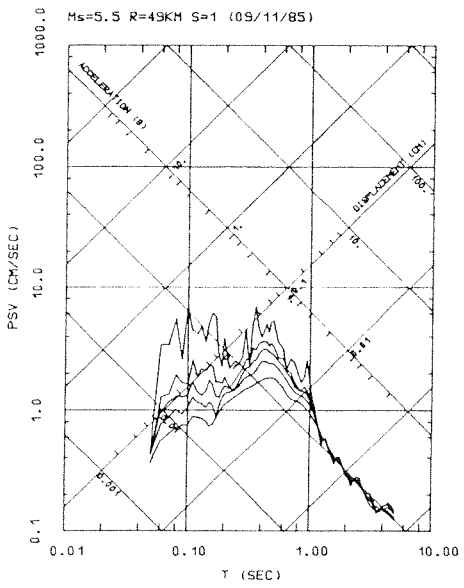
DRA85-1-V

Ms=5.5 R=17KM S=0 (09/11/85)



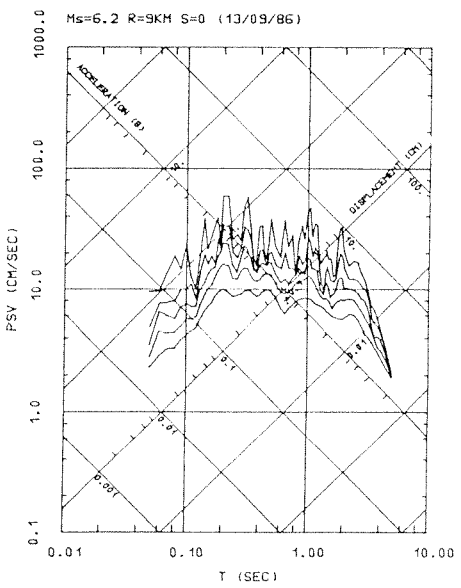
KAV85-1-V

Ms=5.5 R=49KM S=1 (09/11/85)



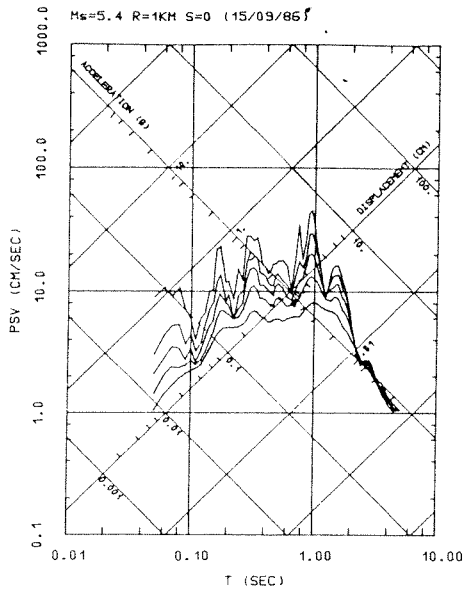
KAL86-1-V

Ms=6.2 R=9KM S=0 (13/09/86)



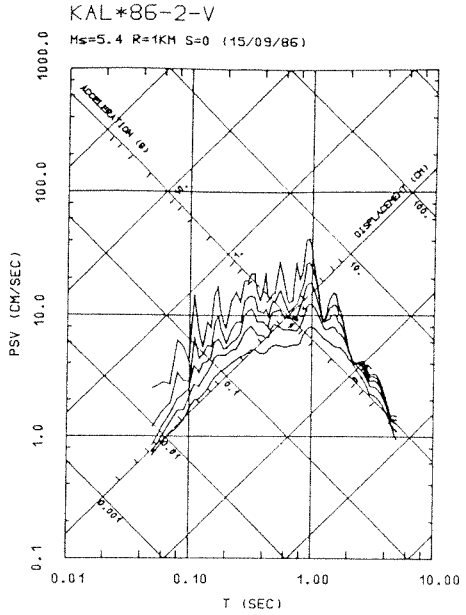
KAL86-7-V

Ms=5.4 R=1KM S=0 (15/09/86)



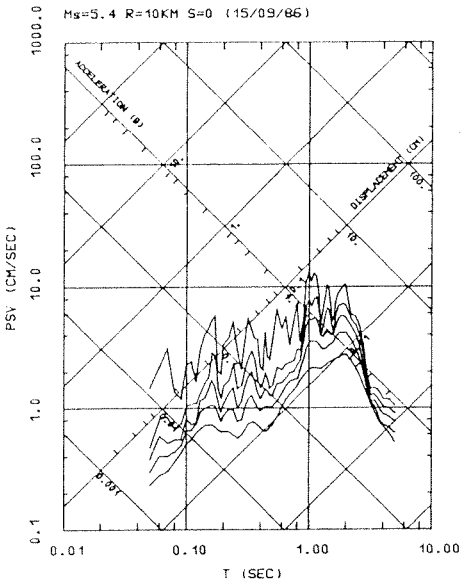
KAL*86-2-V

Ms=5.4 R=1KM S=0 (15/09/86)



MES*86-1-V

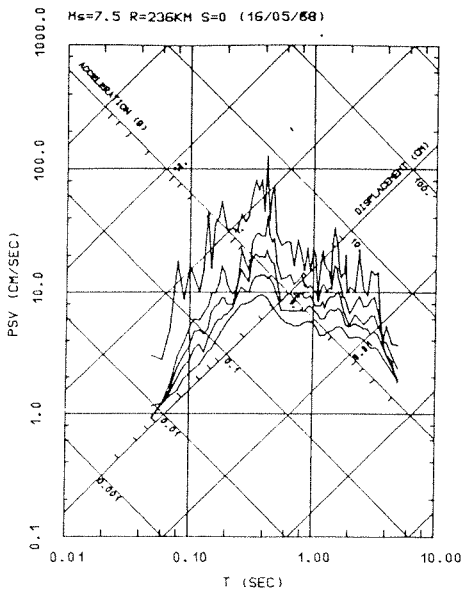
Ms=5.4 R=10KM S=0 (15/09/86)



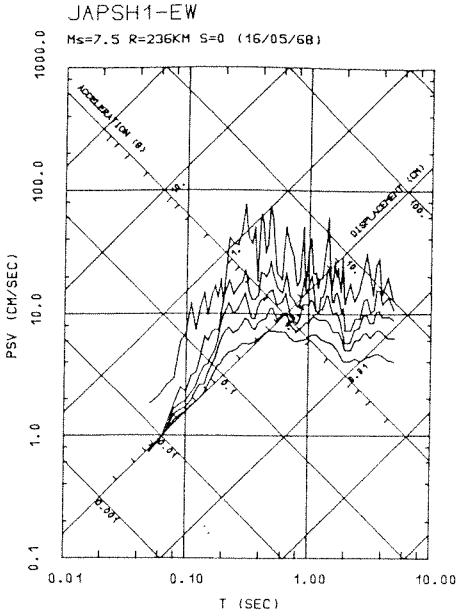
Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Γ

ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ
ΑΠΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΖΩΝΩΝ ΚΑΤΑΔΥΣΗΣ ΜΕ ΜΕΓΕΘΗ
$7.0 < Mw \leq 7.5$ (16 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ)

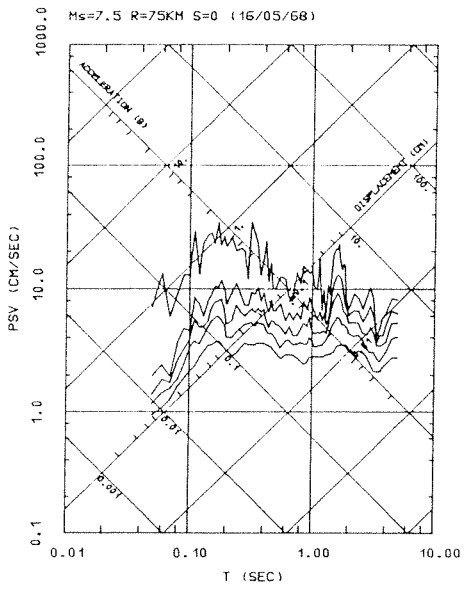
JAPSH1-NS



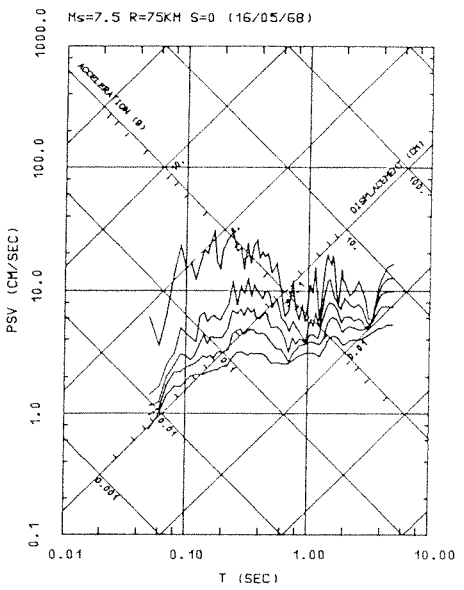
JAPSH1-EW



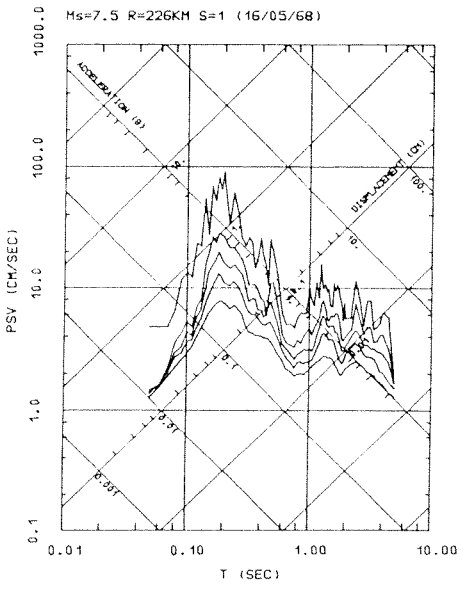
JAPSH2-NS



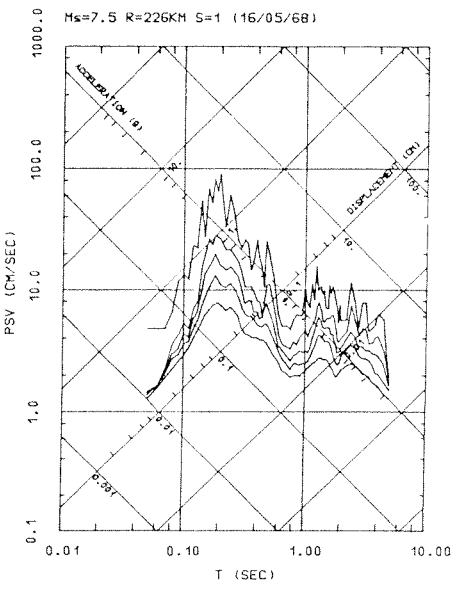
JAPSH2-EW



JAPSH3-NS

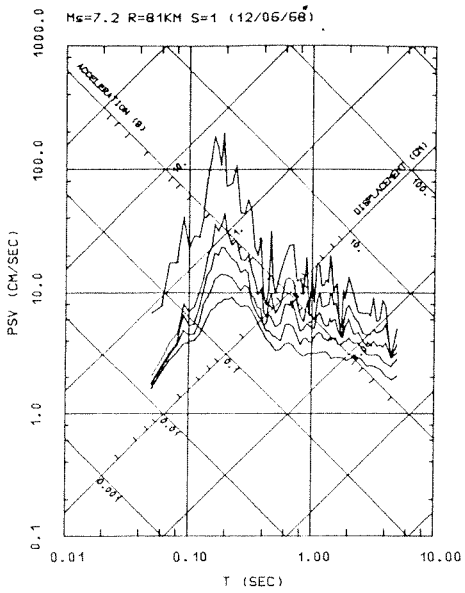


JAPSH3-EW



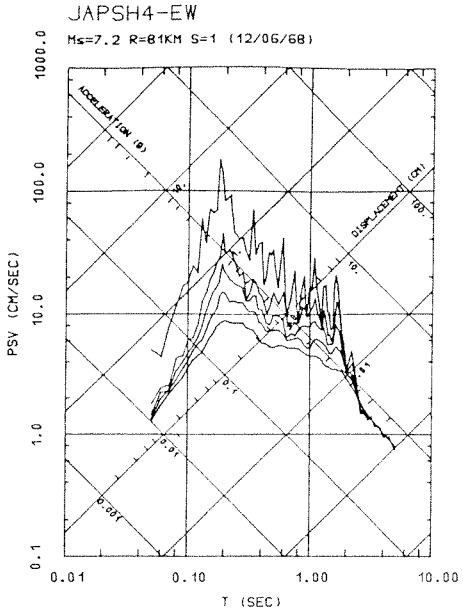
JAPSH4-NS

Ms=7.2 R=81KM S=1 (12/06/68)



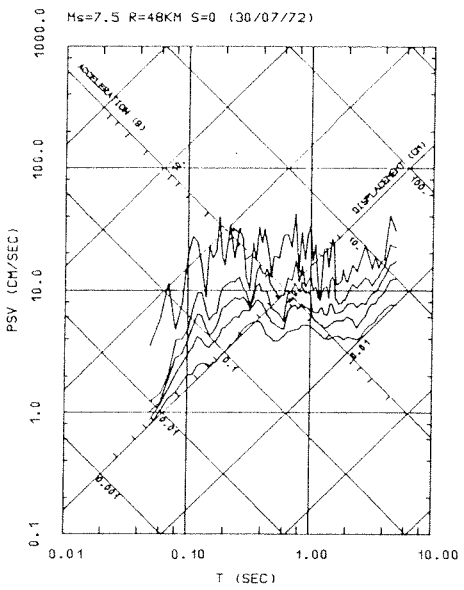
JAPSH4-EW

Ms=7.2 R=81KM S=1 (12/06/68)



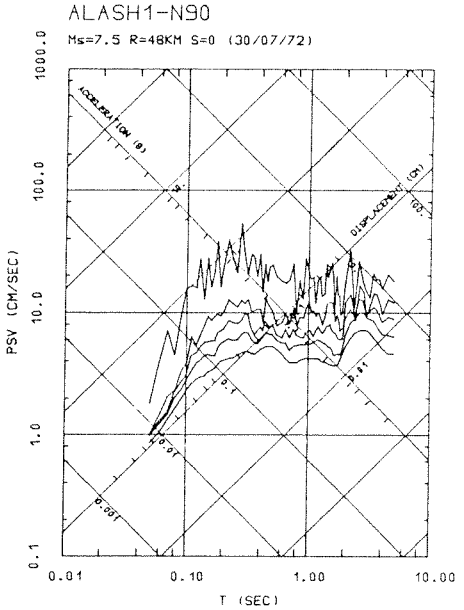
ALASH1-N180

Ms=7.5 R=48KM S=0 (30/07/72)



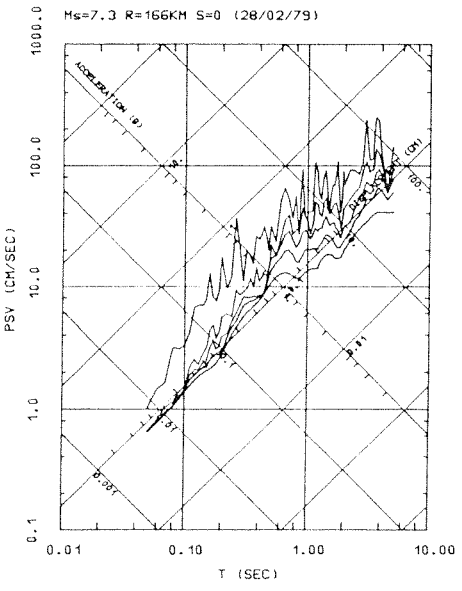
ALASH1-N90

Ms=7.5 R=48KM S=0 (30/07/72)



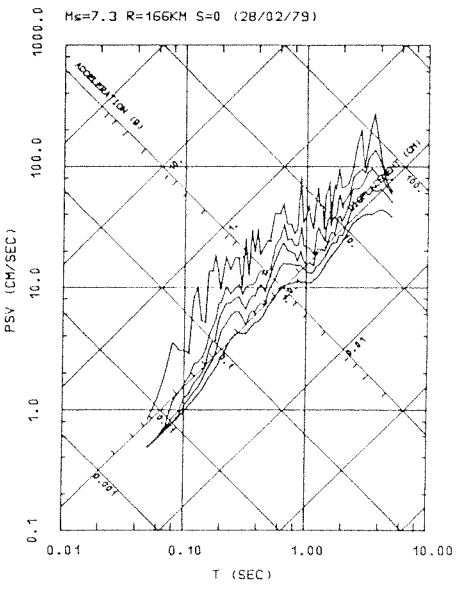
ALASH2-N9

Ms=7.3 R=166KM S=0 (28/02/79)



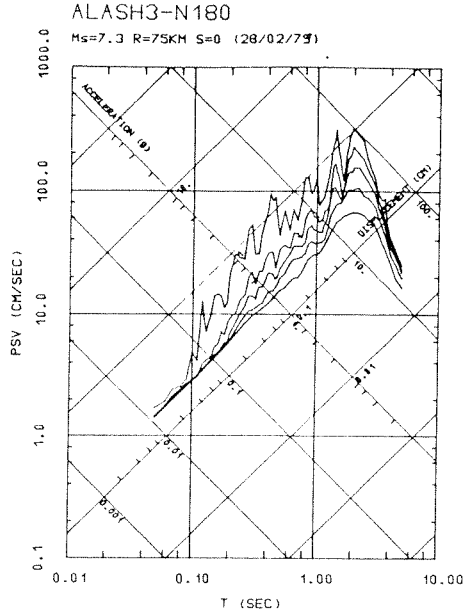
ALASH2-N279

Ms=7.3 R=166KM S=0 (28/02/79)



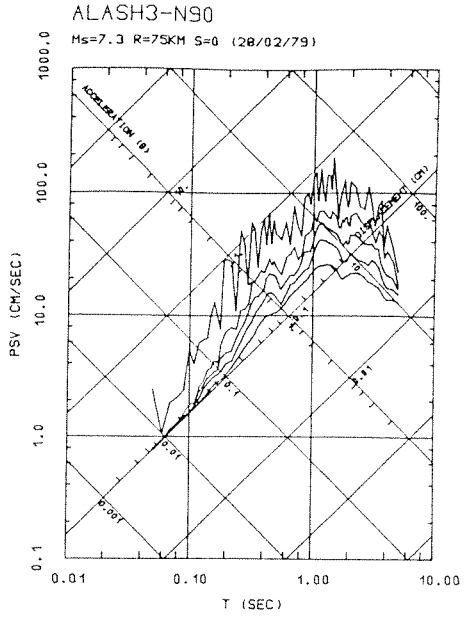
ALASH3-N180

Ms=7.3 R=75KM S=0 (28/02/79)



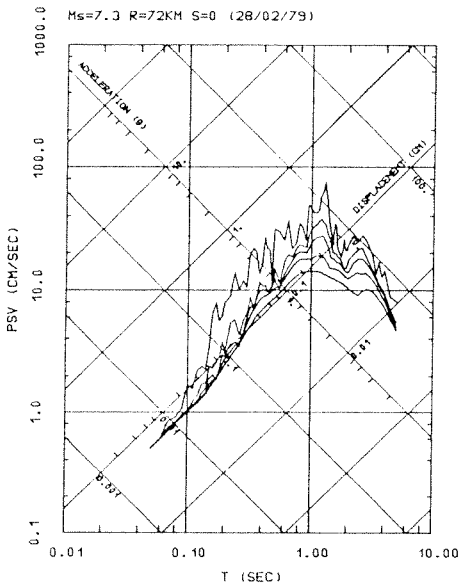
ALASH3-N90

Ms=7.3 R=75KM S=0 (28/02/79)



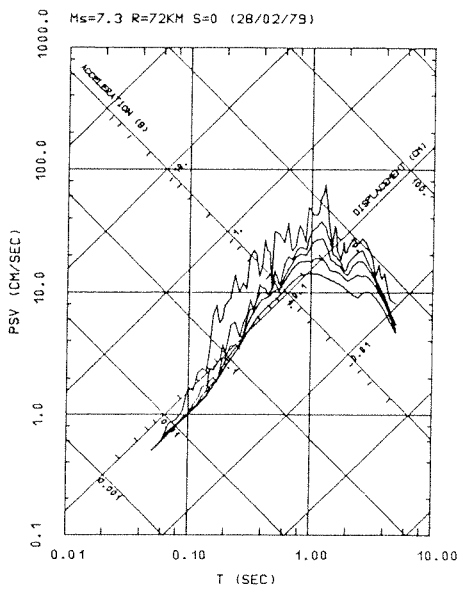
ALASH4-N00

Ms=7.3 R=72KM S=0 (28/02/79)



ALASH4-N270

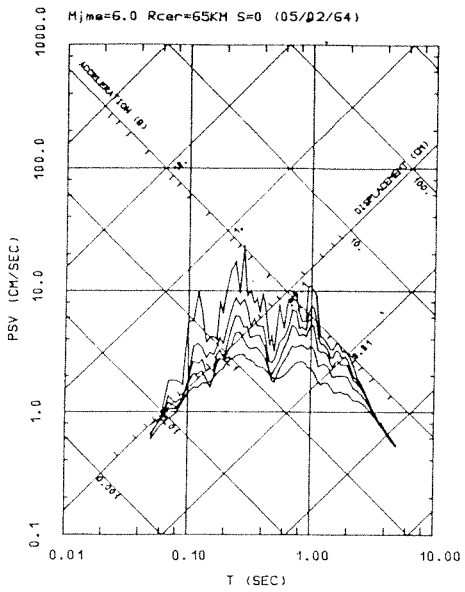
Ms=7.3 R=72KM S=0 (28/02/79)



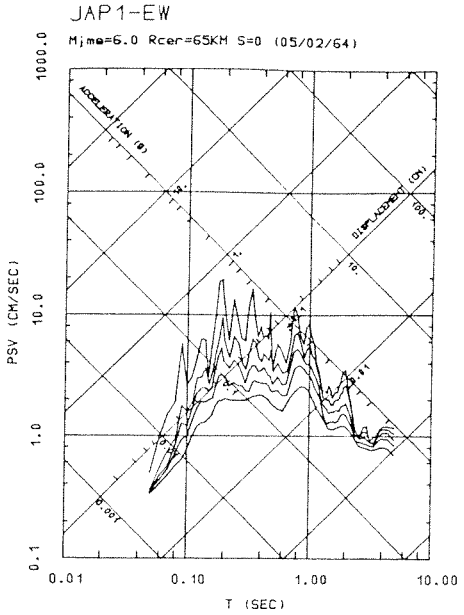
Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α Δ

ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΒΑΘΟΥΣ (70 ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ)

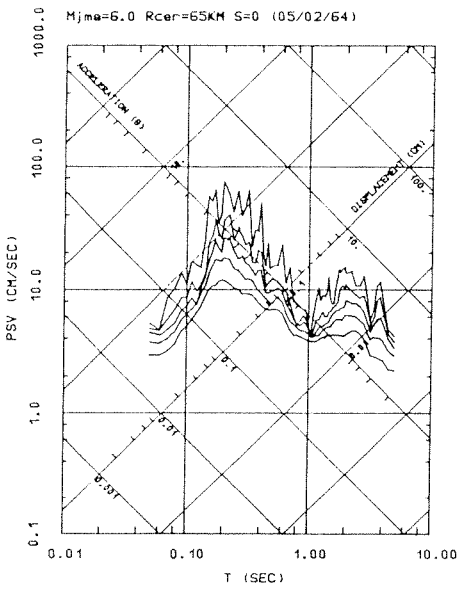
JAP1-NS



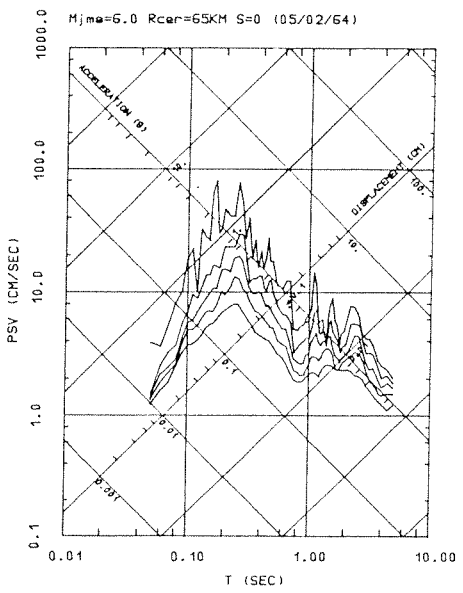
JAP1-EW



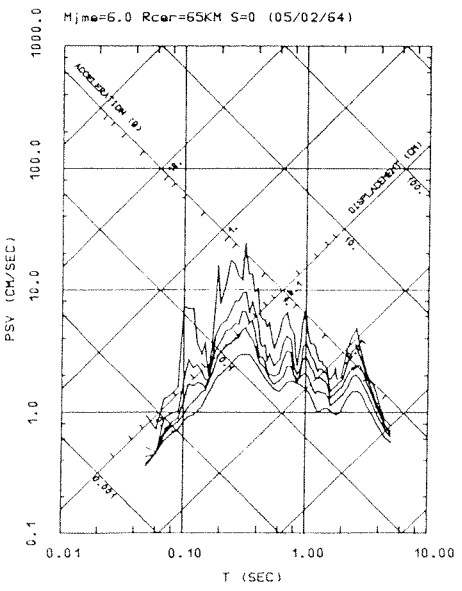
JAP2-NS



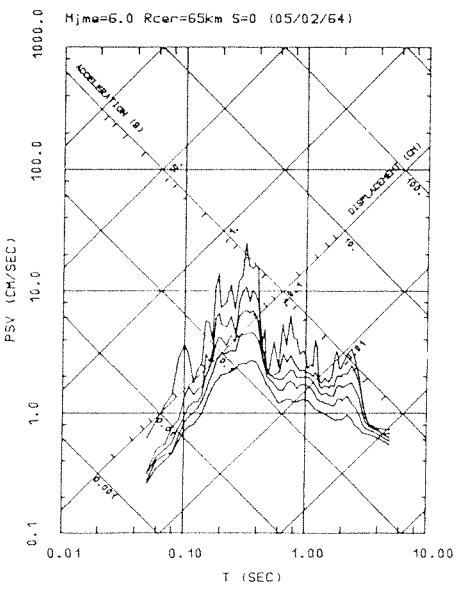
JAP2-EW



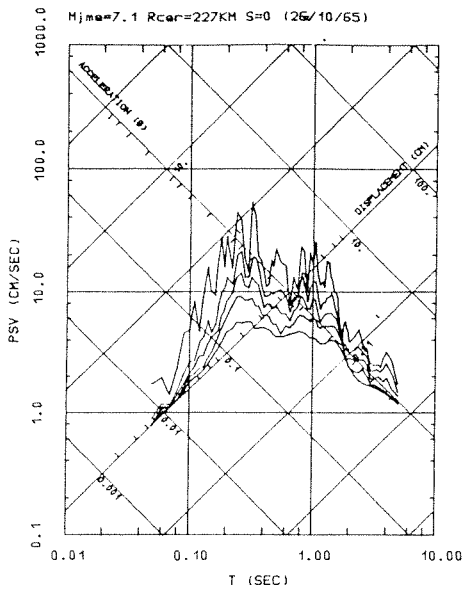
JAP3-NS



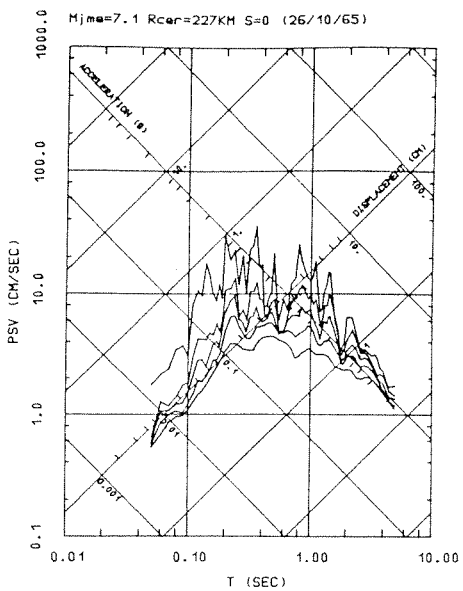
JAP3-EW



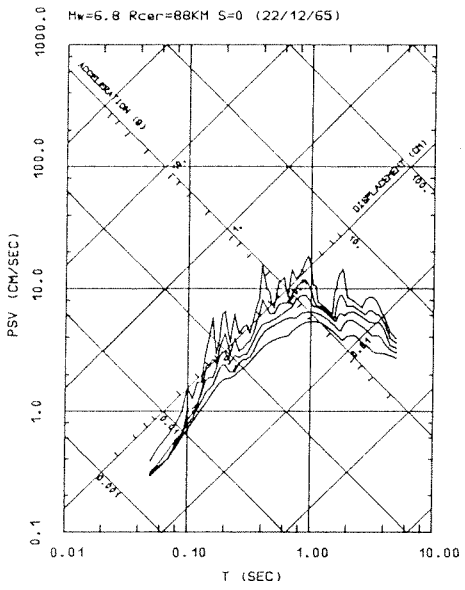
JAP4-NS



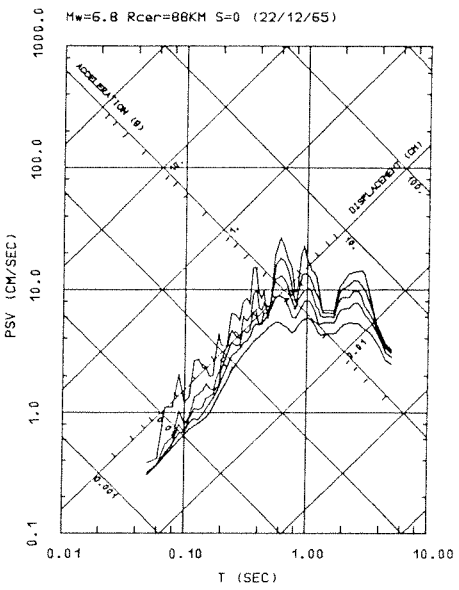
JAP4-EW



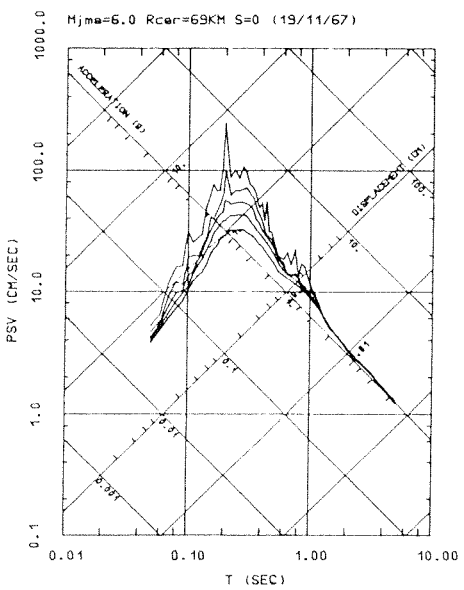
ALA2-N350



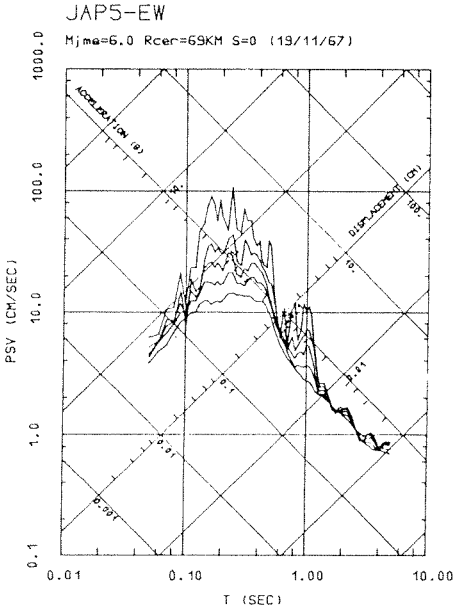
ALA2-N260



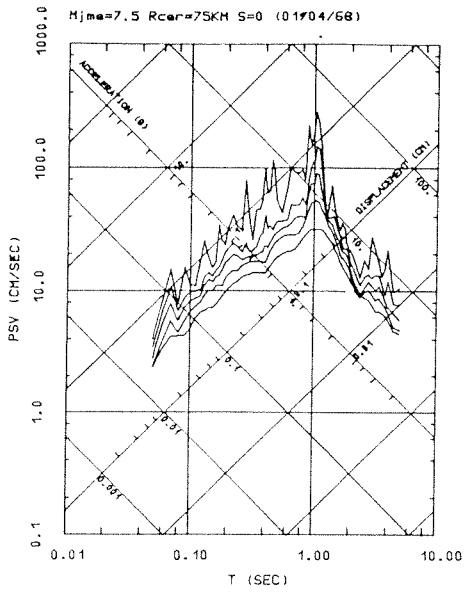
JAP5-NS



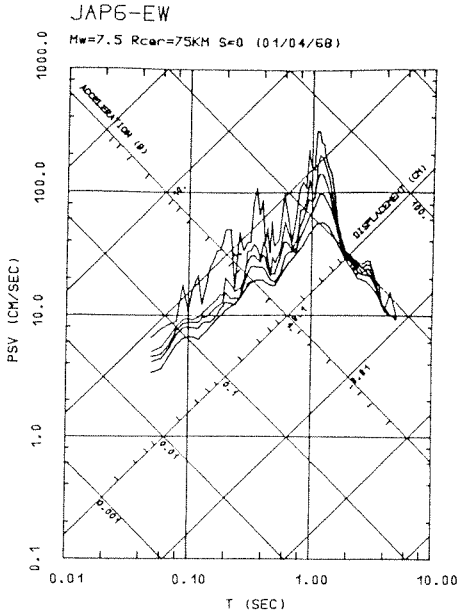
JAP5-EW



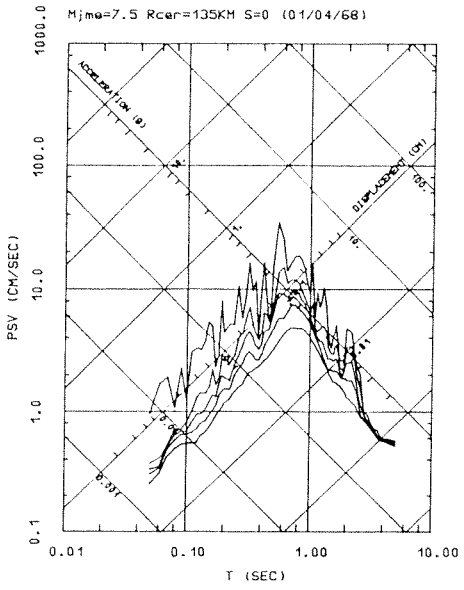
JAP6-NS



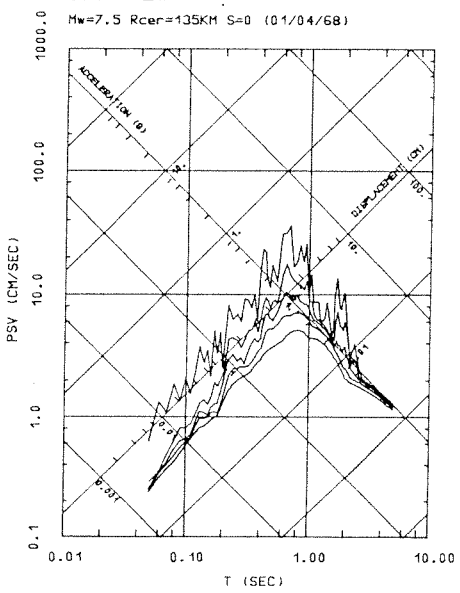
JAP6-EW



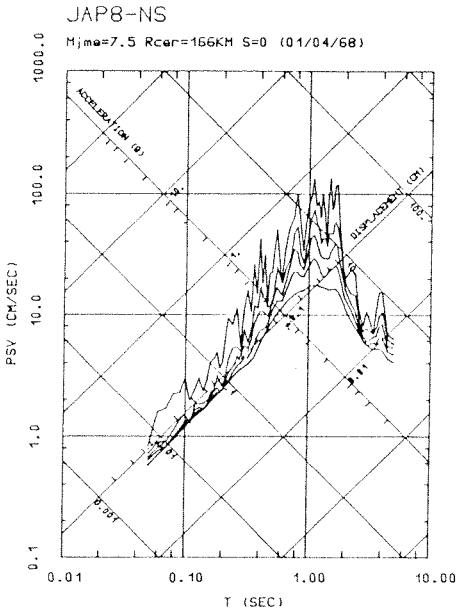
JAP7-NS



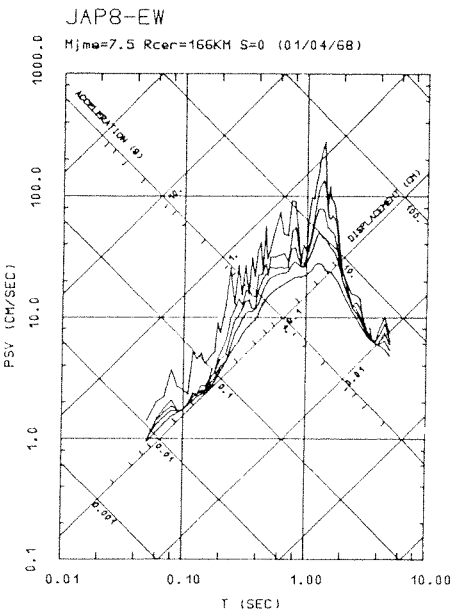
JAP7-EW



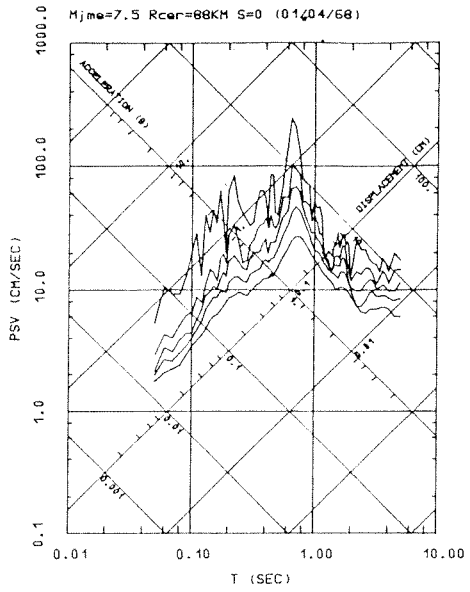
JAP8-NS



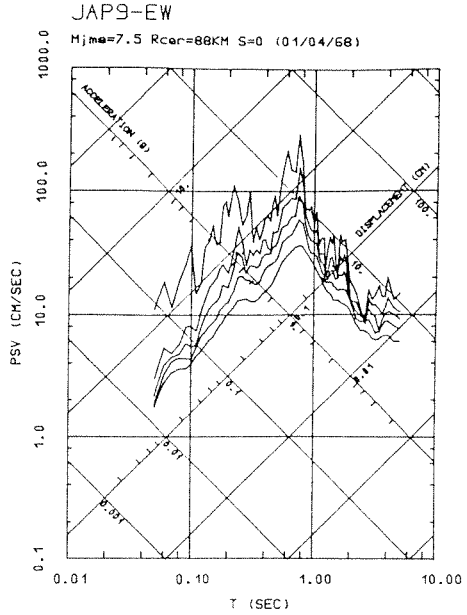
JAP8-EW



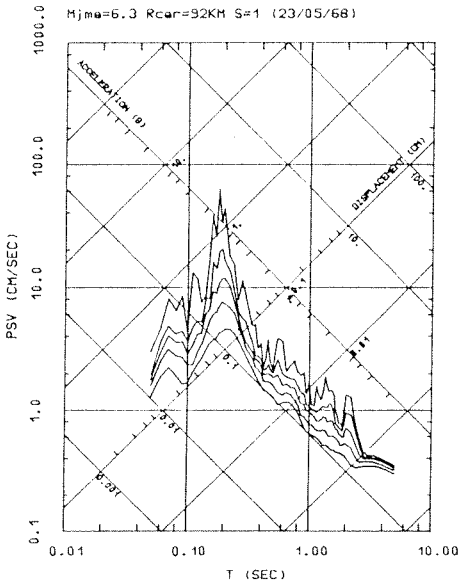
JAP9-NS



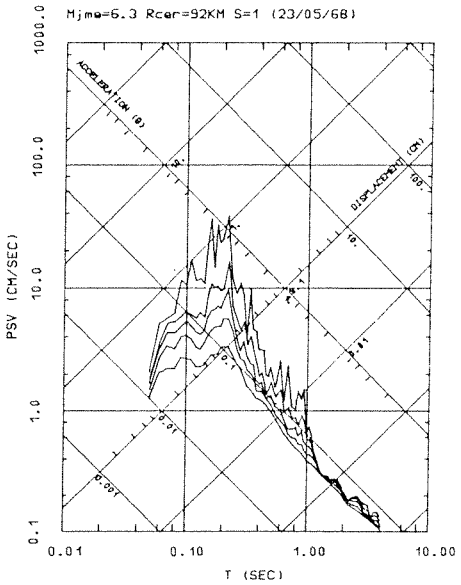
JAP9-EW



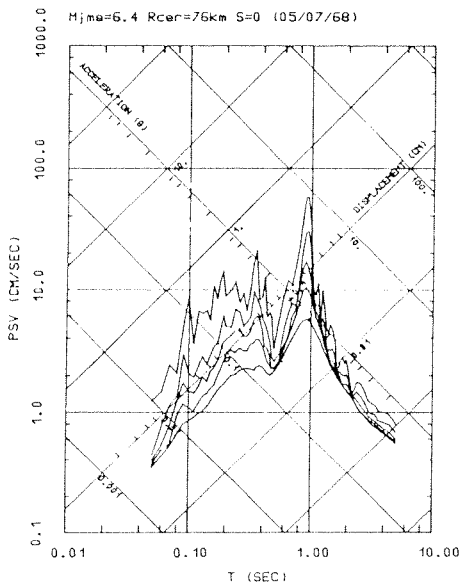
JAP16-NS



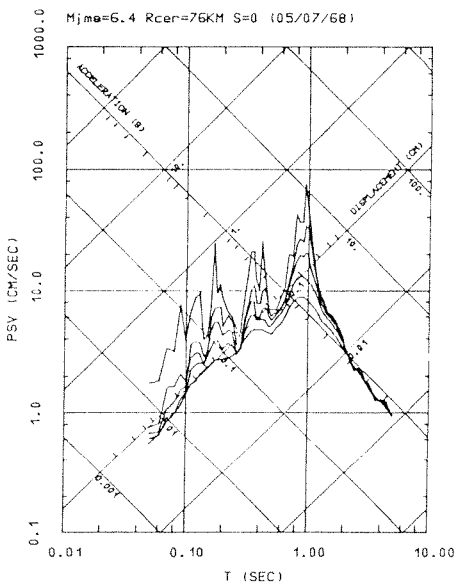
JAP16-EW



JAP17-NS

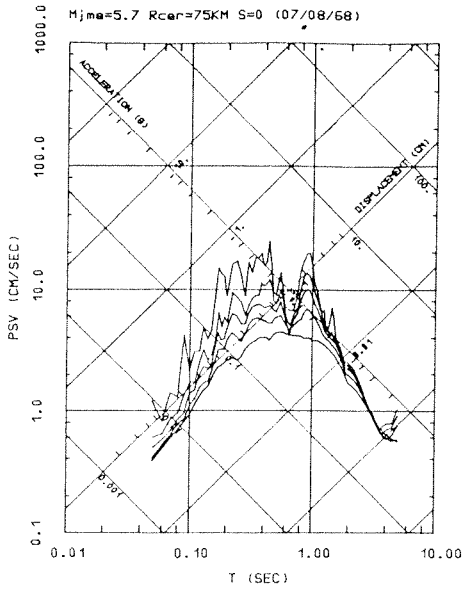


JAP17-EW



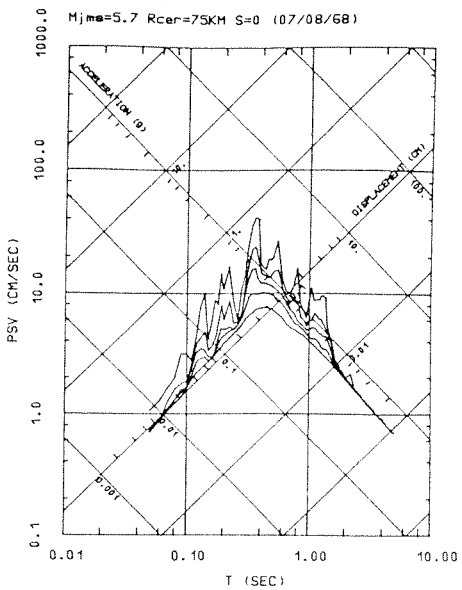
JAP18-NS

Mjma=5.7 Rcer=75KM S=0 (07/08/68)



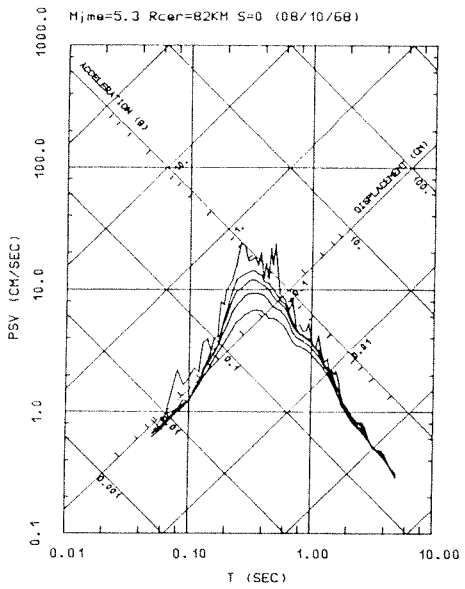
JAP18-EW

Mjma=5.7 Rcer=75KM S=0 (07/08/68)



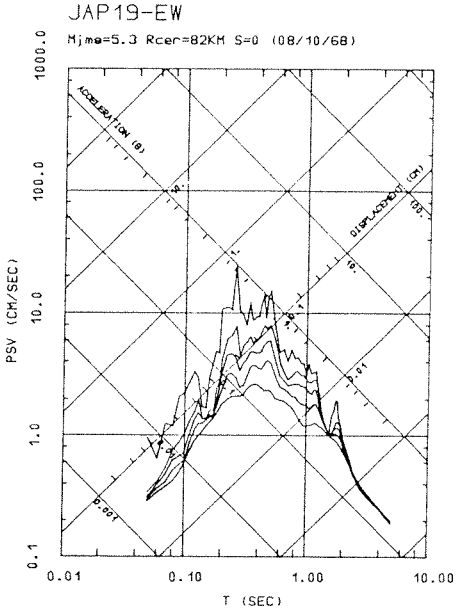
JAP19-NS

Mjma=5.3 Rcer=82KM S=0 (08/10/68)



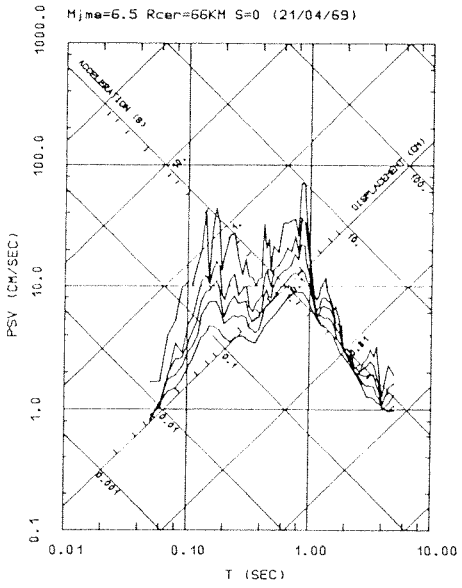
JAP19-EW

Mjma=5.3 Rcer=82KM S=0 (08/10/68)



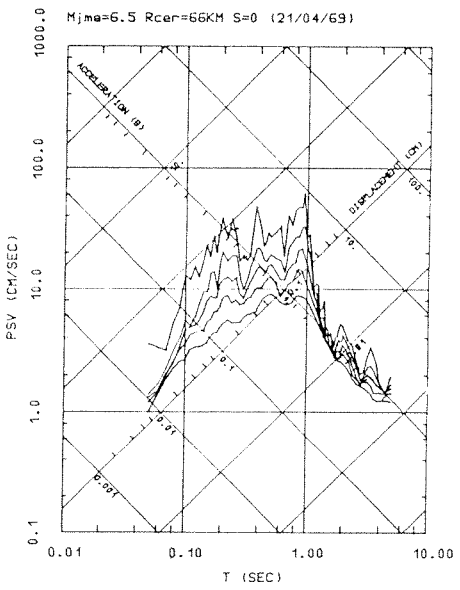
JAP20-NS

Mjma=6.5 Rcer=66KM S=0 (21/04/69)

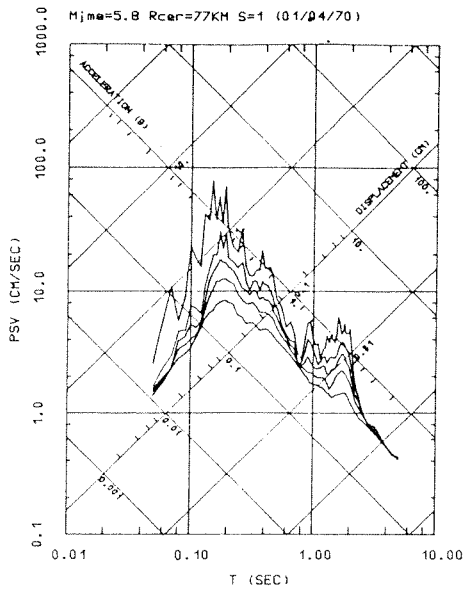


JAP20-EW

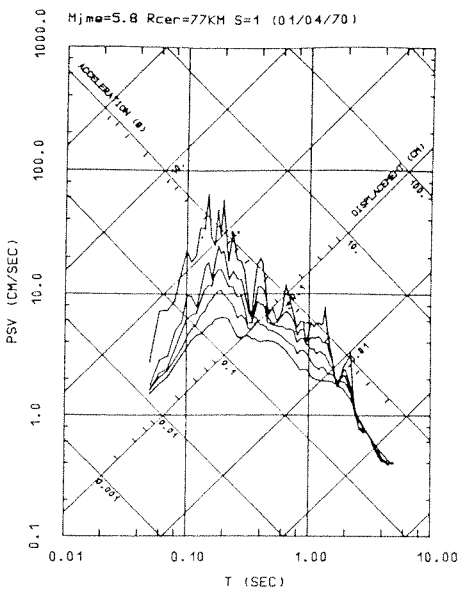
Mjma=6.5 Rcer=66KM S=0 (21/04/69)



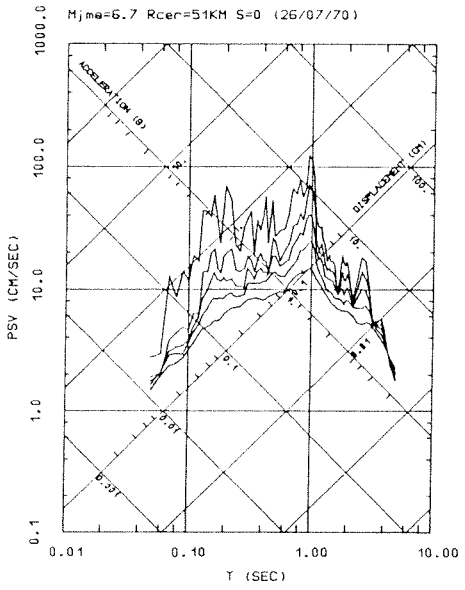
JAP21-NS



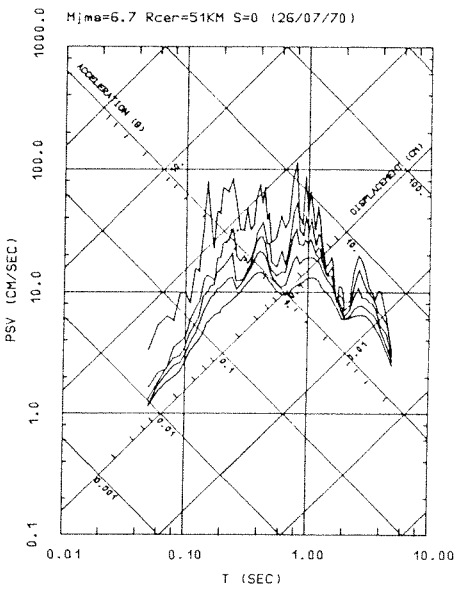
JAP21-EW



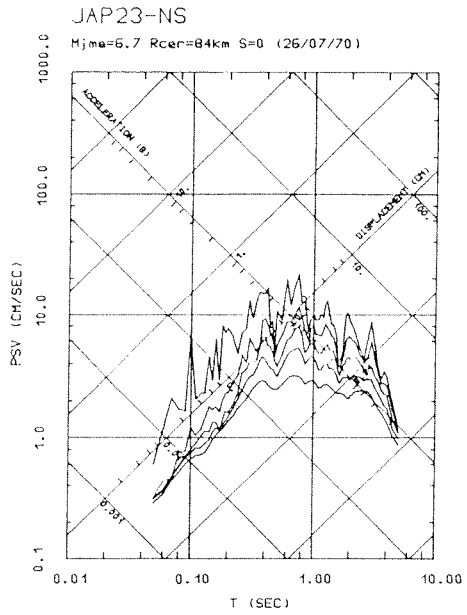
JAP22-NS



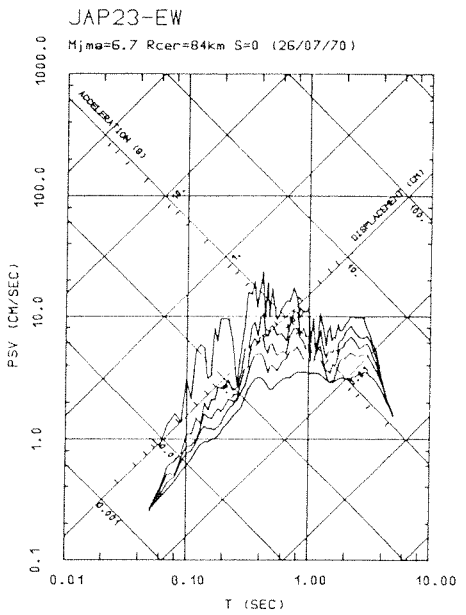
JAP22-EW



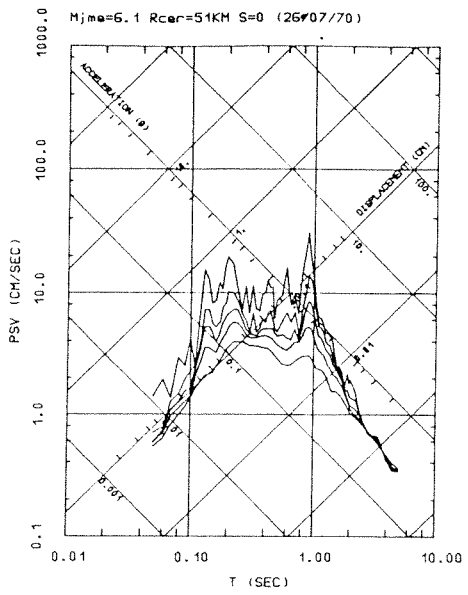
JAP23-NS



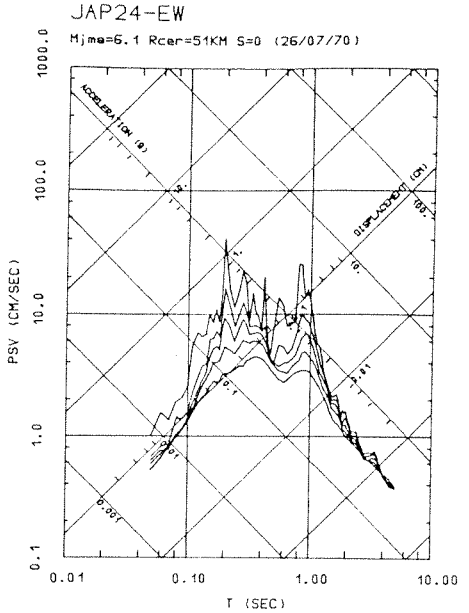
JAP23-EW



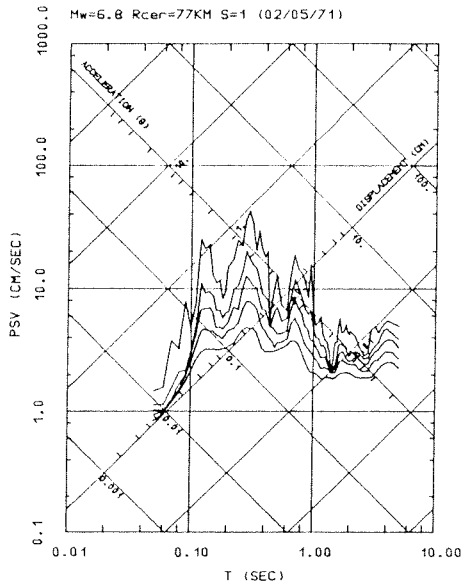
JAP24-NS



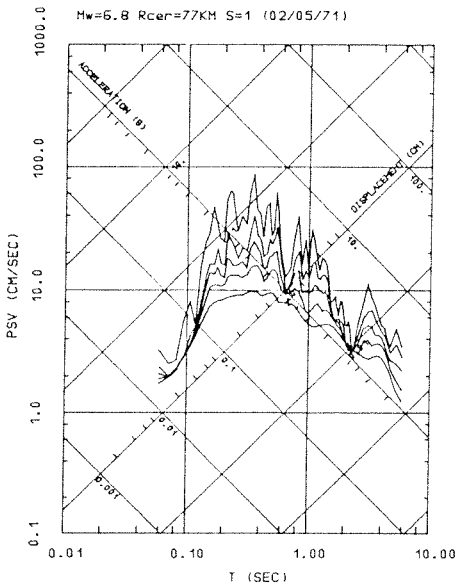
JAP24-EW



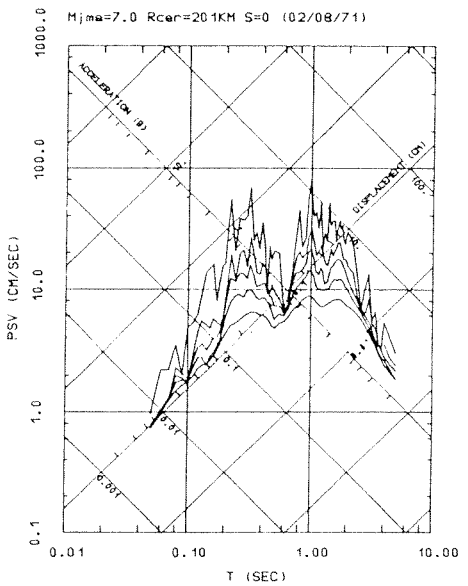
ALA3-N180



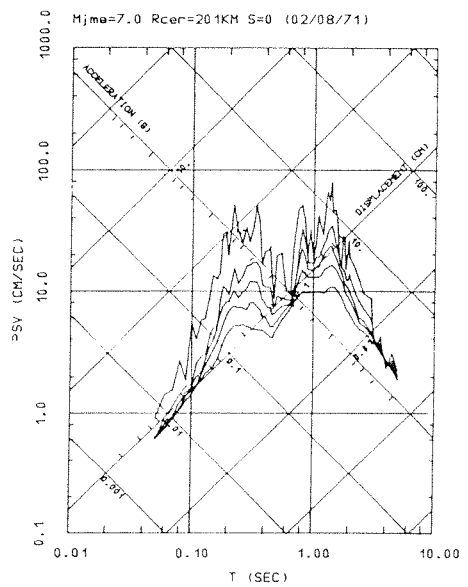
ALA3-N090



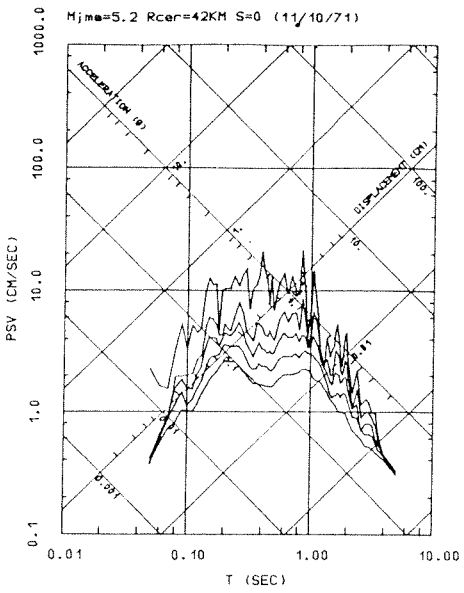
JAP25-NS



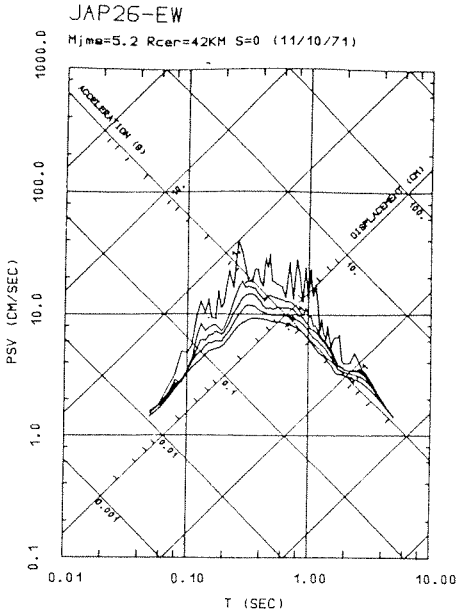
JAP25-EW



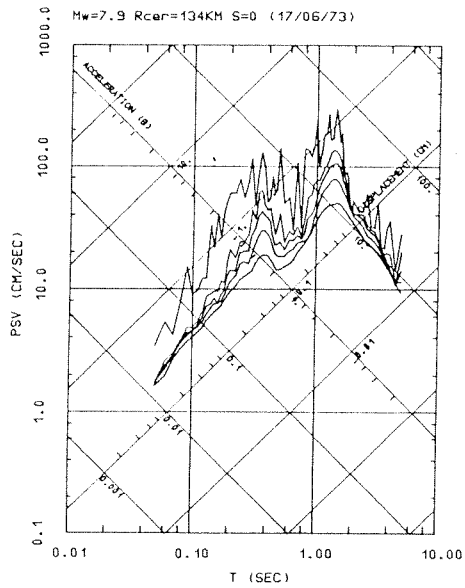
JAP26-NS



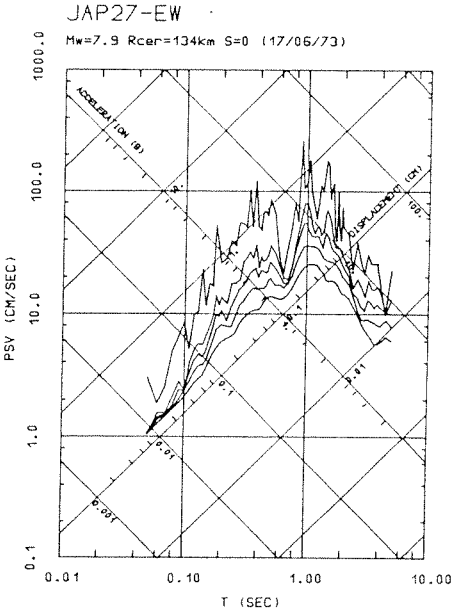
JAP26-EW



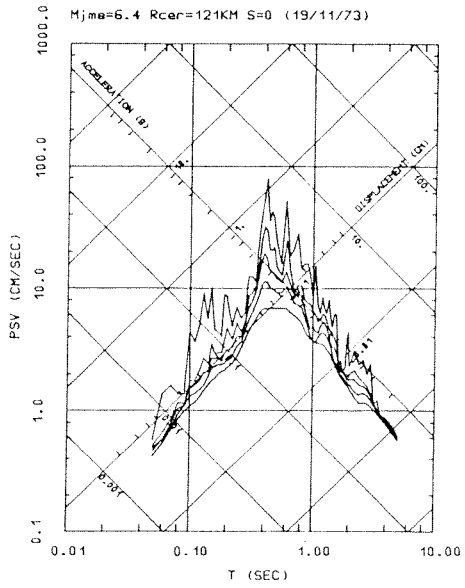
JAP27-NS



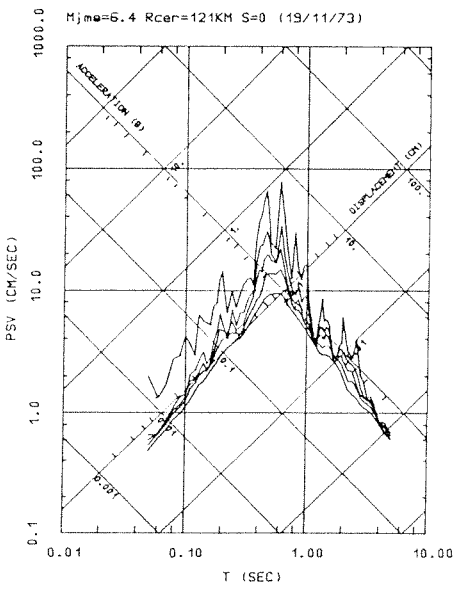
JAP27-EW



JAP28-NS

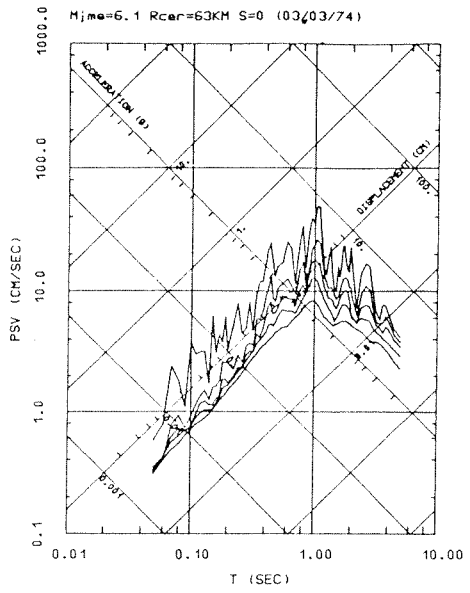


JAP28-EW



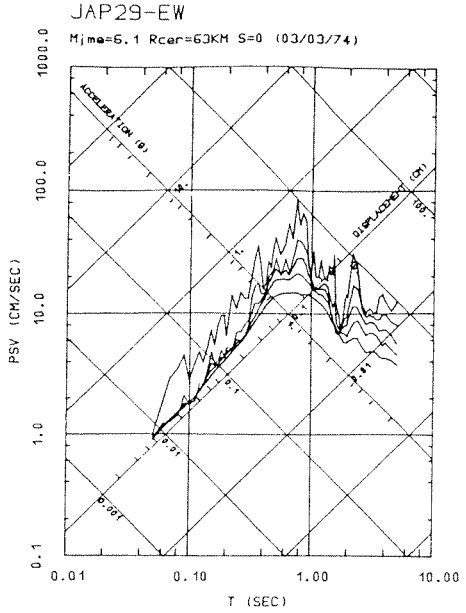
JAP29-NS

Mjma=6.1 Rcer=63KM S=0 (03/03/74)



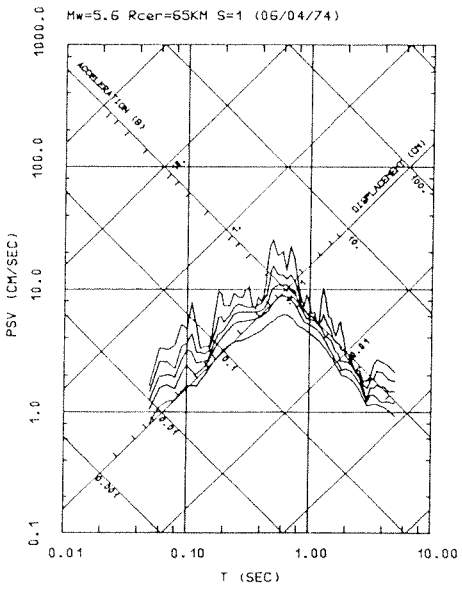
JAP29-EW

Mjma=6.1 Rcer=63KM S=0 (03/03/74)



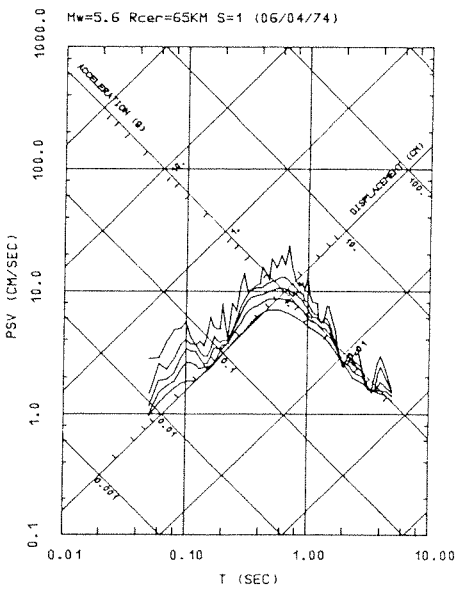
ALA5-N120

Mw=5.6 Rcer=65KM S=1 (06/04/74)



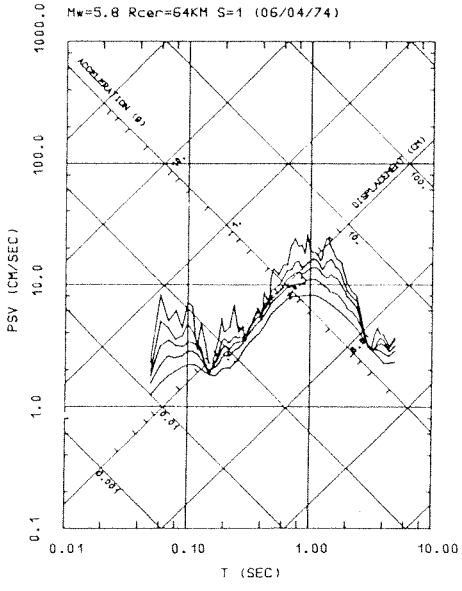
ALA5-N030

Mw=5.6 Rcer=65KM S=1 (06/04/74)



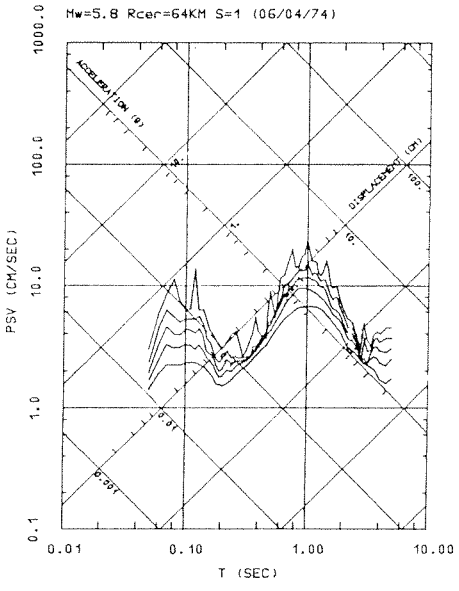
ALA6-N120

Mw=5.8 Rcer=64KM S=1 (06/04/74)

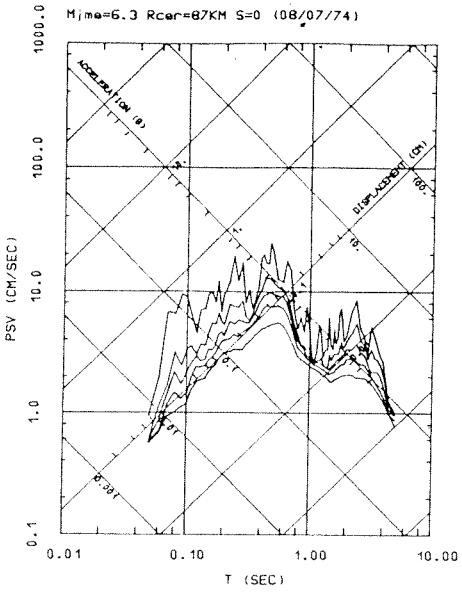


ALA6-N030

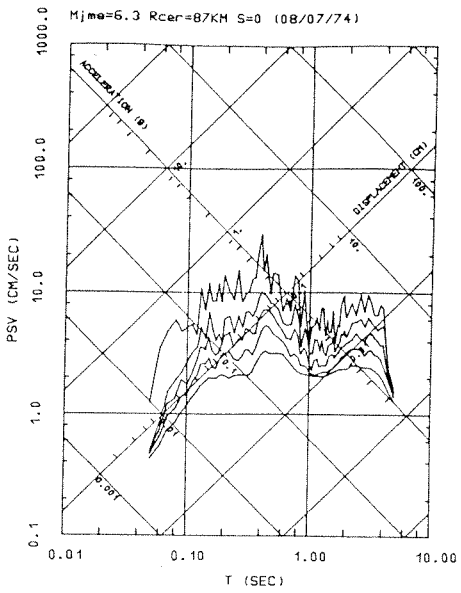
Mw=5.8 Rcer=64KM S=1 (06/04/74)



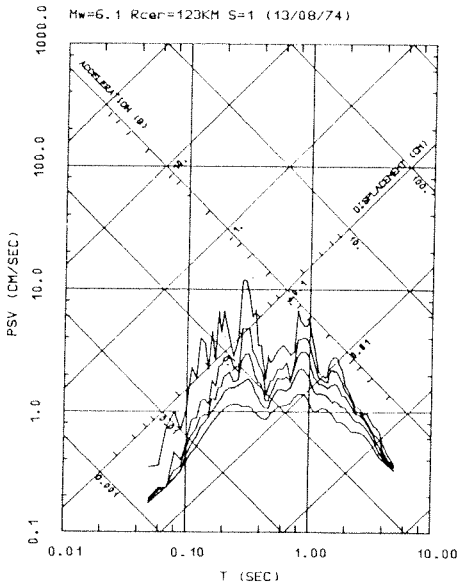
JAP30-NS



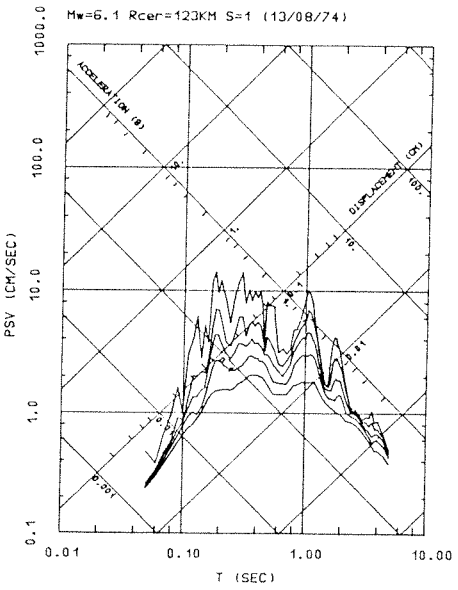
JAP30-EW



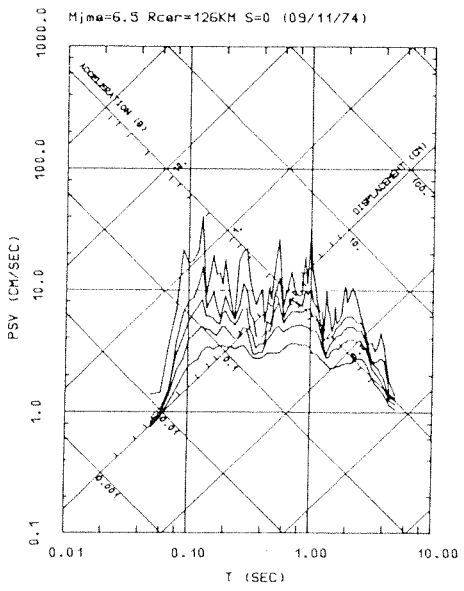
ALA7-N180



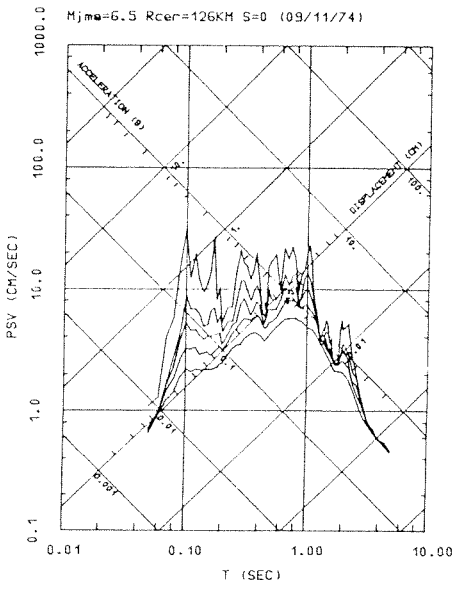
ALA7-N090



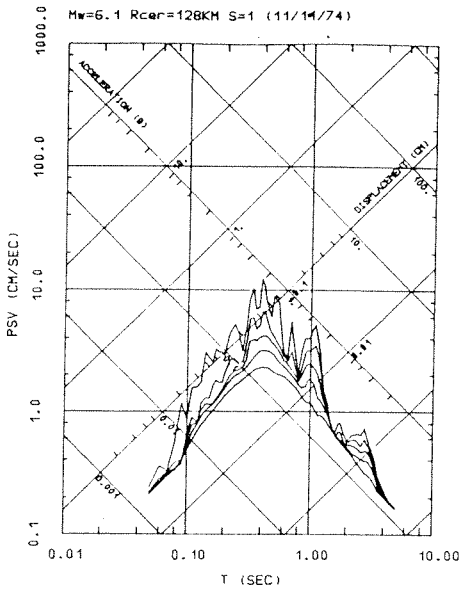
JAP31-NS



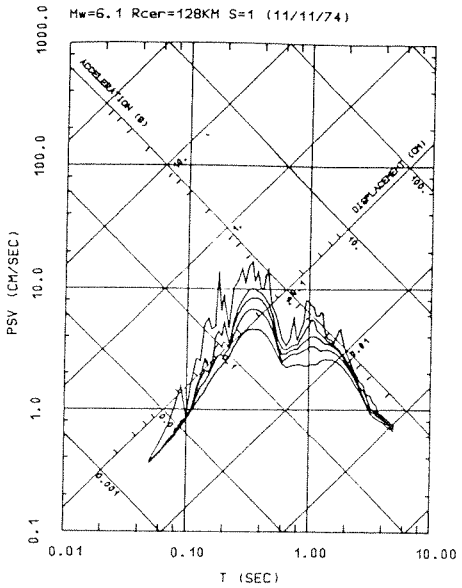
JAP31-EW



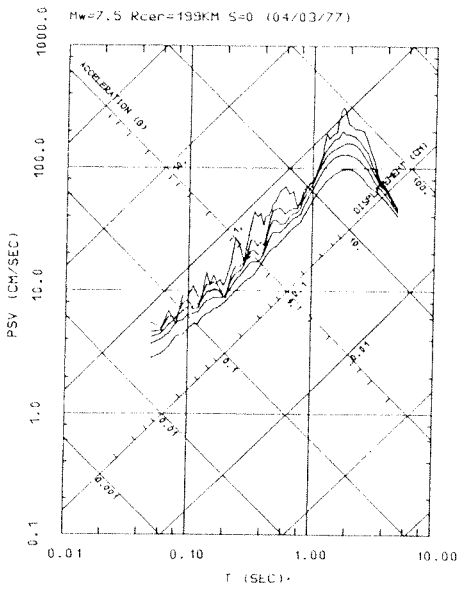
ALA8-N180



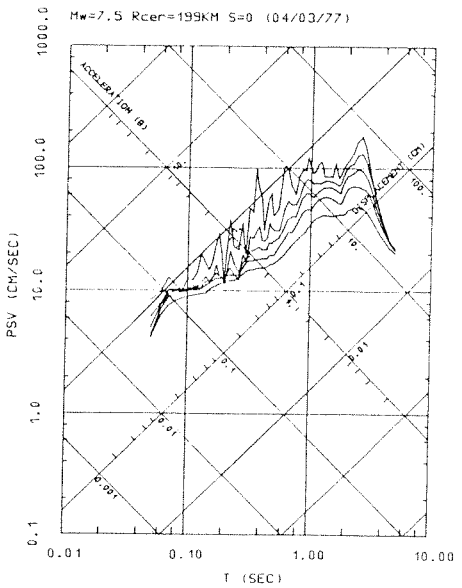
ALA8-N090



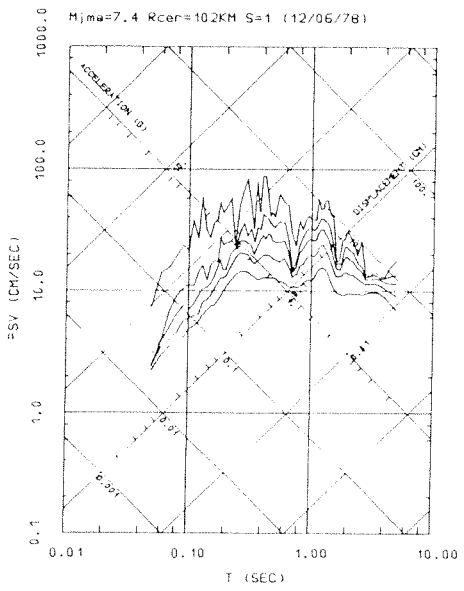
ROM1-NS



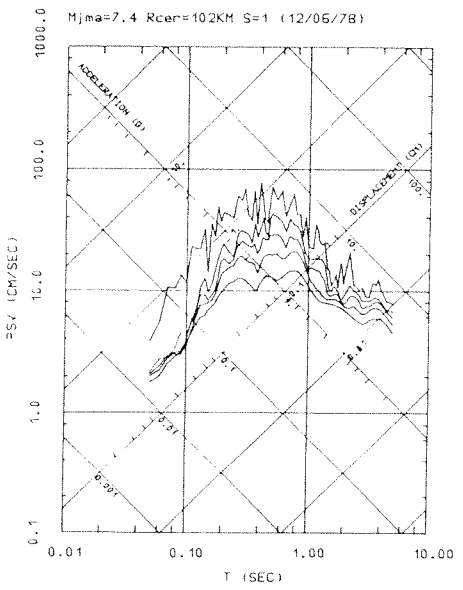
ROM1-EW



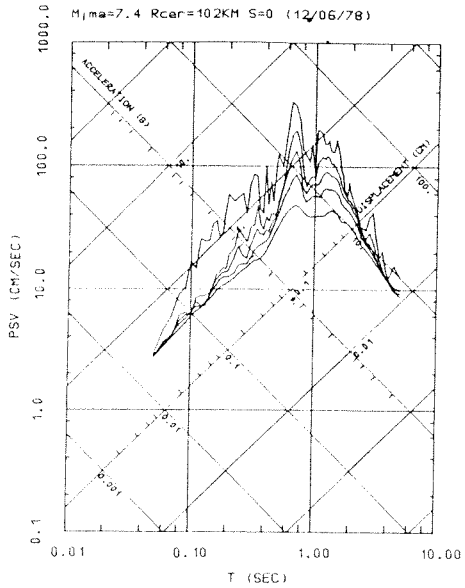
JAP32-EW



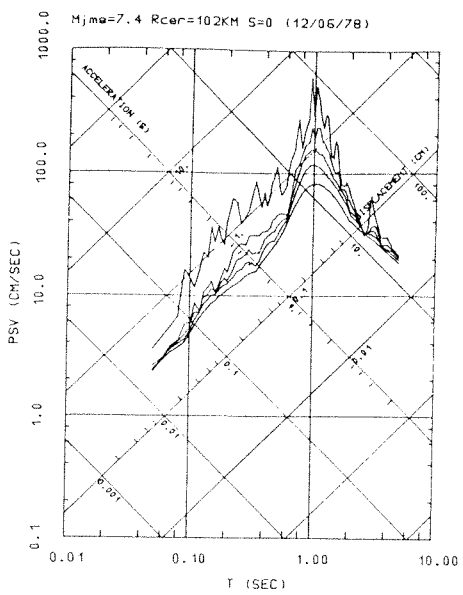
JAP32-NS



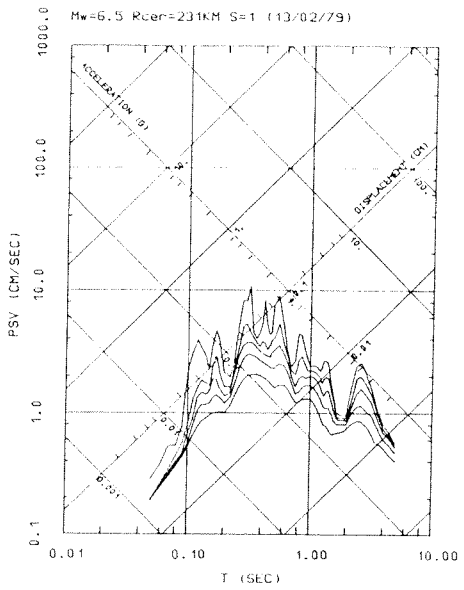
JAP33-NS



JAP33-EW



ALA10-N197



ALA10-N107

