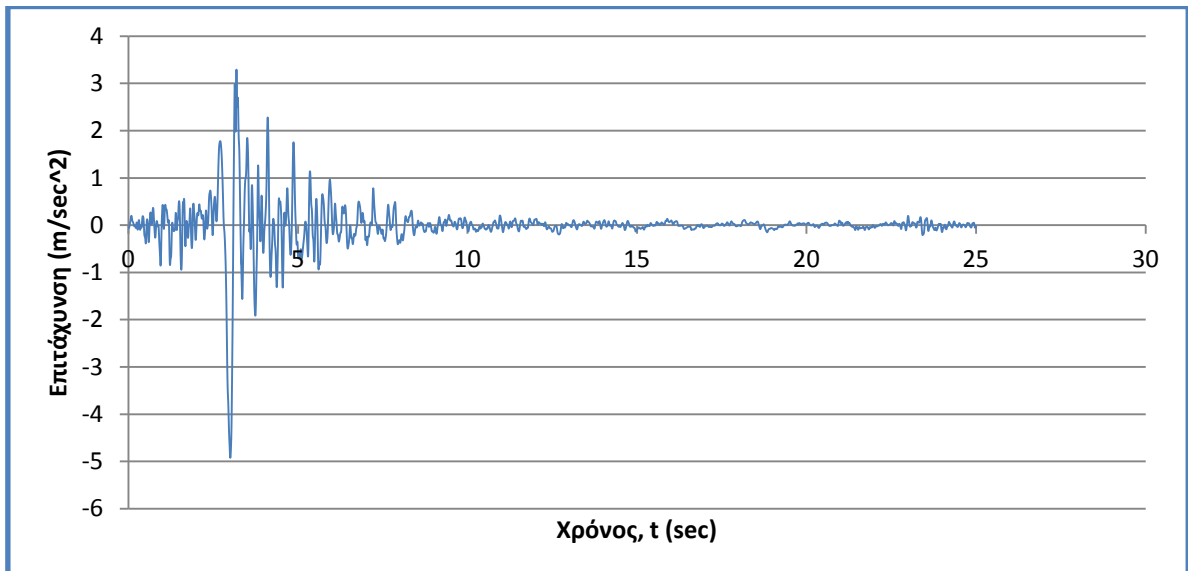


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Η/Υ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΙΣΧΥΡΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ



ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ - ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ:

Δρ. ΔΙΟΝΥΣΙΑ-ΠΗΝΕΛΟΠΗ ΚΟΝΤΟΝΗ
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Αναπλ. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι.

Δρ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΑΡΟΣ
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός
Πανεπ. Υπότροφος Τ.Ε.Ι.

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ:

ΚΑΠΠΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ
ΜΠΙΝΗ ΑΘΗΝΑ

ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΑ

Ευχαριστίες

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει την παρούσα Πτυχιακή Εργασία, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους παρακάτω για την αξιόλογη βοήθειά τους, την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τις εύστοχες υποδείξεις τους:

Την Εισηγήτρια και Επιβλέπουσα της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας Δρ. Διονυσία – Πηνελόπη Κοντονή, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό και Αν. Καθηγήτρια Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, τη συνεχή καθοδήγηση και την επιμονή της.

Τον Δρ. Δημήτριο Μπάρο, Δρ. Πολιτικό Μηχανικό και Πανεπιστημιακό Υπότροφο Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, για την επιμονή του, την πολύτιμη βοήθεια, και τις συμβουλές που μας προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Πτυχιακής Εργασίας μας.

ΠΑΤΡΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2015

*Καπή Λαμπρινή
Μπίνη Αθηνά
Παγουλάτου Διονυσία*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πλαίσια της παρούσας εργασία αναπτύχθηκε πρόγραμμα Η/Υ για την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης κίνησης μονοβάθμιων συστημάτων σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN. Το πρόγραμμα αυτό έχει στόχο να υπολογίζει φάσματα απόκρισης από μία σειρά καταγεγραμμένων επιταχυνσιογραφημάτων του Ελλαδικού χώρου. Βασική επιδίωξη του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία, είναι να παρέχει άμεσα, εύκολα και με ακρίβεια σημαντικές πληροφορίες για τα μεγέθη απόκρισης (μετατόπισης, ταχύτητας, επιτάχυνσης) του υπό μελέτη συστήματος, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να παρασταθούν γραφικά.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από το φαινόμενο του σεισμού στην Ελλάδα και την ευρύτερη έννοια του. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του σεισμού και οι αιτίες της έντονης σεισμική δραστηριότητας στον Ελλαδικό χώρο. Γίνεται αναδρομή στους μεγαλύτερους σεισμούς της Ελλάδας όπως κατεγράφησαν στις περιοχές που έπληξαν περισσότερο. Επιπλέον εξηγείται η έννοια του επιταχυνσιογραφήματος, τα χαρακτηριστικά και τα είδη των επιταχυνσιογραφημάτων και ο τρόπος και τα μέσα καταγραφής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται πλήρης αναφορά στην έννοια του φάσματος. Συγκεκριμένα σχολιάζονται οι αρχές και οι απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού νέων κτηρίων, τα γενικά χαρακτηριστικά των φασμάτων απόκρισης σεισμικών κινήσεων, τα φάσματα σχεδιασμού και πως προκύπτουν καθώς και τα ανελαστικά φάσματα.


Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής, αναπτύσσεται το πρόγραμμα για τον υπολογισμό των φασμάτων απόκρισης σεισμικών καταγραφών QUAKE. Παρουσιάζονται η ανάλυση και η επεξήγηση του κώδικα καθώς και ενδεικτικά αποτελέσματα της εκτέλεσης του. Τέλος γίνεται ο έλεγχος ορθότητας του προγράμματος για να διαπιστωθεί η καταλληλότητά του για τον υπολογισμό φασμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς των φασμάτων απόκρισης σημαντικών σεισμικών καταγραφών της Ελλάδας. Επίσης πραγματοποιείται μια σύντομη σύγκριση κάθε φάσματος ψευδοεπιτάχυνσης με το αντίστοιχο του Κανονισμού.

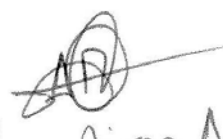
Ολοκληρώνοντας, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος, καθώς επίσης και γενικά συμπεράσματα της εργασίας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστριών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένες σπουδάστριες έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδάστριες:


Καλλι Λαμπρινή
ΚΑΠΠΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ


Μπινη Αθίνα
ΜΠΙΝΗ ΑΘΗΝΑ


Παγουλάτου Διονυσία
ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πλαίσια της παρούσας εργασία αναπτύχθηκε πρόγραμμα Η/Υ για την αριθμητική επίλυση της εξίσωσης κίνησης μονοβάθμιων συστημάτων σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN. Το πρόγραμμα αυτό έχει στόχο να υπολογίζει φάσματα απόκρισης από μία σειρά καταγεγραμμένων επιταχυνσιογραφημάτων του Ελλαδικού χώρου. Βασική επιδίωξη του αλγορίθμου που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία, είναι να παρέχει άμεσα, εύκολα και με ακρίβεια σημαντικές πληροφορίες για τα μεγέθη απόκρισης (μετατόπισης, ταχύτητας, επιτάχυνσης) του υπό μελέτη συστήματος, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να παρασταθούν γραφικά.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναπτύσσεται το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από το φαινόμενο του σεισμού στην Ελλάδα και την ευρύτερη έννοια του. Συγκεκριμένα, αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του σεισμού και οι αιτίες της έντονης σεισμική δραστηριότητας στον Ελλαδικό χώρο. Γίνεται αναδρομή στους μεγαλύτερους σεισμούς της Ελλάδας όπως κατεγράφησαν στις περιοχές που έπληξαν περισσότερο. Επιπλέον εξηγείται η έννοια του επιταχυνσιογραφήματος, τα χαρακτηριστικά και τα είδη των επιταχυνσιογραφημάτων και ο τρόπος και τα μέσα καταγραφής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται πλήρης αναφορά στην έννοια του φάσματος. Συγκεκριμένα σχολιάζονται οι αρχές και οι απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού νέων κτηρίων, τα γενικά χαρακτηριστικά των φασμάτων απόκρισης σεισμικών κινήσεων, τα φάσματα σχεδιασμού και πως προκύπτουν καθώς και τα ανελαστικά φάσματα.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής, αναπτύσσεται το πρόγραμμα για τον υπολογισμό των φασμάτων απόκρισης σεισμικών καταγραφών QUAKE. Παρουσιάζονται η ανάλυση και η επεξήγηση του κώδικα καθώς και ενδεικτικά αποτελέσματα της εκτέλεσης του. Τέλος γίνεται ο έλεγχος ορθότητας του προγράμματος για να διαπιστωθεί η καταλληλότητά του για τον υπολογισμό φασμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς των φασμάτων απόκρισης σημαντικών σεισμικών καταγραφών της Ελλάδας. Επίσης πραγματοποιείται μια σύντομη σύγκριση κάθε φάσματος ψευδοεπιτάχυνσης με το αντίστοιχο του Κανονισμού.

Ολοκληρώνοντας, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος, καθώς επίσης και γενικά συμπεράσματα της εργασίας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστριών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένες σπουδάστριες έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κείμενου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδάστριες:

ΚΑΠΠΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ

ΜΠΙΝΗ ΑΘΗΝΑ

ΠΑΓΟΥΛΑΤΟΥ ΔΙΟΝΥΣΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το φαινόμενο του σεισμού και η σημασία του για τον Ελλαδικό χώρο</u>		6
1.1	Εισαγωγικά στοιχεία – ορισμοί	6
1.2	Γένεση και διάδοση των σεισμών	6
1.3	Είδη και χαρακτηριστικά των σεισμών	8
	1.3.1 Κατηγορίες σεισμικών διεγέρσεων	8
	1.3.2 Χαρακτηριστικά των σεισμικών διεγέρσεων	9
1.4	Σεισμικότητα του Ελληνικού χώρου.....	11
1.5	Οι μεγάλοι σεισμοί της Ελλάδας	12
1.6	Καταγραφή των σεισμών-Επιταχυνσιογράφοι και Επιταχυνσιογραφήματα.....	16
	1.6.1 Εισαγωγικά στοιχεία.....	16
	1.6.2 Αρχές λειτουργίας και είδη επιταχυνσιογράφων.....	17
	1.6.3 Κύρια μειονεκτήματα των επιταχυνσιογράφων.....	24
1.7	Συμπερασματικές παρατηρήσεις.....	25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού-Φάσματα</u>		26
2.1	Εισαγωγικά στοιχεία-Η Ελληνική πραγματικότητα.....	26
2.2	Γενικές αρχές και απαιτήσεις αντισεισμικού σχεδιασμού νέων κτιρίων.....	26
2.3	Γενικά κριτήρια αντισεισμικού σχεδιασμού νέων κτιρίων.....	27
2.4	Φάσματα απόκρισης σεισμικών κινήσεων.....	29
2.5	Φάσματα σχεδιασμού.....	31
2.6	Ανελαστικά φάσματα.....	34
2.7	Φάσματα σχεδιασμού στον Ελληνικό κανονισμό.....	34
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανάπτυξη προγράμματος Η/Υ για τον υπολογισμό των φασμάτων απόκρισης σεισμικών καταγραφών</u>		40
3.1	Στόχος και παραδοχές του προγράμματος.....	40
3.2	Ανάλυση και επεξήγηση του κώδικα που αναπτύχθηκε.....	42
3.3	Οδηγίες χρήσης και ενδεικτικά αποτελέσματα.....	46
3.4	Έλεγχος ορθότητας του προγράμματος.....	49

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Απολογισμός των φασμάτων απόκρισης ισχυρών ελληνικών σεισμών με το πρόγραμμα QUAKE.....</u>	52
4.1 Σεισμός Αγίου.....	52
4.2 Σεισμός Αθήνας.....	55
4.3 Σεισμός Θεσσαλονίκης	58
4.4 Σεισμός Λευκάδας	61
4.5 Σεισμός Κορίνθου.....	64
4.6 Σεισμός Αργοστολίου.....	67
4.7 Σεισμός Κοζάνης.....	70
4.8 Σεισμός Λευκάδας.....	73
4.9 Σεισμός Αγίου Δημητρίου.....	76
4.10 Σεισμός Πύργου.....	79
4.11 Συμπεράσματα υπολογισμών.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα.....	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΚΑΙ Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΟΡΙΣΜΟΙ.

Σεισμός είναι η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά τη διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων από φυσικές αιτίες που βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Είναι το στιγμιαίο αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας διεργασίας συσσώρευσης δυναμικής ενέργεια σε ορισμένες περιοχές της λιθόσφαιρας, οι οποίες καταπονούνται από την πίεση που προκαλεί η μετακίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Πέρα από την παραπάνω, συνήθη φύση και προέλευσή τους, οι σεισμοί είναι πιθανόν να προηγούνται από τις εκρήξεις των ηφαιστείων ή να τις συνοδεύουν.

Υπάρχουν σεισμοί που δε γίνονται αισθητοί, ενώ άλλοι είναι τόσο ισχυροί, που προκαλούν σοβαρές αλλαγές στην επιφάνεια του εδάφους. Σε μερικές περιπτώσεις μάλιστα οι σεισμοί προκαλούν μετακίνηση μεγάλων βράχων και ρωγμές στο έδαφος. Ωστόσο, η επικινδυνότητα του φαινομένου οφείλεται στο ότι δύναται να καταστρέψει τα έργα των ανθρώπων και να προκαλέσει απώλειες ανθρώπινων ζώων. Επιπλέον δυσκολίες προκύπτουν από την τυχηματική φύση του φαινομένου, από το γεγονός δηλαδή ότι δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει κανείς το χρόνο και τον τόπο που θα εκδηλωθεί και, προφανώς, την έντασή του.

Ο πολιτικός μηχανικός οφείλει να έχει καλή γνώση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του σεισμού και των διαδικασιών με τις οποίες μπορεί να «διαχειριστεί» τις επιπτώσεις του στα τεχνικά έργα, ώστε να μπορεί να κατασκευάσει ασφαλείς αντισεισμικές κατασκευές. Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει στόχο να παρουσιάσει μια τέτοια «διαδικασία διαχείρισης» του σεισμικού προβλήματος, μέσω του υπολογισμού με χρήση προγράμματος Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (H/Y) των φασμάτων μετατοπίσεων, ψευδοταχυτήτων και ψευδοεπιταχύνσεων φυσικών κινήσεων. Τέτοιου είδους φάσματα έχουν συμβάλει σημαντικά στην εξέλιξη του σχεδιασμού των κατασκευών, αποτελώντας ένα χρήσιμο εργαλείο για αντισεισμικό υπολογισμό τους.

1.2 ΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

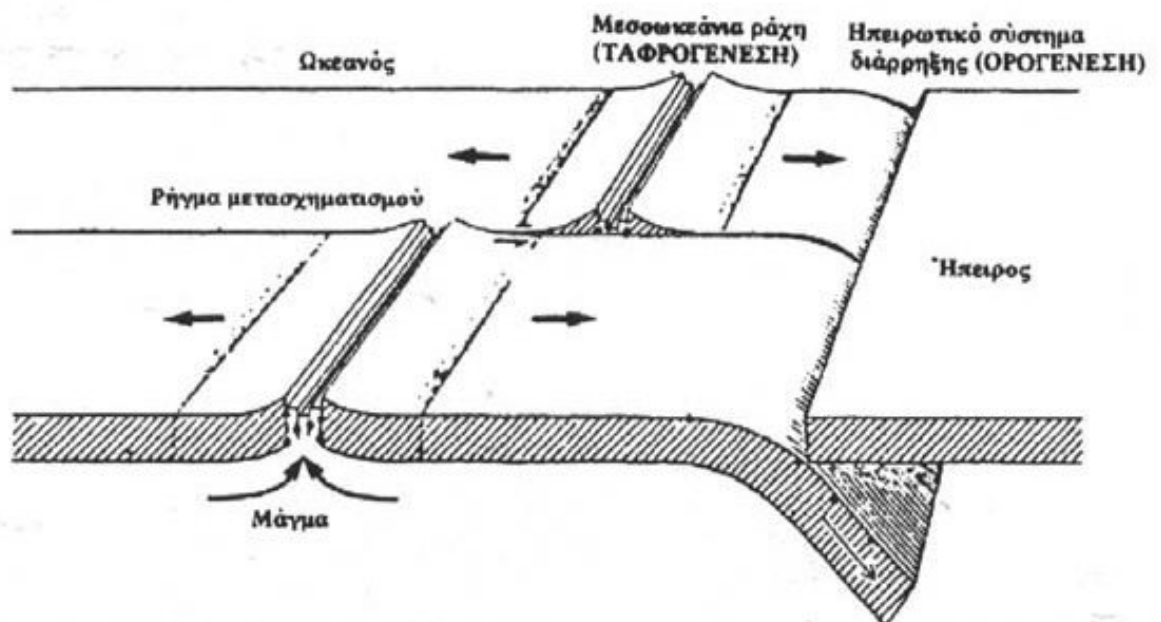
Όπως αναφέρθηκε, το κύριο αίτιο των σεισμών είναι η διάρρηξη των λιθοσφαιρικών πλακών που απαρτίζουν το εξωτερικό στερεό κέλυφος της γης. Η **λιθόσφαιρα** περιλαμβάνει τον **φλοιό** και το εξωτερικό στρώμα του **μανδύα**, τη λεγόμενη **ασθενόσφαιρα**, και το πάχος της κυμαίνεται από ~70 km έως ~100 km. Η ασθενόσφαιρα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τον φλοιό και βρίσκεται σε ημίρρευστη κατάσταση.

Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία, αλλά απαρτίζεται από 15 περίπου πλάκες. Τα όρια μεταξύ των πλακών σχηματίζουν ζώνες με συστήματα διάρρηξης. Πιο συγκεκριμένα, οι λιθοσφαιρικές πλάκες «επιπλέουν» πάνω στην ασθενόσφαιρα και παρουσιάζουν σχετικές μετατοπίσεις της τάξεως των μερικών cm ανά έτος, που οφείλονται σε ρεύματα μεταφοράς

του ημίρρεστου υλικού της ασθενόσφαιρας. Τα ρεύματα αυτά ασκούν εφαπτομενικές πιέσεις στις κάτω επιφάνειες των πλακών προκαλώντας είτε τη σύγκλισή τους, είτε την απόκλισή τους.

Η γένεση ενός σεισμού ακολουθεί τα εξής βήματα [1]: (α) σύγκρουση των τεκτονικών πλακών λόγω της μετακίνησής τους όπως περιγράφηκε παραπάνω, (β) τριβές και εμπλοκή των πετρωμάτων σε ορισμένα σημεία, (γ) σταδιακή παραμόρφωση των πετρωμάτων και συσσώρευση δυναμικής ενέργειας, (δ) υπέρβαση της αντοχής των πετρωμάτων, (ε) θραύση πετρωμάτων στα σημεία με ρωγμές και δημιουργία σεισμικού ρήγματος, (στ) μετατροπή της δυναμικής ενέργειας σε κινητική, και (ζ) εκπομπή, λόγω της παρατηρούμενης θραύσης, ελαστικών (ή σεισμικών) κυμάτων.

Στο Σχήμα 2.1 απεικονίζεται απλοποιητικά ο μηχανισμός εδαφικής διάρρηξης λόγω σύγκρουσης δύο πλακών.



Σχήμα 1.1 Απλοποιημένο μοντέλο της ζώνης διάρρηξης [2]

Τα **σεισμικά κύματα** που μεταφέρουν την ενέργεια από το σεισμικό ρήγμα μέχρι την επιφάνεια του εδάφους είναι αρχικά χωρικού τύπου. Κατά τη διάδοσή τους εσωτερικά στη γη διακρίνονται σε **διαμήκη**, που δημιουργούν πίεση κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης, και **εγκάρσια**, που παρουσιάζουν ταλαντώσεις στο επίπεδο που είναι κάθετο προς τη διεύθυνση διάδοσης. Οι ταχύτητες μετάδοσης των χωρικών κυμάτων μέσω των υπερκείμενων πετρωμάτων είναι της τάξεως των ~5-13 km/sec για τα επιμήκη και των ~3-6 km/sec για τα εγκάρσια κύματα [3].

Καθώς τα χωρικά κύματα πλησιάζουν την επιφάνεια της γης, ανακλώνται και διαθλώνται μέσω των μαλακών εδαφικών στρωμάτων, με αποτέλεσμα οι κυρίαρχες επιφανειακές δονήσεις να οφείλονται σε οριζοντίως πολωμένα εγκάρσια κύματα. Ταυτόχρονα, δημιουργείται και μία σωρεία επιφανειακών κυμάτων, όπως τα κύματα Rayleigh λόγω της ελεύθερης επιφάνειας, και τα κύματα του Love, όταν έχουμε ένα

βραχώδες υπόβαθρο με υπερκείμενο μαλακό εδαφικό στρώμα [3]. Οι ταχύτητες διάδοσης όλων αυτών των σεισμικών κυμάτων μέσα από τα εδαφικά στρώματα των τελευταίων 100-300 m πριν την επιφάνεια της γης είναι πλέον χαμηλές, δηλαδή της τάξεως των ~0,2-1,0 km/sec [1]

Από την ενέργεια που «απελευθερώνεται» κατά τη διάρρηξη εξαρτάται και η μετρούμενη ισχύς ενός σεισμού. Η ισχύς ενός σεισμού αποτυπώνεται στο μέγεθος M της κλίμακας RICHTER που επινοήθηκε το 1934 (Bullen and Bolt, 1985). Το μέγεθος αυτό ουσιαστικά αποτελεί μέτρο της σεισμικής ενέργειας που εκλύεται από την εστία του σεισμού και ακολούθως διαχέεται μέσα από τη γη με τη μορφή σεισμικών κυμάτων.

1.3 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ.

1.3.1 Κατηγορίες σεισμικών διεγέρσεων.

Ανάλογα με τα αίτια που τους προκαλούν, οι σεισμοί διακρίνονται στα εξής είδη [4]:

(α) Τεκτονικοί σεισμοί:

Οι σεισμοί στην πλειονότητά τους προέρχονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, από καταπόνηση της λιθόσφαιρας και χαρακτηρίζονται ως τεκτονικοί. Το 90% περίπου των επιφανειακών και το σύνολο των πλουτώνιων σεισμών είναι τεκτονικοί, και λόγω της μεγάλης συχνότητάς τους αυτοί ουσιαστικά αποτελούν το μεγαλύτερο σεισμικό κίνδυνο.

(β) Ηφαιστιογενείς σεισμοί:

Οι σεισμοί που σχετίζονται με εκρήξεις ηφαιστειών είναι οι ηφαιστιογενείς. Αυτοί είναι επιφανειακοί που είτε προηγούνται είτε συνοδεύουν ηφαιστειακές εκρήξεις, και αποτελούν το 7% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών.

(γ) Σεισμοί εγκατακριμνήσεων:

Κατακριμνησιγενείς είναι οι σεισμοί που πραγματοποιούνται από την πτώση μεγάλων πετρωμάτων πάνω στη γη λόγω βαρύτητας. Τα πετρώματα αυτά είναι συνήθως οροφές διαφόρων σπηλαίων που καταρρέουν και τους προκαλούν. Αποτελούν το 3% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών. Τα μεγέθη τους είναι μικρά και συνήθως εκδηλώνονται σε μη ενεργές περιοχές της γης (μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών).

(δ) Σεισμοί από υδροηλεκτρικά φράγματα:

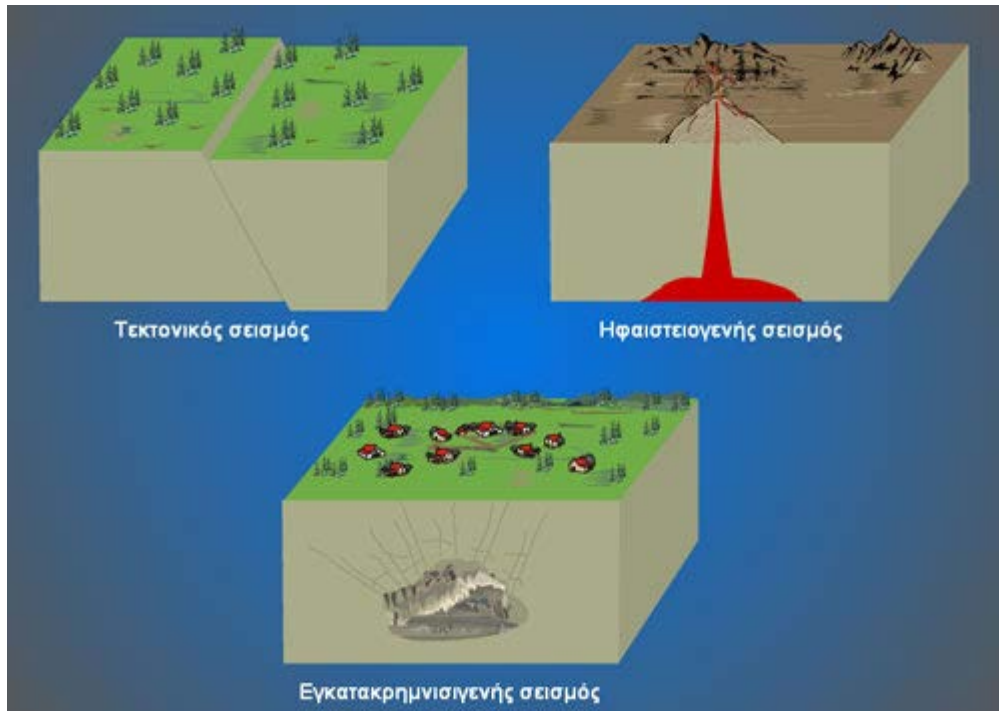
Στην αρχή της πλήρωσης μιας τεχνητής λίμνης κάποιου φράγματος μπορεί το υδάτινο φορτίο να προκαλέσει θραύσεις πετρωμάτων και αντίστοιχο σεισμό.

(ε) Τεχνητοί σεισμοί:

Οι τεχνητοί σεισμοί δημιουργούνται από εκρήξεις υψηλής έντασης, π.χ. από υπέργειες και υπόγειες εκρήξεις ατομικών βομβών.

Από τα προαναφερθέντα είδη σεισμών και την περιγραφή τους είναι σαφές ότι πιο σημαντικά θεωρούνται τα τρία πρώτα, στα οποία οφείλεται και η πλειονότητα των ισχυρών σεισμικών κινήσεων που έχουν καταγραφεί και καταγράφονται παγκοσμίως. Τα

τρία αυτά είδη σεισμών και τα γενεσιουργά αίτιά τους παρουσιάζονται απλοποιημένα στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Τα τρία βασικά είδη σεισμών [4]

1.3.2 Χαρακτηριστικά των σεισμικών διεγέρσεων.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα κάθε σεισμού, όπως προκύπτουν από τη βιβλιογραφία [5] είναι τα ακόλουθα :

(α) Επιφάνεια διάρρηξης ή εστιακή επιφάνεια:

Στους τεκτονικούς σεισμούς η διάρρηξη γίνεται στο φλοιό της γης κατά μήκος μιας επιφάνειας που ονομάζεται επιφάνεια διάρρηξης ή εστιακή επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή θεωρείται από σεισμολόγους προσεγγιστικά επίπεδη. Η εστιακή επιφάνεια μπορεί να έχει οποιαδήποτε θέση (λοξή, κατακόρυφη, οριζόντια) και το μήκος της μπορεί να είναι από λίγα μέτρα έως και πολλά χιλιόμετρα. Η υψομετρική της θέση, εντός του φλοιού, είναι συνήθως μεταξύ 5 και 40 km.

(β)Εστία ή υπόκεντρο:

Το σημείο του εσωτερικού της γης, στο οποίο εκδηλώνεται η θραύση των πετρωμάτων του φλοιού κατά μήκος ενός ρήγματος.

(γ)Εστιακός μηχανισμός:

Σαν εστιακός μηχανισμός χαρακτηρίζεται ο τεκτονικός μηχανισμός που ενεργοποιείται στην εστία.

(δ)Ταχύτητα διάρρηξης:

Εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο επεκτείνεται η θραύση στους εδαφικούς σχηματισμούς. Στα σκληρά πετρώματα του φλοιού της γης η διάρρηξη αρχίζει οπουδήποτε και διαδίδεται με ταχύτητα περίπου 3 km/sec.

(ε) Ενέργεια διάρρηξης

Ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη θραύση των πετρωμάτων που δημιουργεί και στην οποία οφείλεται το σεισμικό γεγονός. Η ενέργεια που αποδεσμεύεται λόγω της διάρρηξης «διαχωρίζεται» σε δύο μέρη:

- Απελευθέρωση επί τόπου μέσω διαδικασιών καταστροφής, θερμότητας, τριβής κλπ.
- Ακτινοβολία από την εστιακή επιφάνεια με τη μορφή ελαστικών κυμάτων=σεισμικών κυμάτων.

(στ) Κατάσταση μετά τη θραύση:

Αναφέρεται στη νέα κατάσταση ισορροπίας που δημιουργείται στη ζώνη διάρρηξης και στη ευρύτερη περιοχή μετά τη θραύση που προκάλεσε το σεισμό. Συνήθως ακολουθεί μια αργή ανακατανομή των τάσεων και των αντίστοιχων παραμορφώσεων ώσπου τελικά μετά από πάρα πολλά χρόνια στη ζώνη αυτή να δημιουργηθεί μια νέα θραύση άρα και ένας νέος σεισμός.

(ζ) Επίκεντρο:

Το σημείο της επιφάνειας της γης, το οποίο βρίσκεται ακριβώς πάνω από την εστία σεισμού, δηλαδή η προβολή της εστία στην επιφάνεια της γης.

(η) Εστιακό βάθος:

Η απόσταση από της εστίας από την επιφάνεια της γης, δηλαδή η απόσταση επικέντρου - υποκέντρου.

(θ) Υποκεντρική απόσταση

Υποκεντρική απόσταση είναι η απόσταση μεταξύ της εστίας και της θέσης ενός παρατηρητή, ενός δομικού έργου ή, συνήθως, μιας θέσης καταγραφής του σεισμικού γεγονότος.

(ι) Επικεντρική Απόσταση

Επικεντρική απόσταση είναι η απόσταση μεταξύ επικέντρου και της θέσης ενός παρατηρητή, ενός δομικού έργου ή μιας θέσης καταγραφής του σεισμικού γεγονότος.

(ια) Περιοχή δόνησης

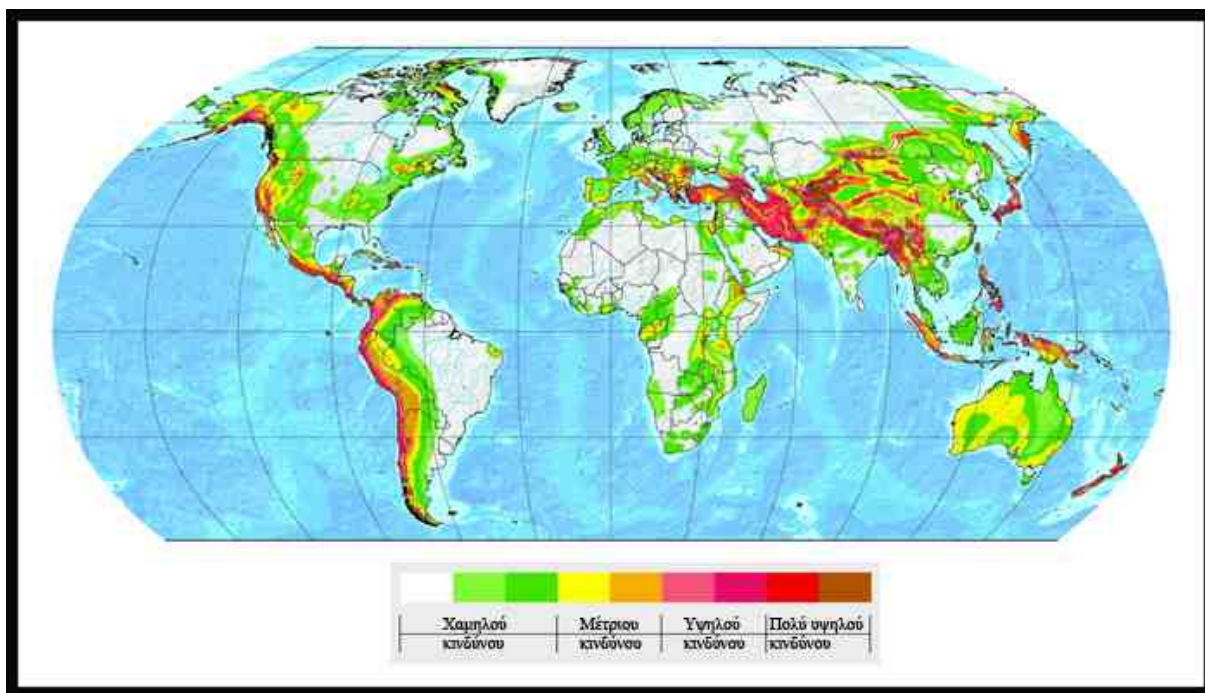
Περιοχή δόνησης είναι η περιοχή στην οποία οι κινήσεις του εδάφους γίνονται αισθητές από τους ανθρώπους χωρίς όργανα μέτρησης.

(ιβ) Ισόσειστες

Είναι καμπύλες που ενώνουν σε χάρτη τις περιοχές στις οποίες η ένταση του σεισμού όπως εκτιμήθηκε σύμφωνα με τις σχετικές κλίμακες είναι ίση.

1.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ.

Η **σεισμικότητα** σε επίπεδο και σε ετήσια βάση συνοψίζεται σε χάρτες όπως αυτός του Σχήματος 1.3. Από τη χρωματική διάκριση είναι εμφανές ότι η Ελλάδα βρίσκεται σε μία περιοχή με ιδιαίτερα έντονη σεισμική δραστηριότητα.



Σχήμα 1.3 Παγκόσμιος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας [6]

Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική, γι' αυτό και είναι χώρος μεγάλης σεισμικότητας (η σεισμικότητα ενός τόπου καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των σεισμών και τα μεγέθη τους). Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα, από άποψη σεισμικότητας, κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και την Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, μετά την Ιαπωνία, Νέες Εβρίδες, Περού, νησιά Σολομώντα και Χιλή [7]

Βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου είναι το Ελληνικό τόξο. Το Ελληνικό τόξο (τόξο του Αιγαίου) αποτελεί το όριο επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας – τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο-, και της Αφρικανικής πλάκας – τμήμα της οποίας είναι η λιθόσφαιρα της Ανατολικής Μεσογείου. Οι δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν στην περιοχή αυτή με σχετική ταχύτητα ~2,5 εκατοστά το χρόνο, με συνέπεια την καταβύθιση της οκεάνιας πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου.

Το τόξο που δημιουργείται στην περίπτωση αυτή αποτελείται από την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο (Σχήμα 1.4). Η τάφρος δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται, επί της ουσίας, για ένα σύστημα τάφρων, μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες από τη Ρόδο έως και

την Κεφαλονιά (γνωστή και ως ελληνική διάυλος). Το μέγιστο βάθος της εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος (βάθος περίπου 4500 m). Αυτό είναι το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου. Το νησιωτικό τόξο αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών όπως η Ρόδος, η Κρήτη, τα Κύθηρα και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πτύχωσης.



Σχήμα 1.4 Τεκτονική διαμόρφωση του Ελληνικού χώρου [7]

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.4, οι περιοχές οι οποίες έχουν μάθει να ζουν με τους σεισμούς είναι το Νότιο Ιόνιο και η Πελοπόννησος, ενώ, σύμφωνα με τα μέχρι τώρα στοιχεία, δεν έχουν σημειωθεί μεγάλες καταστροφές σε σχέση με αντίστοιχης κλίμακας σεισμούς σε άλλες χώρες.

1.5 ΟΙ ΜΕΓΑΛΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ.

Μία από τις μεγαλύτερες σεισμικές δονήσεις στην Ελλάδα τα τελευταία εκατό χρόνια, με βάση το μέγεθος M , είναι ο σεισμός μεγέθους 7,2R που έγινε στις 12 Αυγούστου 1953 στη Κεφαλονιά. Η χρονιά αυτή έφερε μεγάλα σεισμικά πλήγματα στο Ιόνιο πέλαγος. Στις 7 Αυγούστου έγινε η πρώτη δόνηση αισθητή σε Κεφαλληνία και Ιθάκη (Εικ. 1.1). Στις 10 Αυγούστου γίνεται επιπλέον αισθητός ο σεισμός και στη Ζάκυνθο. Οι σεισμικές δονήσεις συνεχίστηκαν. Στις 12 Αυγούστου στις 09:29 έγινε ένας σεισμός στην περιοχή και μετά από λίγη ώρα στις 11:20 άλλος ένας. Αυτοί οι δύο κατέστρεψαν εξολοκλήρου το Αργοστόλι και το Ληξούρι. Ο απολογισμός ήταν 476 νεκροί, 2412 τραυματίες και τεράστιες υλικές καταστροφές. Σε σύνολο 33000 σπιτιών που υπήρχαν

τότε στα νησιά αυτά, υπήρξαν 27659 καταρρεύσεις, σοβαρές υλικές ζημιές σε 2780 σπίτια και ελαφρές σε 2394 σπίτια [8].

Με βάση την εκδήλωση του φαινομένου κατά χρονολογική σειρά οι ισχυρότεροι σεισμοί ήταν αυτός στον Άγιο Ευστράτιο μεγέθους 7,1R (19-2-1968), με 20 νεκρούς και την κατάρρευση 175 κτιρίων, ο σεισμός στο χωριό Στίβο Θεσσαλονίκης 6,5R (20-6-1978) με 45 νεκρούς και 9.480 κτίρια της ευρύτερης περιοχής με σοβαρές βλάβες (Εικ. 1.2), ο σεισμός στον Αλμυρό του Βόλου 6,5R (9-7-1980), χωρίς νεκρούς αλλά με 5333 κτίρια κατεστραμμένα σε Μαγνησία, Φθιώτιδα και Θεσσαλία. Έναν χρόνο μετά έχουμε το σεισμό των 6,7R στις Αλκωνίδες (24-2-1981) με 20 νεκρούς, 500 τραυματίες και 22554 κτίρια με μεγάλες ζημιές στις περιοχές της Κορινθίας, Βοιωτίας, Αττικής, Φωκίδας και Εύβοιας. Στις 13-6-1986 εκδηλώνεται ο πολύκροτος σεισμός της Καλαμάτας (6,0R) με 20 νεκρούς, δεκάδες τραυματίες, χιλιάδες αστέγους και πάνω από 9000 κτίρια να έχουν κριθεί κατεδαφιστέα. Μόλις το 28% των κτιρίων της Καλαμάτας έμεινε ανέπαφο (www.4news.gr)

Είκοσι έξι νεκρούς και μεγάλες ζημιές άφησε και ο σεισμός στο Αίγιο (6,1 Ρίχτερ) στις 15-6-1995 ενώ ο σεισμός με τους περισσότερους τραυματίες τα τελευταία χρόνια (1.600) ήταν αυτός της Πάρνηθας στις 7-9-1999. Ο απολογισμός του σεισμού αυτού (μεγέθους 5.9R) που συγκλόνισε την πρωτεύουσα ήταν 143 νεκροί, εκτεταμένες ζημιές ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι 85 άτομα απεγκλωβίστηκαν ζωντανά από τα συντρίμια.



Εικόνα 1.1 Η ολοσχερώς κατεστραμμένη εκκλησία της Παναγίας της Φανερωμένης στη Ζάκυνθο από το φοβερό σεισμό της Κεφαλονιάς το 1953



Εικόνα 1.2 Τα συντρίμμια της οικοδομής που κατέρρευσε στην πλατεία Ιπποδρομίου στη Θεσσαλονίκη από το μεγάλο σεισμό 6,5R το 1978 [9]

Μπορεί ο σεισμός στην Κεφαλονιά να ήταν ο πιο τραγικός, αλλά όσον αφορά το μέγεθος, ο μοναδικός σεισμός που έχει φτάσει τα 8R και έχει καταχωρηθεί ως ο πιο ισχυρός, από αυτή τη σκοπιά, σεισμός στη σύγχρονη Ελλάδα, είναι αυτός της Ρόδου, το 1926. Ο σεισμός κατέστρεψε εντελώς τον Αρχάγγελο της Ρόδου επηρέασε σημαντικά το Ηράκλειο, τη Μικρά Ασία, την Αλεξάνδρεια, το Κάιρο ενώ έγινε αισθητός στην Ανατολική Ιταλία, Σκόπια, Κωνσταντινούπολη, Κύπρο κ.α. Συνολικά κατέρρευσαν 3200 σπίτια ενώ 550 έπαθαν ανεπανόρθωτες βλάβες. Το αρχαιολογικό μουσείο της Ρόδου έπαθε σημαντικές ζημιές. Οι τραυματίες δεν υπολογίζονται και οι νεκροί ήταν 12 [9]

Ακόμα ένας ισχυρός σεισμός σημειώθηκε στη Χαλκιδική το 1932, όπου καταμετρήθηκαν 669 τραυματίες, ενώ οι νεκροί ξεπέρασαν τους 160. Οι δύο μετασεισμοί που ακολούθησαν μετά τον κύριο των 7,0R, είχαν ως αποτέλεσμα την καταστροφή του Στρατωνίου και της Ιερισσού, ενώ συνολικά 4106 σπίτια κατέρρευσαν και άλλα 3218 υπέστησαν σοβαρότατες βλάβες. Εκτεταμένες ήταν και οι καταστροφές στο Άγιον Όρος, όπου μόνο 2 μονές άντεξαν χωρίς σημαντικές βλάβες.

Συγκεντρωτικά, οι σημαντικότεροι και πιο ισχυροί σεισμοί στον Ελληνικό χώρο, όπως καταγράφονται στη βιβλιογραφία [10] παρατίθενται στον Πίνακα 1.1. Από το πλήθος και το μέγεθος των σεισμικών γεγονότων γίνεται σαφές ότι η καλή γνώση και διαχείριση του σεισμικού προβλήματος από τους πολιτικούς μηχανικούς είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την ασφάλεια των κατασκευών στην Ελλάδα.

Πίνακας 1.1 Τα σημαντικότερα σεισμικά γεγονότα των τελευταίων 100 χρόνων στην Ελλάδα.[10]

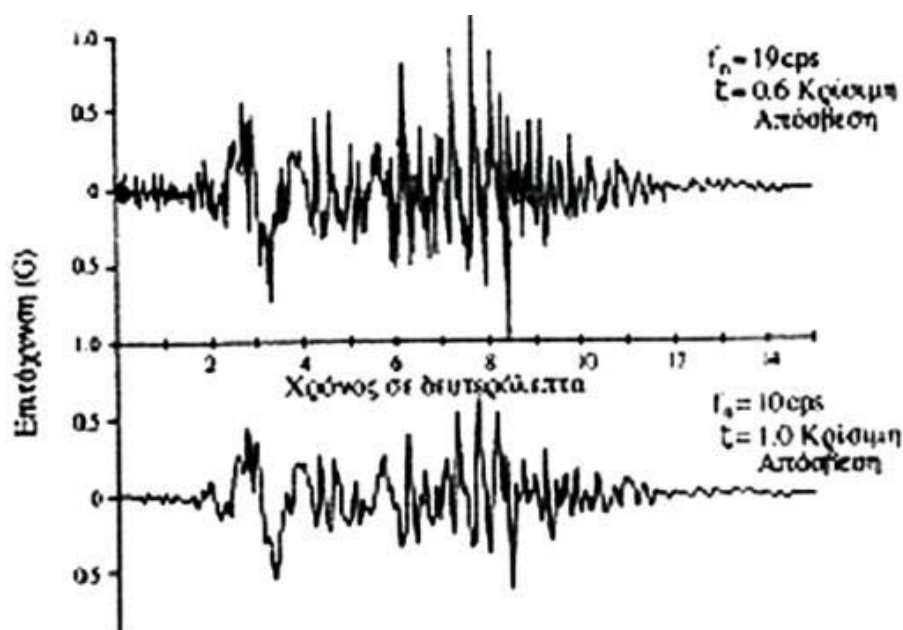
α/α	Ημερομηνία	Περιοχή	Μέγεθος (R)
1	26/6/1926	Ρόδος, Αρχάγγελος	8,0
2	11/8/1903	Κύθηρα, Μιτάτα	7,9
3	8/11/1905	Χαλκιδική, Άθως	7.5
4	9/7/1956	Αμοργός, Ποταμός	7,5
5	30/8/1926	Πελοπόννησος, Σπάρτη	7.2
6	12/8/1953	Κεφαλονιά , Αργοστόλι	7.2
7	25/4/1957	Ρόδος ,Ρόδος	7.2
8	19/2/1968	Άγιος Ευστράτιος	7.1
9	26/9/1932	Χαλκιδική, Ιερισσός	7
10	25/2/1935	Λασιθι, Ανώγια	7
11	6/10/1947	Μεσσηνία, Πυλία	7
12	30/4/1954	Καρδίτσα, Σοφάδες	7
13	18/2/1910	Κρήτη, Χανιά	6.9
14	11/8/1904	Σάμος, Σάμος	6.8
15	24/1/1912	Κεφαλονιά, Ασπρογέρακας	6.8
16	31/3/1965	Αιτωλία, Αγρίνιο	6.8
17	13/8/1992	Κρήτη, Ζάκρο	6.8
18	7/8/1915	Ιθάκη ,Ιθάκη	6.7
19	23/8/1949	Χίος, Καρδάμυλα	6.7
20	24/1/1981	Αλκυονίδες, Περαχώρα	6.7
21	5/7/1902	Θεσσαλονίκη, Ασσυρος	6.6
22	20/6/1902	Θεσσαλονίκη ,Στίβος	6.5
23	1/5/1967	Ιωάννινα-Άρτα	6.4
24	22/4/1928	Κόρινθος, Κόρινθος	6.3
25	5/2/1966	Λίμνη Κρεμαστών , Πετράλωνα	6.3
26	15/6/1995	Αίγιο, Αίγιο	6.1
27	7/9/1995	Αθήνα, Πάρνηθα	6.1
28	17/10/1914	Βοιωτία, Θήβα	6
29	17/5/1930	Κόρινθος,Σαρικό	6
30	20/7/1938	Αττική, Ωρωπός	6
31	13/9/1986	Καλαμάτα,Καλαμάτα	6

1.6 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ – ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ.

1.6.1 Εισαγωγικά στοιχεία.

Οι επιταχυνσιογράφοι είναι όργανα που καταγράφουν κυρίως εδαφικές επιταχύνσεις και σε συνδυασμό με άλλες συσκευές, όπως το γυροσκόπιο, συμβάλλουν ενεργά σε αδρανειακά συστήματα προσδιορισμού θέσης ενός σώματος. Δεδομένου ότι η επιτάχυνση είναι μέγεθος που μπορεί να συνδεθεί άμεσα με τη δύναμη ώστε να προκύψει αυτό που φανταζόμαστε ως σεισμική φόρτιση, οι επιταχυνσιογράφοι και οι καταγραφές τους χρησιμοποιούνται από τους πολιτικούς μηχανικούς για την αποτύπωση και την «έκφραση» των σεισμικών γεγονότων. Σε κάποιες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο να καταγράφονται διαφορετικές μετρήσεις από επιταχυνσιογράφους οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους και κατέγραφαν την ίδια διέγερση. Τα παραπάνω γεγονότα αναδεικνύουν την ανάγκη να διερευνηθούν, στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, τα χαρακτηριστικά και η αξιοπιστία αυτών των οργάνων.

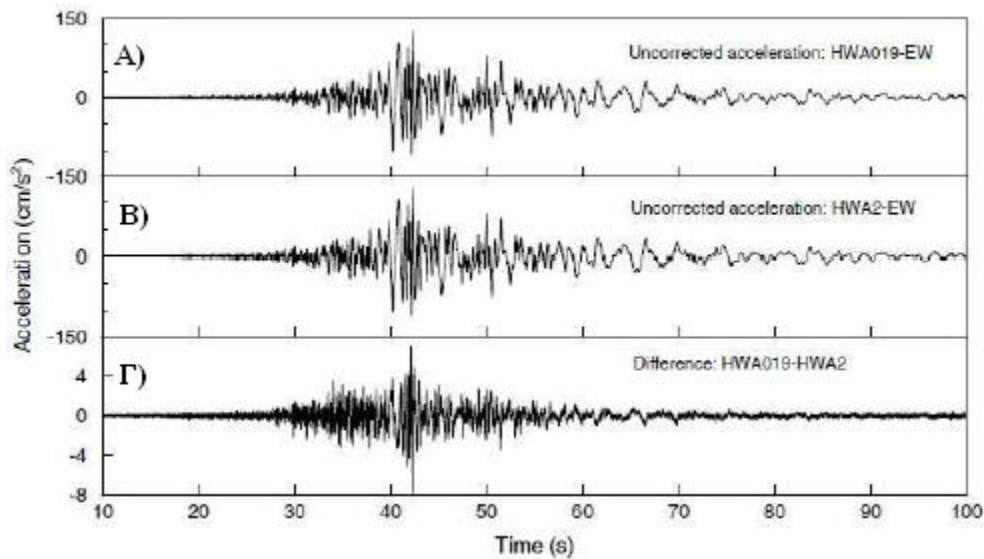
Οι διαφορετικές τιμές επιτάχυνσης που προκύπτουν από δύο ή περισσότερους επιταχυνσιογράφους διαφορετικού τύπου και χαρακτηρίζουν μία διέγερση οφείλονται κυρίως τόσο στα διαφορετικά δυναμικά χαρακτηριστικά κάθε συσκευής όσο και στο διαφορετικό ρυθμό δειγματοληψίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο σεισμός που πραγματοποιήθηκε το 1999 στην Αθήνα. Σε αυτή τη σεισμική διέγερση παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις καταγεγραμμένες τιμές επιτάχυνσης που είχαν συλλεχθεί από κεντρικούς σεισμολογικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα, στο επιταχυνσιογράφημα του σεισμολογικού σταθμού στο Μοναστηράκι εντοπίστηκε μέγιστη τιμή επιτάχυνσης 0,51g ενώ ταυτόχρονα ο αντίστοιχος σταθμός που είχε τοποθετηθεί στο Σύνταγμα προσδιόριζε μέγιστη τιμή ίση με 0.24g (Σχ. 1.5).



Σχήμα 1.5 Απεικόνιση επιταχυνσιογραφημάτων που προέκυψαν από δύο διαφορετικούς επιταχυνσιογράφους αφορώντας την ίδια διέγερση [11].

Ωστόσο ανατρέχοντας στη διεθνή βιβλιογραφία , επισημαίνεται το γεγονός ότι τέτοιου είδους διαφορές στις τιμές της επιτάχυνσης παρατηρούνται και μεταξύ ίδιων οργάνων. Στην Taiwan το 1999 (από το σεισμό της περιοχής Chi Chi) κατεγράφησαν από ίδιου τύπου επιταχυνσιογράφους, οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, διαφορετικές τιμές επιτάχυνσης, ιδίως στην περιοχή όπου παρατηρήθηκαν οι ισχυρότερες ως προς τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση καταγραφές (Σχήμα 1.6).

Τέλος, ένα άλλο, σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα που αφορά μετρήσεις από επιταχυνσιογράφους είναι η διαφορά φάσης η οποία εντοπίζεται στις διαφορετικές καταγραφές. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται από τυχαία σφάλματα τα οποία όμως μειώνονται με την αύξηση της συχνότητας της ταλάντωσης.



Σχήμα 1.6 (A), (B) : Καταγραφές του σεισμού Chi Chi στην Taiwan από δύο ίδιου τύπου επιταχυνσιογράφους και (Γ) απεικόνιση της διαφοράς των καταγραφών της επιτάχυνσης των διαγραμμάτων (A) και (B) [12]

1.6.2 Αρχές λειτουργίας και είδη επιταχυνσιογράφων.

Ο επιταχυνσιογράφος αποτελείται από ένα σύστημα μάζας – ελατηρίου - αποσβεστήρα τοποθετημένο μέσα σε άκαμπτο περίβλημα ώστε να αποφευχθούν πιθανές βλάβες της λόγω του σεισμού και καταστραφούν τα δεδομένα που έχει καταγράψει (Εικ. 1.3). Χρησιμοποιείται εδώ και πολλές δεκαετίες προσφέροντας λύσεις σε πολλά προβλήματα που είχαν οι, αρχικά χρησιμοποιούμενοι, σειсмоγράφοι, ενώ παρέχει δεδομένα πιο χρήσιμα και πιο εύκολα αξιοποιήσιμα από του πολιτικούς μηχανικούς (εδαφικές επιταχύνσεις). Ο πρώτος επιταχυνσιογράφος κατασκευάστηκε από τον μηχανικό J. Fresman το 1930 [12].

Με το πέρασ του χρόνου έχει σημειωθεί μεγάλη πρόοδος στο πεδίο του σχεδιασμού τέτοιου είδους οργάνων, με αποτέλεσμα τα νέα είδη συσκευών που κατασκευάζονται να είναι εύχρηστα και ιδιαίτερα ακριβή. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι πριν λίγα χρόνια οι επιταχυνσιογράφοι χρησιμοποιούσαν οπτική εγγραφή πάνω σε ταινίες (film). Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και ιδιαίτερα της μικροηλεκτρονικής κατασκευάστηκαν ψηφιακοί επιταχυνσιογράφοι οι οποίοι παρέχουν την δυνατότητα μεταφοράς των δεδομένων τους σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 1.3 Σύγχρονος επιταχυνσιογράφος [13]

Η λειτουργία του επιταχυνσιογράφου βασίζεται στην θεωρία ταλαντώσεων του μονοβάθμιου ταλαντωτή. Πιο συγκεκριμένα, όταν διεγείρεται η μάζα του επιταχυνσιογράφου m από μία αρμονική ημιτονοειδή επιτάχυνση μορφής $\ddot{u}_g(t) \sin \Omega t$ τότε η εξίσωση της ταλάντωσης του επιταχυνσιογράφου είναι αυτή που περιγράφει ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή ο οποίος διεγείρεται από μία ημιτονοειδή δύναμη και είναι η εξής:

$$m \cdot \ddot{u}(t) + c \cdot \dot{u}(t) + k \cdot u(t) = -m \cdot \ddot{u}_g(t) \cdot \sin \Omega t \quad (1.1)$$

όπου m η μάζα του επιταχυνσιογράφου, c η απόσβεση του επιταχυνσιογράφου, k η δυσκαμψία του ελατηρίου, \ddot{u}_g , \dot{u} και u η επιτάχυνση, η ταχύτητα και η μετακίνηση της μάζας αντίστοιχα, \ddot{u}_g η επιτάχυνση του εδάφους και Ω η κυκλική συχνότητα διέγερσης.

Η λύση της εξίσωσης δίνει την μετακίνηση του ταλαντωτή ως άθροισμα δύο κινήσεων: της κίνησης του ταλαντωτή που θα εκτελούσε ελεύθερη ταλάντωση (γενική λύση της εξίσωσης) και της κίνησης του ταλαντωτή εξαιτίας της εξαναγκασμένης αρμονικής διέγερσης (ειδική λύση της εξίσωσης):

$$u(t) = e^{-\zeta\omega t} (C_1 \cdot \cos \omega_D t + C_2 \cdot \sin \omega_D t) + (C_3 \cdot \sin \Omega t + C_4 \cdot \cos \Omega t) \quad (1.2)$$

Στην παραπάνω σχέση (Εξ. 1.2), C_1 και C_2 σταθερές που εξαρτώνται από τις αρχικές συνθήκες (ταχύτητα, μετακίνηση), ενώ C_3 και C_4 σταθερές που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της εφαρμοζόμενης δύναμης [14]. Επίσης, ω_D είναι η ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή με απόσβεση και ζ είναι ο συντελεστής απόσβεσης. Η πρώτη κίνηση που εκτελεί ο ταλαντωτής συμβάλει λίγο και μόνο στην αρχή της κίνησης λόγω της απόσβεσης του ταλαντωτή (transient state) και αντιστοιχεί στην ελεύθερη ταλάντωση του, ενώ η δεύτερη κίνηση είναι που συμβάλει ουσιαστικά στη κίνηση του ταλαντωτή και παραμένει καθόλη τη διάρκεια της διέγερσης (steady state). Δηλαδή ο ταλαντωτής στην ουσία τελικά θα ταλαντώνεται με την διεγείρουσα συχνότητα Ω [14].

Η τελική μορφή της σχέσης που δίνει την μετακίνηση λόγω της αρμονικής διέγερσης είναι:

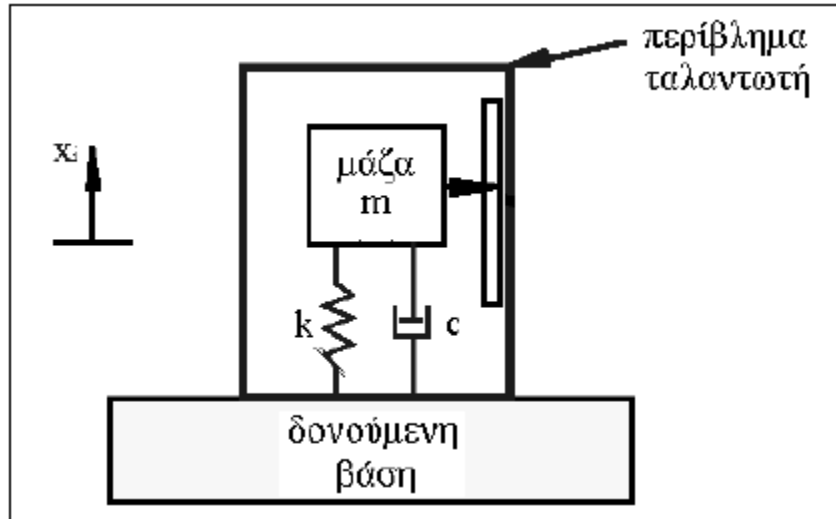
$$u(t) = D \cdot \frac{m \cdot u_g}{k} \cos(\Omega t - \varphi) \quad (1.3)$$

όπου D είναι μία σταθερά η οποία προσδιορίζεται από την σχέση:

$$D = \left[(1 - \beta^2)^2 + (2\zeta\beta)^2 \right]^{-1/2} \quad (1.4)$$

Στην τελευταία σχέση (Εξ. 1.4) β είναι ο λόγος της συχνότητας διέγερσης Ω προς τον λόγο της ιδιοσυχνότητας ω του επιταχυνσιογράφου. Ο όρος $m \cdot u_g / k$ (Εξ. 1.3) εκφράζει την μετατόπιση του ταλαντωτή εάν η δύναμη της διέγερσης ήταν στατική. Ο παράγοντας D μεγεθύνει την στατική μετατόπιση γιατί η φόρτιση του ταλαντωτή είναι δυναμική [15]. Για ισχυρή απόσβεση $\zeta=0.7$ και για τιμές του λόγου β μικρότερες από 0.6, από την Εξ. 1.4 προκύπτει ότι η τιμή του D παραμένει σταθερά ίση με ένα. Δηλαδή, ο ταλαντωτής του επιταχυνσιογράφου θα παρουσιάζει μετακίνηση πρακτικά ανάλογη με την επιτάχυνση διέγερσης (Εξ. 1.3). Αυτό σημαίνει ότι ένα τέτοιο όργανο με συντελεστή απόσβεσης $\zeta=0.7$ μπορεί να καταγράψει με ακρίβεια αρμονική διέγερση με συχνότητα μέχρι και 0.6 της ιδιοσυχνότητας του. Επιλέγοντας κατάλληλα την ιδιοσυχνότητα του οργάνου μπορούμε λοιπόν να καλύψουμε πρακτικά όλο το εύρος των συχνοτήτων που περιέχει μία τυχαία κίνηση του εδάφους όπως ο σεισμός.

Με βάση τα παραπάνω, ο επιταχυνσιογράφος άρχισε να βρίσκει εφαρμογή όχι μόνο για την καταγραφή των επιταχύνσεων του σεισμού, αλλά και για την παρακολούθηση των εύκαμπτων κατασκευών του όπως είναι οι γέφυρες, τα ψηλά κτίρια κ.α., τα οποία καταπονούνται από δυναμικά φορτία όπως είναι τα σεισμικά φορτία, οι ανεμοπιέσεις, τα φορτία του κυκλοφοριακού φόρτου και τα κρουστικά φορτία [14].



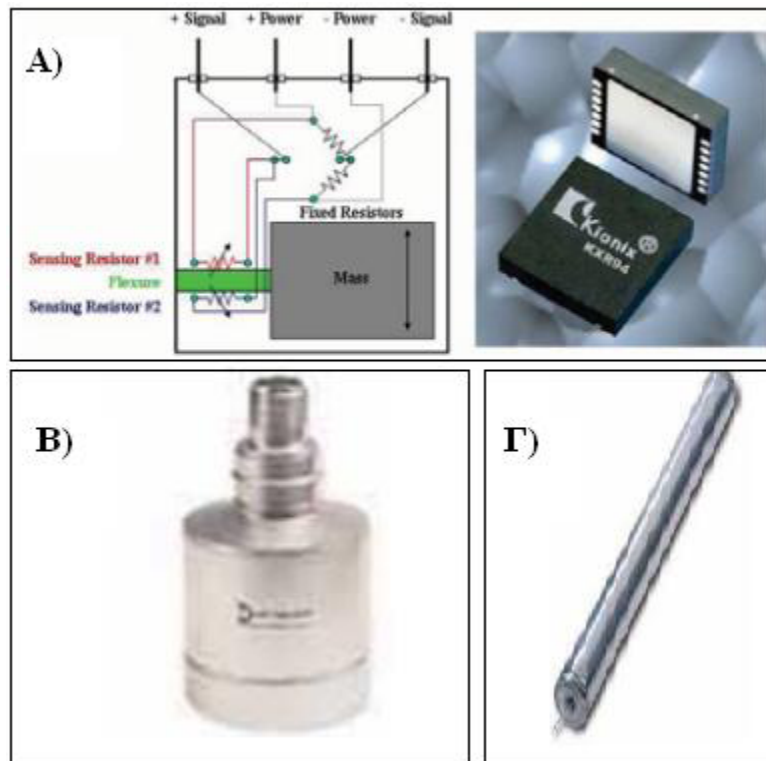
Σχήμα 1.7 Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης του μονοβάθμιου ταλαντωτή εντός του περιβλήματος του επιταχυνσιογράφου μάζας m δυσκαμψίας k και απόσβεσης c [12]

Τα πιο αντιπροσωπευτικά είδη επιταχυνσιογράφων, ανάλογα με τη μέθοδο καταγραφής των επιταχύνσεων είναι τα ακόλουθα:

- (α) Πιεζοηλεκτρικός: λειτουργεί με βάση έναν κρύσταλλο, ο οποίος, όταν διεγείρεται από μια ταλαντούμενη μάζα, πιέζεται και παράγει ηλεκτρική τάση. Οι διακυμάνσεις της σχετίζονται με την εφαρμοζόμενη πίεση και μέσω αυτών καταγράφεται η ιστορία της εδαφικής επιτάχυνσης.
- (β) Πιεζωμικός: αποτελείται από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο οποίο η μάζα ελέγχει τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος λειτουργώντας ως διακόπτης. Όταν η μάζα αυτή διεγερθεί από οποιαδήποτε μορφή ταλάντωσης τότε το κύκλωμα ανοιγοκλείνει και η τάση που παράγεται είναι ανάλογη της επιτάχυνσης. Επίσης μπορεί να καταγράψει μικρές συχνότητες της τάξης των 0,5Hz και γι αυτό χρησιμοποιείται σε εργαστηριακές δοκιμές με κρουστικά φορτία.
- (γ) Με οπτικές ίνες: το φως που συγκεντρώνεται σε ειδικούς δέκτες είναι ανάλογο με την επιτάχυνση που εφαρμόζεται. Σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας ηλεκτρομαγνητικών και ραδιοφωνικών παρεμβολών στις καταγραφές, επειδή βασίζονται μόνο στη μεταφορά φωτός μέσω της καλωδίωσης του οργάνου.

- (δ) Επιμηκυνσιομετρικός: Αποτελείται από ένα μονοβάθμιο ταλαντωτή και μπορεί να καταγράψει επιταχύνσεις υψηλών συχνοτήτων, από 3 έως 5000 Hz. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται και για την μέτρηση των κυμάτων της διάδοσης του ήχου αλλά και ως σύστημα ελέγχου των κατασκευών.

Οι Εικόνες 1.4 έως και 1.7 παρουσιάζουν τυπικά παραδείγματα σύγχρονων οργάνων που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές ή σε πειραματικές διατάξεις στα εργαστήρια με στόχο τη μέτρηση της επιτάχυνσης, καθώς και τις διατάξεις που επιτρέπουν τη σωστή σύνδεση των συσκευών αυτών με τα μέλη των κατασκευών.



Σχήμα 1.4 (Α) Πιεζοωμικός επιταχυνσιογράφος, (Β) Πιεζοηλεκτρικός επιταχυνσιογράφος και (Γ) Επιταχυνσιογράφος με οπτικές ίνες. [12]



Εικόνα 1.5 Επιταχυνσιογράφος τύπου Geo-Sig AC-63. Διακρίνεται στη λευκή περιοχή, στο κέντρο του η αναπαράσταση της, προκαθορισμένης από τον κατασκευαστή διεύθυνσης των αξόνων .[13]



Εικόνα 1.6 Επιταχυνσιογράφος τύπου Guralp CMG-5 [13]



Εικόνα 1.7 Μεταλλική «θήκη» μέσα στην οποία εφαρμόζει ο επιταχυνσιογράφος με σκοπό να τοποθετηθεί σε συγκεκριμένη θέση πάνω σε πειραματικές διατάξεις. [16]

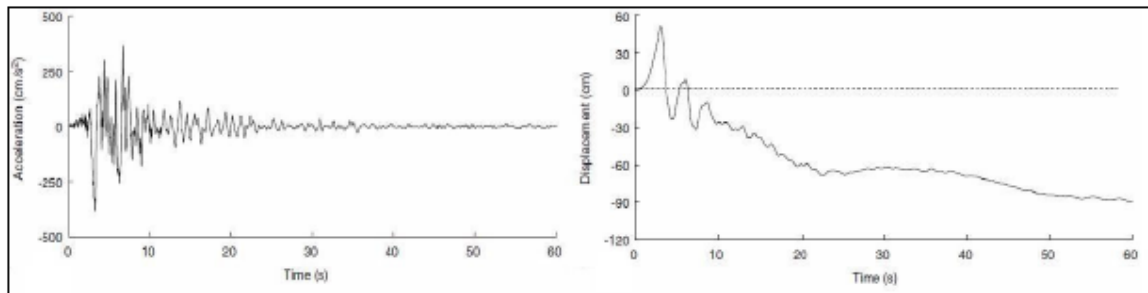


Εικόνα 1.8 Επιταχυνσιογράφος τοποθετημένος στη μεταλλική θήκη. Η σταθερότητα μεταξύ του επιταχυνσιογράφου και της μεταλλικής θήκης επιτυγχάνεται με κοχλίες.

1.6.3 Κύρια μειονεκτήματα των επιταχυνσιογράφων.

Οι επιταχυνσιογράφοι, αν και ιδιαίτερα σημαντικοί για τους μηχανικούς καθώς παρέχουν ενδιαφέροντα στοιχεία για τις σεισμικές διεγέρσεις, έχουν μειονεκτήματα που επιβάλλουν την ιδιαίτερα προσεκτική χρήση τους και αξιολόγηση των καταγραφών τους. Τα κυριότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα [17]:

- (α) Ο χρήστης δεν έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των μετρήσεων του επιταχυνσιογράφου σε πραγματικό χρόνο, καθώς για να βγάλει συμπεράσματα πρέπει αυτές οι μετρήσεις να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία.
- (β) Υπάρχει δυσκολία διάκρισης ταλαντώσεων με μικρή συχνότητα. Τα όργανα αυτά κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να καταγράψουν κινήσεις των οποίων η συχνότητα διέγερσης είναι περίπου ίση με το μισό της ιδιοσυχνότητάς τους. Οπότε για να μπορέσει ένας επιταχυνσιογράφος να καταγράψει διεγέρσεις με υψηλές συχνότητες, όπως αυτές που αντιστοιχούν στα σεισμικά γεγονότα, θα πρέπει να αυξηθεί η ιδιοσυχνότητά του, γεγονός που είναι εφικτό με τη χρήση δύσκαμπτων ελατηρίων. Τέτοιου είδους συστήματα όμως δεν διεγείρονται σημαντικά από μικρές περιοδικές φορτίσεις χαμηλών συχνοτήτων.
- (γ) Οι μετακινήσεις και οι ταχύτητες που προσδιορίζονται από τις καταγραφές προκύπτουν με αριθμητική ολοκλήρωση των τιμών της επιτάχυνσης. Με βάση το νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων κατά τον υπολογισμό της ταχύτητας και της μετακίνησης παρατηρείται συσσώρευση των σφαλμάτων ιδιαίτερα όταν οι επιταχύνσεις είναι υψηλές. Το αποτέλεσμα είναι οι τιμές που προκύπτουν μετά την επεξεργασία να μην είναι αντιπροσωπευτικές. (Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9 Επιταχυνσιογράφημα του σεισμού του Northridge, 1994 (αριστερά) και μετακινήσεις που προκύπτουν με διπλή ολοκλήρωση των επιταχύνσεων (δεξιά).[18]

1.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.

Από την παραπάνω παρουσίαση μπορούν να εξαχθούν δύο ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Είναι σαφές ότι το σεισμικό πρόβλημα είναι πολύπλοκο και η καλή γνώση του είναι ιδιαίτερα κρίσιμη για την ασφάλεια των τεχνικών έργων, ιδιαίτερα στην Ελλάδα. Η περιγραφή του σεισμικού φαινομένου από τα επιταχυνσιογραφήματα που καταγράφονται από τα σχετικά όργανα είναι χρήσιμη και αντιπροσωπευτική. Ωστόσο, δεν μπορεί εύκολα να δώσει λύσεις για τον αντισεισμικό σχεδιασμό, καθώς, πέραν των άλλων προβλημάτων που σχολιάστηκαν και σχετίζονται με τα καταγραφικά συστήματα, κάθε επιταχυνσιογράφημα αποτελεί «φωτογραφία» ενός μεμονωμένου γεγονότος, άρα στερείται γενικής εφαρμοσιμότητας. Για το λόγο αυτό ο αντισεισμικός σχεδιασμός σύνηθων έργων βασίζεται στα φάσματα, στα οποία εστιάζει η πτυχιακή εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΧΕΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ - ΦΑΣΜΑΤΑ.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ.

Όταν, ξεκινά-από το μηδέν μια νέα κατασκευή, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ο καθοριστικός, ιδιαίτερα στην Ελλάδα σεισμικός παράγοντας. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι σημαντικές επιπτώσεις των ισχυρών σεισμών του παρελθόντος στις κατασκευές έχουν αποδείξει με τον πλέον χαρακτηριστικό τρόπο τη σημασία του προσεκτικού αντισεισμικού σχεδιασμού των νέων δομημάτων, που θα τους προσδώσει την απαραίτητη ικανή αντοχή έναντι της κρίσιμης αυτής καταπόνησης. Με γνώμονα την παραπάνω απαίτηση έχουν συνταχθεί οι σύγχρονοι Κανονισμοί όπως ο ΕΑΚ 2000 (ΟΑΣΠ, 2003), σε σημεία των οποίων γίνεται αναφορά στη συνέχεια στην πτυχιακή εργασία αυτή. Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλές από τις υφιστάμενες παλαιές κατασκευές στη χώρα μας μελετήθηκαν και σχεδιάστηκαν σε εποχές, όπου ίσχυαν διαφορετικά, πλέον πεπαλαιωμένα, δεδομένα γύρω από το σεισμό. Η επιστήμη δεν είχε τη σημερινή εμπειρία. Συνεπώς, αρκετές από τις παλαιότερες κατασκευές θα πρέπει να θεωρηθούν μη ιδανικές ως προς τη σεισμική τους συμπεριφορά. Είναι λοιπόν απαραίτητη η εκ νέου μελέτη τέτοιων δομημάτων, με κατάλληλες, σύγχρονες διαδικασίες και μεθόδους ώστε να επιλεγεί και να εφαρμοσθεί η πιο αποδοτική μέθοδος επέμβασης με στόχο την αντισεισμική ενίσχυσή τους. Τα τελευταία χρόνια η έντονη ερευνητική δραστηριότητα στο συγκεκριμένο πεδίο έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αποδοτικών μεθόδων επέμβασης και στη σύνταξη σχετικών Κανονισμών, των οποίων η παρουσίαση ξεφεύγει από τους στόχους της εργασίας αυτής. Ωστόσο, η διαδικασία επέμβασης σε μία υφιστάμενη κατασκευή, ιδιαίτερα εάν αυτή χρησιμοποιείται, στερείται της ευελιξίας που διακρίνει τον αντισεισμικό σχεδιασμό ενός νέου δομήματος.

2.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.

Η γενική φιλοσοφία του αντισεισμικού σχεδιασμού νέων κατασκευών μπορεί να συνοψισθεί στα δύο ακόλουθα σημεία [5] :

- (α) Η κατασκευή θα πρέπει να μην υποστεί ζημιές σε μικρούς σεισμούς (ελαστική συμπεριφορά).
- (β) Η κατασκευή θα πρέπει να υφίσταται ελεγχόμενες πλαστικές παραμορφώσεις σε μεγάλους σεισμούς με μικρή πιθανότητα να συμβούν κατά τη διάρκεια στις χρήσιμης ζωής του έργου.

Επομένως η κατασκευή δεν πρέπει να καταρρεύσει από την αναμενόμενη μέγιστη ισχυρή κίνηση κατά τη διάρκεια ζωής στις (60 χρόνια). Με βάση τη φιλοσοφία αυτή επιτρέπουμε σε μια κατασκευή να παραμορφωθεί στην πλαστική περιοχή κατά τη διάρκεια στις ισχυρού σεισμού, γιατί δεν θα ήταν ορθολογικό για συνήθεις κατασκευές και για σπάνιες

περιπτώσεις στις ισχυρού σεισμού, να επιβαρύνονται με ιδιαίτερο κόστος ώστε να εξασφαλισθεί η ελαστική συμπεριφορά. Βέβαια, για κατασκευές υψηλής σημασίας, όπως π.χ. οι γέφυρες, είναι πιθανόν η γενικά ελαστική συμπεριφορά τους για ακόμα και υψηλής έντασης σεισμικά γεγονότα να είναι επιθυμητή. Στις περιπτώσεις αυτές ο αντισεισμικός σχεδιασμός προσαρμόζεται ανάλογα κατά τη μελέτη του έργου.

Σύμφωνα με τις παραπάνω γενικές αρχές μπορεί να θεωρηθεί ότι ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η χρήση ενός δομήματος αντιμετωπίζουν επαρκώς το σεισμικό κίνδυνο, δηλαδή εξασφαλίζουν περιορισμένες και επιδιορθώσιμες βλάβες στα στοιχεία του φέροντα οργανισμού υπό το σεισμό σχεδιασμού, ενώ ελαχιστοποιούν τις βλάβες για σεισμούς μικρότερης έντασης και με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης, όταν κατά την επιβολή των σεισμικών δράσεων «σχεδιασμού» με αποδεκτός μικρή πιθανότητα υπερβάσεώς τους κατά τη διάρκεια της ζωής του δομήματος, ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς [18] :

- (α) Απαίτηση αποφυγής κατάρρευσης: η πιθανότητα κατάρρευσης του δομήματος (ή τμημάτων του) πρέπει να είναι επαρκώς μικρή, όπως ορίζεται από επιμέρους κριτήρια που περιέχονται στους αντισεισμικούς Κανονισμούς, και να συνδυάζεται με διατήρηση της ακεραιότητας και επαρκούς εναπομένουσας αντοχής μετά τη λήξη του σεισμικού γεγονότος.
- (β) Απαίτηση περιορισμού βλαβών: οι βλάβες σε στοιχεία του φέροντα οργανισμού υπό το σεισμό σχεδιασμού πρέπει να είναι περιορισμένες και επιδιορθώσιμες, ενώ οι βλάβες για σεισμούς μικρότερης έντασης και με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πρέπει να ελαχιστοποιούνται.
- (γ) Απαίτηση ελάχιστης στάθμης λειτουργιών: πρέπει να διασφαλίζεται μία ελάχιστη στάθμη λειτουργιών του δομήματος, ανάλογα με τη χρήση και τη σημασία του, όταν το δόμημα υποστεί σεισμό με τα χαρακτηριστικά του σεισμού σχεδιασμού.

2.3 ΓΕΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΝΕΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ.

Οι απαιτήσεις αντισεισμικής συμπεριφοράς που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο θεωρούνται ότι ικανοποιούνται, εάν ικανοποιηθούν όλα συγχρόνως τα αντίστοιχα με αυτές κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό νέων κτιρίων.

Η απαίτηση για «αποφυγή κατάρρευσης», όπως εκφράστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν, υπό την επίδραση του **σεισμού σχεδιασμού** [19]:

- (α) Εξασφαλίζεται με αξιοπιστία η μεταφορά στο έδαφος των δράσεων κάθε εδραζόμενου στοιχείου της ανωδομής, χωρίς να προκαλούνται μεγάλες παραμένουσες παραμορφώσεις.
- (β) Εξασφαλίζεται, προφανώς, η απαιτούμενη αντοχή σε όλα τα φέροντα στοιχεία του δομήματος.

- (γ) Ελέγχεται ικανοποιητικά, ο πλαστικός μηχανισμός απόκρισης του φορέα, σύμφωνα με τα ειδικότερα κριτήρια του ικανοτικού σχεδιασμού, ο οποίος στοχεύει στο να εξασφαλισθεί η δημιουργία ενός αξιόπιστου μηχανισμού ως προς τον αριθμό και τη θέση των αναμενόμενων βλαβών και παράλληλα στο να αποφευχθούν ψαθυρές, απότομες μορφές αστοχίας των μελών. Επιπλέον εξασφαλίζει ικανοποιητική σχέση μεταξύ διαθέσιμης και απαιτούμενης τοπικής πλαστιμότητας στις κρίσιμες περιοχές των δομικών μελών.
- (δ) Εξασφαλίζεται μία ελάχιστη στάθμη πλαστιμότητας σε κάθε κρίσιμη περιοχή στην οποία υπάρχει έστω και μικρή πιθανότητα εμφάνισης βλάβης. Τέτοιες περιοχές θεωρούνται π.χ. η βάση και η κορυφή όλων των στύλων πλαισίων ανεξάρτητα από την εκτέλεση ή όχι αντιστοίχων ικανοτικών ελέγχων.
- (ε) Η συμπεριφορά του δομήματος είναι σε επαρκή βαθμό συνεπής με τα χρησιμοποιούμενα προσομοιώματα (για ανάλυση και διαστασιολόγηση), επιζητείται δηλαδή η ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων οι οποίες συνδέονται με αυτά τα υπολογιστικά μέσα.
- (στ) Πρέπει επίσης να λαμβάνονται μέτρα προστασίας, τόσο του υπό μελέτη κτιρίου, όσο και των τυχόντων υφισταμένων γειτονικών κτιρίων, από δυσμενείς συνέπειες προσκρούσεων κατά την διάρκεια του σεισμού.

Για την απαίτηση «περιορισμού βλαβών» στις πιο «συχνές» σεισμικές φορτίσεις, επιπλέον των προηγούμενων κριτηρίων, απαιτείται να ικανοποιούνται και τα επόμενα δύο πρόσθετα:

- (α) Οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων υπό την επίδραση ενός σεισμού μικρότερης έντασης και μεγαλύτερης συχνότητας εμφάνισης από τον σεισμό σχεδιασμού πρέπει να είναι μικρότερες από ορισμένες τιμές, που θεωρούνται ότι αντιστοιχούν σε ανεκτό βαθμό βλάβης στοιχείων που χαρακτηρίζονται ως μη φέροντα.
- (β) Πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής αντοχή των στοιχείων στηρίξεως των κάθε είδους εγκαταστάσεων και προσαρτημάτων του δομήματος, που να αντιστοιχεί σε ανεκτό βαθμό βλάβης τους, ανάλογα με τη λειτουργία και τη σπουδαιότητα του δομήματος και των προσαρτημάτων.

Τέλος, σημειώνεται ότι στα πλαίσια του σύγχρονου αντισεισμικού σχεδιασμού τίθενται και γενικά κριτήρια ελάχιστης στάθμης λειτουργίας για τις περιπτώσεις ειδικών δομημάτων (κτίρια νοσοκομείων, πυροσβεστικών σταθμών, κλπ.). Η λεπτομερέστερη αναφορά σε τέτοια κριτήρια ξεφεύγει από τον σκοπό της πτυχιακής εργασίας. Τα παραπάνω ποιοτικά κριτήρια «μεταφράζονται» σε συγκεκριμένες αριθμητικές απαιτήσεις για κατάλληλα επιλεγμένα μεγέθη απόκρισης, οι οποίες ελέγχονται κατά τη μελέτη και τον αντισεισμικό υπολογισμό μιας κατασκευής. Για την ευκολότερη ικανοποίησή τους βέβαια υπάρχουν και ακολουθούνται και κάποιοι **πρακτικοί κανόνες για αντισεισμικές κατασκευές**, οι οποίοι πολλές φορές έχουν εμπειρικές βάσεις. Τέτοιοι κανόνες αφορούν π.χ. τη μορφή των κατασκευών και τα υλικά κατασκευής τους.

Η μορφή ενός τεχνικού έργου παίζει σημαντικό ρόλο στην απόκρισή του στη σεισμική κίνηση. Μπορούμε γενικά να πούμε ότι καλύτερη συμπεριφορά έχει η κατασκευή που είναι απλή, συμμετρική, το σχήμα της δεν είναι χαρακτηριστικά επίμηκες κατά την οριζόντια ή την κατακόρυφη έννοια, έχει ομοιόμορφη και συνεχή κατανομή της δυσκαμψίας και αντοχής της, έχει οριζόντια στοιχεία που συνδέονται με τα κατακόρυφα με κατάλληλες συνδέσεις και έχει σωστή θεμελίωση λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εδάφους. Η επιλογή επίσης των υλικών κατασκευής παίζει σημαντικό ρόλο, πέρα από τους οικονομικούς ή άλλους παράγοντες. Οι βασικές τους ιδιότητες πρέπει να είναι η υψηλή πλαστιμότητα, ο μεγάλος λόγος της αντοχής τους προς το βάρος, η ομοιογένειά τους και η δυνατότητα ανθεκτικής σύνδεσής τους.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω κριτήρια, για τον αντισεισμικό σχεδιασμό τεχνικών έργων ιδιαίτερα σημαντική είναι η επαρκής γνώση και η όσο το δυνατόν πιο ακριβής και αξιόπιστη αναπαράσταση της «σεισμικής φόρτισης». Οι σεισμικές δράσεις υπολογισμού για τον σχεδιασμό των κατασκευών διακρίνονται γενικά σε συνολικές δράσεις, οι οποίες ασκούνται επάνω στο σύνολο της κατασκευής και σε τοπικές δράσεις, οι οποίες ασκούνται σε ορισμένα μόνο φέροντα ή μη φέροντα στοιχεία ή σε ορισμένες εγκαταστάσεις (προσαρτήματα). Οι τιμές τους προκύπτουν από την ανάλυση της κατασκευής υπό τη σεισμική δράση, η ακριβής μορφή και ένταση της οποίας δεν είναι, προφανώς γνωστή.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρθηκε ότι οι σεισμικές διεγέρσεις αποτυπώνονται και μπορούν να αντιπροσωπευθούν από τα επιταχυνσιογραφήματα. Τα επιταχυνσιογραφήματα ισχυρών ιστορικών σεισμικών κινήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως «σεισμικές δράσεις» κατά τη μελέτη τεχνικών έργων. Ωστόσο, κάθε επιταχυνσιογράφημα έχει μοναδικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με το συγκεκριμένο σεισμικό γεγονός από το οποίο προέκυψε και τα οποία προφανώς δεν ισχύουν για όλους τους πιθανούς σεισμούς που θα υποστεί μια κατασκευή κατά τη λειτουργία της. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα μειονεκτήματα των επιταχυνσιογραφημάτων που επίσης σχολιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο οδήγησε στην ανάπτυξη πιο γενικών εκφράσεων για τη σεισμική δράση. Η επιθυμητή γενική έκφραση της σεισμικής δράσης επιτυγχάνεται με τα φάσματα απόκρισης και τα φάσματα σχεδιασμού τα οποία αναπτύχθηκαν για το σκοπό αυτό, έχουν συμπεριληφθεί στους Κανονισμούς και χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κατάλληλες υπολογιστικές μεθόδους για τις αντισεισμικές μελέτες τεχνικών έργων.

2.4 ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ.

Το φάσμα απόκρισης παρέχει ένα κατάλληλο μέσο να συνοψίσει κανείς τη μέγιστη απόκριση όλων των πιθανών γραμμικών μονοβάθμιων συστημάτων σε μία συγκεκριμένη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης. Παρέχει επίσης έναν πρακτικό τρόπο για την εφαρμογή της γνώσης της δυναμικής των κατασκευών στο σχεδιασμό των κατασκευών και την ανάπτυξη των απαιτήσεων σεισμικών πλευρικών δυνάμεων στους «κτιριακούς» κανονισμούς.

Μία γραφική απεικόνιση της μέγιστης τιμής ενός μεγέθους απόκρισης ως συνάρτησης της ιδιοπεριόδου ταλάντωσης T του συστήματος ή κάποιας σχετικής παραμέτρου όπως η κυκλική συχνότητα f_n , αποκαλείται το φάσμα απόκρισης γι' αυτό το μέγεθος. Κάθε τέτοιο γράφημα προκύπτει για μονοβάθμια συστήματα με σταθερό λόγο απόσβεσης ζ , συνεπώς, μπορούν να υπολογιστούν και να σχεδιαστούν πολλά τέτοια γραφήματα για διαφορετικές τιμές του ζ , ώστε να καλυφθεί το εύρος των τιμών απόσβεσης που συναντώνται στις πραγματικές κατασκευές.

Λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της σεισμικής διέγερσης, αυτό που πρακτικά μας ενδιαφέρει για το σχεδιασμό μιας κατασκευής είναι συνήθως η μέγιστη σχετική μετακίνηση u_{\max} . Η μέγιστη σχετική μετακίνηση ενός μονοβάθμιου συστήματος (ΜΒΣ) για κάποιο συγκεκριμένο σεισμό εξαρτάται αποκλειστικά από την ιδιοπερίοδο T και το λόγο απόσβεσης ζ . Αυτή η πληροφορία μας παρέχει το φάσμα απόκρισης το οποίο κατασκευάζεται μεταβάλλοντας την ιδιοπερίοδο T , για συγκεκριμένο λόγο απόσβεσης ζ :

$$S_d(T, \zeta) = \max|u(t, T, \zeta)| \quad (2.1)$$

όπου S_d η φασματική τιμή της μετατόπισης. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για διάφορους λόγους απόσβεσης προκύπτουν οι αντίστοιχες καμπύλες των φασμάτων απόκρισης, καλύπτοντας κάθε περίπτωση ΜΒΣ με οποιαδήποτε ιδιοπερίοδο T και λόγο απόσβεσης ζ .

Το μοναδικό μέγεθος που απαιτείται για τον υπολογισμό των εσωτερικών δυνάμεων μιας κατασκευής είναι η μετατόπιση $u(t)$. Το φάσμα μετατόπισης λοιπόν παρέχει όλες τις πληροφορίες για τον υπολογισμό των μέγιστων τιμών της μετατόπισης, άρα και των εσωτερικών δυνάμεων. Ωστόσο, συνήθως υπολογίζονται και τα φάσματα απόκρισης ψευδοταχύτητας και ψευδοεπιτάχυνσης. Το πρώτο σχετίζεται άμεσα με τη μέγιστη ενέργεια παραμόρφωσης που αποθηκεύεται στο σύστημα κατά τη διάρκεια του σεισμού. Το δεύτερο σχετίζεται άμεσα με τη μέγιστη τιμή του ισοδύναμου στατικού «σεισμικού» φορτίου και της τέμνουσας βάσης. Τα παραπάνω είναι χρήσιμα για τη μελέτη της συμπεριφοράς των κατασκευών υπό σεισμικές διεγέρσεις. Τα αντίστοιχα φάσματα υπολογίζονται και συνδέονται μεταξύ τους και με το αντίστοιχο φάσμα μετακινήσεων (Εξ. 2.1) σύμφωνα με της παρακάτω σχέσεις:

$$S_v(T, \zeta) = \max|u(t, T, \zeta)| \cdot \omega \quad (2.2)$$

$$S_a(T, \zeta) = \max|u(t, T, \zeta)| \cdot \omega^2 \quad (2.3)$$

$$u_{\max}^{\text{tot}}(T, \zeta) = \max|u(t, T, \zeta) + u_g(t)| \quad (2.4)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, S_v ή φασματική τιμή της ψευδοταχύτητας, S_a η αντίστοιχη της ψευδοεπιτάχυνσης, u_{\max}^{tot} η απόλυτη μετατόπιση του ΜΒΣ και ω ή κυκλική ιδιοσυχνότητα ταλάντωσής του.

Τα φάσματα απόκρισης έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στις οριακές περιπτώσεις. Συγκεκριμένα, για συστήματα με πολύ μικρή περίοδο, δηλαδή όταν η τιμή του T τείνει στο μηδέν, τα οποία έχουν πολύ μεγάλη δυσκαμψία σε σχέση με τη μάζα

τους, το ΜΒΣ κινείται μαζί με το έδαφος έχοντας, σε κάθε χρονική στιγμή, την επιτάχυνση του εδάφους και μηδενική σχετική μετακίνηση ($S_d = 0$ και $S_a = PGA = u_{g,max}$). Αντιθέτως, η μάζα ενός πολύ εύκαμπτου ΜΒΣ, το οποίο έχει πολύ μεγάλη ιδιοπερίοδο, παραμένει στη θέση της με μηδενικές επιταχύνσεις αλλά σχετικές μετακινήσεις με τιμή ίδια με τη μετατόπιση του εδάφους σε κάθε χρονικό σταθμό.

2.5 ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.

Τα χαρακτηριστικά των φασμάτων απόκρισης για διαφορετικούς σεισμούς έχουν έντονες διαφορές αφού οι σεισμικές διεγέρσεις έχουν πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά, τα οποία προφανώς προκαλούν διαφορετικές αποκρίσεις. Αυτό σημαίνει ότι μια συγκεκριμένη δόνηση δεν πρόκειται να επαναληφθεί στο μέλλον. Η χρονική ιστορία κάθε σεισμικής διέγερσης παράγει το δικό της μοναδικό φάσμα απόκρισης, με σχήμα που αντικατοπτρίζει το περιεχόμενο των συχνοτήτων της. Ως απόρροια των παραπάνω και λόγω των αβεβαιοτήτων που υπάρχουν όσον αφορά την αναμενόμενη σεισμική διέγερση, αλλά και την ακριβή τιμή της ιδιοπεριόδου μιας κατασκευής, είναι πιο ρεαλιστική η χρήση φασμάτων σχεδιασμού, τα οποία εκφράζουν την ομαλοποιημένη περιβάλλουσα μιας συλλογής από φάσματα απόκρισης.

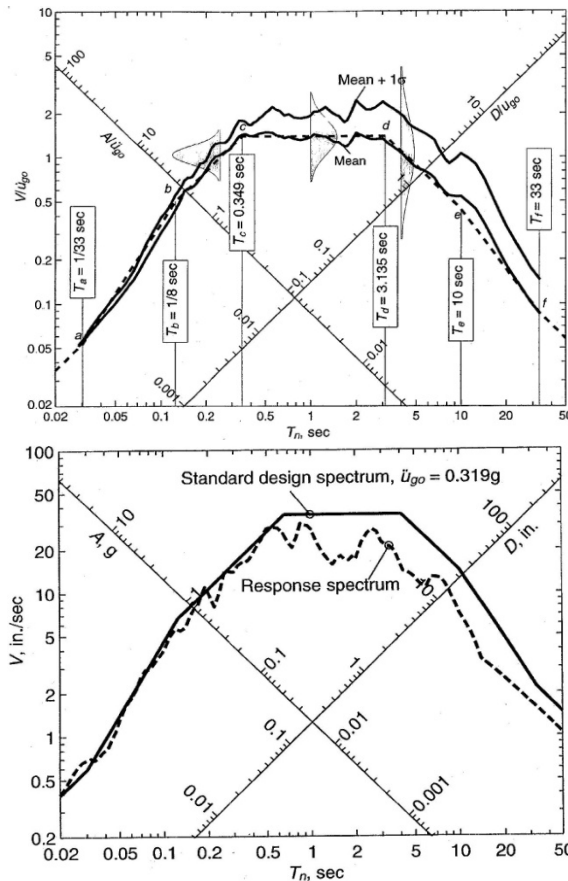
Τα φάσματα σχεδιασμού χρησιμοποιούνται στον αντισεισμικό σχεδιασμό αλλά και στην εκτίμηση της σεισμικής αντοχής των κατασκευών με σκοπό τη σεισμική αναβάθμιση και ενίσχυσή τους με κατάλληλες μεθόδους επισκευών και ενισχύσεων. Ένα φάσμα σχεδιασμού προκύπτει ως περιβάλλον φάσμα που περικλείει μία σειρά διαφορετικών πιθανών διεγέρσεων, που εκτιμήθηκαν για μια συγκεκριμένη περιοχή (Σχ. 2.1) και δίνεται κατευθείαν απ' τον αντισεισμικό κανονισμό. Κατά την κατασκευή των φασμάτων σχεδιασμού οι περιβάλλουσες σχηματίζονται χρησιμοποιώντας το μέσο όρο των διαθέσιμων φασμάτων απόκρισης συν μια τυπική απόκλιση, για να μειωθεί σε συγκεκριμένα αποδεκτά επίπεδα η πιθανότητα υπέρβασής τους. Όπως ένα επιταχυνσιογράφημα, έτσι και τα φάσματα απόκρισης και σχεδιασμού, μπορούν να πολλαπλασιαστούν κατάλληλα για να έχουμε συγκεκριμένη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση.

Κατά την κατασκευή του φάσματος σχεδιασμού λαμβάνονται υπόψη:

- (α) Οι ενεργές τιμές της εδαφικής κίνησης στην περιοχή του έργου.
- (β) Οι εδαφικές συνθήκες στην περιοχή αυτή.

Οι σύγχρονοι αντισεισμικοί κανονισμοί λαμβάνουν υπόψη τους την επιρροή των ιδιοτήτων του εδάφους στη μορφή του φάσματος. Στον Ελληνικό Κανονισμό (ΕΑΚ, ΟΑΣΠ, 2003) προβλέπονται τέσσερις κατηγορίες εδάφους, Α, Β, Γ και Δ, ενώ στον Ευρωκώδικα 8. [20] πέντε Α, Β, C, D και Ε. Η περιγραφή κάθε κατηγορίας δίνεται στον αντίστοιχο κανονισμό.

Πέρα από τα σεισμολογικά και εδαφικά χαρακτηριστικά, τα φάσματα σχεδιασμού πρέπει να λαμβάνουν υπόψη και κάποιους παράγοντες που αφορούν την υπό μελέτη κατασκευή. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τη σπουδαιότητα της κατασκευής, το υλικό του φέροντα οργανισμού, το δομικό σύστημα και το είδος της θεμελίωσης.



Σχήμα 2.1 Στατιστική επεξεργασία του φάσματος απόκρισης πραγματικής καταγραφής (σεισμός El Centro, 1940) και υπολογισμός φάσματος σχεδιασμού (κάτω) έπειτα από κανονικοποίηση [15].

Τέλος, σύμφωνα με τον ΕΚ8 [20] εκτός από την τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης, η ποιότητα του εδάφους πάνω στο οποίο θα θεμελιωθεί η κατασκευή επηρεάζει σημαντικά και τη μορφή του φάσματος σχεδιασμού και πρέπει να ληφθεί κατάλληλα υπόψη. Ο λόγος είναι ότι η κατασκευή θα διεγερθεί τελικώς με την κίνηση του εδάφους στη στάθμη θεμελίωσης, επομένως και η απόκριση του εδάφους στη σεισμική δόνηση επιδρά στη μορφή της διέγερσης που υφίσταται το τεχνικό έργο.

Επειδή ο υπολογισμός της σεισμικής απόκρισης είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία, η μέθοδος της φασματικής επαλληλίας ορίζεται για τον υπολογισμό μόνο των μεγίστων αποκρίσεων μιας κατασκευής κατά τη διάρκεια του σεισμού. Η μέθοδος είναι ταυτοχρόνως χρήσιμη και προσιτή. Στηρίζεται λοιπόν σε υπολογισμό της μέγιστης απόκρισης μιας ακολουθίας μονοβάθμιων συστημάτων με διάφορες ιδιοπεριόδους T και διαφορετικά ποσοστά απόσβεσης. Το φάσμα απόκρισης του συστήματος κατασκευάζεται με τεταγμένες τα υπολογισμένα μέγιστα αποκρίσεων και τετμημένες τις φυσικές περιόδους του συστήματος. Προκύπτει ότι η μέγιστη απόκριση (επιτάχυνση, ταχύτητα, μετατόπιση) όλων των ιδεατών γραμμικών συστημάτων με την ίδια φυσική περίοδο και απόσβεση, είναι η ίδια για δεδομένη σεισμική διέγερση. Πιο αναλυτικά δηλαδή το φάσμα απόκρισης μπορεί να χρησιμεύει ως «κλείδα υπολογισμού», όπου οι τεταγμένες του θα δώσουν όλες τις μέγιστες αποκρίσεις μιας κατασκευής, για όλες τις ιδιοπεριόδους της και για

οποιαδήποτε σεισμική διέγερση. Κατά συνέπεια το φάσμα απόκρισης αποτελεί ένα πανίσχυρο και ευέλικτο εργαλείο αναλύσεως, σύμφωνα και με τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς (2003,2010,2013). Επομένως το φάσμα είναι απαραίτητο στοιχείο για το μηχανικό το οποίο περιγράφει και αξιολογεί πόση σεισμική δύναμη θα δεχθούν οι κατασκευές.

Για μια υπό ανάλυση κατασκευή πρώτα υπολογίζονται οι ιδιοπερίοδοι και ιδιομορφές της. Κατόπιν υπολογίζονται οι μέγιστες αποκρίσεις για κάθε μία από τις ιδιομορφές με τη βοήθεια του φάσματος σχεδιασμού. Οι μέγιστες αυτές αποκρίσεις αθροίζονται με κατάλληλες μεθόδους και δίνουν την ολική μέγιστη απόκριση στην οποία βασίζεται η διαστασιολόγηση των διατομών.

Τα πλεονεκτήματα της παραπάνω διαδικασίας είναι [1]:

- (α) Η μείωση του μεγέθους του προβλήματος μειώνεται λόγω του υπολογισμού μόνο των μεγίστων αποκρίσεων περιορισμένου αριθμού ιδιομορφών.
- (β) Η προσεκτική παρατήρηση των ιδιομορφών και των ιδιοπεριόδων μιας κατασκευής δίνει στο Μελετητή μια καλή αίσθηση για τη δυναμική της συμπεριφορά
- (γ) Η χρήση του περιβάλλοντος φάσματος σχεδιασμού καθιστά την ανάλυση ουσιαστικά ανεξάρτητη από τα χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου σεισμού

Στα μειονεκτήματα της διαδικασίας συγκαταλέγονται τα ακόλουθα [1]:

- (α) Η φασματική ανάλυση είναι γραμμική και μπορεί να εφαρμόζεται μόνο προσεγγιστικά σε περιπτώσεις ανάλυσης κατασκευών με μη γραμμική συμπεριφορά
- (β) Τα αποτελέσματα είναι συνάρτηση ακραίων τιμών των αποκρίσεων και δεν περιέχουν πληροφορίες για το περιεχόμενο, τη συχνότητα, τη φάση και τον αριθμό των επαναλήψεων.
- (γ) Οι μέγιστες ακραίες δεν προκύπτουν ταυτόχρονα.
- (ε) Οι ροπές κάμψης που υπολογίζονται από τη φασματική ανάλυση είναι περιβάλλουσες μεγίστων τιμών που δεν συμβαίνουν ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η απεικόνιση της στατικής ισορροπίας τους με τις τέμνουσες δυνάμεις, οι οποίες είναι επίσης περιβάλλουσες μεγίστων τιμών, που κι αυτές δεν προκύπτουν ταυτόχρονα.
- (στ) Διαφορές σε ποσοστά απόσβεσης μιας κατασκευής μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν μόνο προσεγγιστικά.
- (ζ) Η φασματική ανάλυση υποθέτει ότι όλα τα μέρη της κατασκευής που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος δέχονται ενιαία κίνηση. Αυτό μπορεί να είναι αναληθές για εκτεταμένα συστήματα, όπως φράγματα ή μεγάλες γέφυρες.

Παρά τα παραπάνω μειονεκτήματά της, η δυναμική φασματική μέθοδος αποτελεί σήμερα το βασικό εργαλείο αντισεισμικού υπολογισμού κατασκευών, καθώς συνδυάζει την απλότητα με την ικανοποιητική ακρίβεια στην προσέγγιση του φαινομένου της σεισμικής διέγερσης ενός τεχνικού έργου.

2.6 ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ.

Η ικανότητα ανελαστικής παραμόρφωσης είναι η ουσιώδης ιδιότητα που καθιστά αντισεισμικό ένα κτίριο σε έναν ισχυρό σεισμό.

Η μέθοδος ανάλυσης ανελαστικού φάσματος είναι ανάλογη με αυτή των ελαστικών συστημάτων, όπου οι πιθανές ακραίες τιμές ενός μεγέθους απόκρισης υπολογίζονται μέσω ενός κατάλληλου συνδυασμού των μέγιστων ιδιομορφικών (φασματικών) τιμών του ίδιου μεγέθους. Οι ιδιομορφικές τιμές προκύπτουν από την απόκριση μονοβάθμιων ταλαντωτών, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την αντίστοιχη ιδιοπερίοδο, T (ή την ιδιοσυχνότητα, ω) και, συνήθως, από μια προκαθορισμένη τιμή για τον συντελεστή απόσβεσης ζ . Το φάσμα επιταχύνσεων εκφράζει τη μέγιστη επιτάχυνση μιας κατασκευής με συγκεκριμένη ιδιοπερίοδο. Για παράδειγμα μεγάλη φασματική επιτάχυνση για μια τιμή ιδιοπεριόδου σημαίνει ότι οι κατασκευές με αυτή την ιδιοπερίοδο θα δεχτούν αντίστοιχα μεγάλη σεισμική ένταση.

Οι μέγιστες ιδιομορφικές (φασματικές) τιμές μπορούν να προσδιοριστούν από ένα ελαστικό φάσμα σχεδιασμού (ή το φάσμα μιας συγκεκριμένης διέγερσης) μέσω των τιμών των παραμέτρων ω και ζ . Φάσματα σχεδιασμού όμως μπορούν να κατασκευασθούν και για μονοβάθμια ελαστοπλαστικά συστήματα, όπου επιπλέον απαιτείται και η γνώση της παραμόρφωσης διαρροής, u_y , όπως προκύπτει από μια στατική φόρτιση. Τα φάσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στην περίπτωση ανελαστικών ταλαντωτών που δεν παρουσιάζουν μια καθαρή ελαστοπλαστική συμπεριφορά (διγραμμικά συστήματα), όταν ο λόγος παραμένουσας ελαστικότητας, α , είναι σχετικά μικρός. Η χρήση ενός ανελαστικού φάσματος είναι ευχερής και ο υπολογισμός της συνολικής παραμόρφωσης ενός ανελαστικού ταλαντωτή παρότι, θεωρητικά απαιτεί μια πολύπλοκη μαθηματική ανάλυση καταλήγει σε απλούς υπολογισμούς. Ωστόσο, δεν θα επεκταθούμε περαιτέρω στην παρουσίαση τέτοιων φασμάτων καθώς δεν αποτελούν τμήμα και στόχο της εργασίας αυτής.

2.7 ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ.

Τα φάσματα σχεδιασμού των οριζόντιων συνιστωσών του σεισμού στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ) 2000 [19] καθορίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$0 \leq T < T_1: \quad R_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \left[1 + \frac{T}{T_1} \left(\frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} - 1 \right) \right] \quad (2.5\alpha)$$

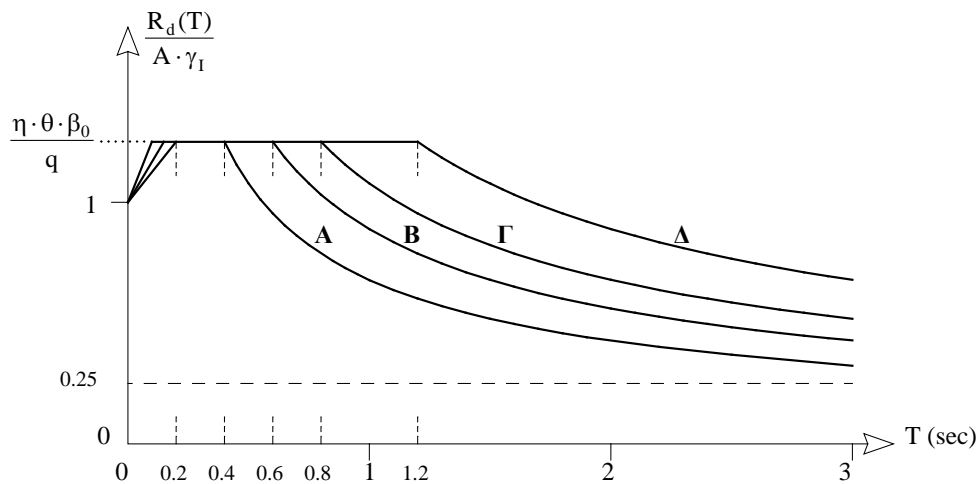
$$T_1 \leq T \leq T_2: \quad R_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \quad (2.5\beta)$$

$$T_2 < T: \quad R_d(T) = \gamma_I \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_0}{q} \cdot \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \quad (2.5\gamma)$$

Στις παραπάνω σχέσεις:

- $A = a \cdot g$ μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους
 g επιτάχυνση της βαρύτητας
 γ_I συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου
 q συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής
 η διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\neq 5\%$,
 θ συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης
 T_1 και T_2 χαρακτηριστικές περιόδου του φάσματος
 $\beta_0 = 2.5$ συντελεστής φασματικής ενίσχυσης.

Η γραφική παράσταση των εξισώσεων αυτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.

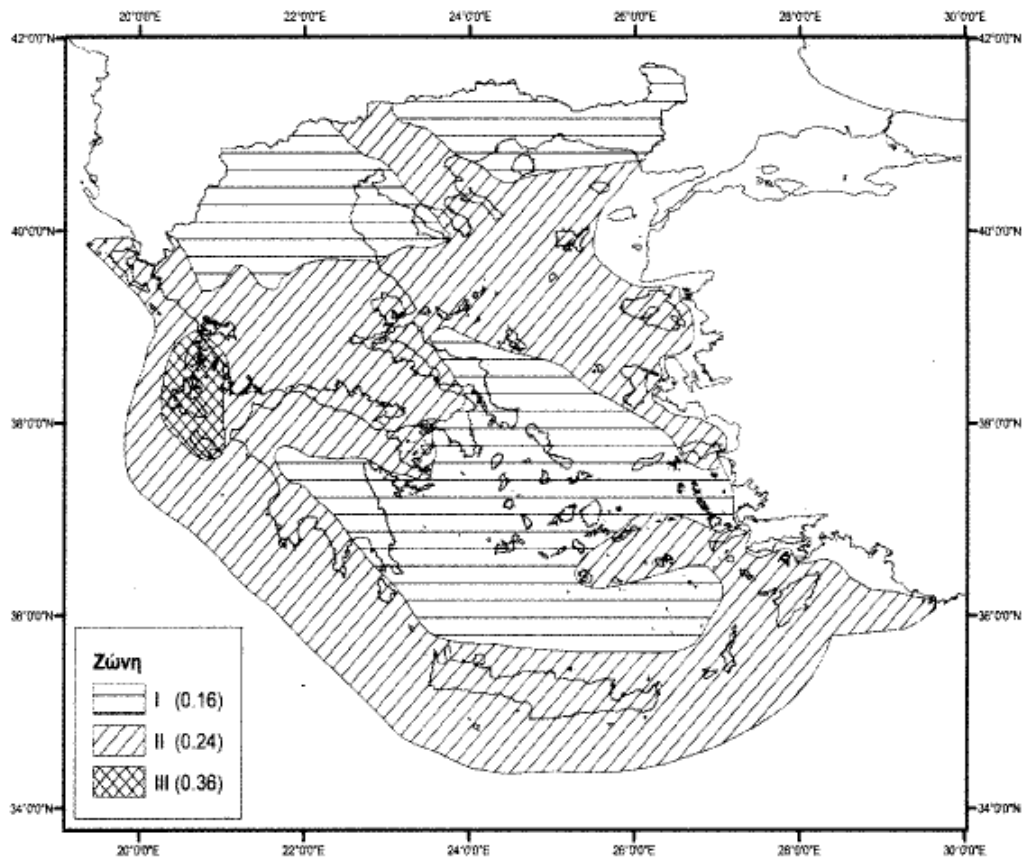


Σχήμα 2.2: Φάσματα Σχεδιασμού ΕΑΚ 2000 [19].

Η μέγιστη σεισμική οριζόντια επιτάχυνση του εδάφους A των παραπάνω εξισώσεων καθορίζεται για την περιοχή του έργου σύμφωνα με την υποδιαίρεση της χώρας σε υποδιαίρεται σε τρεις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας I, II και III τα όρια των οποίων καθορίζονται στον Χάρτη Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδος (Σχήμα 2.3). Οι τιμές των σεισμικών επιταχύνσεων εδάφους που αντιστοιχούν σε κάθε ζώνη και δίνονται στον Πίνακα 2.1 εκτιμάται, σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα, ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια.

Πίνακας 2.1 Σεισμική επιτάχυνση εδάφους ανά ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας (ΟΑΣΠ, 2003).

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
A	0.16	0.24	0.36



Σχήμα 2.3 Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας [19].

Για τον υπολογισμό του συντελεστή σπουδαιότητας γ_I , τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τον κίνδυνο που συνεπάγεται για τον άνθρωπο και τις συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή τους ή διακοπή της λειτουργίας τους. Σε κάθε κατηγορία σπουδαιότητας αντιστοιχεί μία τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας γ_I σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2.

Ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0.7 \quad (2.6)$$

όπου οι τιμές της κρίσιμης απόσβεσης ζ (%) δίδονται στον Πίνακα 3.3 για κάθε είδος κατασκευής. Σε ειδικές περιπτώσεις συστημάτων που αποδεδειγμένα διαθέτουν ιδιαίτερα

μεγάλη απόσβεση, το κάτω όριο του συντελεστή «n» επιτρέπεται να μειωθεί μέχρι την τιμή 0.5 έπειτα από ειδική μελέτη.

Πίνακας 2.2 Τιμές του συντελεστή σπουδαιότητας σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000[19]

Κατηγορία Σπουδαιότητας		γ_1
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, π.χ. αγροτικά οικήματα, υπόστεγα, στάβλοι κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κλπ.	1.00
Σ3	Εκπαιδευτικά κτίρια, κτίρια δημόσιων συναθροίσεων, αίθουσες αεροδρομίων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου. Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας (π.χ. κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες) κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών. Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας (π.χ. μουσεία κλπ.).	1.30

Πίνακας 2.3 Τιμές ποσοστού κρίσιμης απόσβεσης ζ σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 [19].

Είδος Κατασκευής		$\zeta\%$
Μεταλλική:	με συγκολλήσεις	2
	με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα:	άοπλο	3
	οπλισμένο	5
	προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία:	Οπλισμένη	6
	Διαζωματική	5
Ξύλινη:	Κολλητή	4
	κοχλιωτή	4
	ηλωτή	5

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q εισάγει την μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά στο ελαστικό σύστημα. Μέγιστες τιμές του q δίδονται στον Πίνακα 2.4 ανάλογα με το είδος του υλικού κατασκευής και τον τύπο του δομικού συστήματος. Οι τιμές αυτές ισχύουν υπό την βασική προϋπόθεση ότι για τον σεισμό σχεδιασμού έχουμε έναρξη διαρροής του συστήματος (πρώτη πλαστική άρθρωση) και με την περαιτέρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατός ο σχηματισμός αξιόπιστου

μηχανισμού διαρροής με την δημιουργία ικανού αριθμού πλαστικών αρθρώσεων (πλάστιμη συμπεριφορά). Σε περίπτωση επιθυμητής ελαστικής συμπεριφοράς λαμβάνεται $q = 1$.

Πίνακας 2.4 Μέγιστες τιμές συντελεστή συμπεριφοράς q σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 [19].

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2.00
2. ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4.00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα *	4.00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	• διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
	• σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50
	• σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται*)	1.00
* Βλέπε Παράρτημα Γ.		
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	γ. Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1.00
	β. Δοκοί – Τόξα – Κολλητά πετάσματα	1.50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2.00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3.00

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας τα εδάφη κατατάσσονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες Α, Β, Γ και Δ που περιγράφονται στον Πίνακα 2.5. Ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους λαμβάνονται κατάλληλες τιμές για τις χαρακτηριστικές περιόδους T_1 και T_2 του φάσματος σχεδιασμού του Κανονισμού (Εξ. 2.5), όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.6.

Τέλος, ο συντελεστής θεμελίωσης θ εξαρτάται γενικά από το βάθος και την δυσκαμψία της θεμελίωσης. Σε εδάφη Κατηγορίας Α ή Β ο συντελεστής θ λαμβάνει την τιμή 1.0. Σε εδάφη κατηγορίας Γ ή Δ ο συντελεστής θεμελίωσης θ επιτρέπεται να λαμβάνει μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές (Πίνακας 2.7), ανάλογα με τις συνθήκες θεμελίωσης και εφόσον η φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού που προκύπτει (Εξ. 2.5) δεν είναι μικρότερη από εκείνη που θα προέκυπτε για έδαφος κατηγορίας Β.

Πίνακας 2.5 Κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 [19]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.

Πίνακας 2.6 Τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2 (sec) σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000[19].

Κατηγορία εδάφους	A	B	Γ	Δ
T_1	0.10	0.15	0.20	0.20
T_2	0.40	0.60	0.80	1.20

Πίνακας 2.7 Συντελεστής θεμελίωσης θ σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 [19]

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	
2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Η/Υ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ.

3.1 ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας, το φάσμα απόκρισης ψευδοεπιταχύνσεων μας παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την επίδραση του σεισμού στις κατασκευές και αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο «εργαλείο» για τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Ο υπολογισμός των κατασκευών του Πολιτικού Μηχανικού για σεισμικά φορτία γίνεται με τη χρήση των φασμάτων του ΕΑΚ 2000 που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Είναι λοιπόν ενδιαφέρον να εξετάσει κανείς ποια είναι η σχέση των φασμάτων αυτών με αντίστοιχα που προκύπτουν από πραγματικούς ιστορικούς σεισμούς της Ελλάδας, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο.

Οπότε ο βασικός στόχος της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός προγράμματος Η/Υ που θα εκτελεί τους απαραίτητους υπολογισμούς ώστε να προκύψουν τα φάσματα μετατοπίσεων, ψευδοταχυτήτων και ψευδοεπιταχύνσεων πέντε γνωστών σεισμικών καταγραφών. Τα φάσματα αυτά στη συνέχεια συγκρίνονται με τα φάσματα σχεδιασμού του ΕΑΚ 2000.

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε υπολογίζει την απόκριση ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή σε τυχούσα διεγερση. Τελικώς μας ενδιαφέρουν οι μέγιστες τιμές της απόκρισης, συγκεκριμένα η μέγιστη μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση που προκύπτουν από την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης [15]:

$$\ddot{u}(t) + 2\xi\omega\dot{u}(t) + \omega^2u(t) = f(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (3.1)$$

Η επίλυση της εξίσωσης από το πρόγραμμα βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

- Η διεγερση καθορίζεται με τιμές σε ίσα χρονικά διαστήματα dt .
- Η μεταβολή της διεγερσης μεταξύ των χρονικών σταθμών είναι γραμμική.
- Το φάσμα απόκρισης να υπολογίζεται για συγκεκριμένο, προκαθορισμένο αριθμό ιδιοπεριόδων που ισοκατανέμονται γραμμικά μεταξύ μιας ελάχιστης και μίας μέγιστης τιμής.
- Το φάσμα να υπολογίζεται συγκεκριμένη και καθορισμένη τιμή του συντελεστή απόσβεσης ξ .

Με βάση τις παραδοχές αυτές η εξίσωση επιλύεται για κάθε τιμή της ιδιοπεριόδου T (άρα και για κάθε τιμή της κυκλικής ιδιοσυχνότητας ω) σύμφωνα με τους ακριβείς αναδρομικούς τύπους υποθέτοντας ότι η διεγερση σε κάθε τμήμα της προσεγγίζεται ως τραπέζιο. Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής [21]:

$$u_{n+1} = A_1u_n + A_2\dot{u}_n + A_3\ddot{u}_{g(n+1)} + A_4\ddot{u}_{gn} \quad (3.2a)$$

$$\dot{u}_{n+1}=A_5 u_n + A_6 \dot{u}_n + A_7 \ddot{u}_{g(n+1)} + A_8 \ddot{u}_{gn} \quad (3.2\beta)$$

$$\ddot{u}_{n+1}=-\ddot{u}_{g(n+1)} - 2\xi\omega\dot{u}_{n+1} - \omega^2 u_{n+1} \quad (3.2\gamma)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις u , \dot{u} , \ddot{u} η μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση του ταλαντωτή στο βήμα n ή $n+1$ (όπως σημειώνεται) και \ddot{u}_g η επιτάχυνση του εδάφους στο βήμα n ή $n+1$ που «διαβάζεται» από το επιταχυνσιογράφημα. Οι παράμετροι A_1 έως A_8 υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις [21]:

$$A_1 = G + \frac{\xi\omega}{\omega_d} H, \quad A_2 = -\frac{H}{\omega_d} \quad (3.3\alpha)$$

$$A_3 = -\frac{1}{\omega^2 \Delta t} \left\{ \frac{2\xi}{\omega} (A_1 - 1) - A_2 + \Delta t \right\} \quad (3.3\beta)$$

$$A_4 = \frac{1}{\omega^2} (A_1 - \omega^2 A_3 - 1) \quad (3.3\gamma)$$

$$A_5 = -\omega^2 A_2, \quad A_6 = G - \xi\omega A_2 \quad (3.3\delta)$$

$$A_7 = \frac{1}{\omega^2 \Delta t} (A_1 - 1), \quad A_8 = -(A_2 + A_7) \quad (3.3\epsilon)$$

Οι συντελεστές G και H προκύπτουν ως εξής [21]:

$$G = e^{-\xi\omega\Delta t} \cdot \cos(\omega_d \Delta t) \quad (3.4\alpha)$$

$$H = e^{-\xi\omega\Delta t} \cdot \sin(\omega_d \Delta t) \quad (3.4\beta)$$

όπου Δt το χρονικό βήμα του επιταχυνσιογραφήματος και η κυκλική ιδιοσυχνότητα του ταλαντωτή με απόσβεση ω_d υπολογίζεται από την εξίσωση [15]:

$$\omega_d = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (3.5)$$

Το μεγάλο πλεονέκτημα της παραπάνω διαδικασίας σχετικά με τον προγραμματισμό της στον Η/Υ σχετίζεται με τις σταθερές A_1 έως A_8 , G , και H , οι οποίες για κάθε ταλαντωτή υπολογίζονται μία φορά, και όχι σε κάθε βήμα εφαρμογής του αναδρομικού τύπου (Εξ. 2α έως 2γ). Άρα το πρόγραμμα που προκύπτει είναι σχετικά μικρό σε έκταση και εκτελείται σύντομα.

Το πρόγραμμα Η/Υ για τον υπολογισμό των φασμάτων απόκρισης σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία αναπτύχθηκε σε γλώσσα FORTRAN χρησιμοποιώντας τη δωρεάν έκδοση Force 2.0.9 .

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΧΘΗΚΕ.

Το βασικό δεδομένο που διαχειρίζεται το πρόγραμμά μας είναι οι σεισμικές καταγραφές, δηλαδή τα επιταχυνσιογραφήματα. Οι καταγραφές αυτές προέρχονται από τις συσκευές (επιταχυνσιογράφους) που είναι τοποθετημένες στο πεδίο. Τα ψηφιακά αρχεία που δημιουργούν οι συσκευές αυτές περιλαμβάνουν σειρές αριθμητικών δεδομένων, συγκεκριμένα τιμών της εδαφικής επιτάχυνσης που καταγράφηκαν κατά το σεισμό σε σταθερά μεταξύ τους χρονικά διαστήματα. Οι τιμές αυτές είναι διαταγμένες σε οκτάδες ή πεντάδες ανά γραμμή του αρχείου. Για μεγαλύτερη ευκολία εμείς θεωρήσαμε ότι το επιταχυνσιογράφημα μετατρέπεται σε μία απλή στήλη τιμών. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει εύκολα με ένα σύντομο πρόγραμμα όπως αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην πτυχιακή εργασία και παρατίθεται στο παράρτημά της.

Αφού το φυσικό επιταχυνσιογράφημα μετατρέπεται σε μία στήλη, απαιτείται στο πρόγραμμά μας να ορισθεί μία μεταβλητή – πίνακας που θα χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευσή του στη μνήμη του Η/Υ. Η μεταβλητή αυτή ονομάστηκε ACCG και ορίστηκε ως πίνακας στήλη με έως 5000 στοιχεία. Αντίστοιχοι πίνακες χρειάζονται για την αποθήκευση των αποτελεσμάτων απόκρισης (μετατόπιση, ταχύτητα και επιτάχυνση σε κάθε χρονικό σταθμό) του ταλαντωτή που προκύπτουν από τις Εξ. (2α) έως 2(γ). Επιπλέον μεταβλητές – πίνακες θα είναι και τα τελικά αποτελέσματα, δηλαδή οι φασματικές μετατοπίσεις, ψευδοταχύτητες και ψευδοεπιταχύνσεις αφού θα προκύψουν για πολλές τιμές τις ιδιοπεριόδου T. Οπότε τελικώς απαιτείται ο ορισμός των παρακάτω μεταβλητών - πινάκων – στηλών:

- ACCG: επιτάχυνση του εδάφους
- U: ταχύτητα του ταλαντωτή
- V: μετατόπιση του ταλαντωτή
- A: επιτάχυνση του ταλαντωτή
- T: τιμές ιδιοπεριόδου για τις οποίες υπολογίζονται τα φάσματα
- SD: φασματική μετατόπιση
- SV: φασματική ψευδοταχύτητα
- SA : φασματική ψευδοεπιτάχυνση

Οπότε οι πίνακες ορίζονται στον κώδικα ως εξής:

```
DIMENSION ACCG(5000), U(5000), V(5000), A(5000)  
DIMENSION T(1000), SD(1000), SA(1000), SV(1000)
```

Εκτός από τις τιμές του επιταχυνσιογραφήματος, τα δεδομένα που απαιτούνται για να λειτουργήσει το πρόγραμμα είναι τα εξής:

- πλήθος ιδιοπεριόδων: μεταβλητή NPER
- μέγιστη τιμή ιδιοπεριόδου: μεταβλητή TMAX
- ελάχιστη τιμή ιδιοπεριόδου: μεταβλητή TMIN

- ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης: μεταβλητή KSI (πραγματική)
- πλήθος τιμών διέγερσης: μεταβλητή NACC
- χρονικό βήμα διέγερσης: μεταβλητή DT.

Τα δεδομένα αυτά «διαβάζονται» από ένα αρχείο με όνομα DATA.TXT, το οποίο περιλαμβάνει και το επιταχυνσιογράφημα και πρέπει να έχει δημιουργηθεί πριν την εκτέλεση του προγράμματος. Το αρχείο με τα αποτελέσματα της εκτέλεσης του προγράμματος δημιουργείται αυτόματα και έχει όνομα OUTPUT.TXT. Ο ορισμός των αρχείων και η ανάγνωση των δεδομένων από το πρόγραμμα γίνεται ως εξής:

```
OPEN ( 5 , FILE= ' DATA . TXT ' )
OPEN ( 6 , FILE= ' OUTPUT . TXT ' )
READ ( 5 , * ) NPER , TMAX , TMIN , KSI
READ ( 5 , * ) NACC , DT
READ ( 5 , * ) ( ACCG ( I ) , I=1 , NACC )
```

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων το πρόγραμμα υπολογίζει το βήμα αύξησης της ιδιοπεριόδου DPER, σύμφωνα με το οποίο προκύπτει σε κάθε σταθμό υπολογισμού η τιμή της ιδιοπεριόδου του ταλαντωτή που επιλύεται. Επειδή η αύξηση της ιδιοπεριόδου είναι γραμμική μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της, το βήμα DPER προκύπτει στο πρόγραμμα ως εξής:

$$DPER = (TMAX - TMIN) / NPER$$

Στη συνέχεια εκτελείται η κυρίως υπολογιστική διαδικασία που ξεκινά με τον υπολογισμό της ιδιοπεριόδου για το συγκεκριμένο σταθμό υπολογισμού T(J), και των αντιστοίχων κυκλικών ιδιοσυχνοτήτων χωρίς και με απόσβεση OM και OMD αντίστοιχα:

$$T(J) = T(J-1) + DPER$$

$$OM = 2 * \pi / T(J)$$

$$OMD = OM * \sqrt{(1 - KSI ** 2)}$$

Με γνωστές τις δύο συχνότητες μπορούν υπολογίζονται και οι συντελεστές των Εξ. (3α) έως (3ε), (4α) και (4β):

$$H = \exp(-KSI * OM * DT) * \sin(OMD * DT)$$

$$G = \exp(-KSI * OM * DT) * \cos(OMD * DT)$$

$$A1 = G + ((KSI * OM) / OMD) * H$$

$$A2 = H / OMD$$

$$A3 = -(1.0 / ((OM ** 2) * DT)) * ((2 * KSI / OM) * (A1 - 1.0) - A2 + DT)$$

$$A4 = (A1 - (OM ** 2) * A3 - 1) / (OM ** 2)$$

```

A5=- (OM**2) *A2
A6=G- (KSI*OM*A2)
A7=(A1-1) / ( (OM**2) *DT)
A8=- (A2+A7)

```

Με γνωστές πλέον τις παραμέτρους το πρόγραμμα εφαρμόζει τους αναδρομικούς τύπους των Εξ. (2α) – (2γ) σε μία επαναληπτική διαδικασία (βρόχο) και υπολογίζει τα τρία μεγέθη απόκρισης του ταλαντωτή:

```

DO 10 N=1,NACC-1
U(N+1)=A1*U(N)+A2*V(N)+A3*ACCG(N+1)+A4*ACCG(N)
V(N+1)=A5*U(N)+A6*V(N)+A7*ACCG(N+1)+A8*ACCG(N)
A(N+1)=-ACCG(N+1)-(2*KSI*OM*V(N+1))-(OM**2)*U(N+1)
10 CONTINUE

```

Η παραπάνω μέθοδος έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό της απόκρισης ενός ταλαντωτή σε κάθε χρονικό βήμα. Εμείς έχουμε στόχο να υπολογίσουμε τα φάσματα απόκρισης για μια συγκεκριμένη φυσική σεισμική καταγραφή. Αυτό σημαίνει ότι από την παραπάνω διαδικασία μας ενδιαφέρει να «κρατήσουμε» την απολύτως μέγιστη τιμή της μετατόπισης που υπολογίζεται. Ψάχνουμε, δηλαδή τη μεγαλύτερη από τις τιμές που έχουν αποθηκευτεί στη μεταβλητή – πίνακα U, η οποία είναι για τη συγκεκριμένη ιδιοπερίοδο T(J) η φασματική μετατόπιση. Στον κώδικα προστίθεται μία κλασσική σειρά εντολών που εκτελεί τον απαιτούμενο υπολογισμό :

```

SD(J)=ABS(U(1))
DO 20 I=1,NACC
IF (ABS(U(I)).GT.SD(J)) THEN
SD(J)=ABS(U(I))
END IF
20 CONTINUE

```

Με γνωστή τη φασματική μετατόπιση SD(J) για το συγκεκριμένο σταθμό υπολογισμού, προκύπτει η φασματική ψευδοεπιτάχυνση και η αντίστοιχη ψευδοταχύτητα από τους γνωστούς τύπους. Οι τιμές τους αποθηκεύονται στις μεταβλητές διανύσματα SA(J) και SV(J) καθώς αποτελούν βασικό αποτέλεσμα του προγράμματος. Τελικώς, εκτυπώνονται στο αρχείο αποτελεσμάτων τα τρία φασματικά μεγέθη και η ιδιοπερίοδος στην οποία αντιστοιχούν:

```

SA(J)=OM**2*SD(J)/9.81
SV(J)=OM*SD(J)
WRITE (6,50) T(J),SA(J),SV(J),SD(J)

```

Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτουν οι τιμές των τριών φασμάτων (μετατόπιση, ψευδοταχύτητας και ψευδοεπιτάχυνσης) για μία τιμή της ιδιοπεριόδου. Για να προκύψουν τα φάσματα οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται NPER φορές, με την ιδιοπερίοδο T να αυξάνει σταδιακά κατά DPER έως την τιμή TMAX που εξηγήθηκαν προηγουμένως. Αυτό σημαίνει ότι οι παραπάνω υπολογισμοί περιλαμβάνονται σε έναν «εξωτερικό» βρόχο με ελεύθερη μεταβλητή το J (που καθορίζει τη «θέση», το στοιχείο δηλαδή που αποθηκεύονται τα αποτελέσματα στους αντίστοιχους πίνακες). Με βάση και αυτήν την παρατήρηση η συνολική λίστα του προγράμματος QUAKE που δημιουργήθηκε (QUAKE.FOR ο κώδικας και QUAKE.EXE το εκτελέσιμο) έχει ως εξής:

```

REAL KSI
DIMENSION ACCG(5000),U(5000),V(5000),A(5000)
DIMENSION T(1000),SD(1000),SA(1000),SV(1000)
OPEN(5,FILE="DATA.TXT")
OPEN(6,FILE="OUTPUT.TXT")
READ(5,*)NPER,TMAX,TMIN,KSI
READ(5,*)NACC,DT
READ(5,*)(ACCG(I),I=1,NACC)
T(1)=TMIN
DPER=(TMAX-TMIN)/NPER
PI=2*ASIN(1.)
WRITE (6,5)
5 FORMAT (4X,"T (sec)",6X,"Sa (g)",4X,"Sv (m/sec)",4X,"Sd"
&" (m) ")
DO 100 J=2,NPER+1
T(J)=T(J-1)+DPER
OM=2*PI/T(J)
OMD=OM*SQRT((1-KSI**2))
H=EXP(-KSI*OM*DT)*SIN(OMD*DT)
G=EXP(-KSI*OM*DT)*COS(OMD*DT)
A1= G+((KSI*OM)/OMD)*H
A2=H/OMD
A3=-((1.0/((OM**2)*DT))*((2*KSI/OM)*(A1-1.0)-A2+DT))
A4=(A1-(OM**2)*A3-1)/(OM**2)
A5=-((OM**2)*A2)
A6=G-(KSI*OM*A2)
A7=(A1-1)/((OM**2)*DT)
A8=-((A2+A7))
U(1)=0
V(1)=0
A(1)=-ACCG(1)
DO 10 N=1,NACC-1
U(N+1)=A1*U(N)+A2*V(N)+A3*ACCG(N+1)+A4*ACCG(N)
V(N+1)=A5*U(N)+A6*V(N)+A7*ACCG(N+1)+A8*ACCG(N)
A(N+1)=-ACCG(N+1)-(2*KSI*OM*V(N+1))-(OM**2)*U(N+1)
10 CONTINUE
SD(J)=ABS(U(1))
DO 20 I=1,NACC
IF (ABS(U(I)).GT.SD(J)) THEN

```

```

SD(J)=ABS(U(I))
END IF
20 CONTINUE
SA(J)=OM**2*SD(J)/9.81
SV(J)=OM*SD(J)
WRITE(6,50) T(J),SA(J),SV(J),SD(J)
50 FORMAT(4X,F7.5,3(5X,F7.5))
100 CONTINUE
END

```

3.3 ΟΔΗΓΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Η χρήση του προγράμματος QUAKE για τον υπολογισμό των φασμάτων απόκρισης μιας σεισμικής καταγραφής απαιτεί τη δημιουργία του αρχείου δεδομένων με όνομα DATA.TXT. Το αρχείο αυτό δημιουργείται εύκολα από την εφαρμογή «σημειωματαρίου» των λειτουργικών συστημάτων. Στο αρχείο αυτό θα πρέπει να ορισθούν οι αριθμητικές τιμές των μεταβλητών NPER, TMAX, TMIN, KSI, NACC και DT που εξηγήθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Οι τιμές των τεσσάρων πρώτων μεταβλητών δηλώνονται στην πρώτη γραμμή του DATA.TXT χωρισμένες με κόμμα μεταξύ τους. Το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει τιμές των φασμάτων για έως και 1000 διαφορετικές τιμές της ιδιοπεριόδου, δηλαδή $NPER \leq 1000$. Στην επόμενη γραμμή ορίζονται οι τιμές για τα NACC και DT. Ο αριθμός των τιμών του επιταχυνσιογραφήματος που χρησιμοποιείται δεν πρέπει να ξεπερνά το 5000 ($NACC \leq 5000$). Το χρονικό βήμα της καταγραφής DT συνήθως σημειώνεται στο σχετικό αρχείο που δημιουργείται από τη συσκευή. Με βάση τα παραπάνω οι δύο πρώτες γραμμές του αρχείου δεδομένων μπορούν ενδεικτικά να έχουν την ακόλουθη μορφή:

```

200,4.,0.,0.05
5000,0.005

```

Τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα σημαίνουν ότι τα φάσματα θα υπολογιστούν για 200 τιμές της ιδιοπεριόδου για τις οποίες ισχύει $0.0 < T < 4.0$ (sec) και για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\xi = 5\%$. Το επιταχυνσιογράφημα που θα χρησιμοποιηθεί έχει 5000 σημεία που αντιστοιχούν σε καταγραφές τις εδαφικής επιτάχυνσης ανά 0.005 sec.

Στη συνέχεια, στο αρχείο DATA.TXT ο χρήστης πρέπει να συμπεριλάβει τις τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης διαταγμένες σε μία στήλη και σε μονάδες m/sec^2 . Σημειώνεται ότι οι φυσικές καταγραφές που «διαβάζονται» από τους επιταχυνσιογράφους είναι συνήθως διαταγμένες ανά οκτώ σε κάθε γραμμή και σε μονάδες cm/sec^2 . Για τη μετατροπή στη μορφή που απαιτεί το πρόγραμμά μας μπορεί να χρησιμοποιηθεί το απλό, συνοδευτικό πρόγραμμα LIST που δημιουργήθηκε για το σκοπό αυτό.:

```

DIMENSION ACCG1(1000,1000),ACCG(6000)
OPEN(5,FILE="DATA1.TXT")
OPEN(6,FILE="DATA.TXT")
READ (5,*) NL,NC
READ (5,*) ((ACCG1(I,J),J=1,NC),I=1,NL)
K=0
DO 10 I=1,NL
DO 10 J=1,NC
K=K+1
ACCG(K)=ACCG1(I,J)/100
10 CONTINUE
DO 20 I=1,K
20 WRITE (6,*) ACCG(I)
STOP
END

```

Το αρχείο DATA1.TXT που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα LIST περιλαμβάνει στην πρώτη γραμμή του τον αριθμό των γραμμών NL και στηλών της καταγραφής και ακολούθως τις τιμές τις επιτάχυνσης όπως προέκυψαν από τον επιταχυνσιογράφο (χωρίς τα συνοδευτικά κείμενα που προηγούνται από αυτές συνήθως). Το πρόγραμμα LIST δημιουργεί αυτόματα το DATA.TXT που χρειάζεται το QUAKE, με εξαίρεση της δύο πρώτες γραμμές του που πρέπει να προστεθούν από το χρήστη πριν την εκτέλεσή του.

Από την εκτέλεση του προγράμματος QUAKE προκύπτουν τα τρία φάσματα, ψευδοεπιταχύνσεων, ψευδοταχυτήτων και μετατοπίσεων και αποθηκεύονται μαζί με τις αντίστοιχες τιμές της ιδιοπεριόδου στο αρχείο αποτελεσμάτων OUTPUT.TXT. Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε πινακοποιημένη μορφή όπως φαίνεται στο ενδεικτικό τμήμα του αρχείου που ακολουθεί, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά και χρήση τους σε προγράμματα σχεδίασης διαγραμμάτων κλπ.

Πίνακας 3.1 Ενδεικτικά αποτελέσματα προγράμματος QUAKE.

T (sec)	Sa (g)	Sv (m/sec)	Sd (m)
0.02000	0.23096	0.00721	0.00002
0.04000	0.30497	0.01905	0.00012
0.06000	0.42649	0.03995	0.00038
0.08000	0.41860	0.05228	0.00067
0.10000	0.34723	0.05421	0.00086
0.12000	0.40682	0.07622	0.00146
0.14000	0.55786	0.12194	0.00272
0.16000	0.44928	0.11224	0.00286
0.18000	0.47401	0.13321	0.00382
0.20000	0.55898	0.17455	0.00556
0.22000	0.44549	0.15302	0.00536
0.24000	0.30235	0.11330	0.00433
0.26000	0.30728	0.12474	0.00516
0.28000	0.38732	0.16932	0.00755
0.30000	0.39859	0.18670	0.00891
0.32000	0.37330	0.18651	0.00950
0.34000	0.37872	0.20104	0.01088

Πίνακας 3.1 Ενδεικτικά αποτελέσματα προγράμματος QUAKE (συνέχεια).

0.36000	0.40835	0.22952	0.01315
0.38000	0.44016	0.26115	0.01579
0.40000	0.47008	0.29358	0.01869
0.42000	0.48751	0.31969	0.02137
0.44000	0.49621	0.34088	0.02387
0.46000	0.49513	0.35560	0.02603
0.48000	0.48627	0.36443	0.02784
0.50000	0.47613	0.37170	0.02958
0.52000	0.46636	0.37863	0.03134
0.54000	0.45381	0.38261	0.03288
0.56000	0.43706	0.38214	0.03406
0.58000	0.41689	0.37751	0.03485
0.60000	0.39328	0.36842	0.03518
0.62000	0.36629	0.35457	0.03499
0.64000	0.34388	0.34362	0.03500
0.66000	0.32289	0.33273	0.03495
0.68000	0.29266	0.31071	0.03363
0.70000	0.25685	0.28072	0.03127
0.72000	0.23387	0.26290	0.03013
0.74000	0.21256	0.24559	0.02892
0.76000	0.19304	0.22906	0.02771
0.78000	0.17571	0.21398	0.02656
0.80000	0.16048	0.20045	0.02552
0.82000	0.14797	0.18945	0.02472
0.84000	0.13966	0.18317	0.02449
0.86000	0.13217	0.17747	0.02429
0.88000	0.12528	0.17213	0.02411
0.90000	0.11900	0.16722	0.02395
0.92000	0.11347	0.16299	0.02387
0.94000	0.10883	0.15973	0.02390
0.96000	0.10520	0.15768	0.02409
0.98000	0.10259	0.15698	0.02448
1.00000	0.10092	0.15757	0.02508

3.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΘΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.

Ο έλεγχος ορθότητας αποτελεί της διαδικασία πιστοποίησης του προγράμματος. Είναι απαραίτητος προκειμένου να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν σφάλματα υπολογισμών στο πρόγραμμα που δημιουργήθηκε και, στην περίπτωση που δεν υπάρχουν, εάν είναι το πρόγραμμα κατάλληλο για γενική εφαρμογή. Η διαδικασία ελέγχου στηρίζεται στην επίλυση ενός προβλήματος τόσο με το πρόγραμμα, όσο και με μία εναλλακτική μέθοδο με εξασφαλισμένη ορθότητα και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με τους δύο τρόπους.

Στο πεδίο της ταλάντωσης μονοβάθμιων συστημάτων όπως αυτό που πρακτικά λύνει το πρόγραμμά μας υπάρχουν προβλήματα που διαθέτουν γνωστές λύσεις «κλειστής» μορφής. Στην περίπτωση αυτή ανήκει το πρόβλημα του υπολογισμού της απόκρισης ενός μονοβάθμιου ταλαντωτή στον οποίο επιδρά μια εδαφική επιτάχυνση που περιγράφεται από μία συνάρτηση με ημιτονοειδή μορφή:

$$\ddot{u}_g(t) = -a \sin \Omega t \quad (3.6)$$

όπου a η μέγιστη τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης και Ω η συχνότητα της διέγερσης (σταθερές).

Η λύση της Εξ. (1) για τη διέγερση της Εξ. (6) είναι γνωστή και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο [15]:

$$u(t) = \frac{a}{\omega^2 \left[(1 - \lambda^2)^2 + (2\xi\lambda)^2 \right]} \left\{ (1 - \lambda^2) \sin \Omega t - 2\xi\lambda \cos \Omega t - e^{-\xi\omega t} \left[\frac{(1 - \lambda^2)\Omega - 2\xi^2\Omega}{\omega_D} \sin \omega_D t - 2\xi\lambda \cos \omega_D t \right] \right\} \quad (3.7)$$

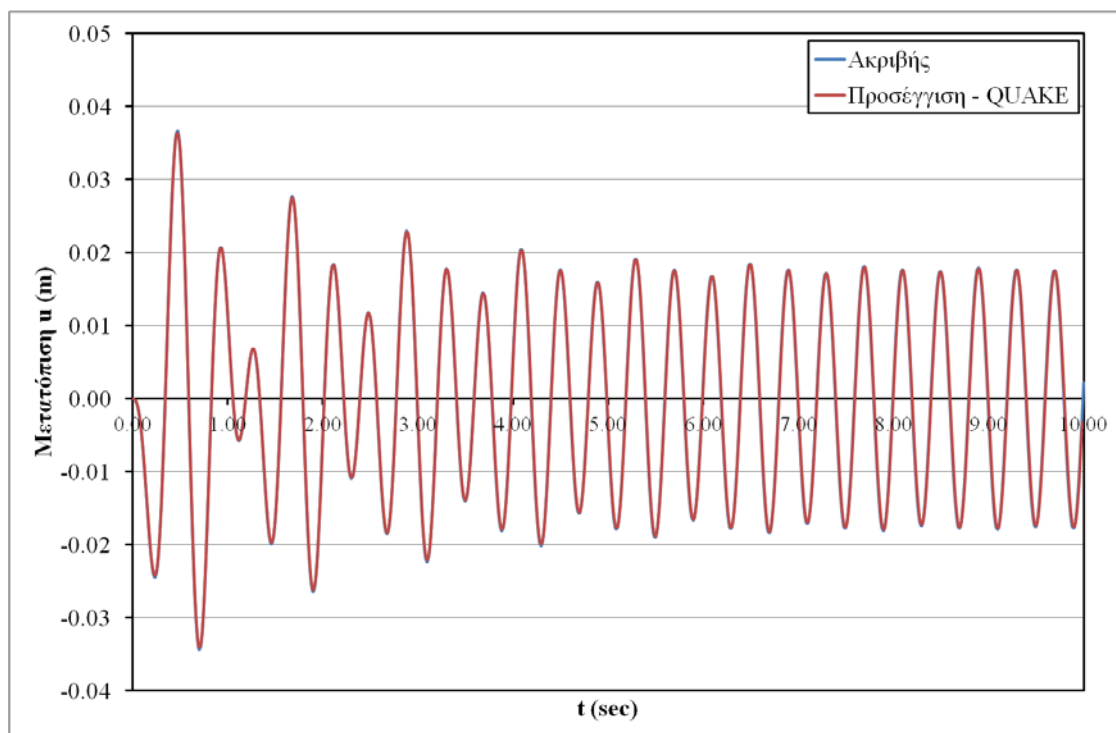
όπου η παράμετρος $\lambda = \Omega/\omega$ είναι ο λόγος της ιδιοσυχνότητας της διέγερσης προς αυτήν του ταλαντωτή. Η Εξ. (7) αν και μοιάζει πολύπλοκη είναι ένας κλειστός τύπος με μοναδική παράμετρο το χρόνο t . Αυτό σημαίνει ότι δίνοντας τιμές για το χρονικό σημείο t (sec) η σχέση μας «επιστρέφει» την απόκριση, δηλαδή τη μετατόπιση του ταλαντωτή u στο ίδιο χρονικό σημείο. Άρα η ζητούμενη απόκριση για ένα συγκεκριμένο ταλαντωτή με γνωστά χαρακτηριστικά, δηλαδή δεδομένες ιδιοσυχνότητες ω και ω_D , μπορεί εύκολα να υπολογιστεί για επίσης δεδομένη διέγερση (a και Ω γνωστά) με χρήση ενός λογιστικού φύλλου και της Εξ. (7).

Η χρονοϊστορία των μετατοπίσεων, όπως ονομάζεται, μπορεί επίσης να υπολογισθεί προσεγγιστικά και με την αριθμητική μέθοδο του προγράμματος QUAKE. Για το σκοπό αυτό αρκεί να ζητηθεί μέσω του αρχείου δεδομένων DATA.TXT να εκτελεστούν υπολογισμοί για μία μόνο ιδιοπερίοδο, αυτή του ταλαντωτή, (NPER=1) η οποία θα πρέπει να τεθεί ίση με το TMAX, για το TMIN να επιλεγεί η τιμή 0.0 και να δημιουργηθεί μία διέγερση από τον τύπο της Εξ. (6). Η τελευταία είναι επίσης εύκολο να γίνει με χρήση λογιστικών φύλλων. Επιπλέον, για να αποθηκεύεται η απόκριση του συστήματος, δηλαδή

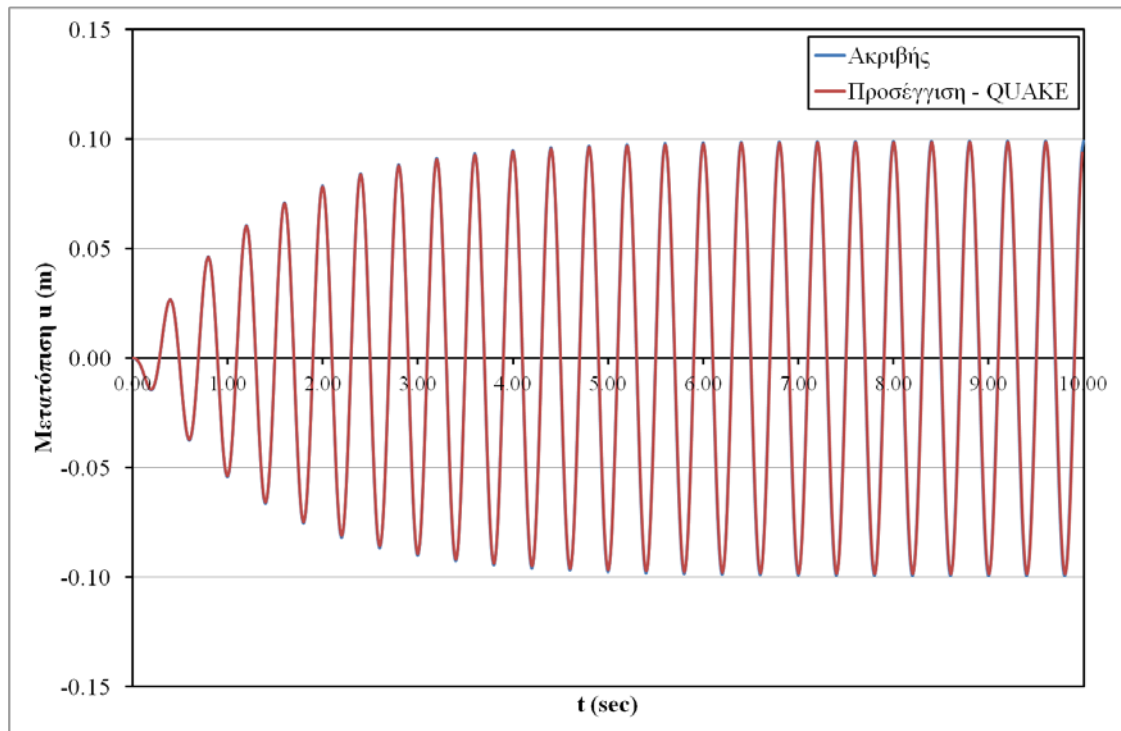
η μεταβλητή – πίνακας U χρειάζεται να προστεθούν στον κώδικα, πριν από το END η απαραίτητη εντολή εξόδου:

```
WRITE(6,60) (U(I), I=1, NACC)  
60 FORMAT(F8.4)
```

Το τροποποιημένο πρόγραμμα QUAKE που προέκυψε με την αλλαγή αυτή χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ορθότητας των υπολογισμών. Για την περίπτωση εδαφικής επιτάχυνσης σύμφωνα με την Εξ. (6) με $a = 0.25g$ και $\Omega = 15.71 \text{ rad/sec}$ ($T_g = 0.40 \text{ sec}$ η περίοδος της διέγερσης) επιλύθηκαν με το πρόγραμμα δύο μονοβάθμιοι ταλαντωτές, ένας με ιδιοπερίοδο $T = 0.60 \text{ sec}$ ($\lambda = 1.50$) και ένας με ιδιοπερίοδο $T = 0.40 \text{ sec}$ ($\lambda = 1.00$, περίπτωση συντονισμού). Τα αποτελέσματα (Σχ. 3.1 και 3.2) συγκρίνονται με αυτά από την «ακριβή» επίλυση της Εξ. (7) και χρήση λογιστικού φύλλου. Το ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης ξ θεωρήθηκε 5% και η διάρκεια της διέγερσης 10 sec.



Σχήμα 3.1 Σύγκριση ακριβούς και προσεγγιστικής απόκρισης (πρόγραμμα QUAKE) μονοβάθμιου ταλαντωτή για ημιτονοειδή επιτάχυνση ($\lambda = 1.50$).



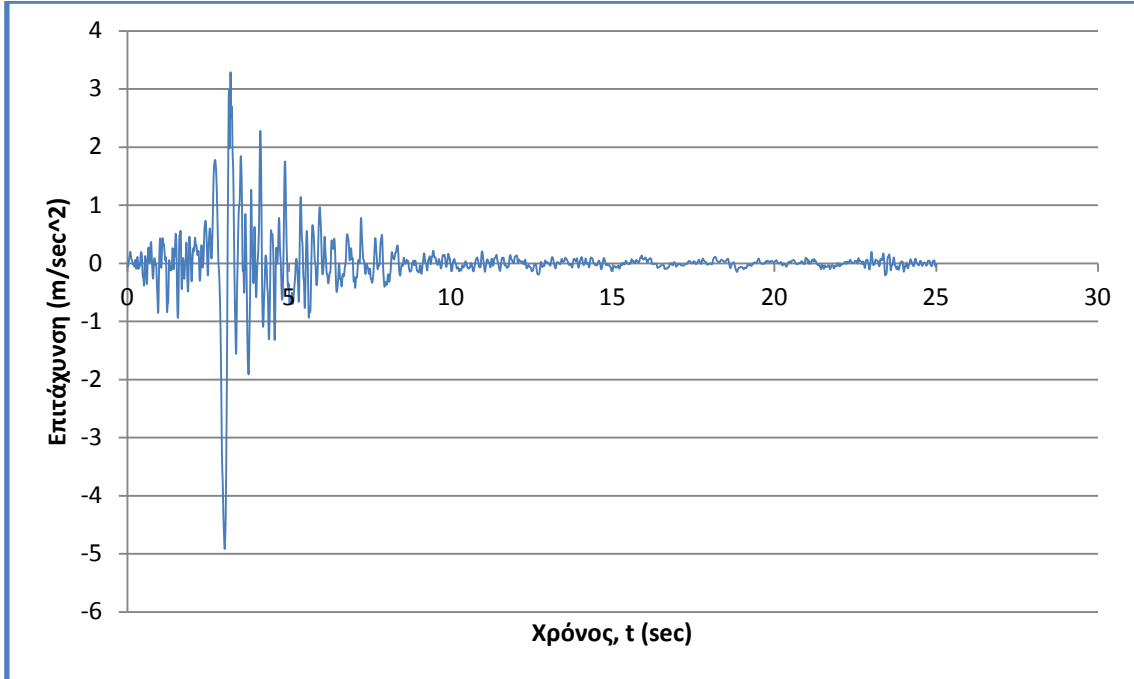
Σχήμα 3.2 Σύγκριση ακριβούς και προσεγγιστικής απόκρισης (πρόγραμμα QUAKE) μονοβάθμιου ταλαντωτή για ημιτονοειδή επιτάχυνση ($\lambda = 1.00$, συντονισμός).

Από τα διαγράμματα (Σχ. 3.1 και 3.2) φαίνεται ότι η προσεγγιστική λύση του QUAKE πρακτικά συμπίπτει με αυτήν της Εξ. (7). Άρα η ορθότητα του προγράμματος επαληθεύεται και το πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό φασμάτων χωρίς προβλήματα.

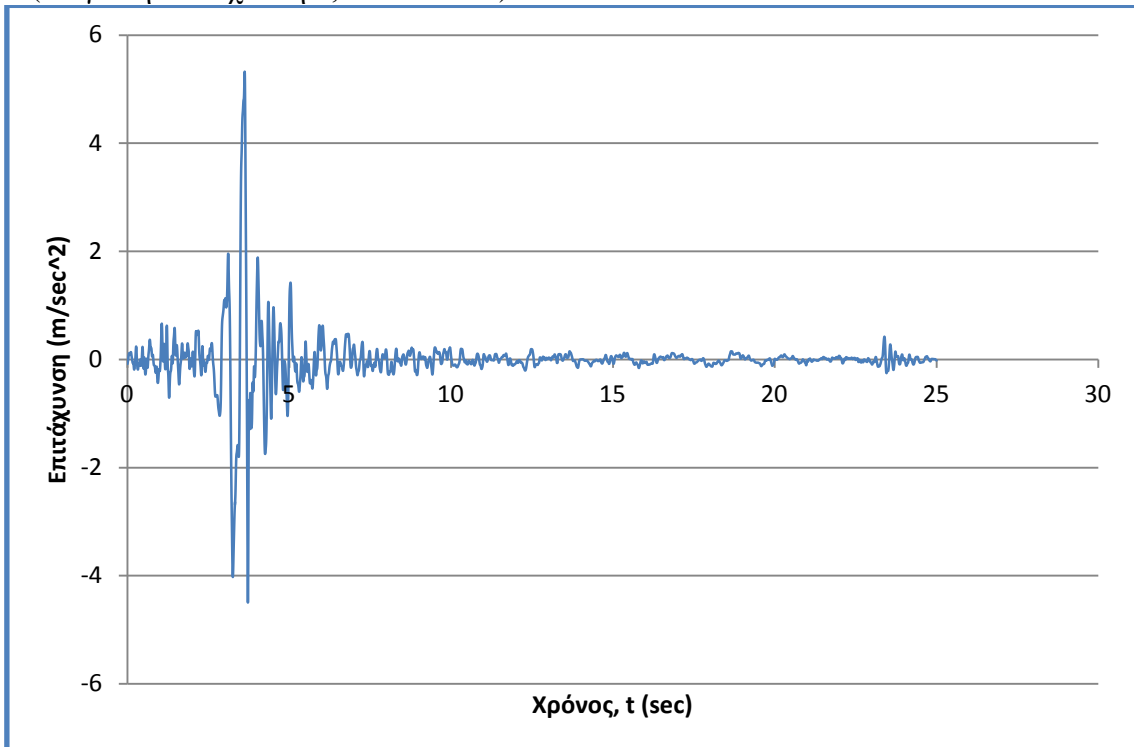
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΙΣΧΥΡΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ QUAKE.

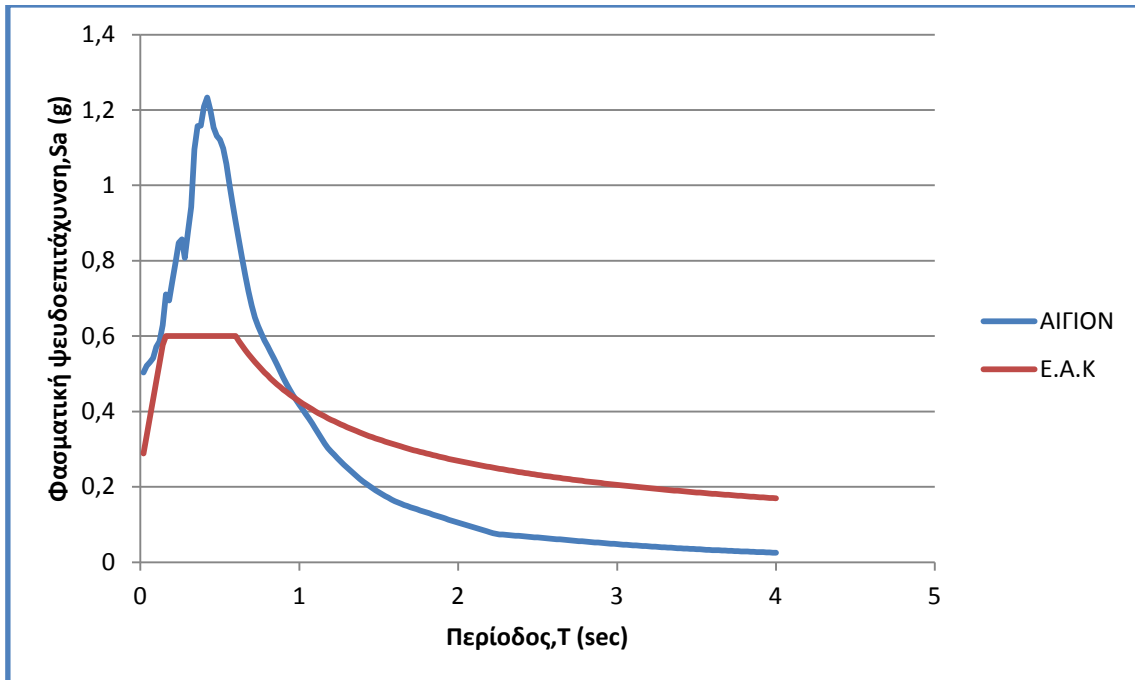
4.1 ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΙΓΙΟΥ, 1995



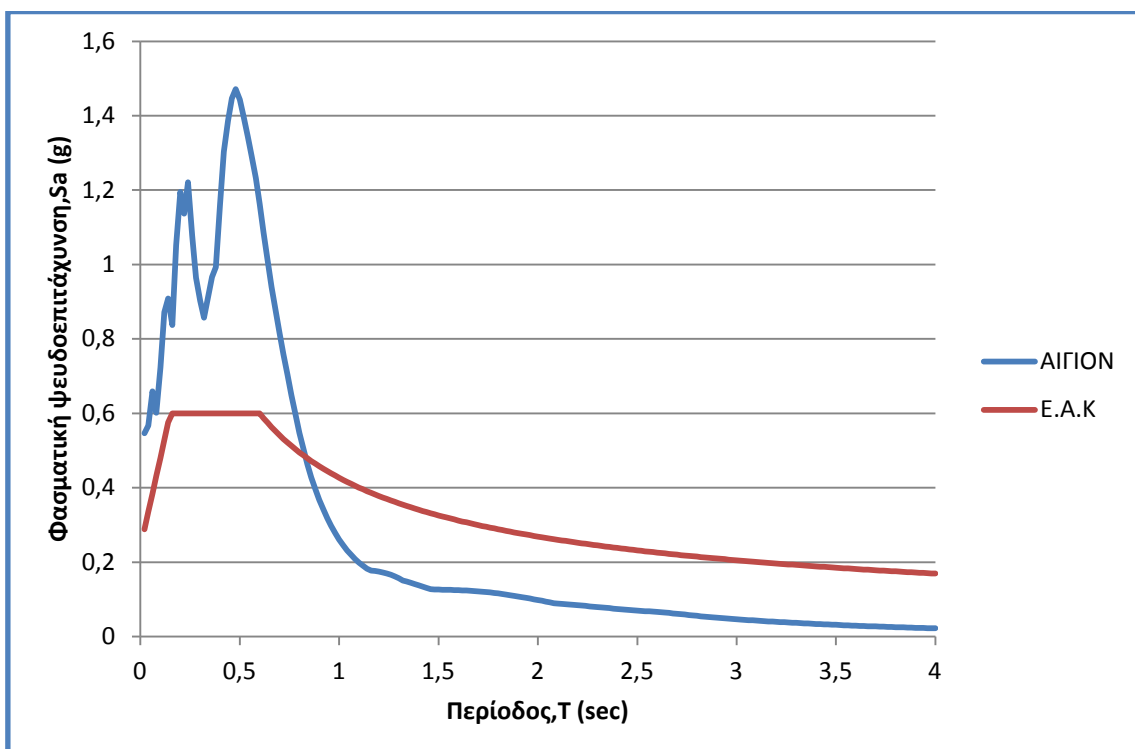
Σχήμα 4.1 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό του Αιγίου, 1995, συνιστώσα L. (Μέγιστη επιτάχυνση 3,38 cm/sec²)



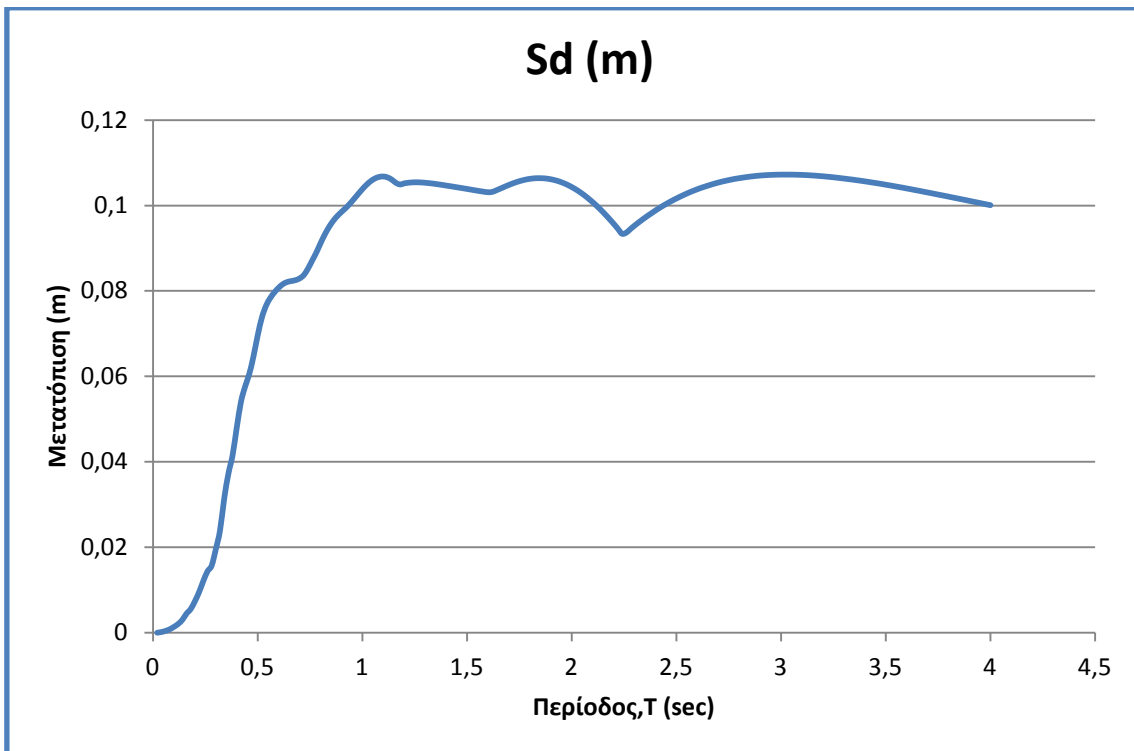
Σχήμα 4.2 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό του Αιγίου, 1995, συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 5,32 cm/sec²)



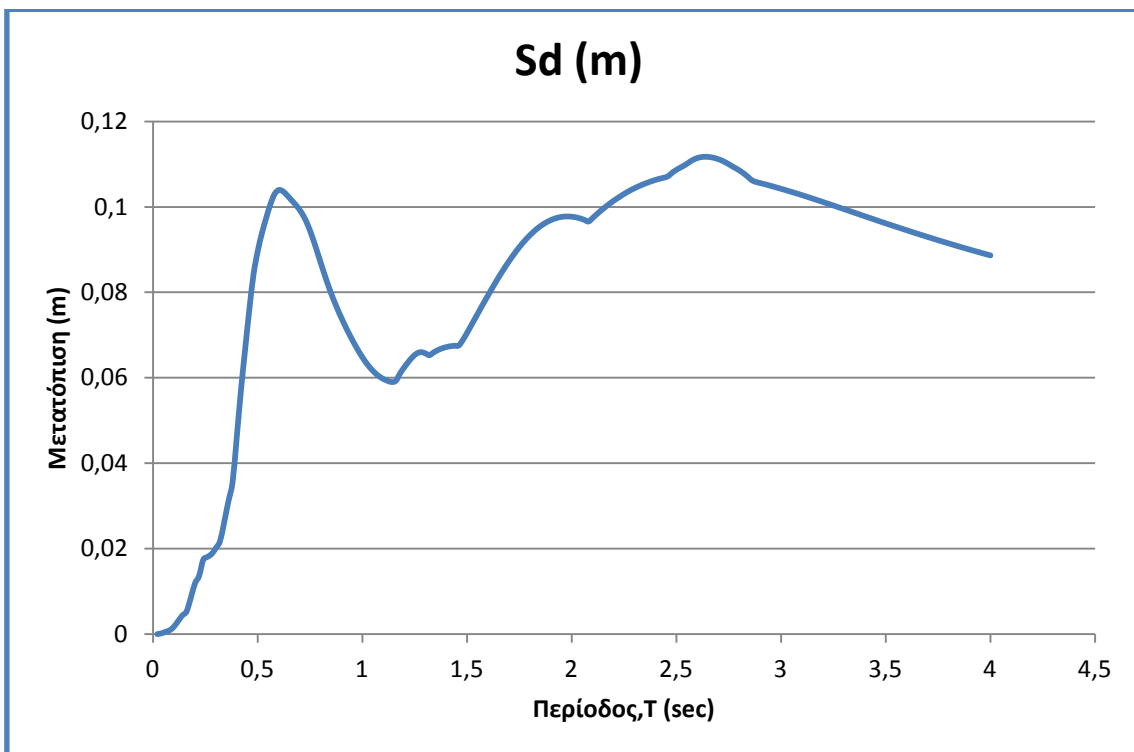
Σχήμα 4.3 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό του Αιγίου, 1995, συνιστώσα L (Μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 1,23g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.4 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό του Αιγίου, 1995, συνιστώσα T (Μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 1,48g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

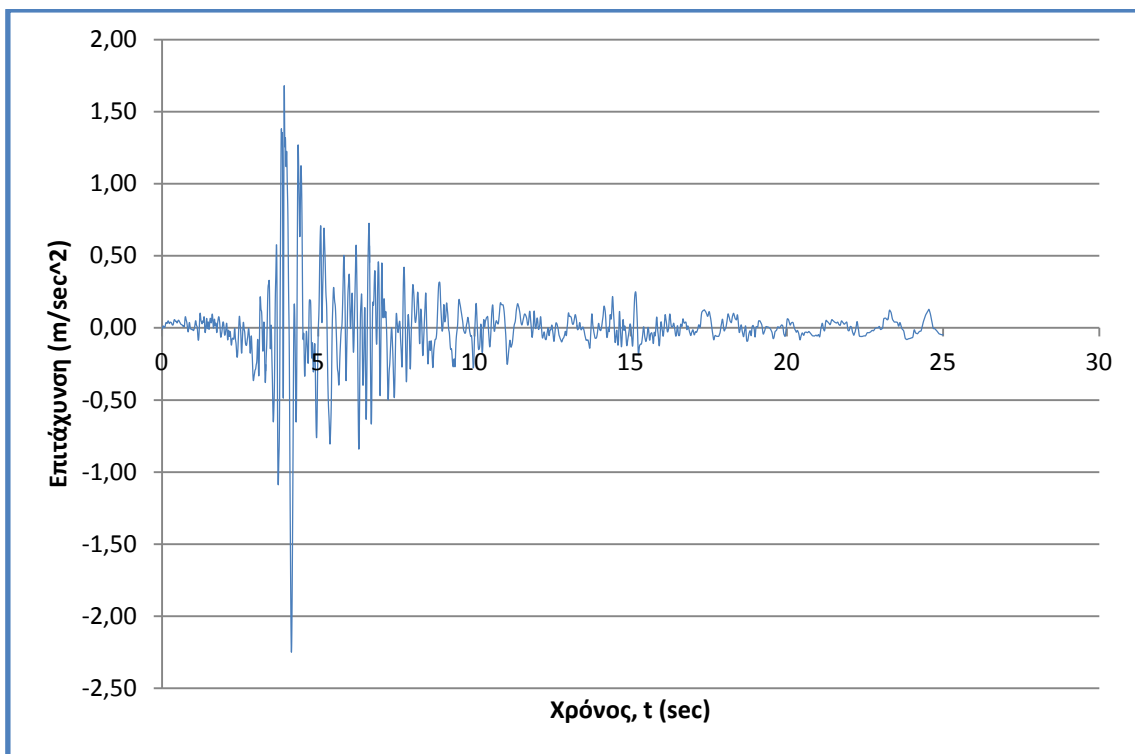


Σχήμα 4.5 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό του Αιγίου, 1995 – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική μετατόπιση : 0,108m)

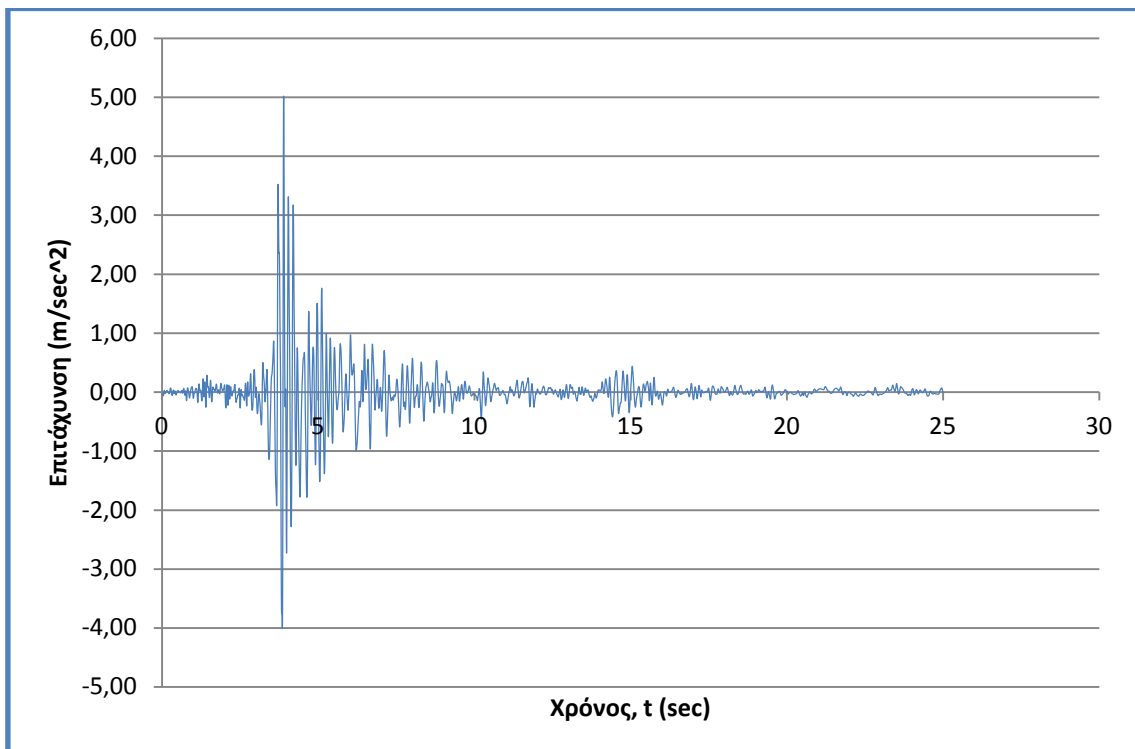


Σχήμα 4.6 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό του Αιγίου, 1995 – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική μετατόπιση : 0,11m)

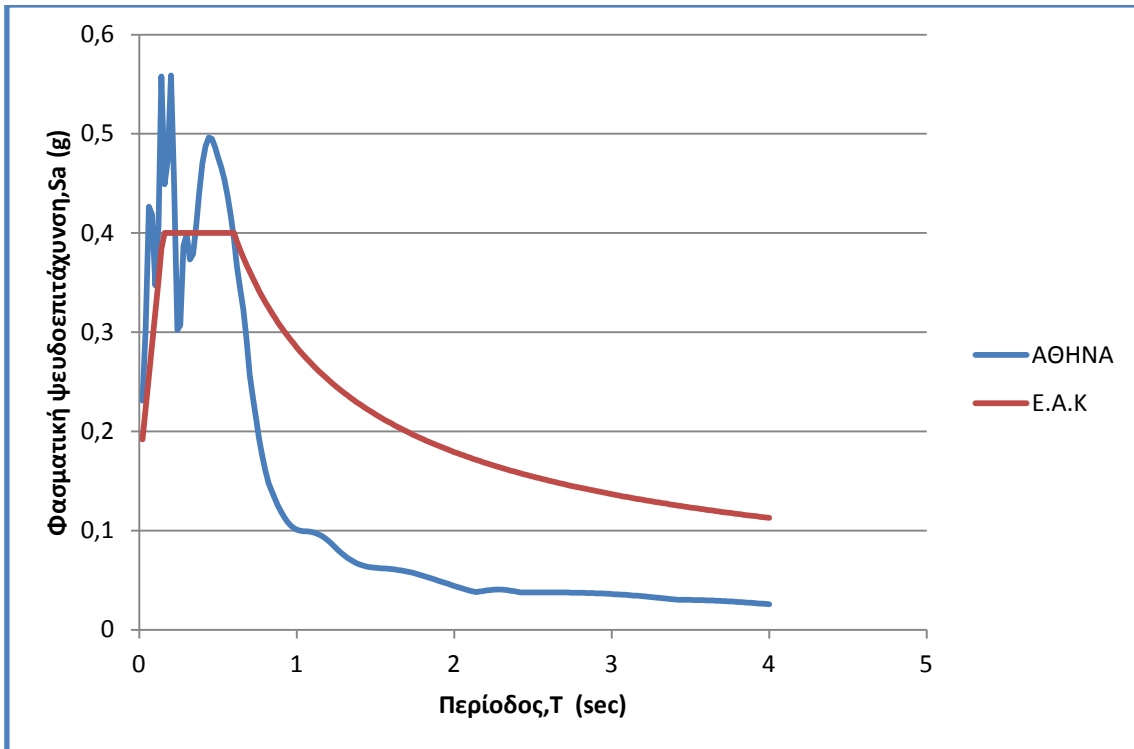
4.2 ΣΕΙΣΜΟΣ ΑΘΗΝΑΣ, 1999



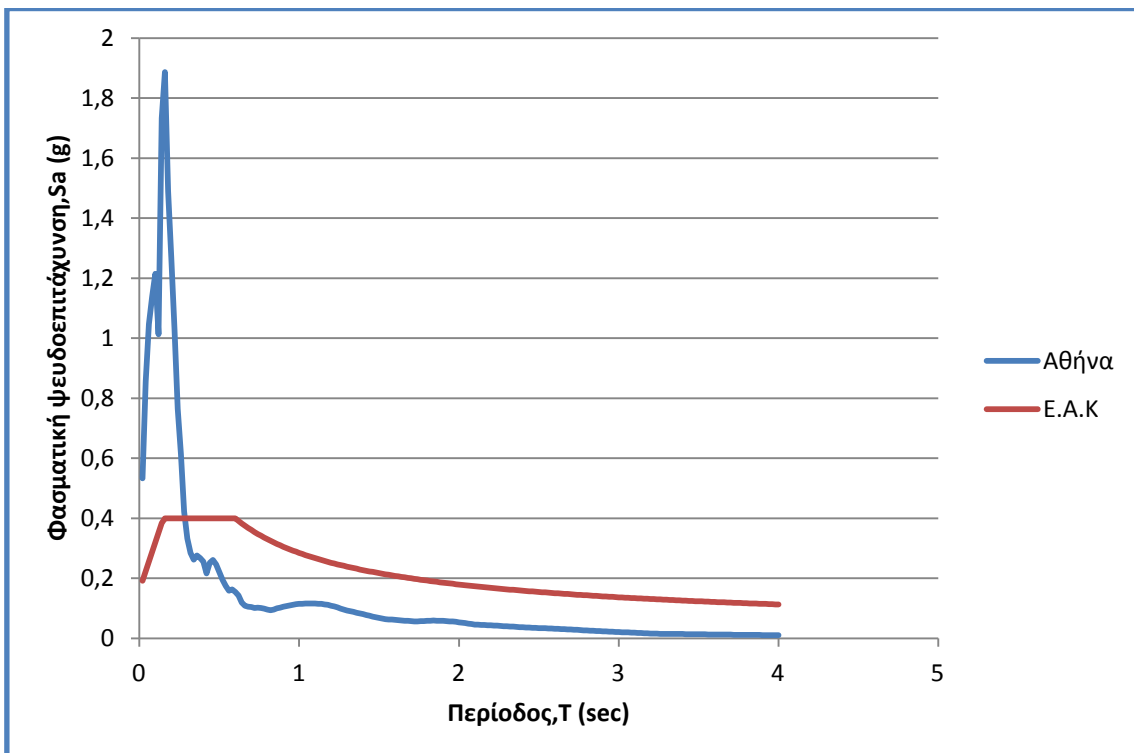
Σχήμα 4.7 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Αθήνας, 1999 – συνιστώσα L (Μέγιστη Επιτάχυνση 1,68 cm/sec²)



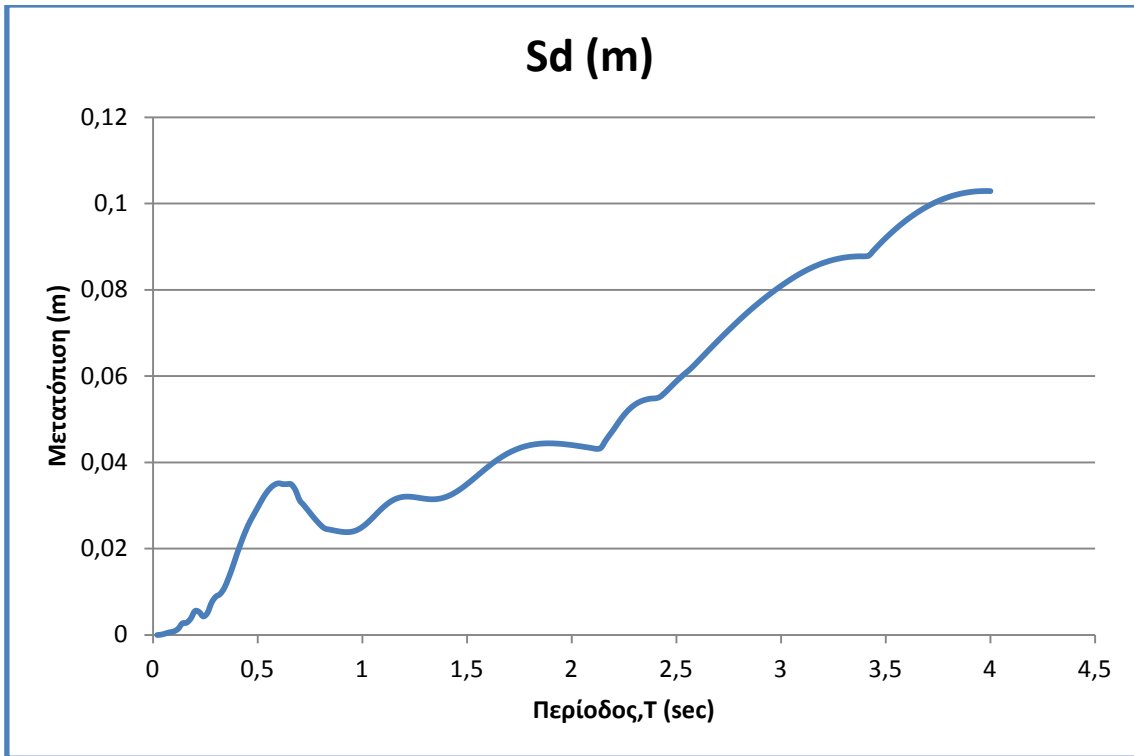
Σχήμα 4.8 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Αθήνας, 1999 – συνιστώσα T (Μέγιστη Επιτάχυνση 5,019 cm/sec²)



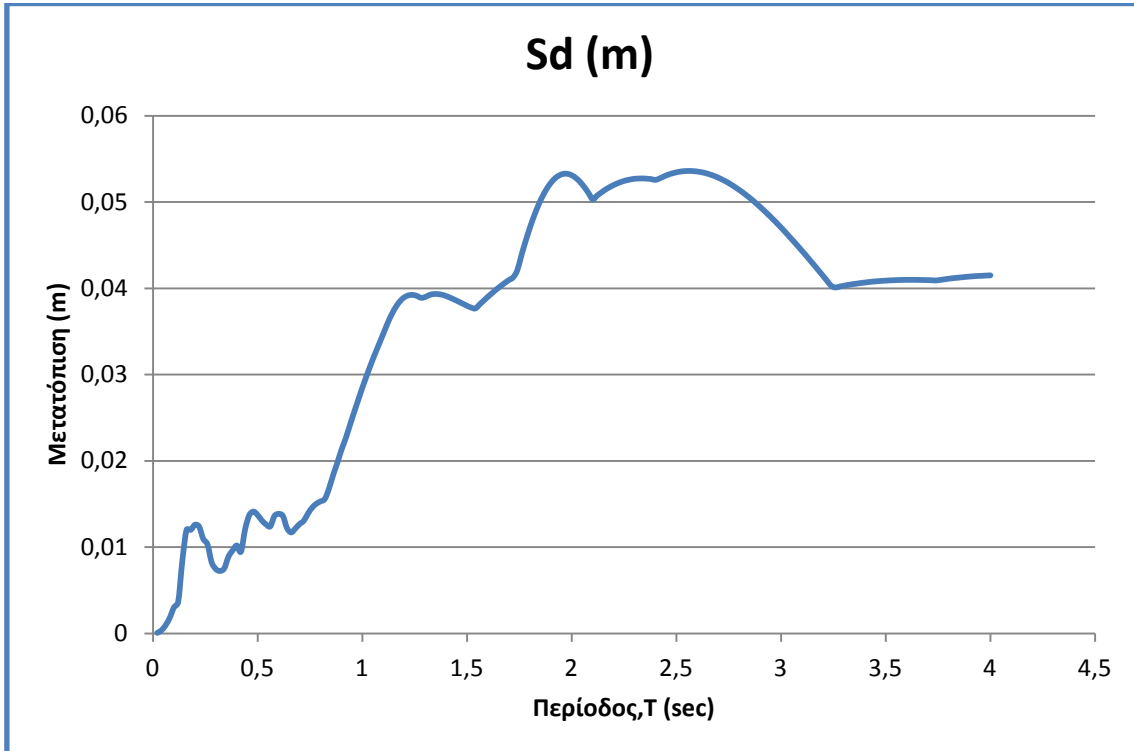
Σχήμα 4.9 : Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για το σεισμό της Αθήνας, 1999 – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 0,56g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.10 : Ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων για το σεισμό της Αθήνας, 1999 – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 1,85g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

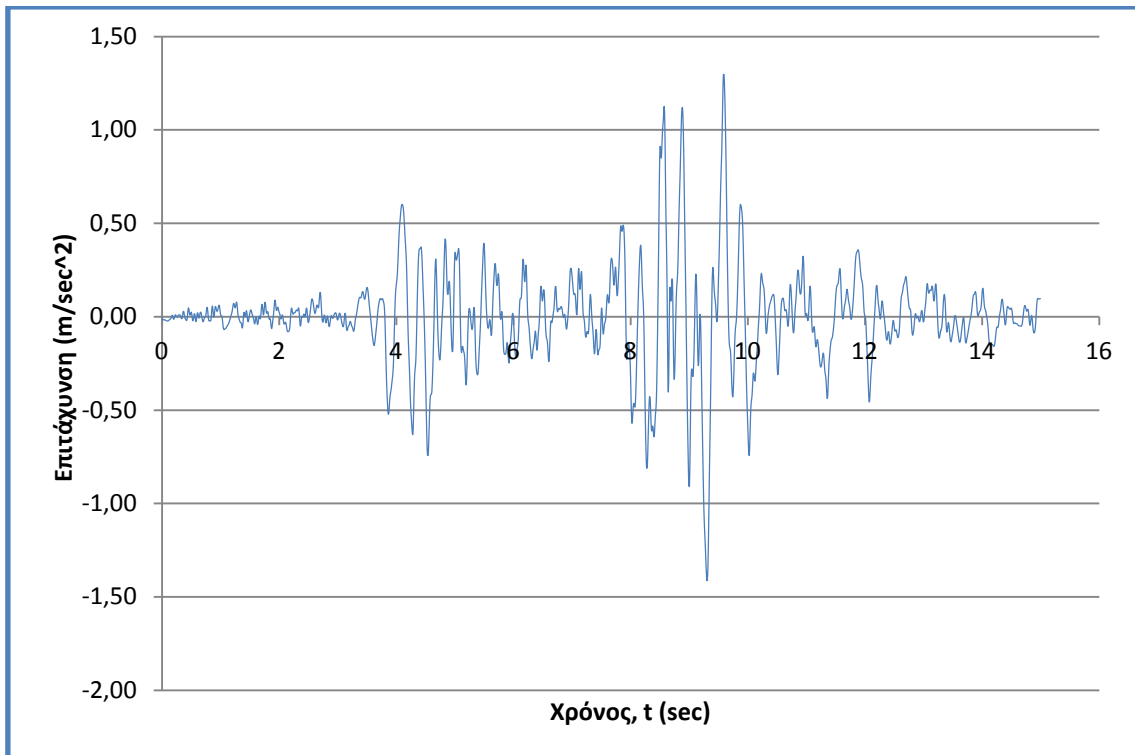


Σχήμα 4.11 : Ελαστικό φάσμα μετατοπίσεων για το σεισμό της Αθήνας, 1999 – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,102m)

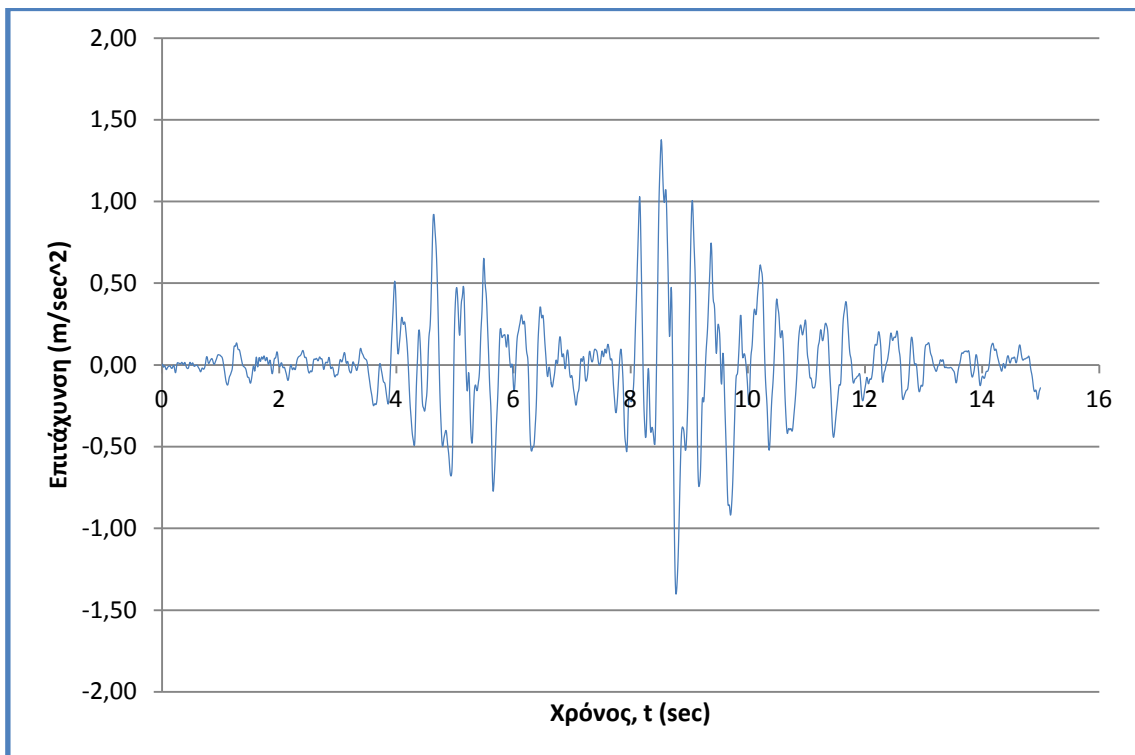


Σχήμα 4.12 : Ελαστικό φάσμα μετατοπίσεων για το σεισμό της Αθήνας, 1999 – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,053m)

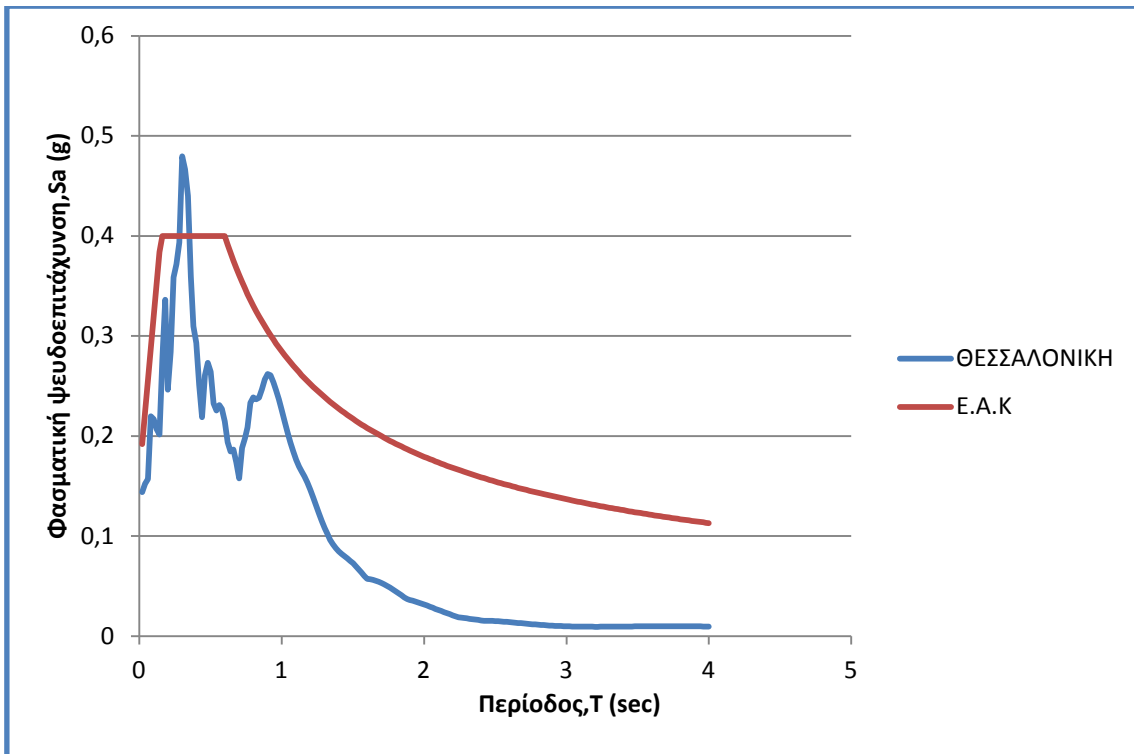
4.3 ΣΕΙΣΜΟΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, 1978



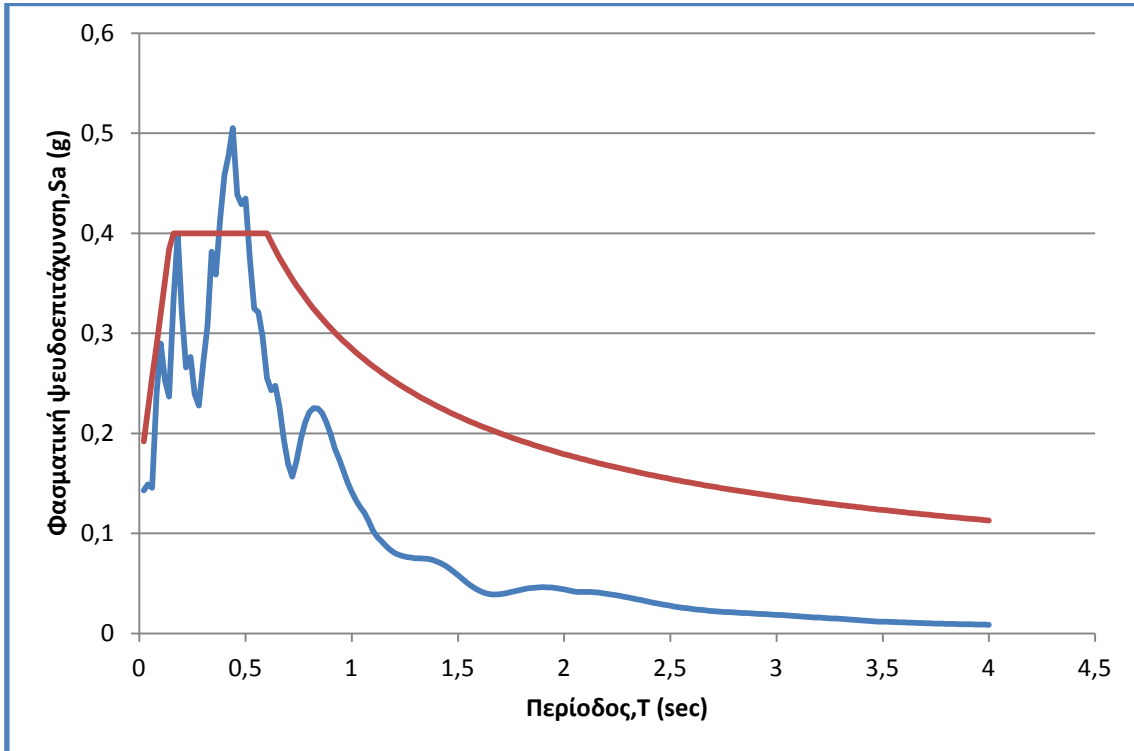
Σχήμα 4.13 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Θεσσαλονίκης, 1978 – συνιστώσα L (Μέγιστη επιτάχυνση 1,29 cm/sec²)



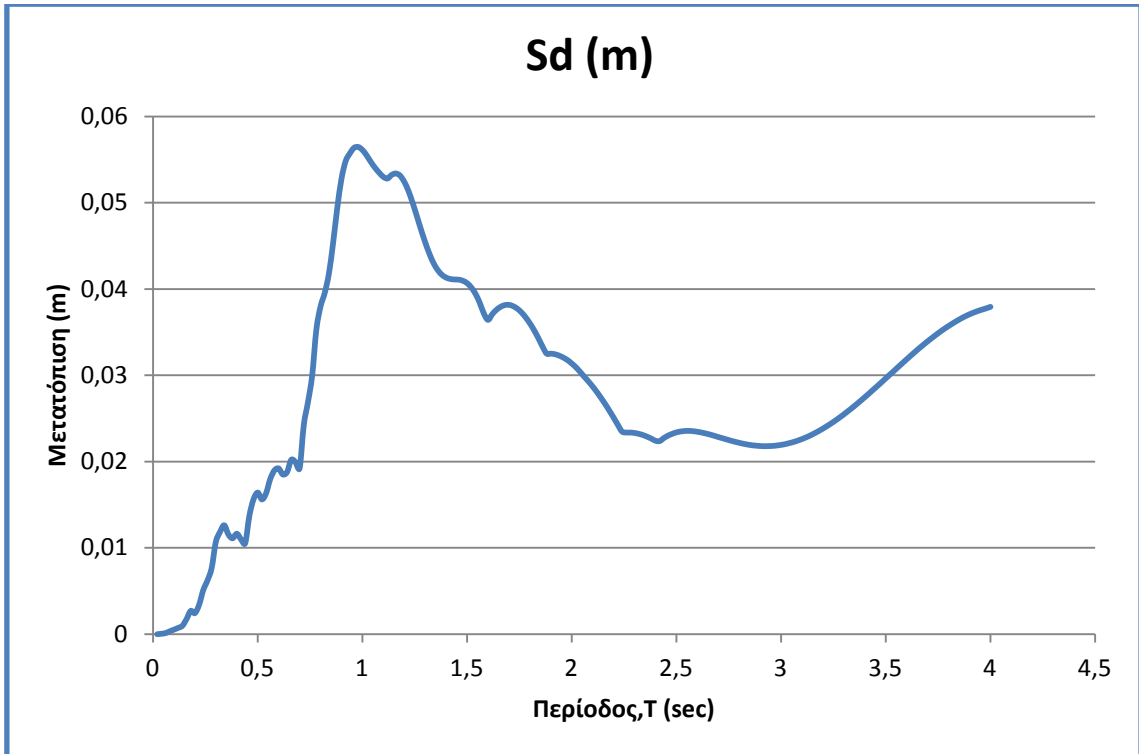
Σχήμα 4.14 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Θεσσαλονίκης, 1978 – συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 1,37 cm/sec²)



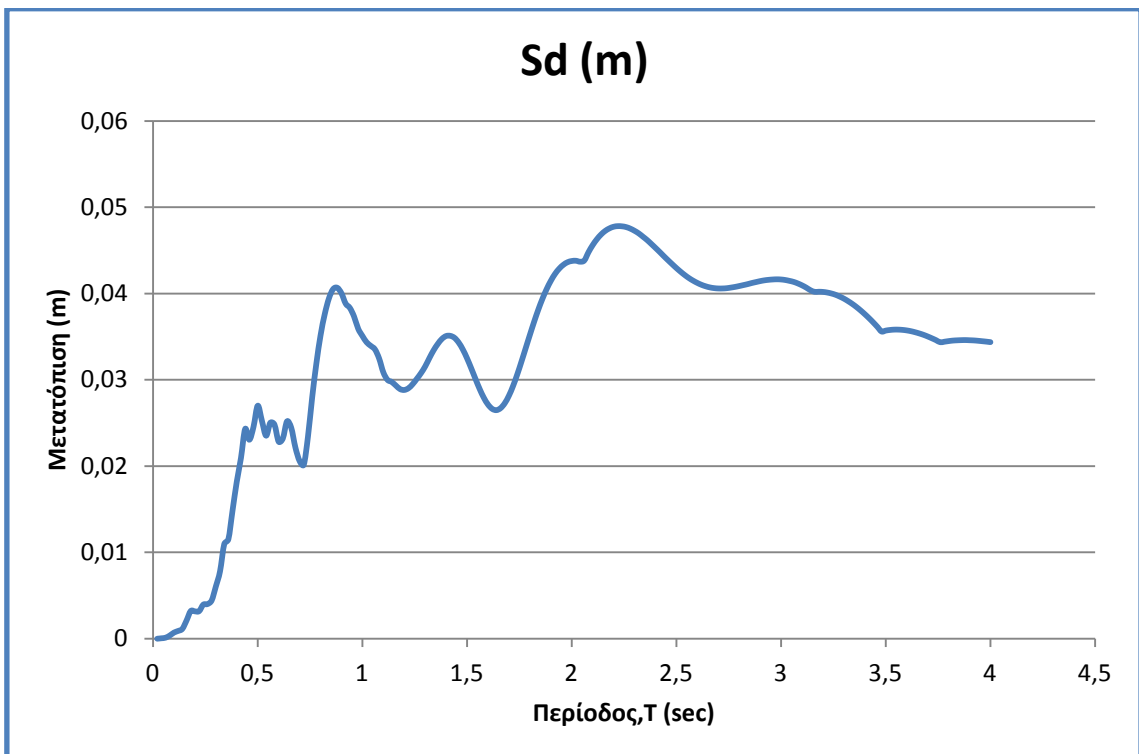
Σχήμα 4.15 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Θεσσαλονίκης, 1978 – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 0,49g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.16 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Θεσσαλονίκης, 1978 – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 0,51g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

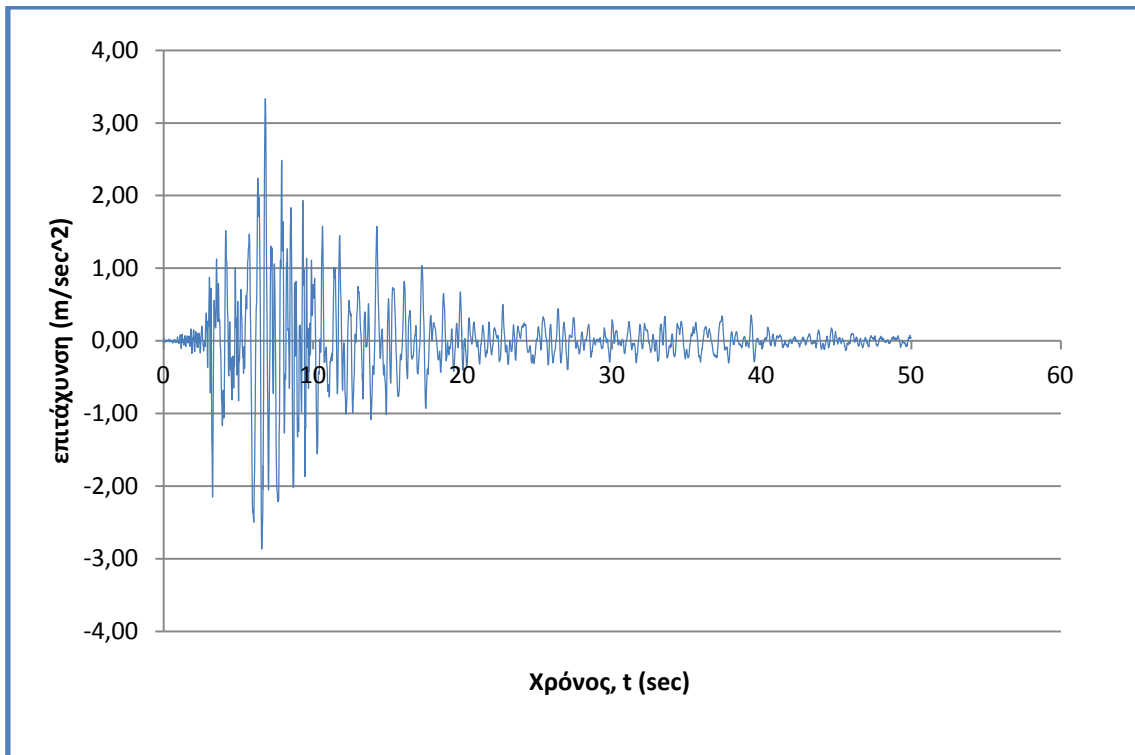


Σχήμα 4.17 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Θεσσαλονίκης, 1978 – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,056m)

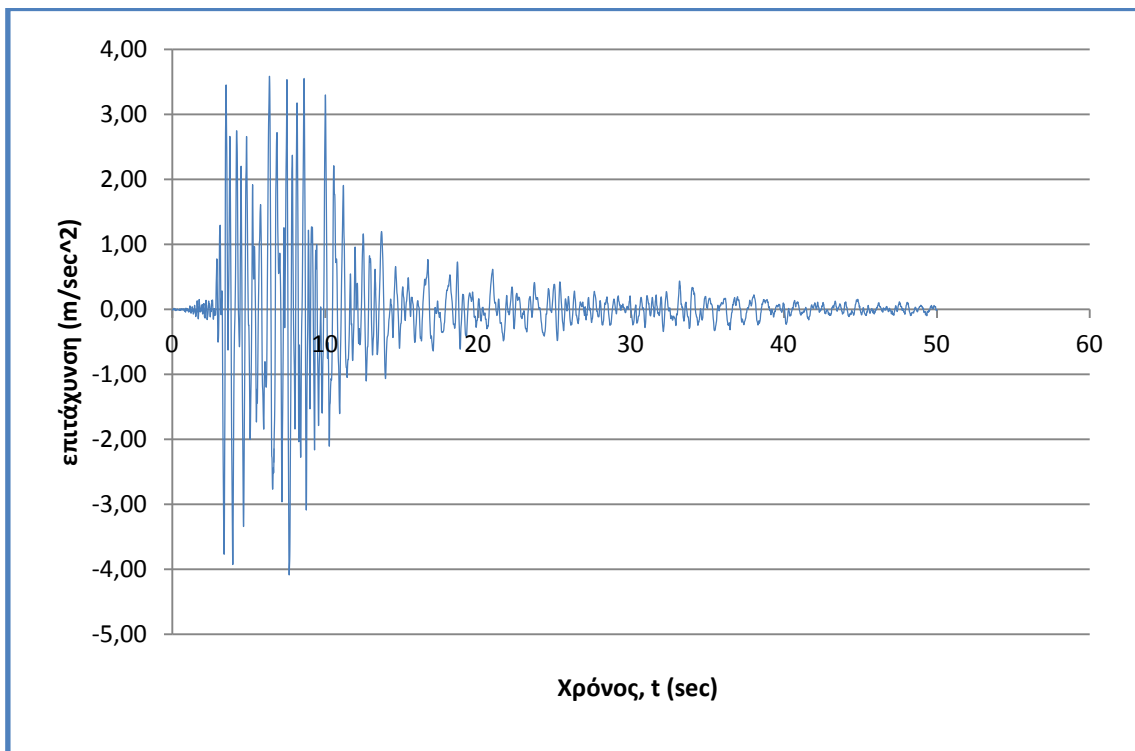


Σχήμα 4.18 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Θεσσαλονίκης, 1978 – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,047m).

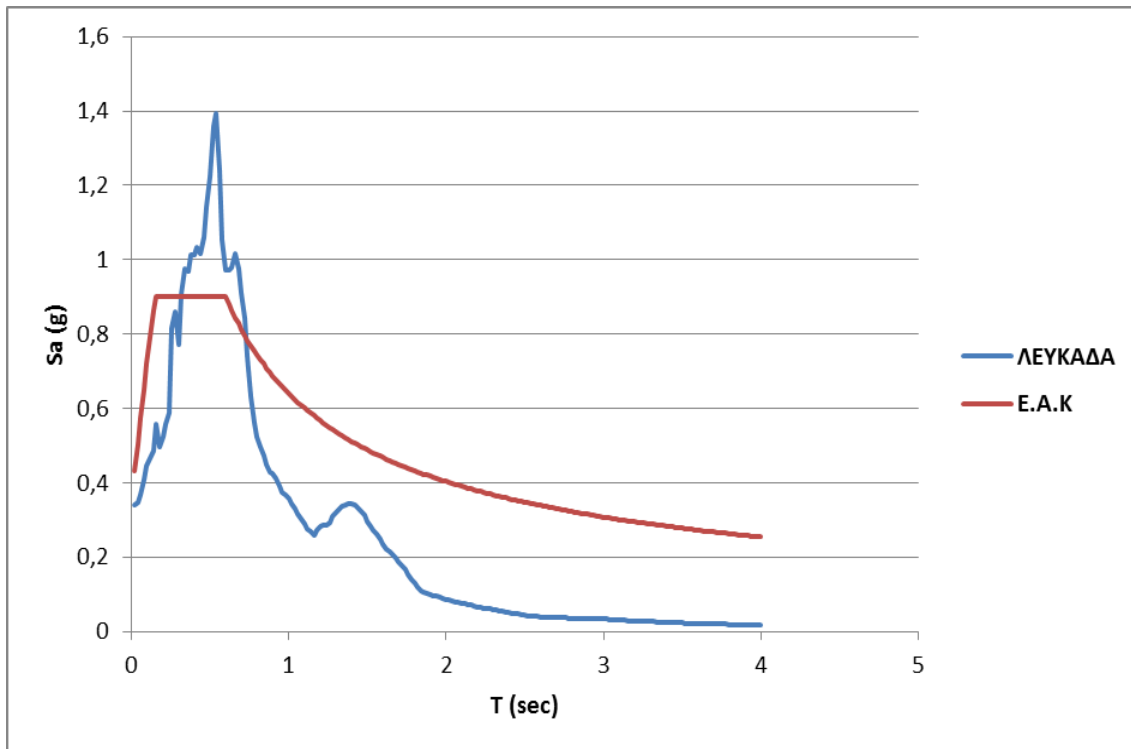
4.4 ΣΕΙΣΜΟΣ ΛΕΥΚΑΔΑΣ,2003



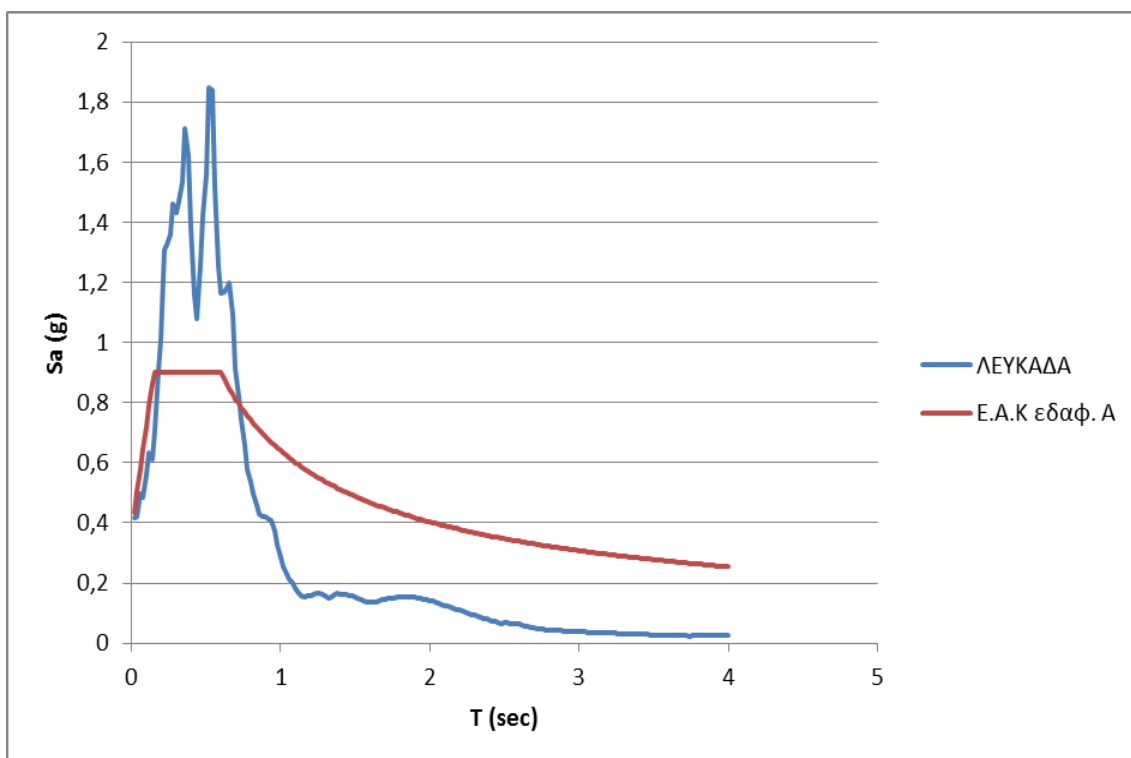
Σχήμα 4.19 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Λευκάδας,2003 – συνιστώσα L (Μέγιστη επιτάχυνση 3,33 cm/sec²)



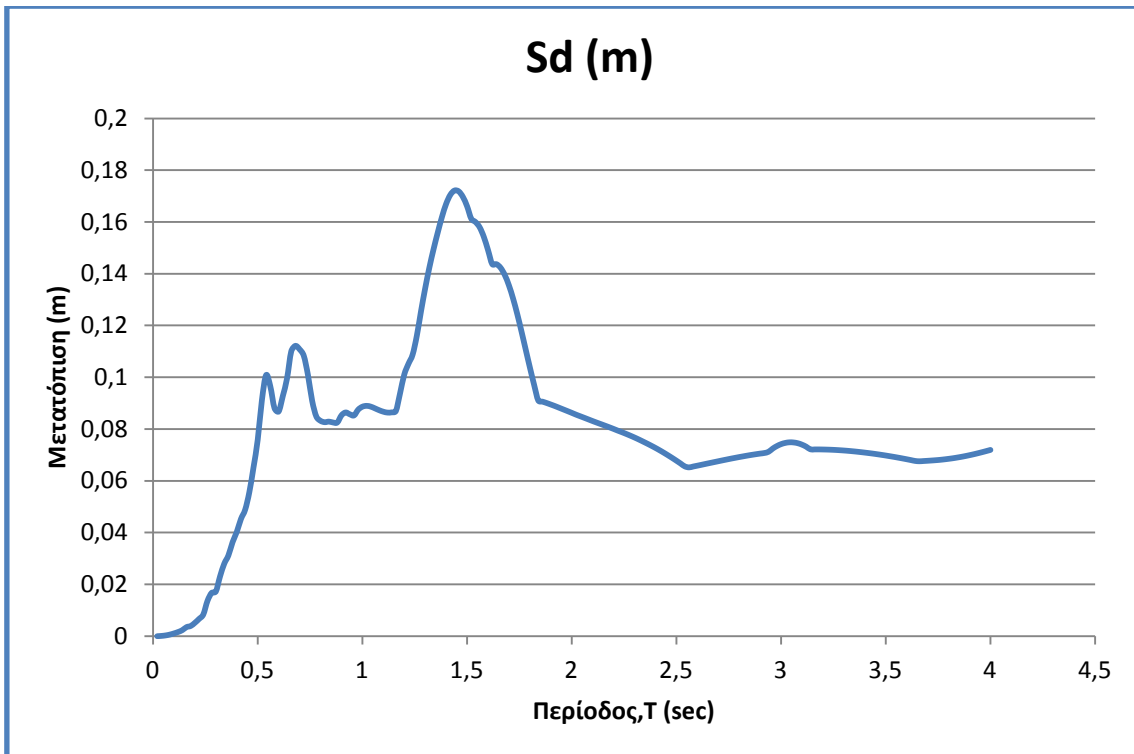
Σχήμα 4.20 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Λευκάδας,2003 – συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 3,58 cm/sec²)



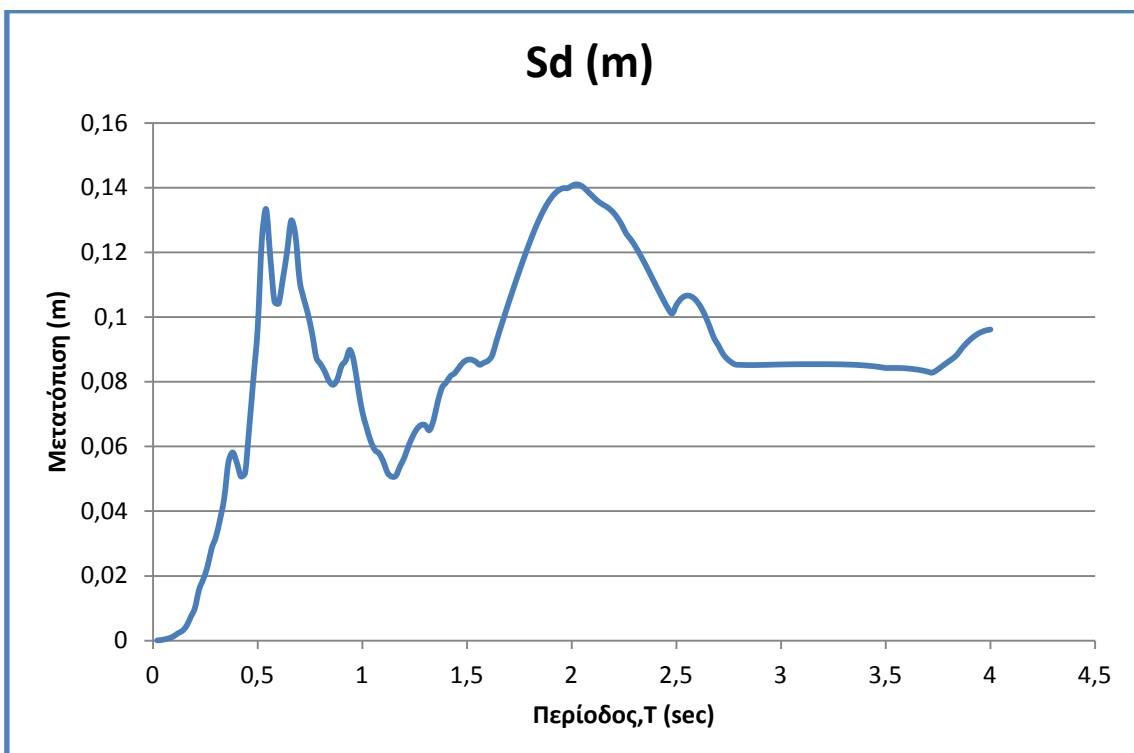
Σχήμα 4.21 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Λευκάδας, 2003 – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 1,4g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.22 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Λευκάδας, 2003 – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 1,82g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

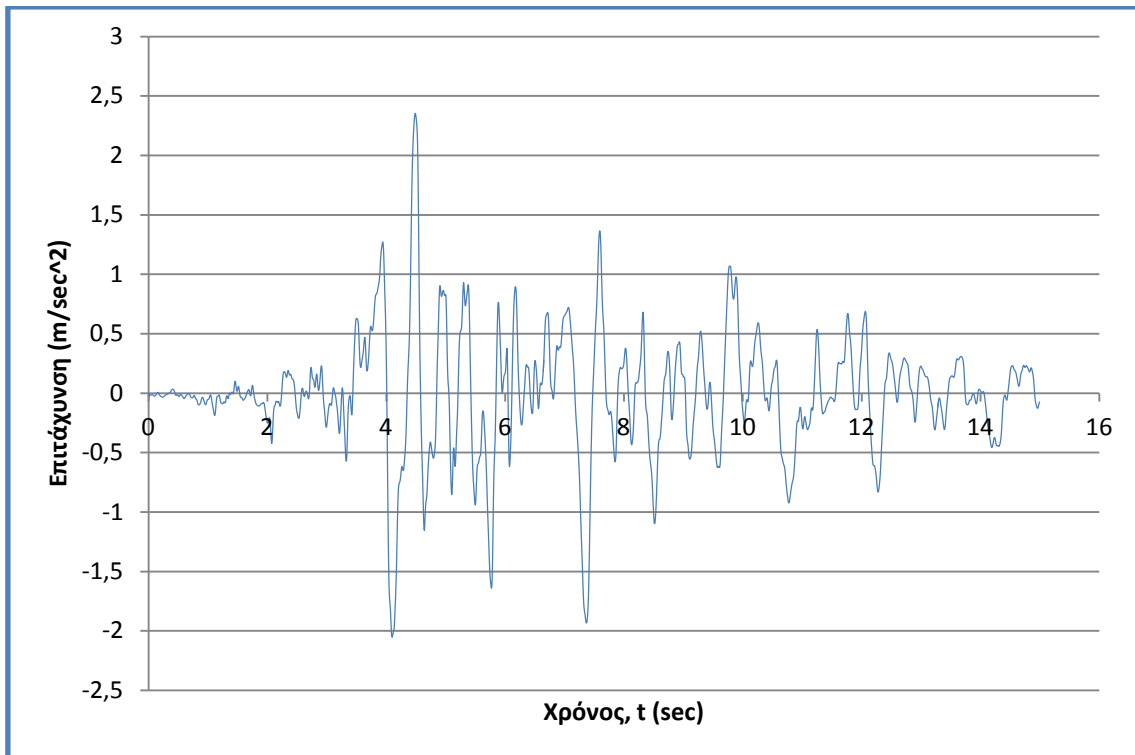


Σχήμα 4.23 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Λευκάδας, 2003 – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,172m)

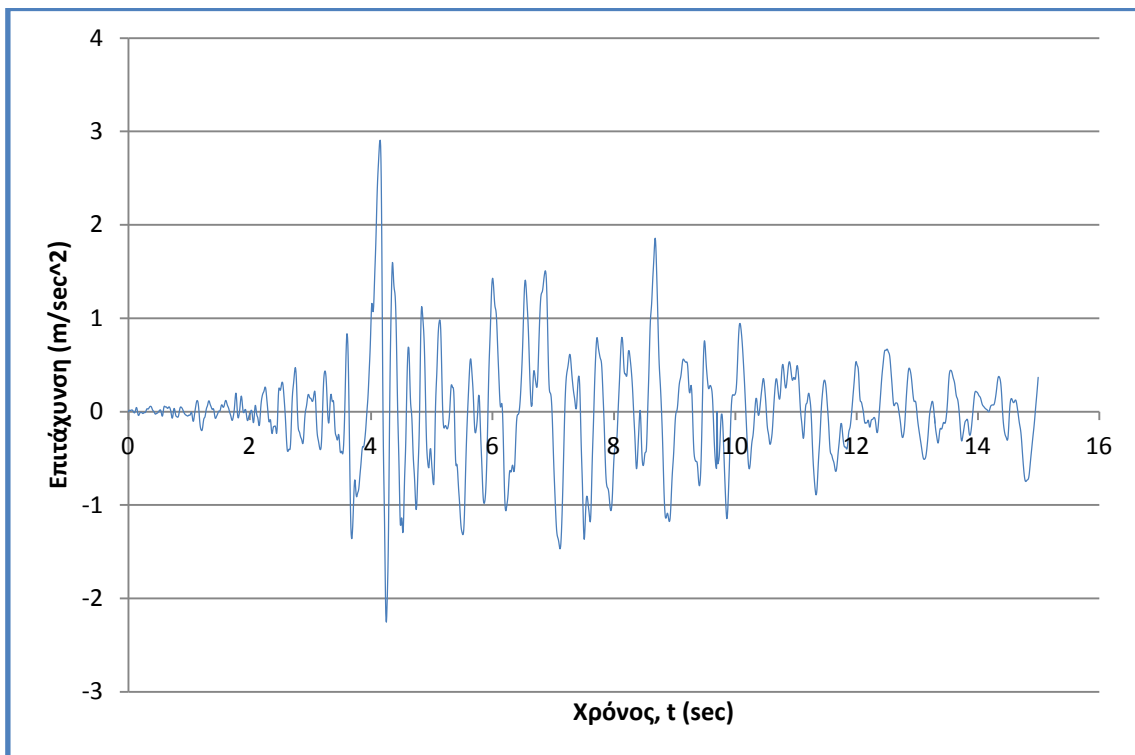


Σχήμα 4.24 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Λευκάδας, 2003 – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,141m)

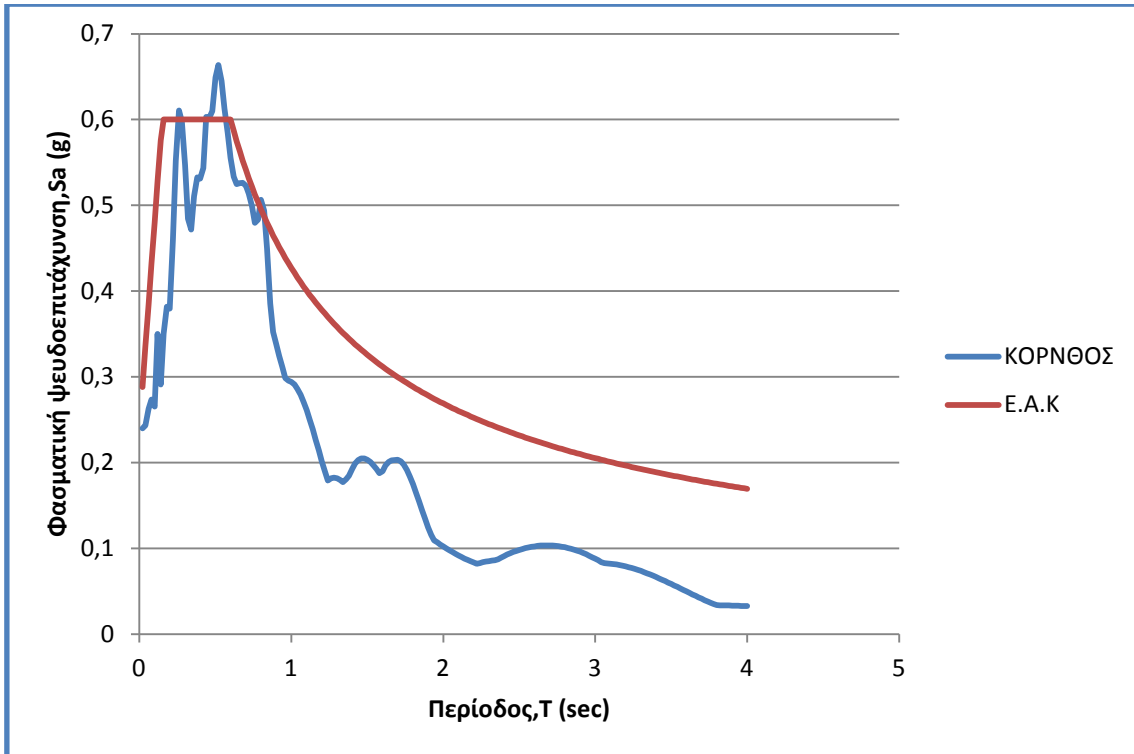
4.5 ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟΥ, 1981



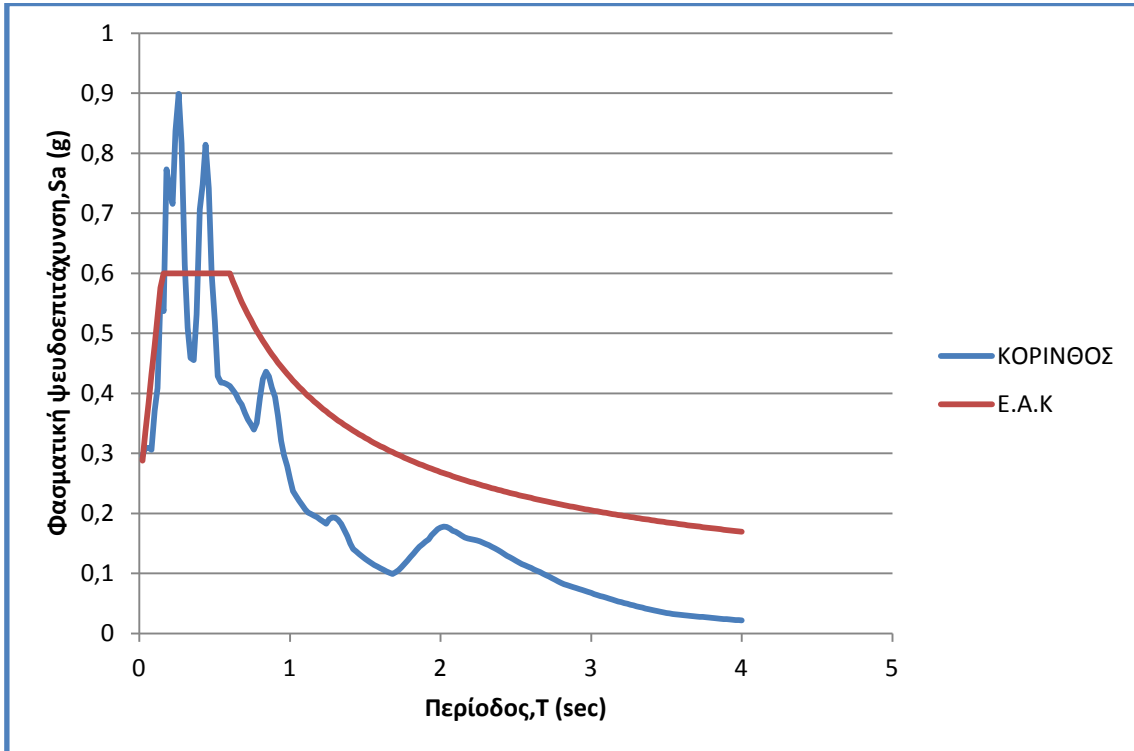
Σχήμα 4.25 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Κορίνθου,1981 – συνιστώσα L (Μέγιστη επιτάχυνση 2,35 cm/sec²)



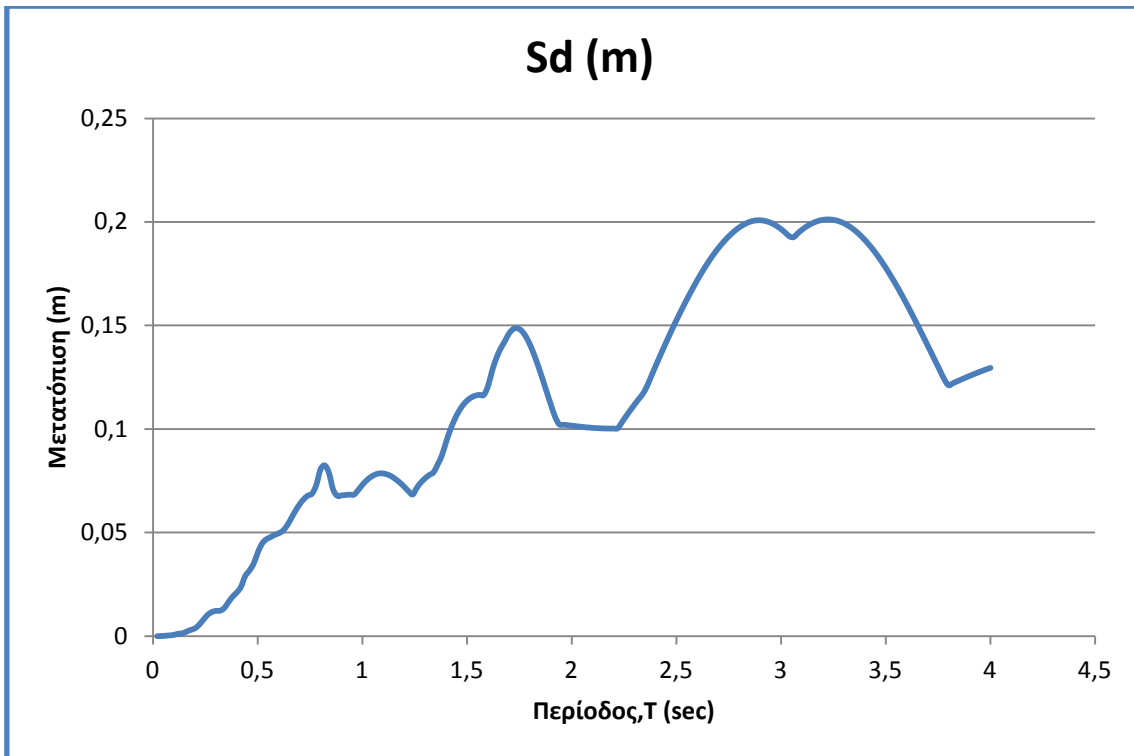
Σχήμα 4.26 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Κορίνθου,1981 – συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 2,90 cm/sec²)



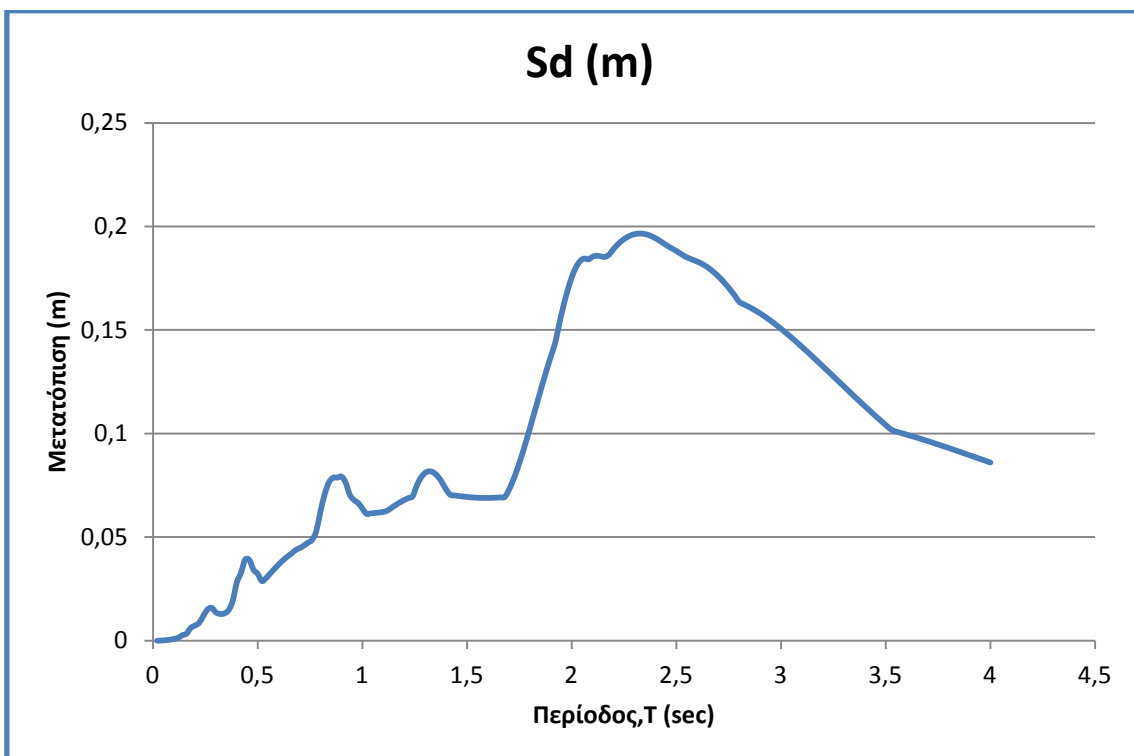
Σχήμα 4.27 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Κορίνθου, 1981 – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 0,67g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.28 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Κορίνθου, 1981 – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση : 0,9g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

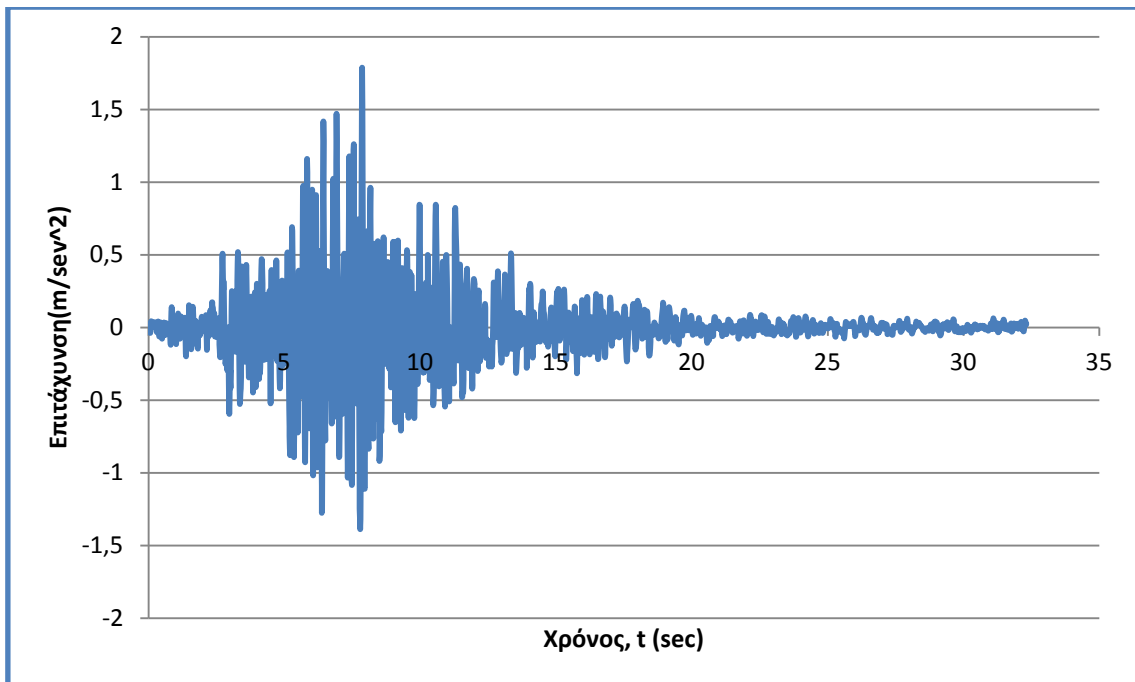


Σχήμα 4.29 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Κορίνθου, 1981 – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,201m)

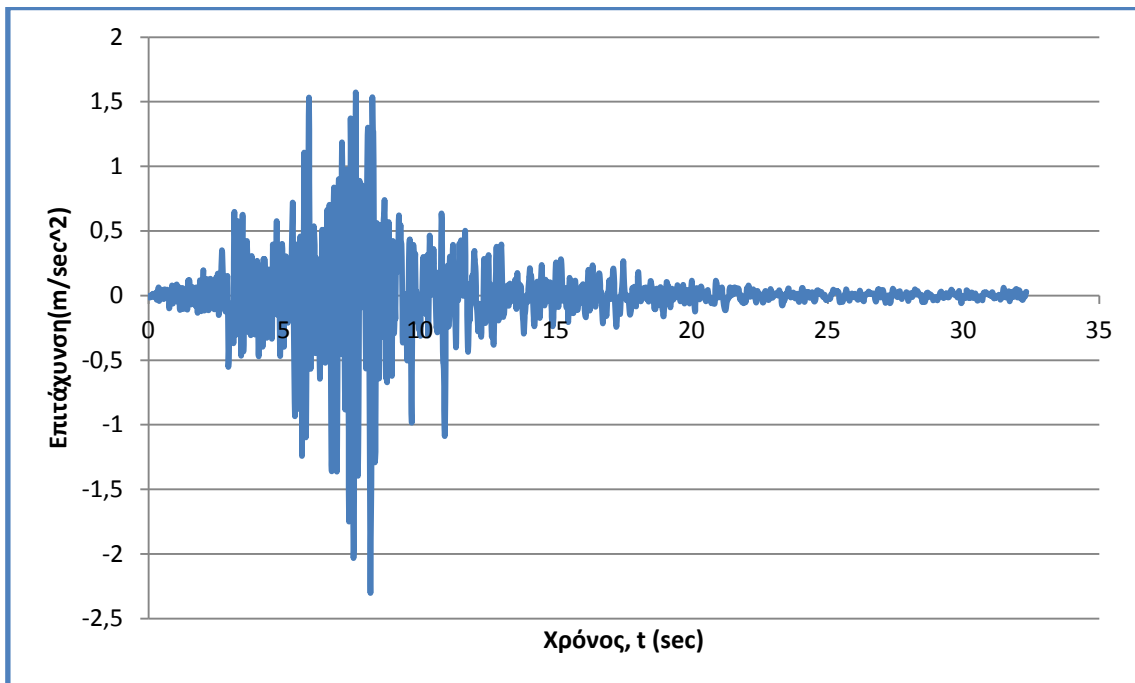


Σχήμα 4.30 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Κορίνθου, 1981 – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,196m)

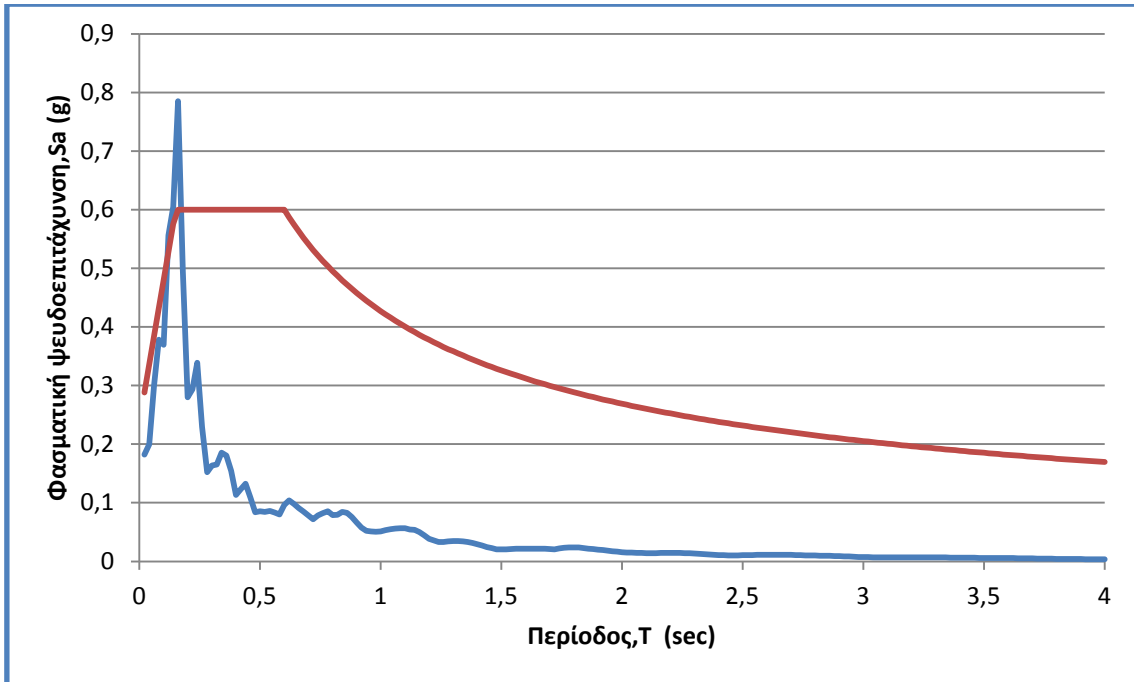
4.6 ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑΣ,1983-ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ Ο.Τ.Ε



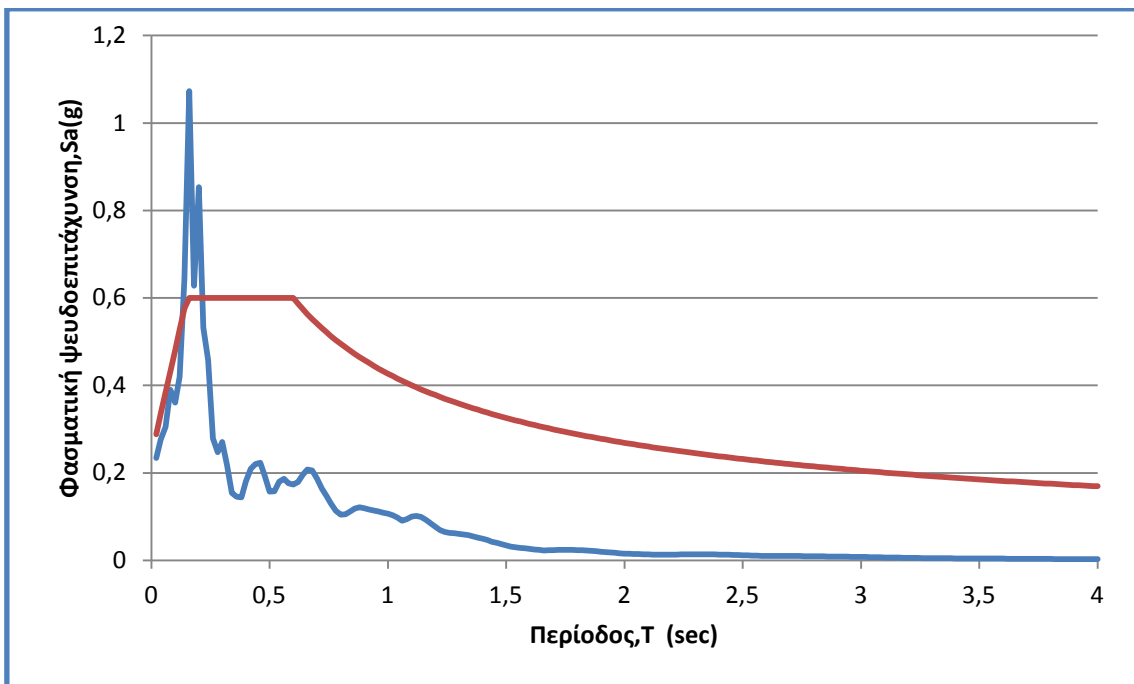
Σχήμα 4.31 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Κεφαλλονιάς,1983-Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε – συνιστώσα L (Μέγιστη επιτάχυνση 1,788 m/sec²)



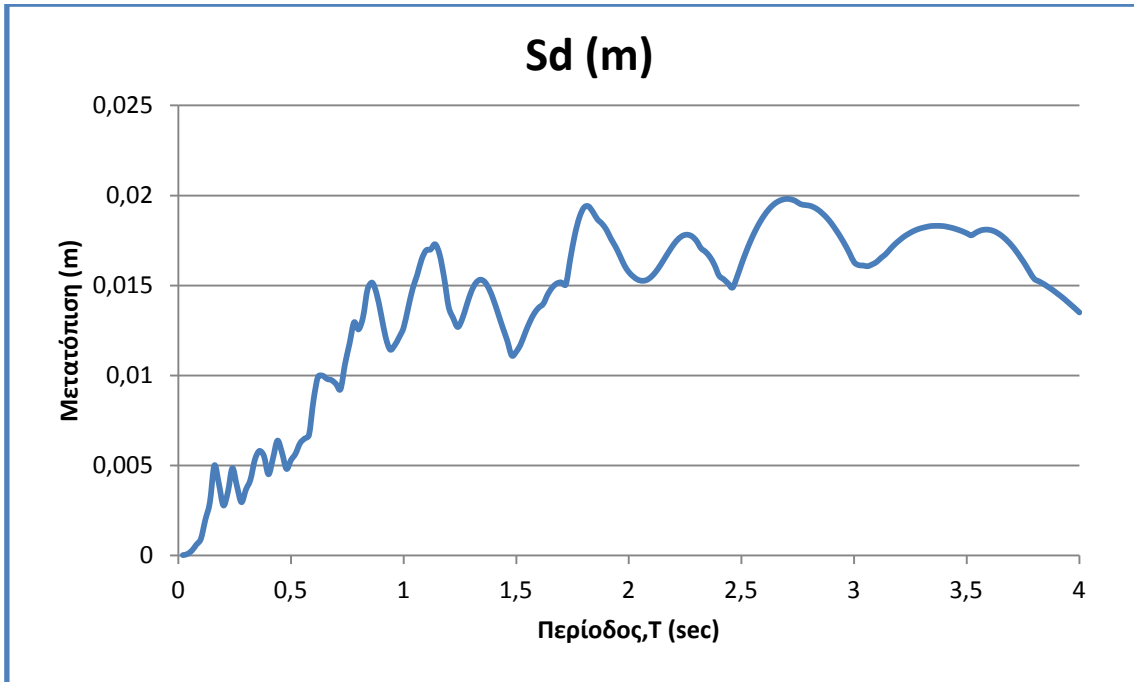
Σχήμα 4.32 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Κεφαλλονιάς,1983-Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε – συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 1,573 m/sec²)



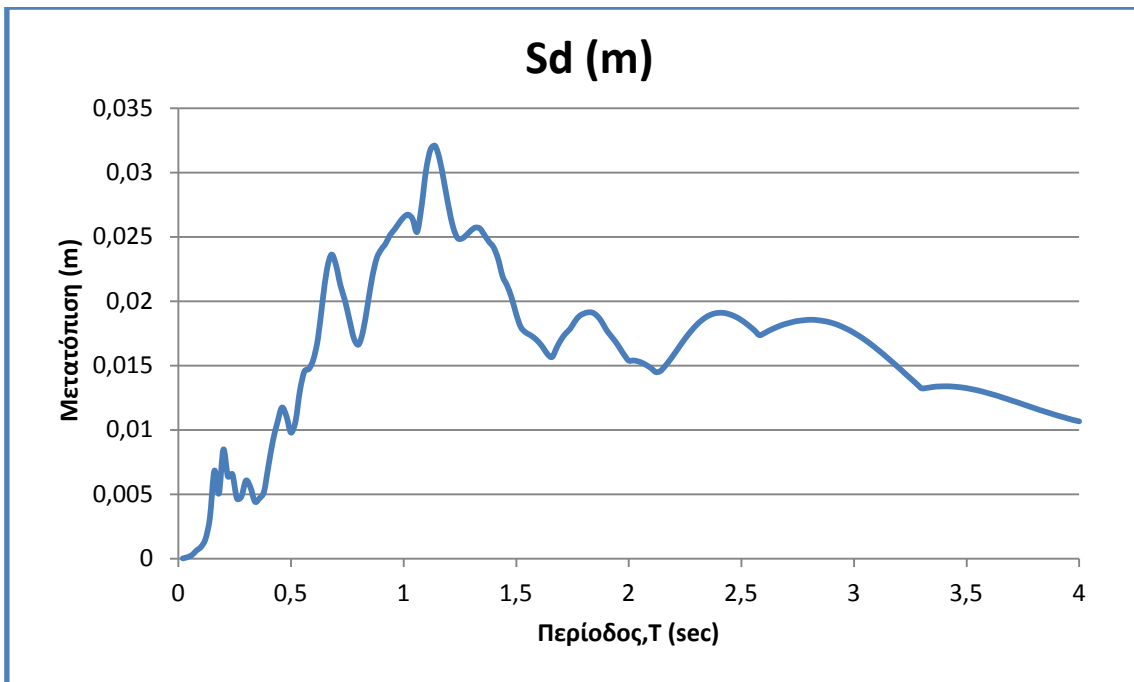
Σχήμα 4.33 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Κεφαλλονιάς, 1983 – Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε-συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,79g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.34 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Κεφαλλονιάς, 1983 – Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε-συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 1.07g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

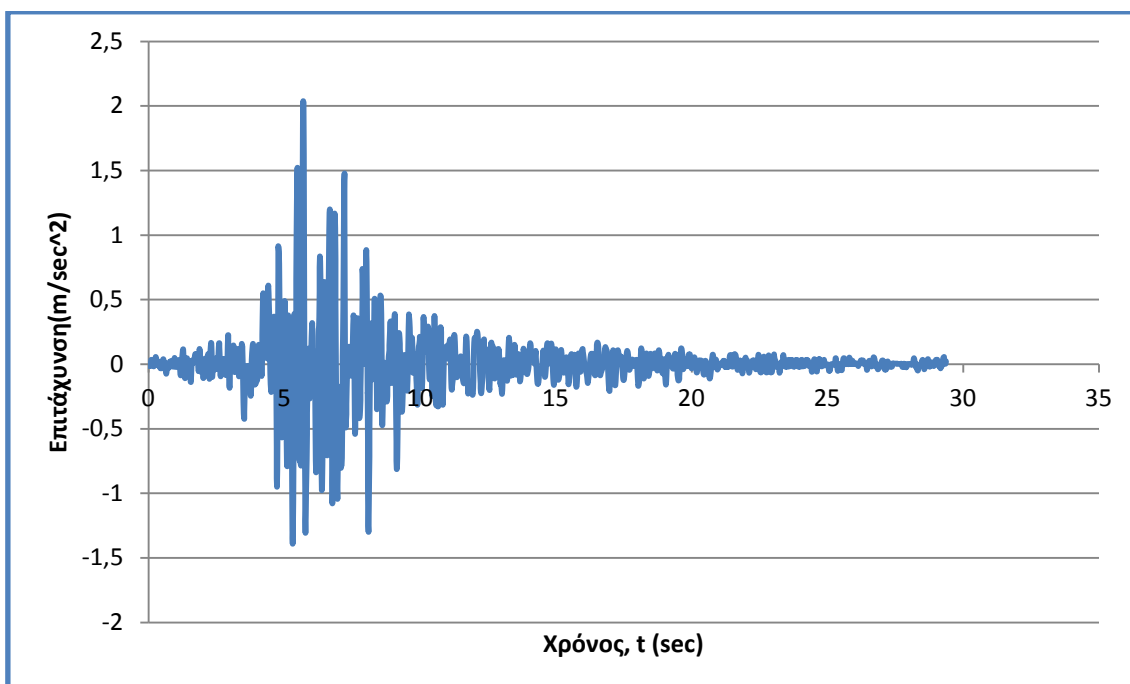


Σχήμα 4.35 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Κεφαλλονιάς, 1983 – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,019m)

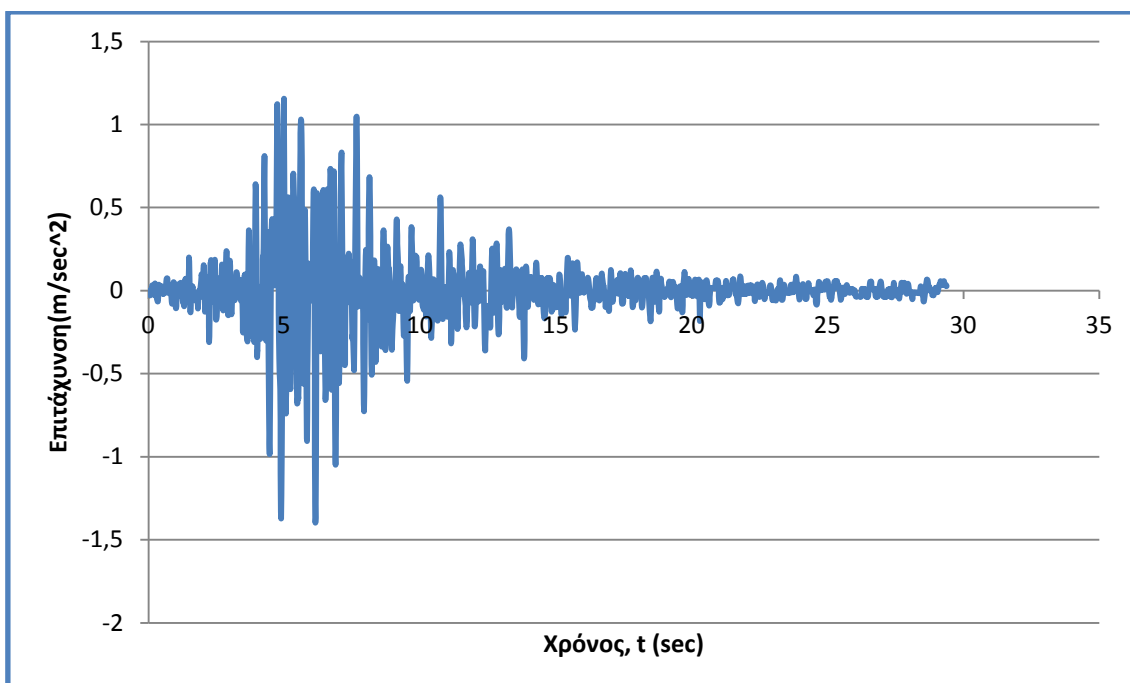


Σχήμα 4.36 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Κεφαλλονιάς, 1983 – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,033m)

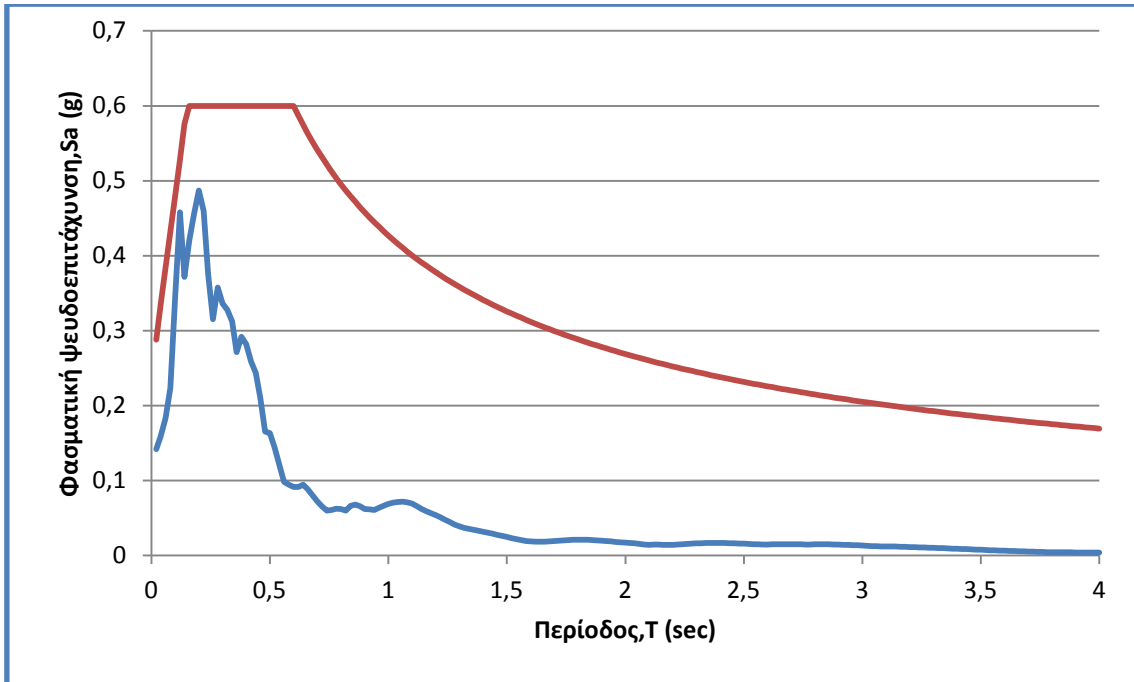
4.7 ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ,1995 – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΝΟΜΑΡΧΙΑΣ



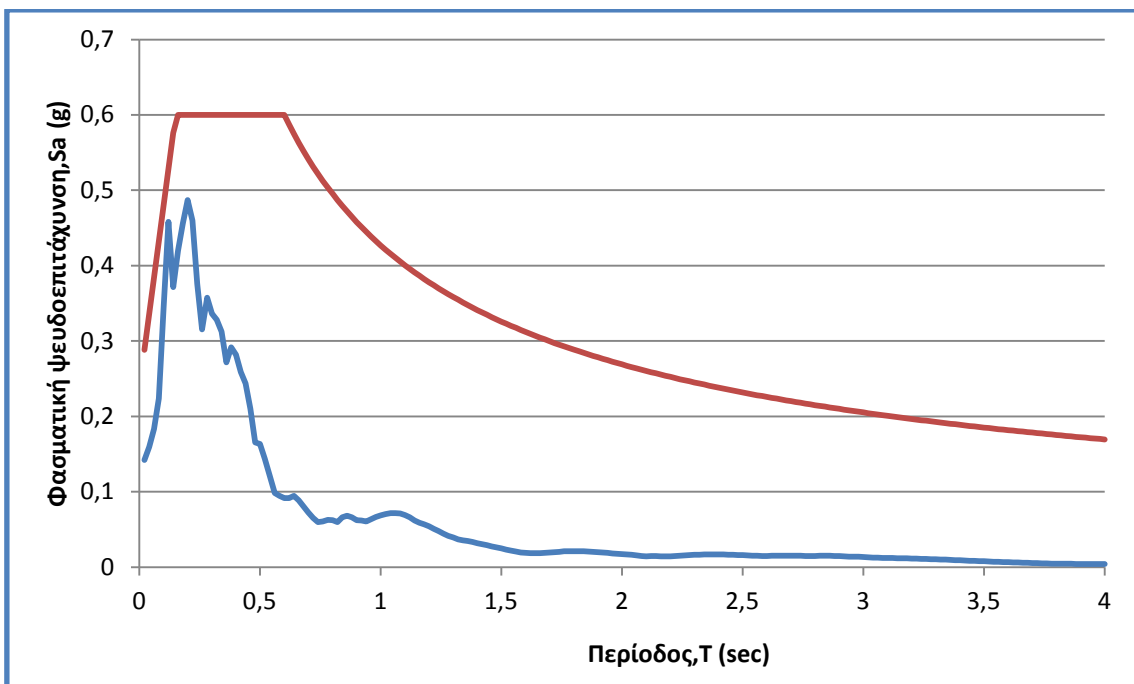
Σχήμα 4.37 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Κοζάνης,1995-Καταγραφή κτιρίου Νομαρχίας – συνιστώσα L (Μέγιστη επιτάχυνση 2,038 m/sec²)



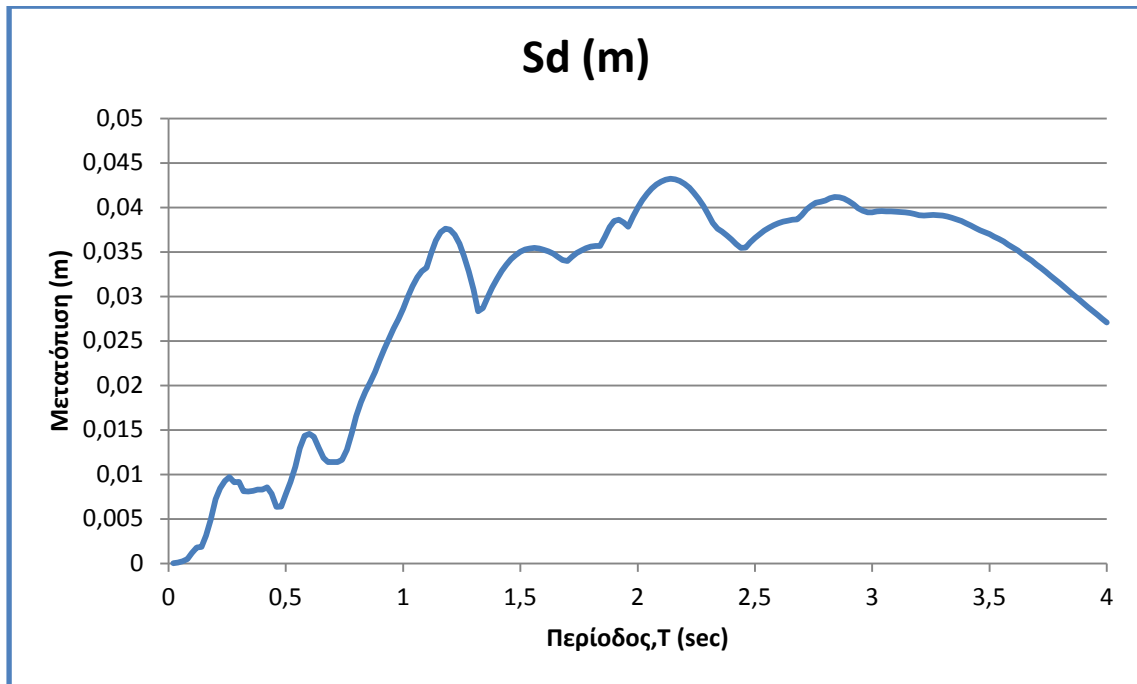
Σχήμα 4.38 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Κοζάνης,1995-Καταγραφή κτιρίου Νομαρχίας – συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 1,155 m/sec²)



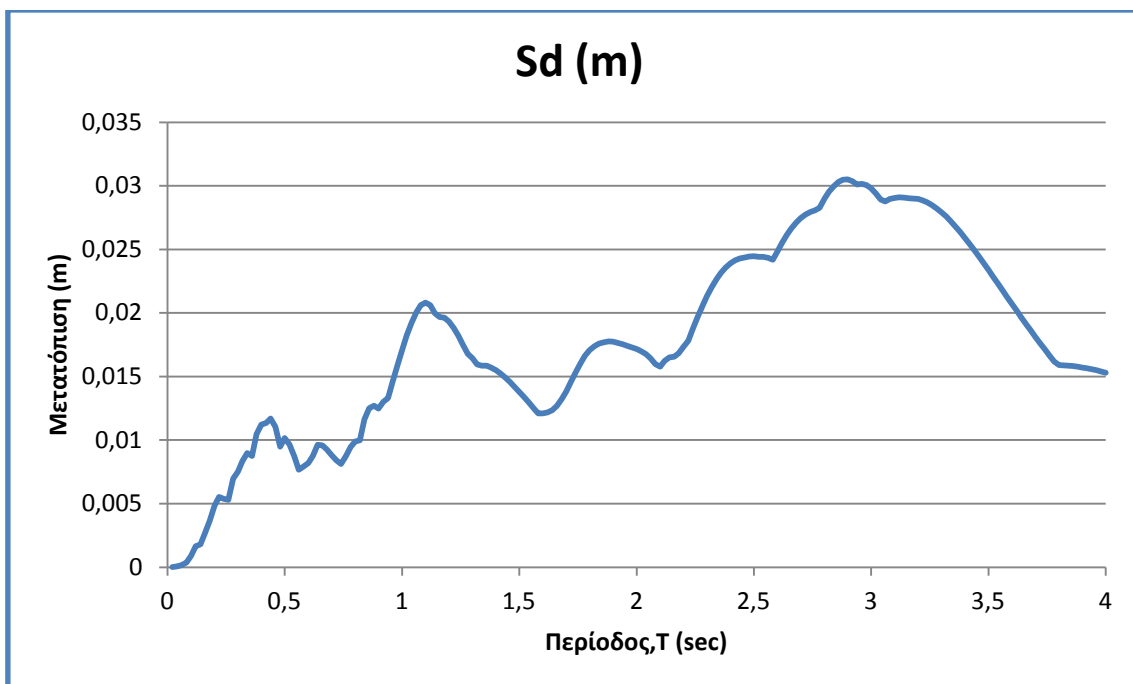
Σχήμα 4.39 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Κοζάνης, 1995 - Καταγραφή κτιρίου Νομαρχίας - συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,48g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.40 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Κοζάνης, 1995 - Καταγραφή κτιρίου Νομαρχίας - συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,48g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

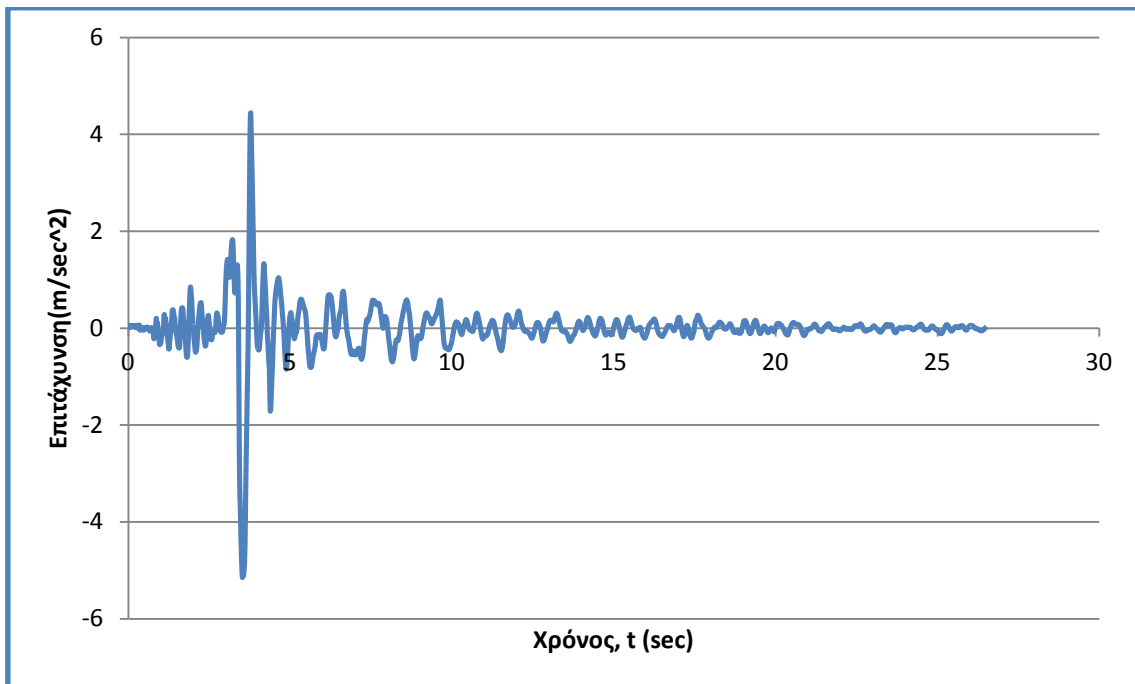


Σχήμα 4.41 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Κοζάνης, 1995 – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,043m).

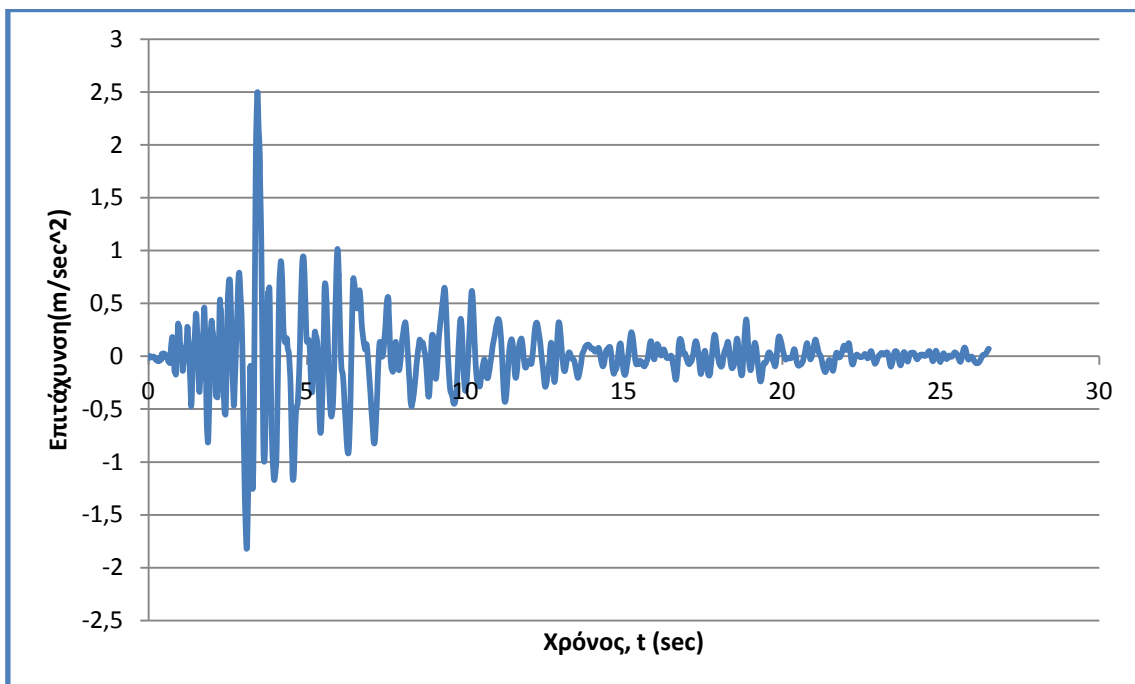


Σχήμα 4.42 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Κοζάνης, 1995 – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,030m) .

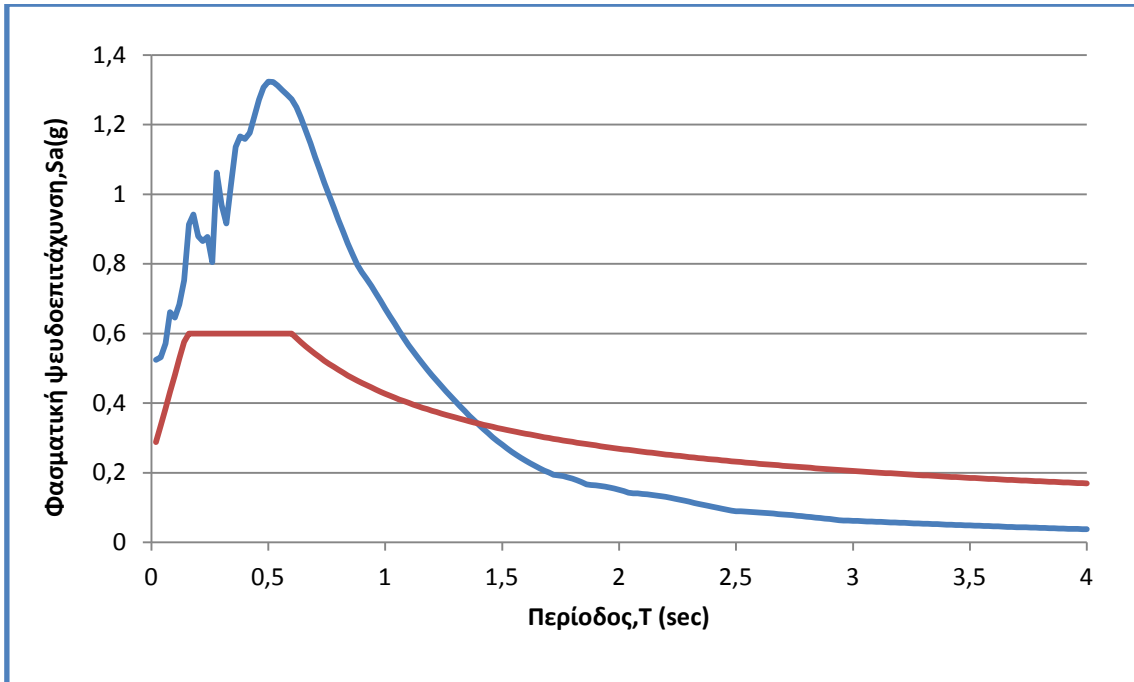
4.8 ΣΕΙΣΜΟΣ ΙΟΝΙΟΥ,ΛΕΥΚΑΔΑ,1973 – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ Ο.Τ.Ε



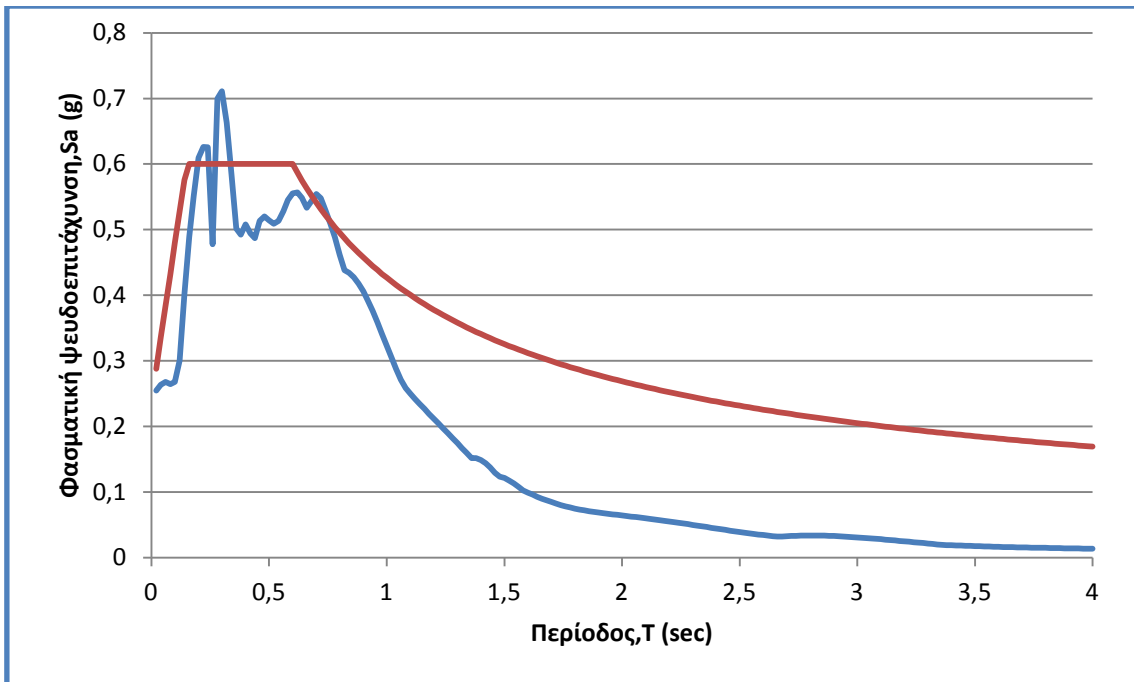
Σχήμα 4.43 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Λευκάδα,1973 - Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε – συνιστώσα L (Μέγιστη επιτάχυνση 4,44 cm/sec²)



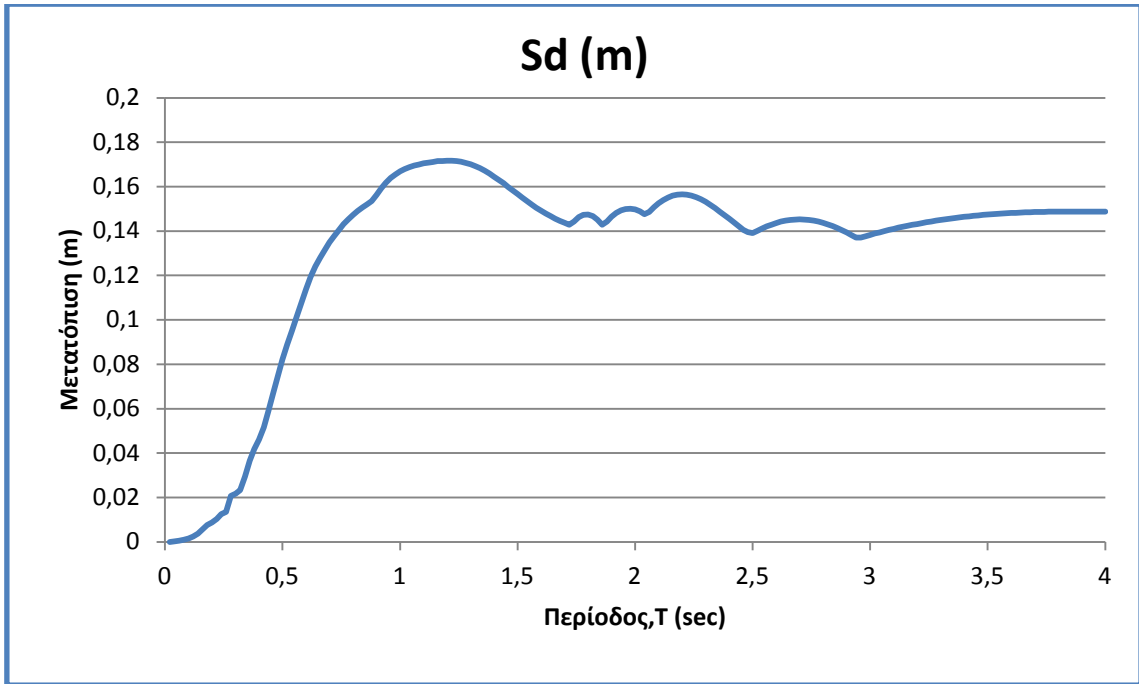
Σχήμα 4.44 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Λευκάδα,1973 - Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε – συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 2,49 cm/sec²)



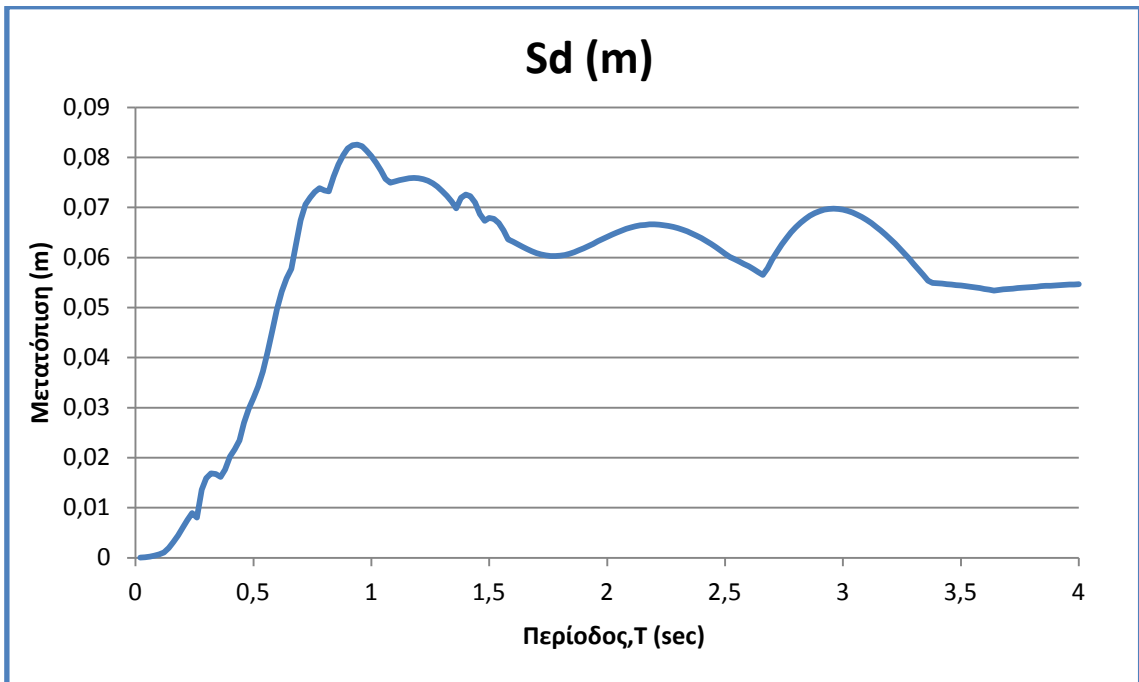
Σχήμα 4.45 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Λευκάδα, 1973 - Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε - συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 1,36g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.46 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Λευκάδα, 1973 - Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε - συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,71g) και σύγκριση του με μέσο φάσμα του Ε.Α.Κ.

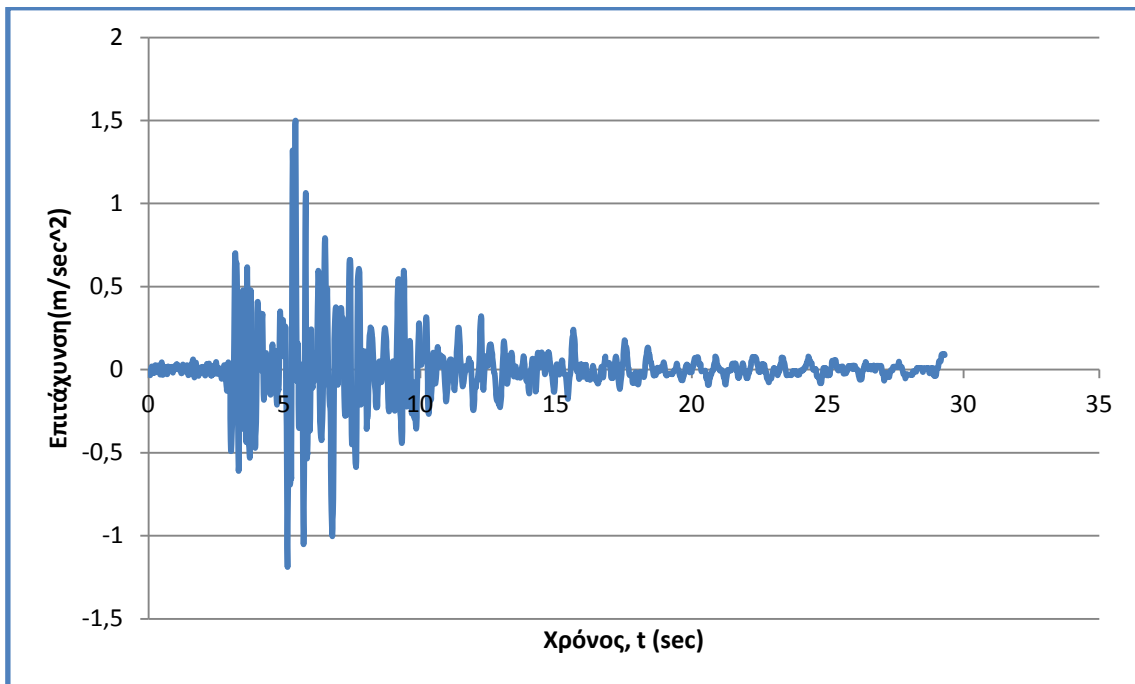


Σχήμα 4.47 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Λευκάδα, 1973 - Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,172m)

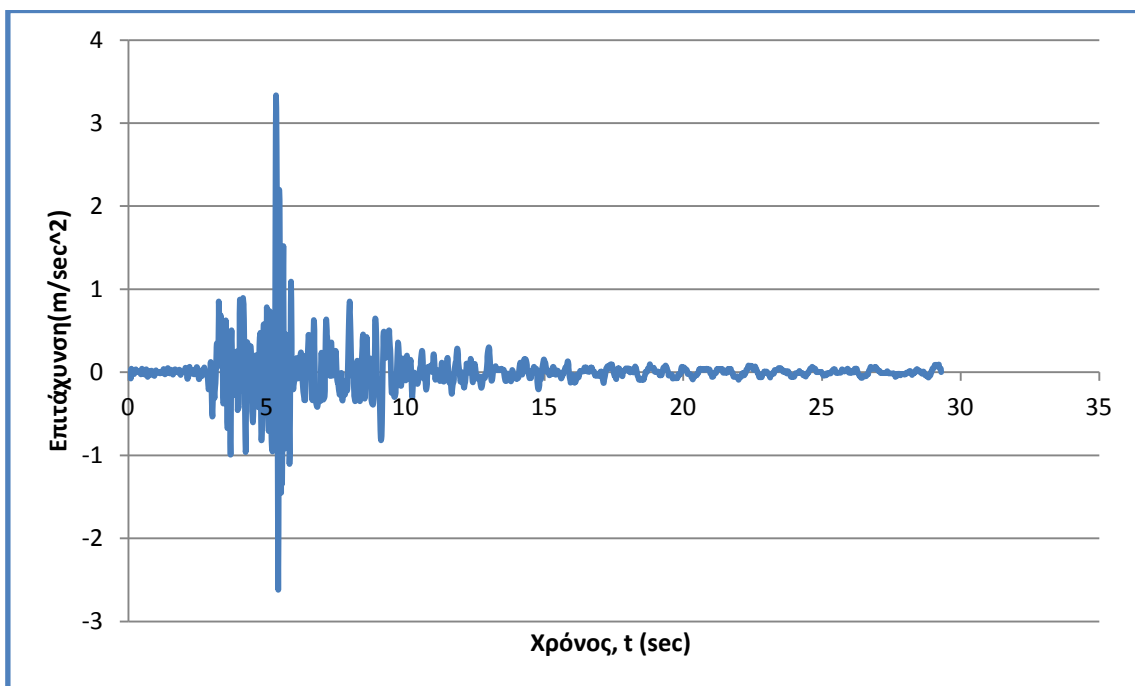


Σχήμα 4.48 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Λευκάδα, 1973 - Καταγραφή κτιρίου Ο.Τ.Ε – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,082m)

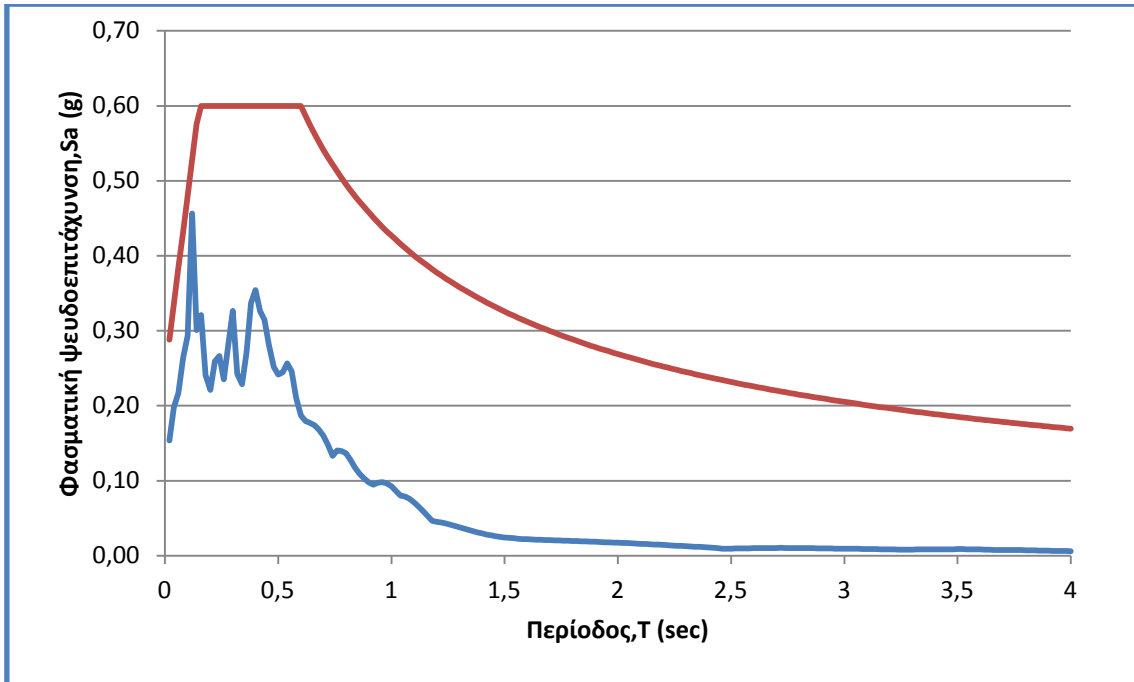
4.9 ΣΕΙΣΜΟΣ ΠΑΤΡΑΣ, 1993 – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ



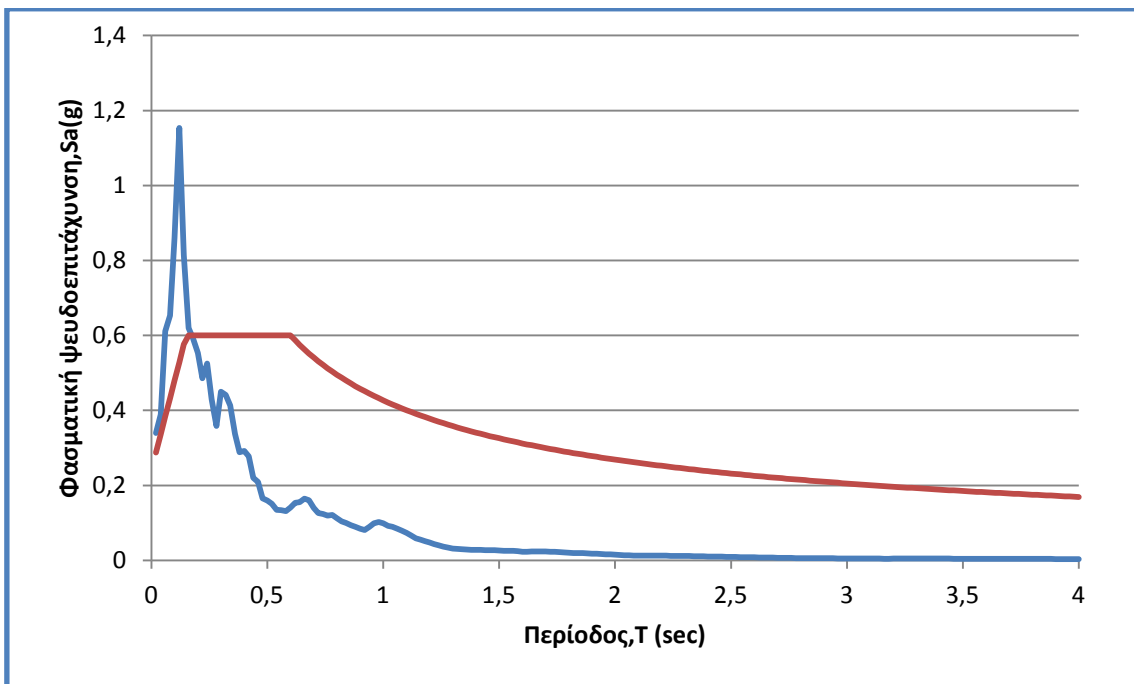
Σχήμα 4.49 :Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Πάτρας, 1993 – καταγραφή Αγίου Δημητρίου – συνιστώσα L (μέγιστη επιτάχυνση 1,499 m/sec²).



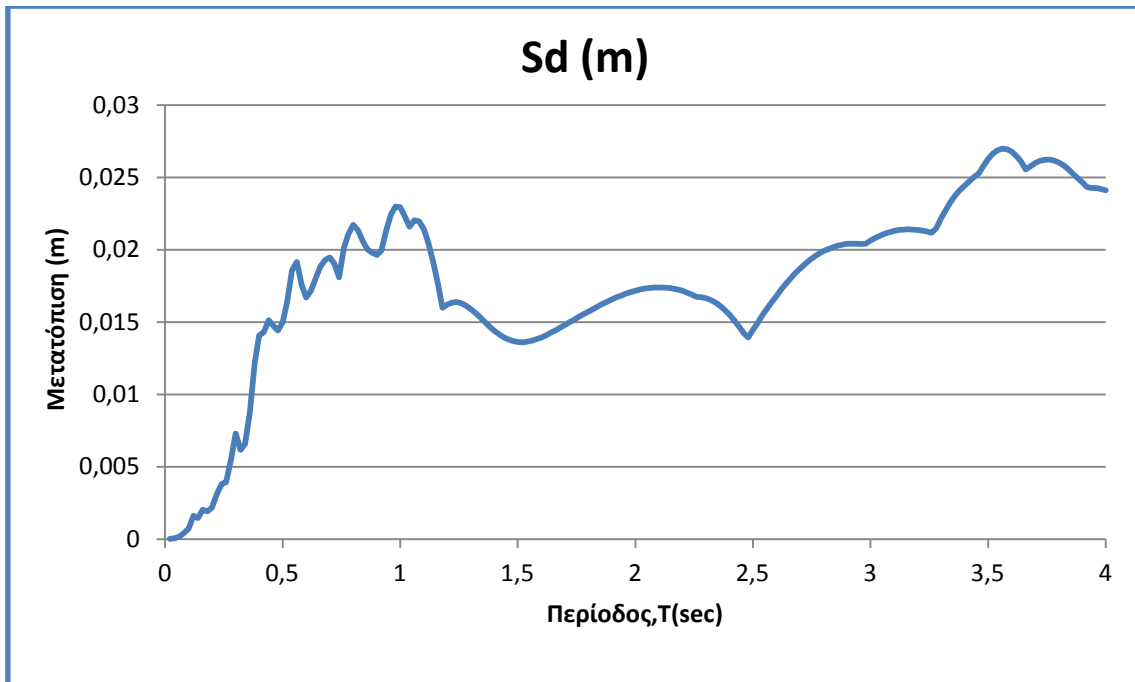
Σχήμα 4.50: Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό της Πάτρας, 1993 – καταγραφή Αγίου Δημητρίου – συνιστώσα L (μέγιστη επιτάχυνση 3,337 m/sec²).



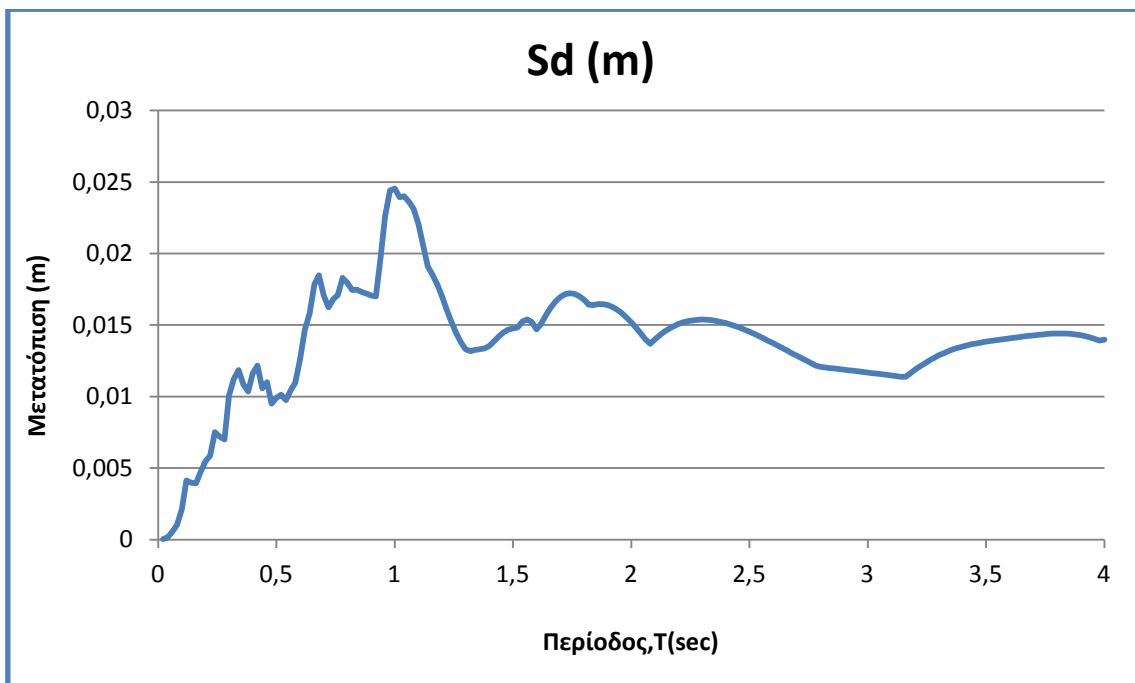
Σχήμα 4.51: Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Πάτρας, 1993 - καταγραφή Αγίου Δημητρίου – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,45g) και σύγκριση του με τον Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.52: Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Πάτρας, 1993 - καταγραφή Αγίου Δημητρίου – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 1.18g) και σύγκριση του με τον Ε.Α.Κ.

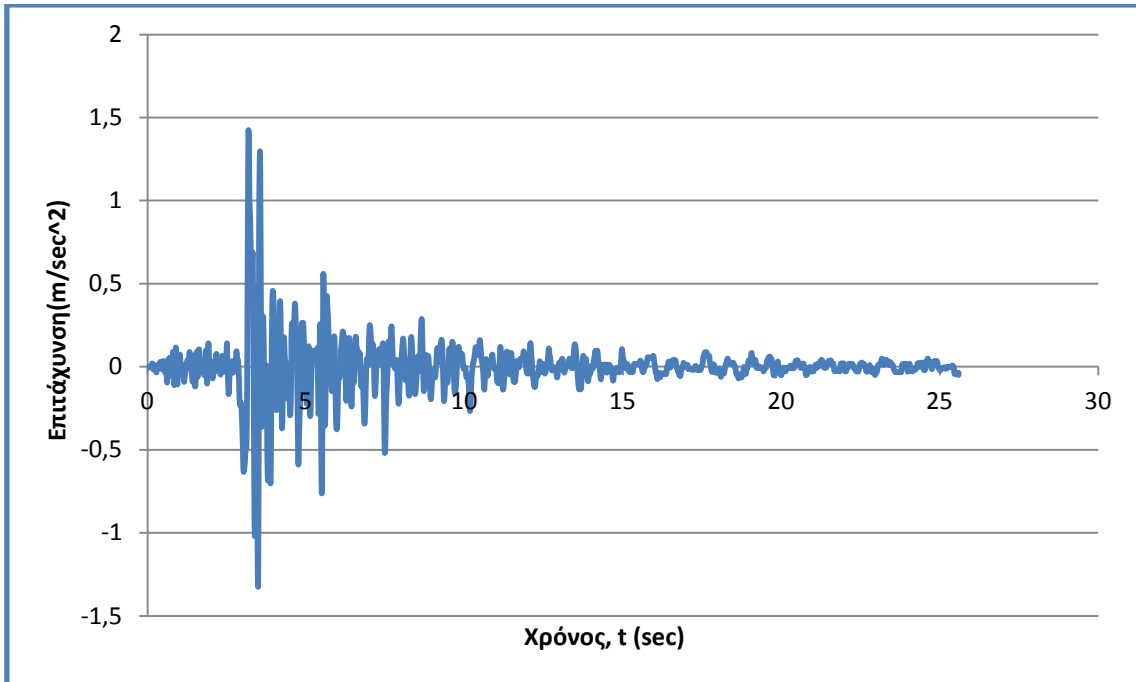


Σχήμα 4.53: Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Πάτρας, 1993 - καταγραφή Αγίου Δημητρίου – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική μετατόπιση: 0,027m).

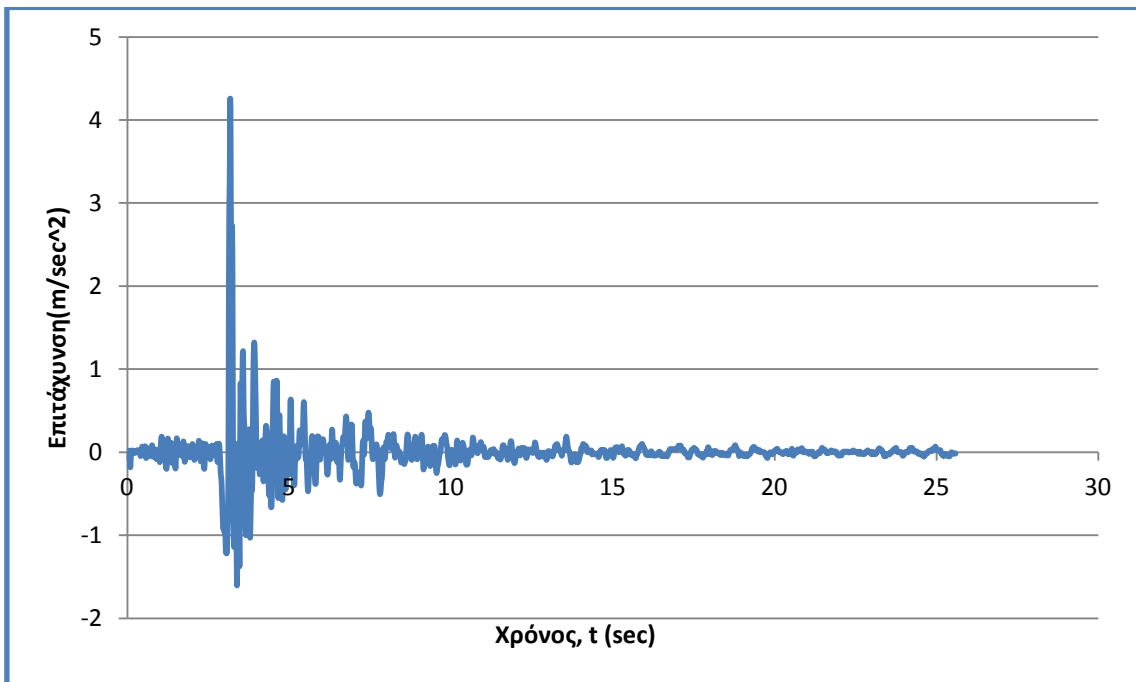


Σχήμα 4.54: Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Πάτρας, 1993 - καταγραφή Αγίου Δημητρίου – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική μετατόπιση: 0,024m)

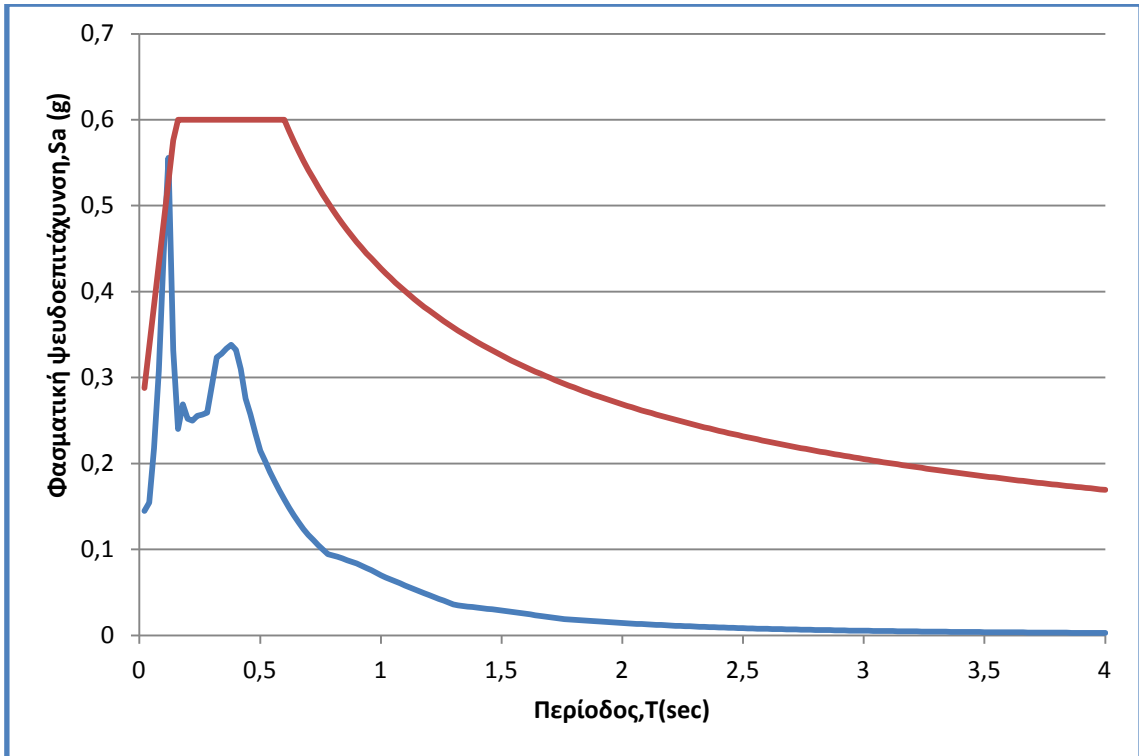
4.10 ΣΕΙΣΜΟΣ ΠΥΡΓΟΥ,1993 – ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ



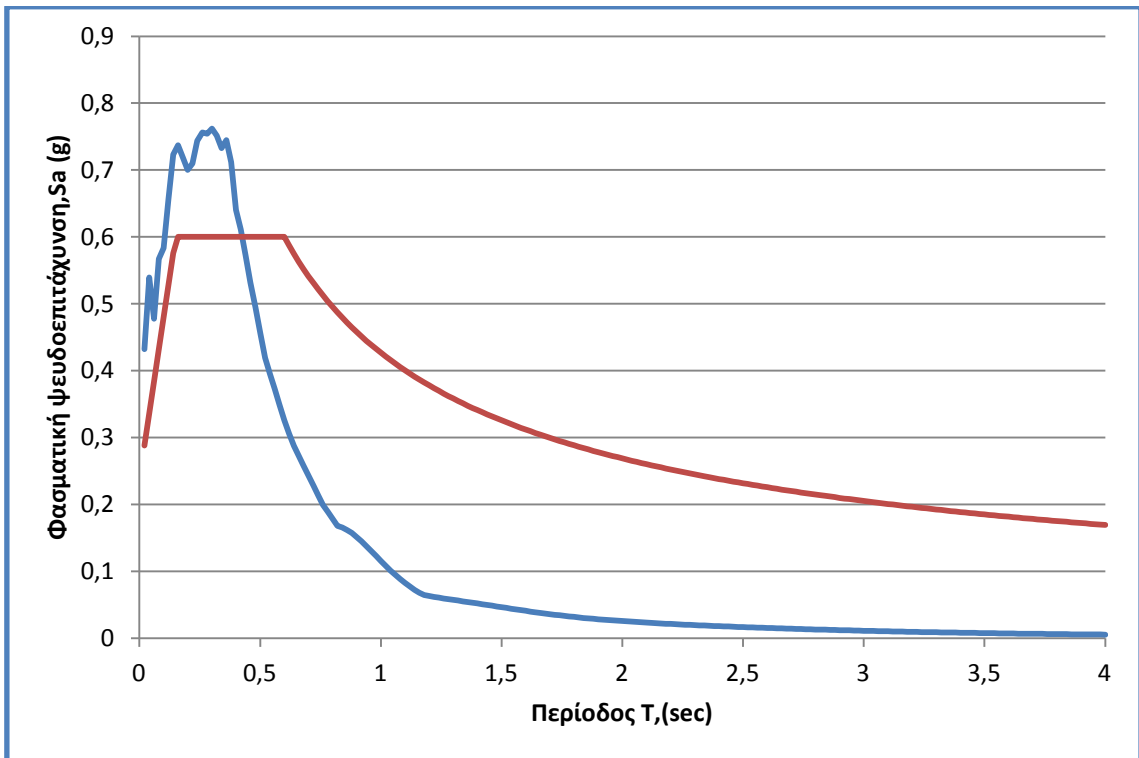
Σχήμα 4.55: Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό του Πύργου,1993–καταγραφή κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας- συνιστώσα L (μέγιστη επιτάχυνση: 1,42 m/sec²).



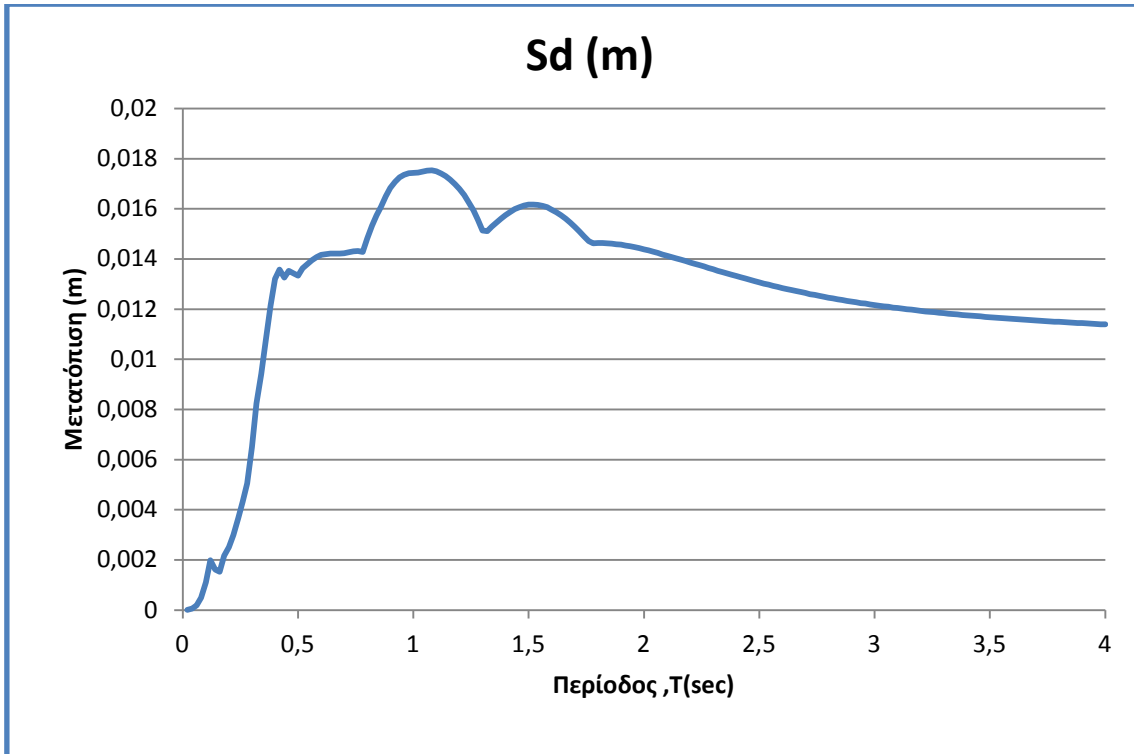
Σχήμα 4.56 : Εδαφικές επιταχύνσεις κατά το σεισμό του Πύργου,1993–καταγραφή κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας- συνιστώσα T (Μέγιστη επιτάχυνση 4,25 m/sec²)



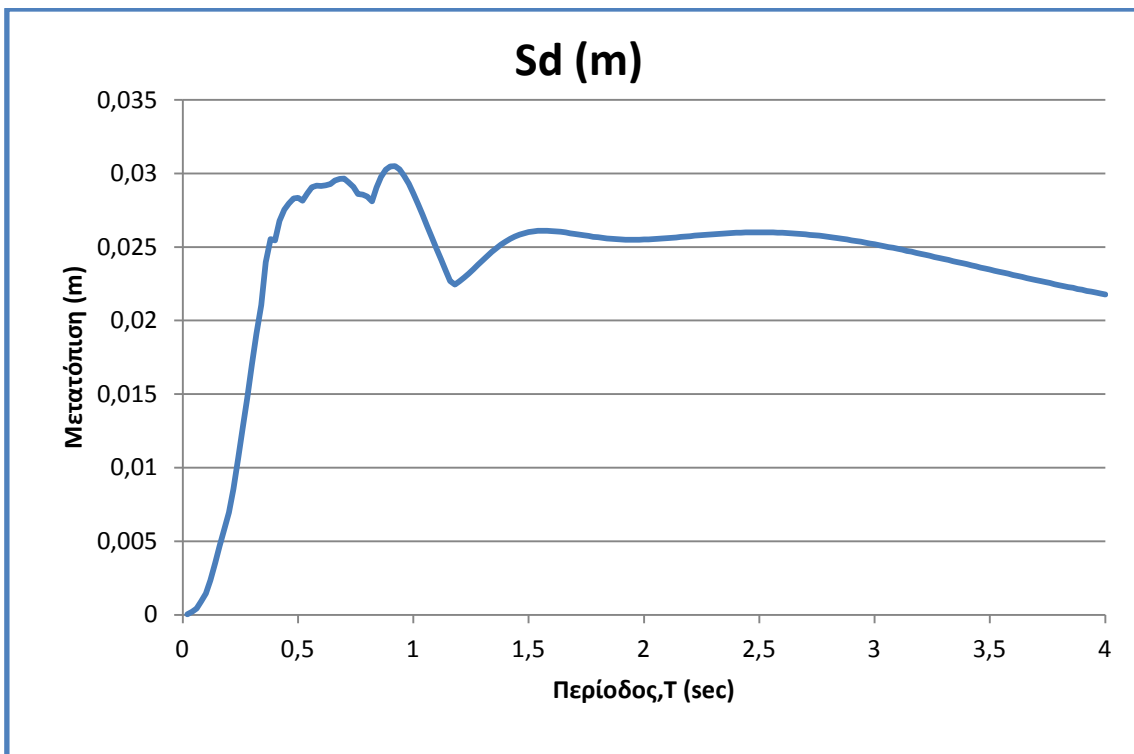
Σχήμα 4.57 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Πύργου, 1993– καταγραφή κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας – συνιστώσα L (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,57g) και σύγκριση του με τον Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.58 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης επιταχύνσεων για το σεισμό της Πύργου, 1993– καταγραφή κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας – συνιστώσα T (μέγιστη φασματική επιτάχυνση: 0,78g) και σύγκριση του με τον Ε.Α.Κ.



Σχήμα 4.59 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Πύργου, 1993–καταγραφή κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας – συνιστώσα L (Μέγιστη μετατόπιση 0,017m)



Σχήμα 4.60 : Ελαστικό φάσμα απόκρισης μετατοπίσεων για το σεισμό της Πύργου, 1993–καταγραφή κτιρίου Αγροτικής Τράπεζας – συνιστώσα T (Μέγιστη μετατόπιση 0,030m)

4.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ.

Από τα φάσματα που προέκυψαν από τις επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην εργασία και παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτουν οι παρακάτω ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις

ΣΕΙΣΜΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ
ΑΙΓΙΟ ,1995	<p>Στα Σχήματα 4.3 και 4.4 παρουσιάζεται η φασματική επιτάχυνση ως σε σχέση με την ιδιοπερίοδο. Για περιόδους περίπου 1 sec παρατηρούνται οι μέγιστες τιμές επιτάχυνσης, οι οποίες μάλιστα ξεπερνούν τα ενδεικτικά όρια του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού που εξετάστηκαν. Αυτό σημαίνει ότι οι κατασκευές με αντίστοιχες περιόδους πιθανόν να μην «αντέξουν» στο συγκεκριμένο σεισμό και κινδυνεύουν να υποστούν ζημιές ή να θεωρηθούν κατεδαφιστές. Με βάση τις παρατηρήσεις φαίνεται ότι το φάσμα που υπολογίστηκε μας δίνει αρκετές πληροφορίες που μπορούν να αιτιολογήσουν τις καταρρεύσεις που παρατηρήθηκαν.</p>
ΑΘΗΝΑ ,1999	<p>Στα σχήματα 4.9 και 4.10 παρατηρείται ότι για τιμές περιόδου από 0 έως περίπου 0.5 sec οι αντίστοιχες ψευδοεπιταχύνσεις βρίσκονται γενικά εκτός των ορίων του Ε.Α.Κ., κατά συνέπεια κατασκευές με αντίστοιχα δυναμικά χαρακτηριστικά είναι πιο ευάλωτες στο συγκεκριμένο σεισμό και θα υποστούν μεγάλες ζημιές. Οι επιταχύνσεις του φάσματος που αντιστοιχούν στο εύρος των τιμών περιόδου από 0.5 έως 4.0 sec φανερώουν ότι σωστά υπολογισμένες κατασκευές δε διατρέχουν κίνδυνο. Σημειώνεται ότι οι χαμηλές τιμές περιόδου αντιστοιχούν συνήθως σε απλές κατασκευές (π.χ. μονώροφα κτίρια). Οι καταρρεύσεις μεγαλύτερων κατασκευών στο σεισμό της Αθήνας όπως δείχνει το φάσμα μάλλον οφείλονται σε άλλες αιτίες και όχι αποκλειστικά στην ένταση του φαινομένου.</p>
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ,1978	<p>Στα Σχήματα 4.15 και 4.16 παρατηρείται ότι για το σεισμό της Θεσσαλονίκης ότι οι τιμές της φασματικής επιτάχυνσης προκύπτουν ως επί το πλείστον εντός των ορίων του Ε.Α.Κ. Οι φασματικές επιταχύνσεις ξεπερνούν τα όρια του Κανονισμού για ιδιοπερίόδους από 0.4 έως περίπου 0.5 sec. Επειδή όμως το παραπάνω εύρος τιμών είναι μικρό, θεωρείται ότι δεν αποτελεί κρίσιμο πρόβλημα για τις κατασκευές. Βέβαια ο συγκεκριμένος σεισμός οδήγησε σε καταρρεύσεις που αποδίδονται στις μικρότερες τιμές σεισμικών φορτίων που χρησιμοποιούνταν πριν τη σύνταξη των νέων Κανονισμών.</p>

<p>ΛΕΥΚΑΔΑ ,2003</p>	<p>Από τα Σχήματα 4.21 και 4.22 καθίσταται σαφές ότι οι αυξημένες δράσεις σχεδιασμού που προβλέπονται από τους Κανονισμούς για τα κτίρια της Λευκάδας επιβάλλονται από την αναμενόμενη σεισμική επιβάρυνσή τους. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.21 υπολογίζονται τιμές φασματικής επιτάχυνσης μεταξύ 0.9 και 1.85g, οι οποίες ξεπερνούν αυτές του φάσματος του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού και μας δείχνουν ότι πολλές κατασκευές πιθανούν δεν αντέχουν στις καταπονήσεις που εισάγουν αυτές οι εδαφικές επιταχύνσεις. Το ίδιο προκύπτει και από το Σχήμα 4.22 (δεύτερη συνιστώσα του ίδιου σεισμού). Τέτοιες ακραίες τιμές επιταχύνσεων σημαίνουν ότι π.χ. πολλά κτίρια πιθανόν να θεωρηθούν ακατάλληλα για χρήση, δηλαδή να υποστούν σοβαρές βλάβες και να υπάρχει πιθανότητα αυτά ή τμήματά τους να καταρρεύσουν ξαφνικά (μεγάλες βλάβες σε φέροντα στοιχεία, σε κόμβους και στα στοιχεία πλήρωσης κ.λ.π.). Σημειώνεται ότι η συμπεριφορά των κτιρίων της Λευκάδας ήταν βέβαια πολύ καλύτερη από αυτή που περιγράφεται, λόγω της καλής και μάλλον συντηρητικής σχεδιασής τους.</p>
<p>ΚΟΡΙΝΘΟΣ ,1981</p>	<p>Στο Σχήμα 4.27 παρατηρείται ότι για περιορισμένο εύρος ιδιοπεριόδων οι τιμές της επιτάχυνσης ξεφεύγουν από τα όρια που δίνει ο Ελληνικός Αντισεισμικό Κανονισμός. Συγκεκριμένα προέκυψαν ψευδοεπιταχύνσεις έως 0.67g περίπου, που αντιστοιχούν σε ιδιοπεριόδους από 0.5 έως 0.7 sec περίπου. Τέτοιες μικρές υπερβάσεις δεν αντιστοιχούν σε πιθανούς κινδύνους για τις κατασκευές. Αντίθετα, η δεύτερη ισχυρότερη συνιστώσα του ίδιου σεισμού (Σχήμα 4.28) «έδωσε» τιμές ψευδοεπιταχύνσεων που ξεφεύγουν από τα «όρια» του Ε.Α.Κ (έως και 0.9g περίπου) και αντιστοιχούν σε σαφώς ευρύτερο φάσμα περιόδων. Ωστόσο και σε αυτή την περίπτωση τα μέγιστα προκύπτουν για περιόδους αρκετά μικρότερες του 1 sec που αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό δομημάτων (π.χ. πολυώροφα κτίρια).</p>
<p>ΚΕΦΑΛΛΟΝΙΑ, ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ 1983(ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟ ΟΤΕ)</p>	<p>Στα Σχήματα 4.33 και 4.34 παρατηρείται ότι οι μέγιστες φασματικές επιταχύνσεις υπολογίζονται για ένα πολύ μικρό διάστημα περιόδων, μικρότερων από 0.40sec. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι, ακόμα κι αν οι τιμές φασματικών επιταχύνσεων που προκύπτουν είναι μεγάλες (ακόμα και πάνω από 1.0g, Σχήμα 4.34), αυτές δεν επηρεάζουν τις κατασκευές που συνήθως έχουν αρκετά μεγαλύτερες θεμελιώδεις περιόδους (οπότε με βάση τα διαγράμματα «δέχονται» αρκετά μικρότερες σεισμικές δράσεις).</p>

<p>ΚΟΖΑΝΗ, 1995 (ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟ ΝΟΜΑΡΧΙΑΣ)</p>	<p>Από τα αποτελέσματα των Σχήμα 4.39 και 4.40 προκύπτει ότι αν και στο σεισμό της Κοζάνης καταγράφηκαν επιταχύνσεις με τιμές αντίστοιχες με αυτές άλλων γεγονότων, οι φασματικές επιταχύνσεις προκύπτουν γενικά μέσα στα όρια του Ε.Α.Κ. (μέση περίπτωση, ζώνη ΙΙ). Από αυτή τη σκοπιά, η οποία ενδιαφέρει κυρίως τον Πολιτικό Μηχανικό, ο συγκεκριμένος σεισμός κρίνεται αρκετά ασθενής.</p>
<p>ΙΟΝΙΟ, ΛΕΥΚΑΔΑ 1973 (ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟ Ο.Τ.Ε)</p>	<p>Από το σχήμα 4.45 παρατηρείται ότι για περιόδους από 0 έως 1.5 sec η φασματική επιτάχυνση ξεπερνά κατά πολύ την τιμή που προκύπτει από τον Ε.Α.Κ.-Συνεπώς, και σε αυτή την περίπτωση το φάσμα που υπολογίστηκε συμφωνεί με την εικόνα των ζημιών που προκάλεσε ο συγκεκριμένος σεισμός. Σημειώνεται ότι οι σύγχρονες κατασκευές μέσω του σχεδιασμού τους μπορούν να «αντέξουν» επιταχύνσεις μεγαλύτερες από αυτές που προκύπτουν από το φάσμα του Κανονισμού, οπότε η υπέρβαση που παρατηρείται δε θεωρείται απαραίτητα ανησυχητική. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το γεγονός ότι όπως φαίνεται στο σχήμα 4.46 η δεύτερη συνιστώσα του ίδιου σεισμού ήταν αρκετά ασθενέστερη.</p>
<p>ΠΑΤΡΑ, 1993 (ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ)</p>	<p>Και στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι η μία συνιστώσα του σεισμού είναι αρκετά ασθενέστερη (Σχήμα 4.51) και οι φασματικές επιταχύνσεις που υπολογίζονται δεν ξεπερνούν αυτές του Ε.Α.Κ. Η ισχυρή συνιστώσα (Σχήμα 4.52) «έδωσε» ψευδοεπιταχύνσεις μεγαλύτερες από του Κανονισμού μόνο για πολύ μικρές ιδιοπεριόδους που δεν αντιπροσωπεύουν συνηθισμένες κατασκευές. Οπότε, το φάσμα δείχνει ότι δεν αναμένονται σημαντικές βλάβες από μία τέτοιου είδους δόνηση.</p>
<p>ΠΥΡΓΟΣ, 1993 (ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ)</p>	<p>Όπως δείχνουν τα Σχήματα 4.57 και 4.58, αν και οι μέγιστες επιταχύνσεις εδάφους που καταγράφηκαν ήταν αρκετά μεγάλες, οι φασματικές τιμές είναι σχετικά μικρές και από αυτές μπορεί να θεωρηθεί ότι η ένταση του σεισμού αυτού, από τη σκοπιά της επίδρασής του στις κατασκευές, είναι μάλλον περιορισμένη σε σχέση με άλλους που εξετάστηκαν. Παρατηρείται ξανά ότι μόνο για την ισχυρή συνιστώσα οι τιμές του φάσματος του Ε.Α.Κ. είναι μικρότερες από αυτές του φάσματος απόκρισης, αλλά αυτό συμβαίνει μόνο για μια μικρή σχετικά περιοχή χαμηλών ιδιοπεριόδων, που δεν επηρεάζουν π.χ. τα πολυώροφα κτίρια.</p>

Σαν γενικό συμπέρασμα των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν μπορεί να σημειωθεί πως οι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή μας, αν και χαρακτηρίζονται από υψηλές μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, «δίνουν» υψηλές τιμές φασματικών επιταχύνσεων συνήθως για μικρές ιδιοπεριόδους, που δεν «αντιπροσωπεύουν» τις συνήθεις κατασκευές. Αυτός είναι άλλωστε και ένας από τους λόγους που έχουν αποτρέψει τις εκτεταμένες καταστροφές (π.χ. καταρρεύσεις κτιρίων και άλλων κατασκευών) πλην κάποιων εξαιρέσεων (π.χ. Καλαμάτα, 1987).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπτύχθηκε πρόγραμμα Η/Υ σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN, το οποίο, χρησιμοποιώντας σεισμικά δεδομένα που λαμβάνονται από επιταχυνσιογράφους υπολογίζει φάσματα απόκρισης. Μέσα από τα αποτελέσματα που προέκυψαν έγινε μία προσπάθεια να αναγνωρισθούν οι επιπτώσεις του φαινομένου του σεισμού στις κατασκευές και να ερμηνευθούν τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα των σημαντικών σεισμών των τελευταίων ετών στην Ελλάδα. Για το λόγο αυτό επιχειρήθηκε να συγκριθούν τα αποτελέσματα του προγράμματός μας (φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων) με αντίστοιχα μεγέθη του αντισεισμικού κανονισμού, ώστε να μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα.

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν καταγραφές από δέκα ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα. Από την εργασία μας αναδεικνύεται η σπουδαιότητα της μελέτης του σεισμικού ιστορικού μιας περιοχής, η οποία επιτρέπει στον πολιτικό μηχανικό να προσαρμόζει το σχεδιασμό των νέων κατασκευών, ιδιαίτερα αυτών που έχουν μεγάλη σημασία, ώστε να είναι σε θέση να ανταπεξέλθουν σε μια ανάλογη σεισμική δράση.

Συγκρίνοντας τα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων που προκύπτουν από τα επιταχυνσιογραφήματα κάθε καταγραφής με το αντίστοιχο φάσμα σχεδιασμού που υιοθετούν οι κανονισμοί, παρατηρούμε ότι η μορφή του φάσματος σχεδιασμού του κανονισμού ανταποκρίνεται στη μορφή των φασμάτων ψευδοεπιτάχυνσης που προκύπτουν από τα επιταχυνσιογραφήματα. Αυτό είναι λογικό και αναμενόμενο καθώς το φάσμα σχεδιασμού προσπαθεί να «αντιπροσωπεύσει» με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα φάσματα απόκρισης των σεισμών μιας περιοχής, ώστε οι κατασκευές που σχεδιάζουμε να είναι ασφαλείς.

Ως προς το μέγεθος της φασματικής τεταγμένης, παρατηρούμε ότι για την πλειονότητα των φασμάτων ψευδοεπιτάχυνσης η αντίστοιχη τεταγμένη του φάσματος για κάθε ιδιοπερίοδο προκύπτει μικρότερη από την αντίστοιχη του φάσματος σχεδιασμού, γεγονός που υποδεικνύει ότι ο σχεδιασμός καλύπτει σεισμούς αντίστοιχης έντασης και μορφής. Υπάρχουν βέβαια περιπτώσεις όπου, για μικρό εύρος περιόδων, η φασματική τεταγμένη ξεπερνάει αυτή του φάσματος σχεδιασμού, πράγμα που αρχικά μοιάζει να είναι ανησυχητικό. Αυτό που συμβαίνει όμως στην πράξη, είναι ότι αν σε κάποιο σεισμό τύχει για τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της κατασκευής μας το φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων του σεισμού να ξεπερνάει αυτό του σχεδιασμού, τότε θα αναπτυχθούν στην κατασκευή μας μεγαλύτερες μετακινήσεις από τις αναμενόμενες. Αυτό θα έχει ως συνέπεια η κατασκευή να υποστεί βλάβη με αποτέλεσμα τη μείωση της δυσκαμψίας της και, επακόλουθα, την αύξηση της ιδιοπεριόδου της. Έτσι, αν το φάσμα του επιταχυνσιογραφήματος ξεπερνάει το φάσμα σχεδιασμού σε ένα μικρό μόνο εύρος ιδιοπεριόδων, η αύξηση της ιδιοπεριόδου της κατασκευής θα την «οδηγήσει» εκτός της περιοχής με τις αυξημένες φασματικές τεταγμένες. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν δηλαδή κατασκευάζαμε το φάσμα σχεδιασμού ώστε σε κάθε σημείο η τεταγμένη του να ήταν μεγαλύτερη από όλα τα φάσματα σεισμικών καταγραφών, θα είμαστε μεν από τη μεριά της ασφάλειας, αλλά θα είμαστε τόσο συντηρητικοί που τελικά το κόστος των κατασκευών θα ανέβαινε δραματικά, κάτι που θα είχε σοβαρές κοινωνικές συνέπειες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, οι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή μας, αν και χαρακτηρίζονται από υψηλές μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, «δίνουν» υψηλές τιμές φασματικών επιταχύνσεων συνήθως για μικρές ιδιοπεριόδους, που δεν «αντιπροσωπεύουν» τις συνήθεις κατασκευές. Αυτός είναι

άλλωστε και ένας από τους λόγους που έχουν αποτρέψει τις εκτεταμένες καταστροφές (π.χ. καταρρεύσεις κτιρίων και άλλων κατασκευών) πλην κάποιων εξαιρέσεων (π.χ. Καλαμάτα, 1987).

Τέλος, οφείλουμε να υπογραμμίσουμε τη σημασία του Η/Υ στο σύγχρονο πεδίο δραστηριότητας του Πολιτικού Μηχανικού. Το πρόγραμμα που γράφτηκε στα πλαίσια της εργασίας, μας δίνει τη δυνατότητα να εξάγουμε χρήσιμα για τις κατασκευές μεγέθη έπειτα από επεξεργασία των εδαφικών επιταχύνσεων. Η επεξεργασία αυτή δε θα ήταν εύκολη χωρίς να χρησιμοποιηθεί ο Η/Υ. Ωστόσο, ιδιαίτερα σημαντική είναι η διαδικασία ελέγχου ορθότητας του προγράμματος, όπως αυτή που παρουσιάσαμε. Στο σύγχρονο περιβάλλον που διατίθεται μεγάλος αριθμός ηλεκτρονικών εργαλείων, είναι κρίσιμο ο Πολιτικός Μηχανικός να έχει τη γνώση και τη δυνατότητα να ελέγξει τα εργαλεία αυτά, ώστε να αναγνωρίσει πιθανά σφάλματα ή ασυμβατότητες με το έργο για το οποίο θα χρησιμοποιηθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κολλιόπουλος Δ. και Μανώλης Κ. (2005) Δυναμική των Κατασκευών, Αθήνα.
- [2] Ιστοσελίδα www.geo.auth.gr
- [3] Miklowitz (1978) Theory of Elastic Waves and Waveguides, North-Holland.
- [4] Ιστοσελίδα www.wikispaces.com
- [5] Bachmann H. (1998) Αντισεισμική Προστασία Κατασκευών, Γκιούρδας, Αθήνα.
- [6] Ιστοσελίδα www.bulldnet.gr
- [7] Ιστοσελίδα www.oasp.gr
- [8] Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ. (2003) Οι σεισμοί της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.
- [9] Ιστοσελίδα www.4news.gr
- [10] Ιστοσελίδα www.earthquake.gr
- [11] Τσελέντης Α. (1997) Σύγχρονη Σεισμολογία, Αθήνα.
- [12] Παναγιώτης Α. Ψιμούλης (2005) Συμβολή στη διερεύνηση της δυνατότητας καταγραφής ταλαντώσεων με τα γεωδαιτικά όργανα GPS-RTS, Πάτρα.
- [13] Ιστοσελίδα BMP
- [14] Clough R. and Penzien J. (1993) Dynamics of Structures, McGraw-Hill.
- [15] Chopra A. K. (2001) Dynamics of Structures, Prentice-Hall.
- [16] Σύστημα Καταγραφής και Παρουσίασης Σεισμολογικών δεδομένων, Γενικό Λύκειο Ακρωτηρίου Χανίων, Χανιά.
- [17] Δημήτριος Ν. Μούζουλας (2013) Διερεύνηση χαρακτηριστικών μετρήσεων επιτάχυνσης από σύγκριση καταγράφων πολλαπλών επιταχυνσιογράφων, Πάτρα.
- [18] Yang J., Li J.B., Lin G. (2006), A simple approach to integration of acceleration data for dynamic soil–structure interaction analysis, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 26, pp. 725–734.
- [19] Κατσιαδέλης Ι.Θ. (2002) Δυναμική Ανάλυση των Κατασκευών, Αθήνα.
- [20] ΟΑΣΠ (2003) Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ) 2000, Αθήνα.
- [21] ΕΚ8 Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 1998-1:2004- ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 8.
- [22] Αναγνωστόπουλος Σ. Α. (2010) Πρόχειρες Σημειώσεις Δυναμικής των Κατασκευών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [23] Δ.-Π. Ν. Κοντονή (1995-1999), Υπολογισμός Κατασκευών με Η/Υ, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Πάτρα.
- [24] Δ.-Π. Ν. Κοντονή (1985-2015), Επιστημονικά Εκπαιδευτικά Προγράμματα Η/Υ ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού, Πάτρα.
- [25] Δ.-Π. Ν. Κοντονή (1999-2015), Πολιτικός Μηχανικός & Η/Υ, Εισαγωγή στους Η/Υ, Εισαγωγή στο Διαδίκτυο (internet) και στις υπηρεσίες του (Διδακτικές Σημειώσεις), Ασκήσεις Προγραμματισμού Η/Υ, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Πάτρα.