

**ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Α. Π. Θ.

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΨΕΥΔΟΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ**

**ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ
ΠΡΟΣ ΤΟΝ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

Συντονιστής και Επιστημονικώς Υπεύθυνος ΙΤΣΑΚ :

Καρακώστας Χρήστος, Δρ. Πολιτικός Μηχ., Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

Επιστημονικώς Υπεύθυνος ΤΠΜ-ΑΠΘ :

Κάππος Ανδρέας, Δρ. Πολιτικός Μηχ., Καθηγητής ΑΠΘ

Λοιπά μέλη της Ερευνητικής Ομάδας :

Αθανασιάδου Χριστίνα, Δρ. Πολιτικός Μηχ., ΤΠΜ-ΑΠΘ

Λεκίδης Βασίλης, Δρ. Πολιτικός Μηχ., Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

Μάργαρης Βασίλης, Δρ. Σεισμολόγος, Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

Κλήμης Νικόλαος, Δρ. Πολιτικός Μηχ., Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

Θεοδουλίδης Νικόλαος, Δρ. Σεισμολόγος, Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΤΥΧΟΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΝΕΚΥΨΑΝ
3. ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΝΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

3.2 ΦΑΣΗ 1 - ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

3.3 ΦΑΣΗ 2 - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

3.3.1 Εισαγωγή

3.3.1.1 Διόρθωση της Βασικής Γραμμής

3.3.1.2 Ψηφιακά Φίλτρα

3.3.2 Επεξεργασία των καταγραφών του ΙΤΣΑΚ

3.3.2.1 Ψηφιοποίηση

3.3.2.2 Μη Διορθωμένα Δεδομένα

3.3.2.3 Διορθωμένα Δεδομένα.

3.4 ΦΑΣΗ 3 – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.4.1 Εισαγωγή

3.4.2 Κριτήρια εδαφικών συνθηκών – Κανονιστικές διατάξεις

3.4.3 Κατάταξη επιταχυνσιογραφημάτων με βάση τις εδαφικές συνθήκες

3.5 ΦΑΣΗ 4 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΨΕΥΔΟΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ, ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

3.5.1 Εισαγωγή - Μεθοδολογία

3.5.2 Αποτελέσματα

3.5.2.1 Μέσα φάσματα

3.5.2.2 Συγκρίσεις με ΕΑΚ

3.6 ΦΑΣΗ 5 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

3.6.1 Εισαγωγή

3.6.2 Μεθοδολογία

3.6.3 Αποτελέσματα

3.6.3.1 Μέσα φάσματα

3.6.3.2 Επирροή του μοντέλου υστερητικής συμπεριφοράς και του μέτρου κράτυνσης

3.7 ΦΑΣΗ 6 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ q_μ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

3.8 ΦΑΣΗ 7 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ η

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΕΝΟΡΓΑΝΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΨΕΥΔΟΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ, ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β– ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο : **‘Ανάπτυξη Ανελαστικών Φασμάτων Μετακινήσεων και Ψευδοεπιταχύνσεων για τον Ελληνικό Χώρο’** ανατέθηκε από τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ) από κοινού στο Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) και στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΤΠΜ-ΑΠΘ).

Η ομάδα εργασίας του ερευνητικού προγράμματος συγκροτείται από Ερευνητές του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών και μέλη ΔΕΠ του ΤΠΜ-Α.Π.Θ., όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Φορέας	Ερευνητής	Ειδικότητα
Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ)	Καρακώστας Χρήστος, Δρ. Πολιτικός Μηχ.	Κύριος Ερευνητής, Δν/ση Α.Κ.*
	Λεκίδης Βασίλης, Δρ. Πολιτικός Μηχ.	Κύριος Ερευνητής, Δν/ση Α.Κ.*
	Κλήμης Νικόλαος, Δρ. Πολιτικός Μηχ.	Κύριος Ερευνητής, Δν/ση Εδ.*
	Μάργαρης Βασίλης, Δρ. Σεισμολόγος	Κύριος Ερευνητής, Δν/ση Τ.Σ.*
	Θεοδουλίδης Νικόλαος, Δρ. Σεισμολόγος	Κύριος Ερευνητής, Δν/ση Τ.Σ.*
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.	Κάππος Ανδρέας, Δρ. Πολιτικός Μηχ.	Καθηγητής, Ε.Σ.Σ.**
	Αθανασιάδου Χριστίνα, Δρ. Πολιτικός Μηχ.	Επιστημονικός Συνεργ, Ε.Σ.Σ.**

*Διευθύνσεις ΙΤΣΑΚ : Α.Κ. – Αντισεισμικών Κατασκευών

Εδ. – Εδαφοδυναμικής

Τ. Σ. – Τεχνικής Σεισμολογίας

** Ε.Σ.Σ. – Εργαστήριο Σιδηροπαγούς Σκυροδέματος Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.

Σημειώνεται ότι λόγω υπαγωγής του ΙΤΣΑΚ ως Ερευνητικού Κέντρου στο Ν. 2919 (ΦΕΚ 128 – 25/6/2001) οι βαθμίδες του Επίκουρου Ερευνητή και Αναπληρωτή Ερευνητή που ίσχυαν για το επιστημονικό προσωπικό του ΙΤΣΑΚ κατά την υπογραφή της σύμβασης εξομοιώνονται εφεξής με τις βαθμίδες του Εντεταλμένου Ερευνητή και Κύριου Ερευνητή αντίστοιχα, όπως αυτές ορίζονται στο Ν.2919/2001.

Επιστημονικώς υπεύθυνοι του προγράμματος έχουν ορισθεί εκ μέρους του ΙΤΣΑΚ ο κ. Καρακώστας Χρήστος (συντονιστής του προγράμματος), ενώ εκ μέρους του ΤΠΜ-ΑΠΘ ο κ. Κάππος Ανδρέας.

Η συμβατική ημερομηνία έναρξης της εκπόνησης του ερευνητικού προγράμματος είναι η 1/12/2000, ενώ η συνολική διάρκεια του είναι 24 μήνες. Από τον ΟΑΣΠ χορηγήθηκε, κατόπιν αιτήσεως του συντονιστή του προγράμματος, εξάμηνη διαχειριστική παράταση του προγράμματος, δηλαδή μέχρι την 31/5/2003.

Η παρούσα αποτελεί την Τελική Έκθεση του Ερευνητικού Προγράμματος, και περιέχει τον Επιστημονικό απολογισμό του Ερευνητικού Προγράμματος (αναλυτική περιγραφή των ενεργειών που έγιναν, των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων που προέκυψαν και του βαθμού επιτυχίας σε σχέση με τους αρχικούς στόχους). Λόγω του όγκου του υλικού, τα Παραρτήματα που σχετίζονται με το πρόγραμμα περιλαμβάνονται σε ξεχωριστά τεύχη. Τέλος, παράλληλα με τον επιστημονικό, υποβάλλεται και ο οικονομικός απολογισμός του προγράμματος.

2. ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΚΑΙ ΤΥΧΟΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΑΝΕΚΥΨΑΝ

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα εκπόνησης του ερευνητικού προγράμματος με τίτλο : **‘Ανάπτυξη Ανελαστικών Φασμάτων Μετακινήσεων και Ψευδοεπιταχύνσεων για τον Ελληνικό Χώρο’** (θα αναφέρεται εφεξής ως Έργο), η συνολική διάρκεια του έργου είναι 24 μήνες και περιλαμβάνει 8 φάσεις. Υπενθυμίζεται ότι η συμβατική ημερομηνία έναρξης της εκπόνησης του ερευνητικού προγράμματος είναι η 1/12/2000. Το χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης των διαφόρων φάσεων του έργου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

	Μήνες																							
Φάση	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1- Επιλογή Επιταχυνσιο-γραφημάτων	■	■																						
2- Επεξεργασία Επιταχυνσιο-γραφημάτων		■	■	■	■																			
3- Ταξινόμηση σύμφωνα με εδαφικές συνθήκες				■	■	■	■	■	*															
4-Υπολογισμός ελαστικών φασμάτων							■	■	■	■	■	■												
5- Υπολογισμός ανελαστικών φασμάτων												■	■	■	■	■	■	♣						
6- Υπολογισμός q_m και σχέσης υπολογισμού																			■	■	■	■		
7- Υπολογισμός η και σχέσης υπολογισμού																				■	■	■	■	
8- Σύνταξη τελικής έκθεσης																							■	■

* Υποβολή 1ης Τακτικής Έκθεσης Προόδου

♣ Υποβολή 2ης Τακτικής Έκθεσης Προόδου

Η εκτέλεση του έργου διεξήχθη σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στο χρονοδιάγραμμα, ενώ υπεβλήθησαν εμπρόθεσμα οι προβλεπόμενες δύο Τακτικές εκθέσεις Προόδου. Στην πρώτη Τακτική Έκθεση Προόδου παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι εργασίες των φάσεων 1 – 3, καθώς επίσης και μία προκαταρκτική παρουσίαση των μέχρι τότε αποτελεσμάτων της φάσης 4 (η εν λόγω φάση προεβλέπετο, σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα, να περατωθεί σε μετέπειτα ημερομηνία). Στην δεύτερη Τακτική Έκθεση Προόδου παρουσιάστηκαν αναλυτικότερα οι εργασίες που διεξήχθησαν στις επιμέρους φάσεις 4 και 5. Στην παρούσα, Τελική Έκθεση παρουσιάζονται αναλυτικά οι εργασίες που έχουν διεξαχθεί σε κάθε επιμέρους φάση του συνόλου του ερευνητικού προγράμματος και παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια εκπόνησης του Ερευνητικού προγράμματος, δεν ανέκυψαν ανυπέρβλητα προβλήματα επιστημονικής φύσεως. Κατά την άποψη της ερευνητικής ομάδας η περάτωση του προγράμματος θεωρείται επιτυχής, καθώς εκπληρώθηκαν όλοι οι αρχικοί στόχοι του προγράμματος.

3. ΕΠΙΤΕΥΧΘΕΝΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΘΕ ΦΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Ο κύριος στόχος του παρόντος ερευνητικού έργου συνίσταται στην ανάπτυξη ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων και μετακινήσεων, καθώς και των αντίστοιχων συντελεστών συμπεριφοράς (q_μ) και αναγωγής της μετακίνησης (η), χρησιμοποιώντας ως βάση τυπικές σεισμικές κινήσεις του Ελληνικού χώρου. Τα φάσματα που θα προκύψουν μπορεί να χρησιμοποιηθούν τόσο για το σχεδιασμό νέων κατασκευών (*υποστήριξη - τεκμηρίωση του ΕΑΚ*), όσο και για την αποτίμηση υφισταμένων κατασκευών με βάση σύγχρονες υπολογιστικές μεθόδους (πχ. για την κατάλληλη προσαρμογή στα ελληνικά δεδομένα σχετικών διατάξεων άλλων χωρών, πχ. του Αμερικανικού Κανονισμού FEMA 273).

Βασικής σημασίας για την επιτυχή εκπλήρωση του παραπάνω στόχου είναι η κατάλληλη επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος επιταχυνσιογραφημάτων του Ελληνικού χώρου (1η φάση του Έργου, δεξ § 3.2). Με βάση τόσο τη διεθνή, όσο και την προσωπική εμπειρία των μελών της ερευνητικής ομάδας σε σχετικά αντικείμενα, κρίθηκε ότι η επιλογή των επιταχυνσιογραφημάτων από τη βάση δεδομένων που διαθέτει το ΙΤΣΑΚ πρέπει να γίνει με τα παρακάτω κριτήρια :

- Μέγεθος σεισμού (M_w) μεγαλύτερο του 5.0 και αποστάσεις από τη σεισμική πηγή μεταξύ ~5km και ~100km.
- Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση να είναι μεγαλύτερη ή ίση του 0.10g ή/και ο σεισμός να έχει προκαλέσει πλησίον της καταγραφής βλάβες.
- Με βάση τα γεωτεχνικά δεδομένα που θα συλλεχθούν, να είναι εφικτή η κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών κατά ΕΑΚ 2000, έτσι ώστε να υπάρξουν 3 έως 4 κατηγορίες συμβατές με τον Ελληνικό Κανονισμό.

Το δείγμα των επιταχυνσιογραφημάτων που έχει επιλεχθεί κατά την 1η φάση, υφίσταται κατάλληλη επεξεργασία με βάση νεότερες τεχνικές, που σκοπό έχουν την ελαχιστοποίηση των διαφόρων σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά το στάδιο της ψηφιοποίησης, καθώς και αυτών που οφείλονται στον εισαγόμενο (από τα ίδια τα όργανα καθώς και το περιβάλλον) θόρυβο. Η επεξεργασία αυτή αποτελεί αντικείμενο της 2ης φάσης του Έργου (§ 3.3)

Κατά την επόμενη, τρίτη φάση του έργου (§3.4), οι επιλεγείσες καταγραφές ταξινομούνται με βάση τις εδαφικές συνθήκες στο σταθμό καταγραφής. Από τα συλλεχθέντα γεωτεχνικά στοιχεία κατέστη δυνατή η ταξινόμηση των καταγραφών σε 3 κατηγορίες εδαφικών συνθηκών, συμβατές με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ 2000). Για λόγους πληρότητας, γίνεται επίσης μία συγκριτική παρουσίαση και αλληλοσυσχέτιση των εδαφικών κατηγοριών σε κάθε σταθμό καταγραφής τόσο σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000 όσο και με τους UBC/97 και Ευρωκώδικα 8 (σχέδιο 2000). Για τους ίδιους λόγους παρατίθεται επίσης η – ήδη καθιερωμένη από παλαιότερα - απλοποιημένη κατηγοριοποίηση των καταγραφών για δύο γενικότερες βασικές κατηγορίες εδαφικών συνθηκών (για σκληρό πέτρωμα και αλλουβιακές αποθέσεις).

Αντικείμενο της επόμενης, 4^{ης} φάσης του προγράμματος (§ 3.5) είναι ο υπολογισμός των ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων (S_{pa}), ψευδοταχυτήτων (S_{pv}) και μετακινήσεων (S_d) για τις καταγραφές που επιλέχθηκαν και έτυχαν επεξεργασίας στις προηγούμενες του προγράμματος. Τα τελικά αποτελέσματα της παρούσας φάσης παρουσιάζονται με τη μορφή μέσων φασμάτων ή/και μέσων συν μία τυπική απόκλιση φασμάτων (ποσοστημόριο 84%), για διάφορες τιμές απόσβεσης και για διάφορες κατηγορίες εδάφους. Επιπλέον γίνονται συγκρίσεις με τα φάσματα σχεδιασμού του ισχύοντος Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000).

Κατά την 5^η φάση του προγράμματος (§ 3.6), υπολογίζονται, με τη βοήθεια κατάλληλα ανεπτυγμένου λογισμικού, τα ανελαστικά φάσματα αντοχής (C_y) και μετακίνησης (S_d) για όλα τα επιλεχθέντα επιταχυνσιογραφήματα. Τα ανελαστικά φάσματα υπολογίζονται για τέσσερις τιμές του δείκτη πλαστιμότητας μ , ήτοι 1.0 (ελαστική συμπεριφορά), 2.0 (χαμηλή πλαστιμότητα), 3.5 (μέση πλαστιμότητα) και 5.0 (υψηλή πλαστιμότητα). Τα φάσματα υπολογίζονται για ανελαστική συμπεριφορά σύμφωνα με το μοντέλο φθίνουσας δυσκαμψίας (πολύ αντιπροσωπευτικότερο της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών απ' ό,τι το ελαστοπλαστικό). Όπως και στην περίπτωση των ελαστικών φασμάτων, τα τελικά αποτελέσματα της παρούσας φάσης παρουσιάζονται με τη μορφή μέσων φασμάτων ή/και μέσων συν μία τυπική απόκλιση φασμάτων (ποσοστημόριο 84%), για διάφορες τιμές απόσβεσης και για διάφορες κατηγορίες εδάφους. Παράλληλα, για λόγους μελέτης της επιρροής του μοντέλου υστερητικής συμπεριφοράς στα αποτελέσματα, υπολογίζονται, για ένα μεγάλο υποσύνολο του όλου δείγματος, τα ανελαστικά φάσματα και με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου με κράτυνση 5% και συγκρίνονται με αυτά που προέκυψαν με χρήση του μοντέλου φθίνουσας δυσκαμψίας.

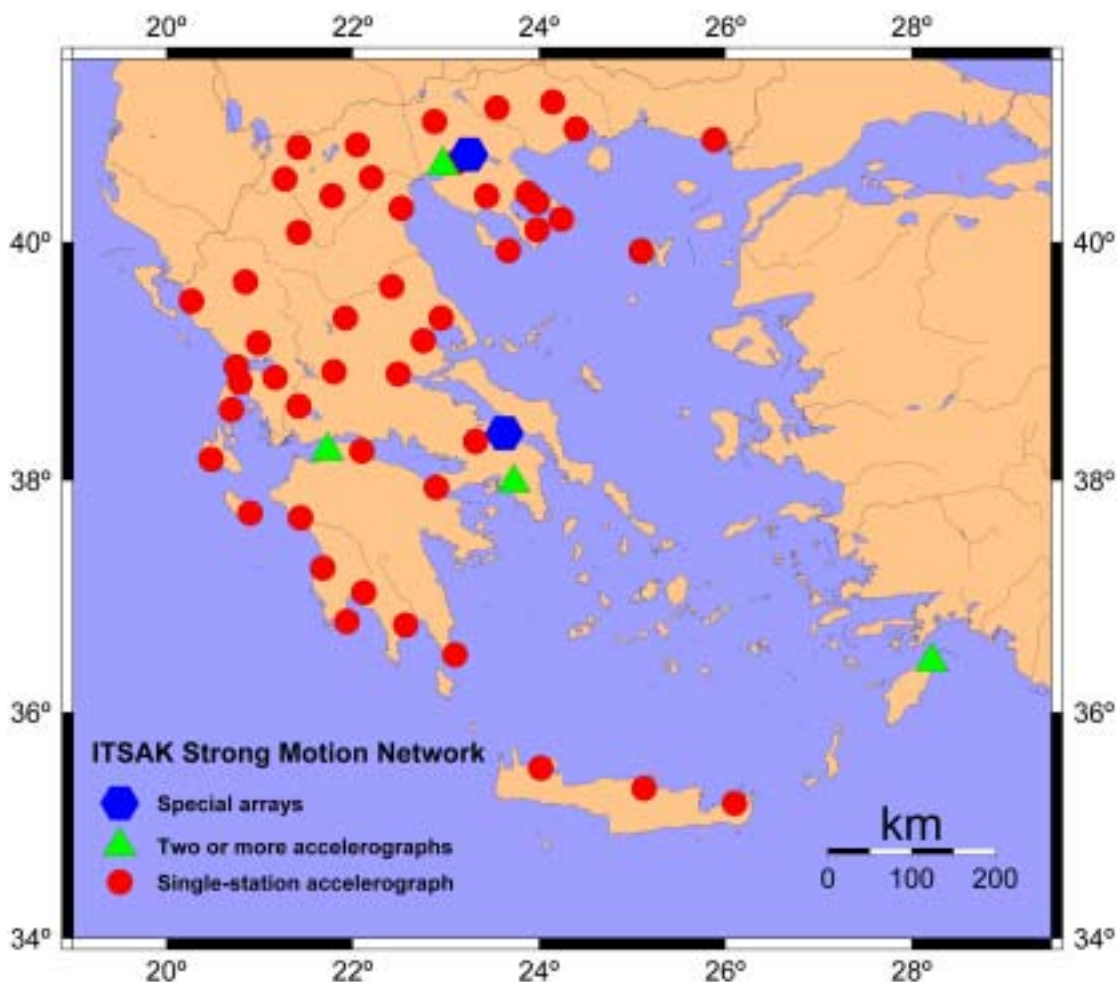
Αντικείμενο της 6^{ης} φάσης του προγράμματος (§ 3.7) είναι ο υπολογισμός της συνιστώσας q_{μ} του δείκτη συμπεριφοράς (q), η οποία εξαρτάται από την πλαστιμότητα και προκύπτει από τη διαίρεση των τεταγμένων των ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων αντοχής. Με βάση τις υπολογισθείσες από τις καταγραφές τιμές, προτείνεται κατόπιν αναλύσεων με κατάλληλο λογισμικό, μία προσεγγιστική έκφραση για το q_{μ} , σχετικά απλής μορφής, η οποία είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί – με τη χρήση κατάλληλων κάθε φορά συντελεστών - τόσο για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών), όσο και για τα αποτελέσματα που προκύπτουν θεωρώντας ξεχωριστά τις καταγραφές που αντιστοιχούν σε εδαφικές συνθήκες Α, Β ή Γ (κατά ΕΑΚ2000).

Στην τελευταία (7^η) φάση του προγράμματος (§ 3.8) γίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή αναγωγής της μετακίνησης η (ή Δ_{μ} ή C_{μ}), που προκύπτει από τη διαίρεση των τεταγμένων των ανελαστικών προς τις αντίστοιχες των ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων. Όπως και στην περίπτωση του συντελεστή q_{μ} , με βάση τις υπολογισμένες από τις καταγραφές τιμές, προτείνεται μία προσεγγιστική έκφραση για το η , η οποία είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί – με τη χρήση κατάλληλων κάθε φορά συντελεστών - τόσο για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών), όσο και για τα αποτελέσματα που προκύπτουν θεωρώντας ξεχωριστά τις καταγραφές που αντιστοιχούν σε εδαφικές συνθήκες Α, Β ή Γ (κατά ΕΑΚ2000).

Όπως καταφαίνεται από την προηγούμενη συνοπτική περιγραφή, η έκβαση του προγράμματος κρίνεται επιτυχής, καθόσον έχουν εκπληρωθεί επιτυχώς όλοι οι αρχικοί του στόχοι, καθώς και το σχετικό χρονοδιάγραμμα. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί μια αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων της κάθε επιμέρους φάσης του προγράμματος.

3.2 ΦΑΣΗ 1 - ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Στην παρούσα φάση του προγράμματος δίνεται κύρια έμφαση στην επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος επιταχυνσιογραφημάτων του Ελληνικού χώρου που καταγράφηκαν στη διάρκεια καταστροφικών σεισμών. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η τράπεζα δεδομένων ισχυρής κίνησης του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) η οποία περιλαμβάνει 500 περίπου επιταχυνσιογράμματα από επιφανειακούς και ενδιαμέσου βάθους σεισμούς του Ελληνικού χώρου. Τα δεδομένα έχουν καταγραφεί από τους επιταχυνσιογράφους του ΙΤΣΑΚ, οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί σ' ολόκληρη την Ελληνική Επικράτεια τόσο της ηπειρωτικής όσο και της νησιωτικής Ελλάδας. Στο σχήμα 3.2.1 απεικονίζονται οι σταθμοί των επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ που έχουν εγκατασταθεί σε διάφορες θέσεις. Στο ίδιο Σχήμα φαίνονται επίσης ειδικά δίκτυα ενοργάνωσης κατασκευών τα οποία έχουν εγκατασταθεί στα πλαίσια συγκεκριμένων προγραμμάτων καθώς και οι πυκνώσεις μεγάλων πολεοδομικών συγκροτημάτων όπως η Θεσσαλονίκη, Αθήνα, Πάτρα, Ρόδος κλπ.



Σχήμα 3.2.1. Δίκτυα επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ (ισχυρής κίνησης και ειδικά)

Από το σύνολο των καταγραφών ισχυρής κίνησης επιλέχθηκε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα με βάση κριτήρια τα οποία αφορούσαν το μέγεθος του σεισμού, M , την επικεντρική απόσταση, $R(km)$, και το επίπεδο καταγραφής της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης, pga .

Πίνακας 3.2.1 Σεισμολογικοί Παράμετροι, Κωδικός των Καταγραφών, Τοπικές Εδαφικές Συνθήκες, Κατάταξη κατά ΕΑΚ/2000, PGA.

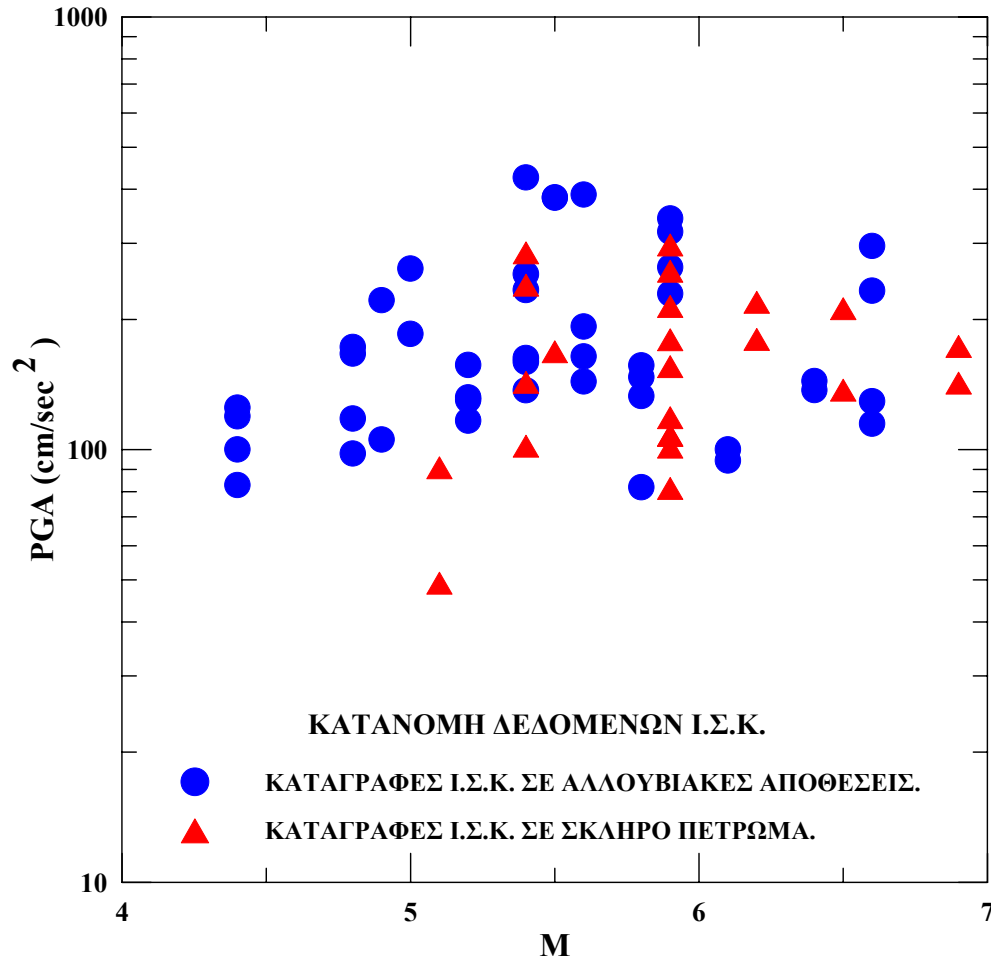
NUM	DATE	OR.TIME	LAT	LONG	M	SM-RECORD	MP	S	Κατάταξη κατά ΕΑΚ/2000	Ag
1	62078	200321	40.8	23.2	6.4	the178-1n	L	0	Γ	137.2
					6.4	the178-1n	T	0		144.1
2	22481	205338	38.22	22.93	6.6	kor181-2n	L	0	Γ	233
					6.6	kor181-2n	T	0		295.7
3	11783	124129	38.09	20.19	6.9	arg83-1	L	1	B	173.3
					6.9	arg83-1	T	1		142.5
4	32383	235106	38.33	20.22	6.2	arg83-7	L	1		179.8
					6.2	arg83-7	T	1		219.2
5	32483	41732	38.18	20.32	5.4	arg183-8	L	1		240.1
					5.4	arg183-8	T	1		285.3
6	82683	125210	40.51	23.92	5.1	pol183-2	L	1	A	90.8
					5.1	pol183-2	T	1		49.2
7	102584	94916	36.83	21.71	4.8	pel184-1	L	0	A	166.6
					4.8	pel184-1	T	0		172.7
8	91386	172434	37.03	22.2	5.9	kal186-1	L	0	B	229.3
					5.9	kal186-1	T	0		263.9
9	91586	114130	37.04	22.13	5.4	kal186-8	L	0		233.8
					5.4	kal186-8	T	0		137.1
					5.4	kal286-2	L	0	B	159.5
					5.4	kal286-2	T	0		254.3
10	101688	123406	37.95	20.9	5.8	zak188-4	L	0	Γ	133
					5.8	zak188-4	T	0		147.2
					5.8	aml188-6	L	0	Γ(B)	81.9
					5.8	aml188-6	T	0		156.6
11	122190	65744	40.98	22.34	6.1	ede190-1	L	0	Γ	100.1
					6.1	ede190-1	T	0		94.4
12	32693	114516	37.66	21.39	4.9	pyr193-6	L	0	B	105.6
					4.9	pyr193-6	T	0		221.5
13	32693	115613	37.69	21.43	4.8	pyr193-7	L	0		98
					4.8	pyr193-7	T	0		118
14	32693	115815	37.49	21.49	5.4	pyr193-8	L	0		162.9
					5.4	pyr193-8	T	0		425.8
15	71493	123149	38.24	21.78	5.6	pat193-2	L	0	B	143.7
					5.6	pat193-2	T	0		192.5
					5.6	pat393-2	L	0	B	164.2
					5.6	pat393-2	T	0		388.6
16	50495	3411	40.54	23.63	5.4	pol95-6	L	1	A	136.1
					5.4	pol95-6	T	1		97.4
17	51395	84715	40.16	21.67	6.5	koz95-1	L	1	A	211.7
					6.5	koz95-1	T	1		137.4
18	51595	41357	40.07	21.67	5.2	chrom013	L	0	Γ (B)	157
					5.2	chrom013	T	0		132.1
19	51795	41426	40.07	21.61	5.2	chrom032	L	0		116.7
					5.2	chrom032	T	0		130.3
20	51995	64850	40.03	21.62	5	karp001	L	0	B	185.2
					5	karp001	T	0		262.2

NUM	DATE	OR.TIME	LAT	LONG	M	SM-RECORD	MP	S	Κατάταξη κατά ΕΑΚ/2000	Ag
21	61195	185195	39.96	21.58	4.4	karp009	L	0		119.4
					4.4	karp009	T	0		82.8
					4.4	kentr063	L	0	B	125.1
					4.4	kentr063	T	0		100.1
22	80596	224642	40.06	20.66	5.5	konl0032	L	0	Γ	382
					5.5	konl0032	T	0		383
					5.5	konu1007	T	1	A	168.4
23	111897	130753	37.33	20.84	6.6	zak97-3	L	0	Γ	114.9
					6.6	zak97-3	T	0		129.4
24	90799	115651	38.15	23.62	5.9	a299-1	L	1	B	108.1
					5.9	a299-1	T	1		155.6
					5.9	a399-1	L	1	B	258.6
					5.9	a399-1	T	1		297.2
					5.9	a499-1	L	1	A	118.6
					5.9	a499-1	T	1		107.9
					5.9	kert99-1	L	1	B	214.4
					5.9	kert99-1	T	1		179.5
					5.9	rfln1	L	1	A	81.4
					5.9	rfln1	T	1		101.4
					5.9	splb1	L	0	B	342
					5.9	splb1	T	0		318.9

Τα κριτήρια τα οποία ετέθησαν με σκοπό να γίνει η επιλογή των καταγραφών ισχυρής κίνησης είναι ή $M \geq 5$ ή $5 \text{ km} \leq R \leq 100 \text{ km}$ ή $p_{ga} \geq 100 \text{ cm/sec}^2$. Λόγω του περιορισμένου αριθμού καταγραφών σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν αναγκαίο να υιοθετήσουμε καταγραφές με σεισμικό μέγεθος μικρότερο του 5 (κοντά πάντα στο επιλεγόμενο κριτήριο) εφόσον ο καταγραμμένες τιμές των εδαφικών οριζοντίων επιταχύνσεων ήταν αρκετά σημαντικές ($\gg 150 \text{ cm/sec}^2$). Σε άλλες πάλι περιπτώσεις υιοθετήθηκαν καταγραμμένες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις $p_{ga} < 100 \text{ cm/sec}^2$, εφόσον οι αντίστοιχες δεύτερες οριζόντιες συνιστώσες είχαν τιμή $p_{ga} > 100 \text{ cm/sec}^2$. Το συνολικό δείγμα επιταχυνσιογραμμάτων το οποίο προέκυψε περιελάμβανε καταγραφές οι οποίες καταγράφηκαν σε επικεντρικές αποστάσεις $R < 100 \text{ km}$.

Στον Πίνακα 3.2.1 παρουσιάζεται το συνολικό δείγμα καταγραφών που έχει επιλεγεί για την παρούσα εργασία. Περιλαμβάνονται 67 καταγραφές από τους 24 ισχυρούς σεισμούς των τελευταίων 20 ετών οι οποίοι έπληξαν τον Ελληνικό χώρο και καταγράφηκαν από 20 συνολικά σταθμούς του δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ. Εξαίρεση αποτελούν οι τρεις καταγραφές με κωδικούς THE178-1, KOR181-1, και AML188-6 των ισχυρών σεισμών της Θεσσαλονίκης 1978 της Κορίνθου 1981 και της Κυλλήνης 1988 αντίστοιχα οι οποίοι καταγράφηκαν από το δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και χρησιμοποιήθηκαν στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα. Η ημερομηνία και ο χρόνος γέννησης κάθε σεισμού, οι γεωγραφικές του συντεταγμένες, το μέγεθος του σεισμού, ο κωδικός καταγραφής, ο δυαδικός κώδικας των εδαφικών συνθηκών ($S=1$ για σκληρό πέτρωμα και $S=0$ για αλλουβιακές αποθέσεις) και οι δύο μέγιστες οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις δίνονται στον Πίνακα 3.2.1. Στον ίδιο Πίνακα παρατίθεται επίσης και η κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών κάθε σταθμού με βάση τις κατηγορίες που

προβλέπονται από τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ2000), όπως προέκυψαν από τις εργασίες της 3ης φάσης του ερευνητικού έργου (αναλυτικότερες πληροφορίες περιέχονται στην § 3.4).



Σχήμα 3.2.2. Κατανομή των καταγραμμένων μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού

Στο Σχήμα 3.2.2 παρουσιάζεται η κατανομή των καταγραμμένων μεγίστων οριζοντίων εδαφικών επιταχύνσεων, pga , σε συνάρτηση με το μέγεθος του σεισμού, M . Επίσης μία πρώτη διαφοροποίηση των τιμών σε 2 βασικές κατηγορίες εδαφικών συνθηκών δίνεται στο ίδιο Σχήμα. Το χρησιμοποιημένο δείγμα των επιταχυνσιογραμμάτων μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικό καλύπτοντας μεγέθη σεισμών $4.4 \leq M \leq 6.9$, και τιμές μεγίστων εδαφικών επιταχύνσεων, $50 \leq pga \leq 400 \text{ cm/sec}^2$. Όπως φαίνεται από το ίδιο Σχήμα, οι καταγραφές ισχυρής κίνησης που καταγράφηκαν από επιταχυνσιογράφους εγκατεστημένους σε χαλαρούς αλλουβιακούς σχηματισμούς είναι περισσότερες από αυτές που καταγράφηκαν αντίστοιχα σε σκληρό πέτρωμα.

3.3 ΦΑΣΗ 2 - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΙΣΧΥΡΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

3.3.1 Εισαγωγή

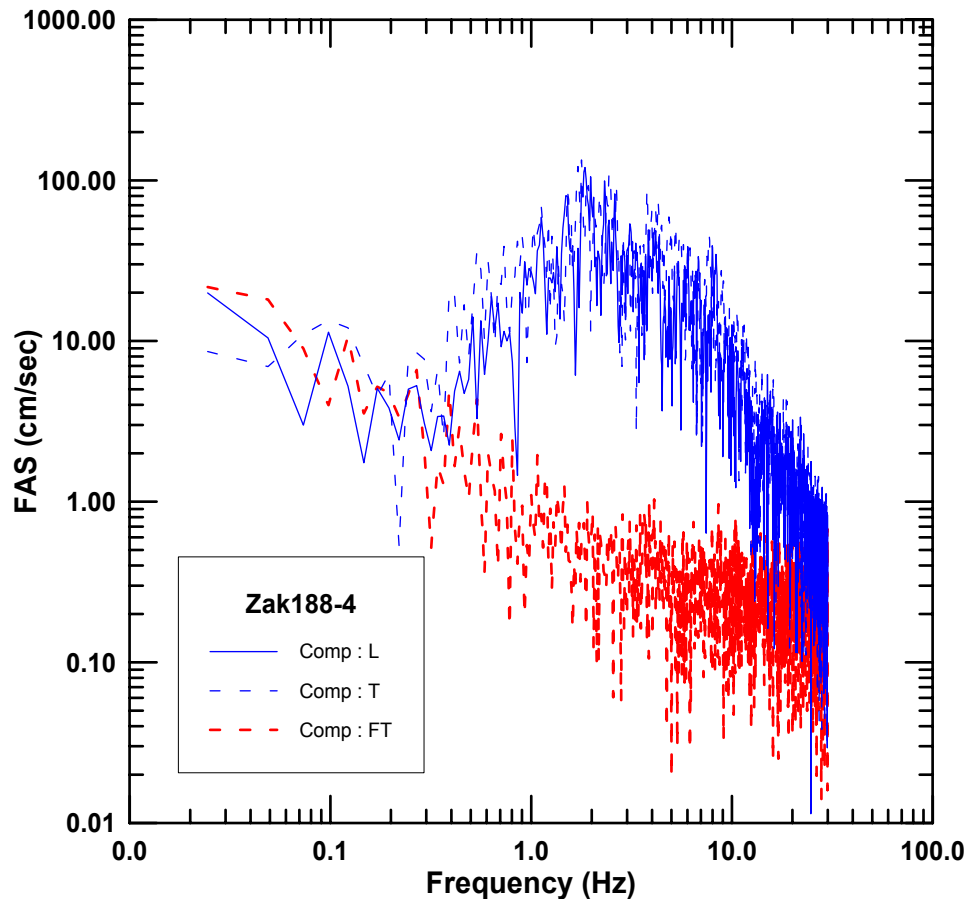
Αντικείμενο της παρούσας φάσης του ερευνητικού έργου είναι η κατάλληλη επεξεργασία των καταγραφών που έχουν επιλεγεί κατά την προηγούμενη φάση. Δίνονται μερικές γενικές πληροφορίες για τις διορθώσεις και επεξεργασίες με φίλτρα των ψηφιοποιημένων καταγραφών και ακολουθούν αναλυτικότερες πληροφορίες για τον τρόπο επεξεργασίας των καταγραφών του ΙΤΣΑΚ και των αρχείων που προκύπτουν από αυτή.

3.3.1.1 Διόρθωση της Βασικής Γραμμής.

Η πρώτη διόρθωση που εφαρμόζεται στις ψηφιοποιημένες καταγραφές είναι αυτή της βασικής γραμμής (baseline correction), Sunder and Connor (1982) and Amini et al., (1987). Το σφάλμα της βασικής γραμμής οφείλεται στην παραμόρφωση του φίλμ και έχει σαν αποτέλεσμα την εισαγωγή θορύβου στις χαμηλές συχνότητες, στο φάσμα πλάτους Fourier. Γενικά μια μικρή μετατόπιση της βασικής γραμμής στην κυματομορφή της επιτάχυνσης δημιουργεί μια πλασματική γραμμική συμπεριφορά στη βασική γραμμή της ταχύτητας, ενώ η μετάθεση, που μας ενδιαφέρει περισσότερο, εμφανίζει μια πλασματική συμπεριφορά καμπύλης δευτέρου βαθμού. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη διπλή ολοκλήρωση που γίνεται στην επιτάχυνση για υπολογιστεί η μετάθεση. Για να διορθωθεί το σφάλμα αυτό ένας απλός τρόπος είναι να «αφαιρεθεί» από τις κυματομορφές της επιτάχυνσης και της ταχύτητας μια ευθεία που θα έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Shoja-Taheiri, 1980; Margaritis, 1984). Ένας πιο σύνθετος τρόπος της απάλειψης του σφάλματος αυτού είναι μια ρουτίνα που αποτελείται από τρία βήματα. Το πρώτο είναι η εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων στην κυματομορφή της επιτάχυνσης, το δεύτερο είναι η εφαρμογή ενός υψηλοπερατού φίλτρου στην επιτάχυνση και το τρίτο είναι η αφαίρεση της τιμής της αρχικής ταχύτητας από την κυματομορφή της (Hung, 1997). Στις καταγραφές του ΙΤΣΑΚ που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε ο δεύτερος τρόπος διόρθωσης της βασικής γραμμής.

3.3.1.2 Ψηφιακά Φίλτρα

Με σκοπό την απομάκρυνση όλων των σφαλμάτων που υπεισέρχονται κατά την ψηφιοποίηση – διόρθωση των καταγραφών ισχυρής κίνησης και τον ακριβή καθορισμό των εδαφικών παραμέτρων (επιτάχυνση, ταχύτητα και μετάθεση) αναπτύχθηκαν διάφορες διαδικασίες διόρθωσης επιταχυνσιογραμμάτων. Το βασικό μέσο που χρησιμοποιείται σ' αυτές τις διαδικασίες διόρθωσης είναι τα ψηφιακά φίλτρα. Τα φίλτρα που συνήθως χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στα χαμηλοπερατά (low-pass), στα υψηλοπερατά (high-pass) και στα ζωνοπερατά (band-pass). Όπως γίνεται κατανοητό και από τις ονομασίες τους η λειτουργία τους έγκειται στο να αφήνουν να περνούν ή να κόβουν ορισμένες περιοχές συχνοτήτων. Παρ' όλη τη φαινομενική αποτελεσματικότητα της εφαρμογής των ψηφιακών φίλτρων μπορεί να αποδειχθεί ότι η χρήση τους εισάγει θόρυβο στις φιλτραρισμένες κυματομορφές. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται φίλτρα όχι με μία αλλά με δύο χαρακτηριστικές συχνότητες. Η μια είναι η συχνότητα αποκοπής (cut-off) κάτω ή πάνω από την οποία δεν περνάει καμιά συχνότητα. Η άλλη είναι η συχνότητα κύλισης (roll-off) μέχρι την οποία περνάνε σταδιακά κάποιες συχνότητες σύμφωνα με κάποια συνάρτηση η οποία ξεχωρίζει και τα διάφορα φίλτρα μεταξύ τους (Lee, 1989; Lee and Trifunac, 1990).



Σχήμα 3.3.1. Σύγκριση του φάσματος Fourier των δύο οριζοντίων συνιστωσών (L και T) σε σχέση με το αντίστοιχο φάσμα του θορύβου (καταγραφή Zak188-4)

Συγκρίνοντας το φάσμα Fourier μιας συνιστώσας καταγραφής και το αντίστοιχο φάσμα του θορύβου, βρίσκουμε την περιοχή συχνοτήτων που μας δίνει αξιόπιστα δεδομένα και εφαρμόζοντας κάποιο ζωνοπερατό φίλτρο γι' αυτές τις συχνότητες παίρνουμε τα διορθωμένα δεδομένα τα οποία είναι μερικώς απαλλαγμένα από το θόρυβο. Στο Σχήμα 3.3.1 και για την καταγραφή του σεισμού της Κυλλήνης 1988, η οποία καταγράφηκε στη Ζάκυνθο (ZAK188-4) παρουσιάζεται η σύγκριση του φάσματος Fourier των δύο οριζοντίων συνιστωσών (L και T) σε σχέση με το αντίστοιχο φάσμα του θορύβου. Είναι προφανής η διαφοροποίηση του συχνοτικού περιεχομένου του σήματος σε σχέση με το θόρυβο.

3.3.2 Επεξεργασία των καταγραφών του ΙΤΣΑΚ

Οι καταγραφές που θα χρησιμοποιηθούν για το σκοπό της εργασίας, είναι αυτές που αναφέρονται στον Πίνακα 3.2.1. Στον Πίνακα βρίσκεται η κωδική ονομασία της κάθε καταγραφής. Όλες οι καταγραφές που αναφέρθηκαν προηγουμένως υπέστησαν επεξεργασία με τον ίδιο τρόπο και με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας.

3.3.2.1 Ψηφιοποίηση

Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας είναι το στάδιο της ψηφιοποίησης. Οι προαναφερόμενες καταγραφές μετατράπηκαν, με τη χρήση ενός scanner B4 της HP, σε αρχεία εικόνας .tif με ανάλυση σάρωσης 300 dpi. Περνώντας στο δεύτερο στάδιο της ψηφιοποίησης τα .tif αρχεία μετατράπηκαν, από το πρόγραμμα Scanview (® Kinemetrics Inc.) που χρησιμοποιήθηκε, σε αρχεία .flm. Μπορούμε να επεξεργαστούμε τα αρχεία αυτού του τύπου με το προαναφερθέν software με την εξής διαδικασία:

Κάθε καταγραφή αποτελείται από επτά ίχνη (traces), από τα οποία τρία είναι οι συνιστώσες της επιτάχυνσης, δύο είναι οι ευθείες χρόνου και δύο είναι οι σταθερές ευθείες (fixed-traces).

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

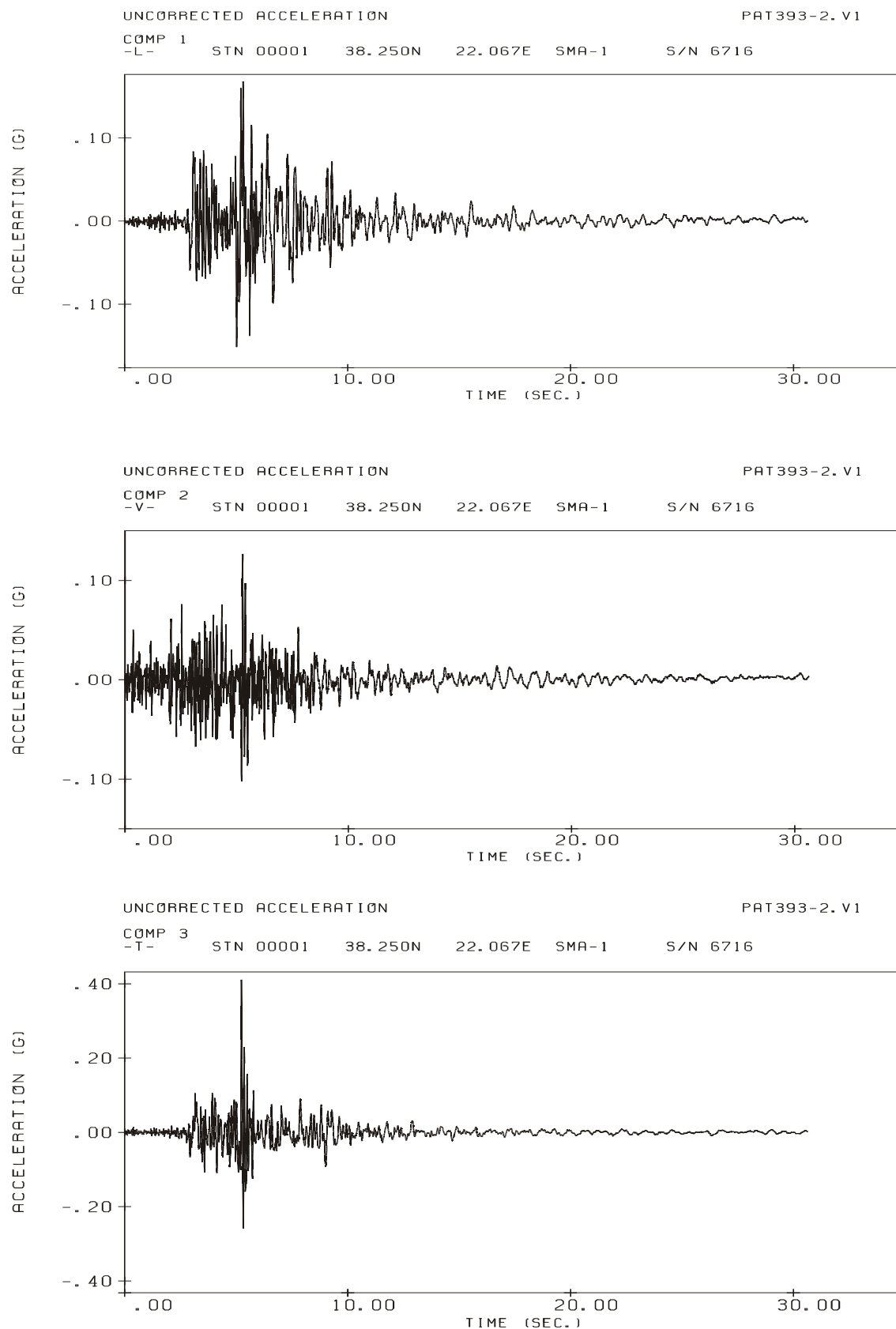
Διορθώνουμε, τόσο τις συνιστώσες όσο και τις σταθερές ευθείες (fixed-traces), με τις ευθείες χρόνου. Με τον τρόπο αυτό είναι φανερό ότι ελαχιστοποιήθηκαν τα σφάλματα που οφείλονται στον χειριστή και στη συσκευή του ημιαυτόματου τρόπου ψηφιοποίησης.

3.3.2.2 Μη Διορθωμένα Δεδομένα.

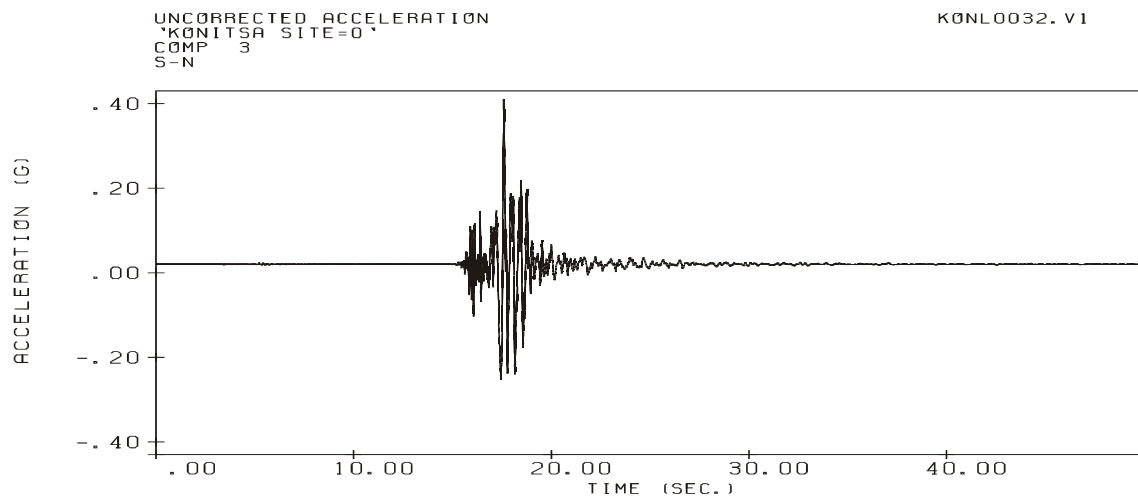
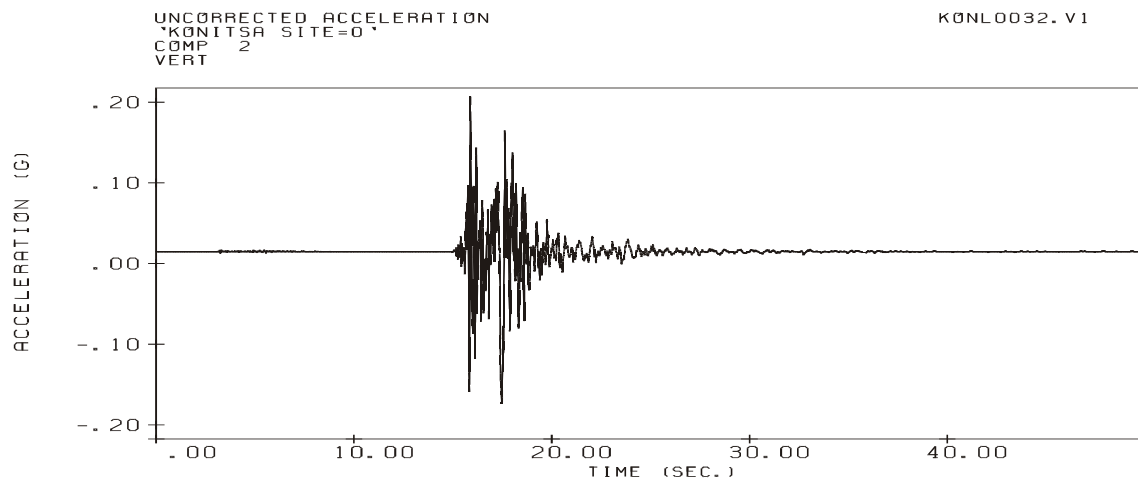
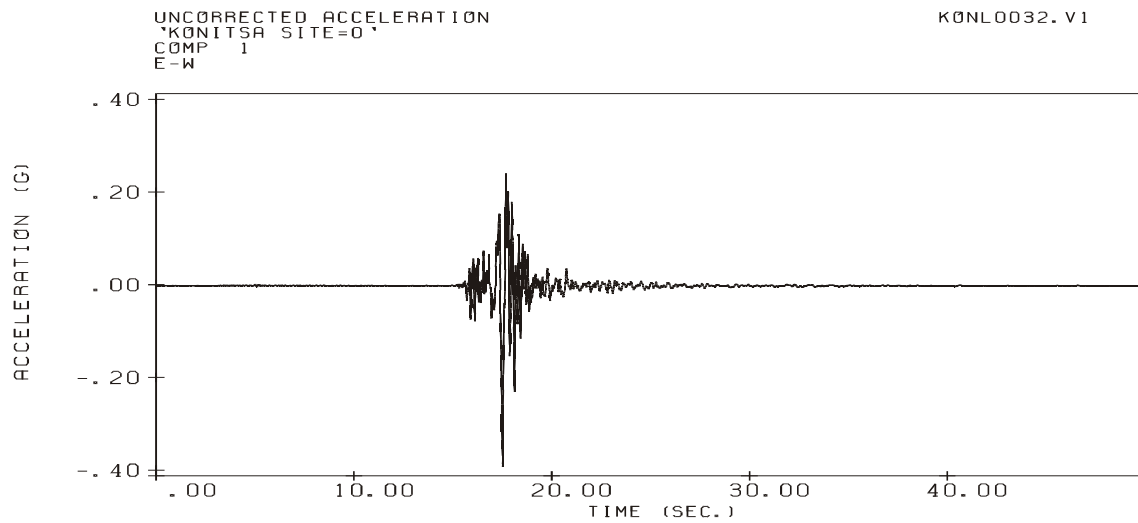
Το δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας αποτελεί η απόκτηση των μη διορθωμένων δεδομένων από την επεξεργασία των ψηφιοποιημένων καταγραφών. Επεξεργαζόμαστε κάθε ψηφιοποιημένη καταγραφή με βάση τις παραμέτρους των οργάνων καταγραφής και τελικά παίρνουμε τα μη διορθωμένα δεδομένα. Τα αρχεία αυτά είναι με κατάληξη .V1 και περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων της καταγραφής. Προκειμένου να δοθούν παραστατικά τα διάφορα στάδια της επεξεργασίας επελέγησαν 2 επιταχυνσιογράμματα τα οποία έχουν καταγραφεί από αναλογικό και ψηφιακό όργανο. Η καταγραφή του αναλογικού επιταχυνσιογράφου είναι η PAT393-2 του σεισμού της Πάτρας 1993 (M5.6) ενώ η αντίστοιχη του ψηφιακού οργάνου είναι η KONL0032 του σεισμού της Κόνιτσας 1996 (M5.5). Οι σεισμοί αυτοί είναι παρόμοιου σεισμικού μεγέθους και έχουν καταγραφεί σε απόσταση <15 km από το επίκεντρο. Στο Σχήμα 3.3.2 παρουσιάζονται οι μη διορθωμένες τιμές της καταγραφής PAT393-2 και στο Σχήμα 3.3.3 οι αντίστοιχες της καταγραφής KONL0032.

3.3.2.3 Διορθωμένα Δεδομένα.

Στο τμήμα της επεξεργασίας αυτής, στις μη διορθωμένες καταγραφές εφαρμόζουμε τον ταχύ μετασχηματισμό Fourier-FFT (Σκαρλατούδης, 1999). Ο μετασχηματισμός αυτός εφαρμόζεται για κάθε καταγραφή και για κάθε μία από τις τρεις συνιστώσες για συχνότητες μέχρι 30 Hz και για ένα παράθυρο χρόνου από 0.005 sec έως και τη χρονική διάρκεια της καταγραφής. Το ίδιο γίνεται και για τις δύο ψηφιοποιημένες fixed-traces. Το τμήμα αυτό του FFT στις fixed-traces, παρουσιάζει και κάποιες ιδιαιτερότητες λόγω προβλημάτων σε δύο καταγραφές. Συγκεκριμένα στην καταγραφή της Αμαλιάδας (Aml188-6) δεν υπάρχουν οι fixed traces και ο υπολογισμός του θορύβου έγινε συγκρίνοντας τους δύο χρόνους μεταξύ τους. Οι καταγραφές στις οποίες επίσης υπάρχει πρόβλημα είναι αυτές του Αργοστολίου (Arg83-1 και Arg83-7) στις οποίες έχουμε στη διάθεση μας μόνο μια fixed-trace, αφού η άλλη επικαλύπτεται από μία συνιστώσα και ήταν αδύνατη η ψηφιοποίηση της.



Σχήμα 3.3.2. Μη διορθωμένες τιμές της καταγραφής PAT393-2



Σχήμα 3.3.3. Μη διορθωμένες τιμές της καταγραφής KONL0032

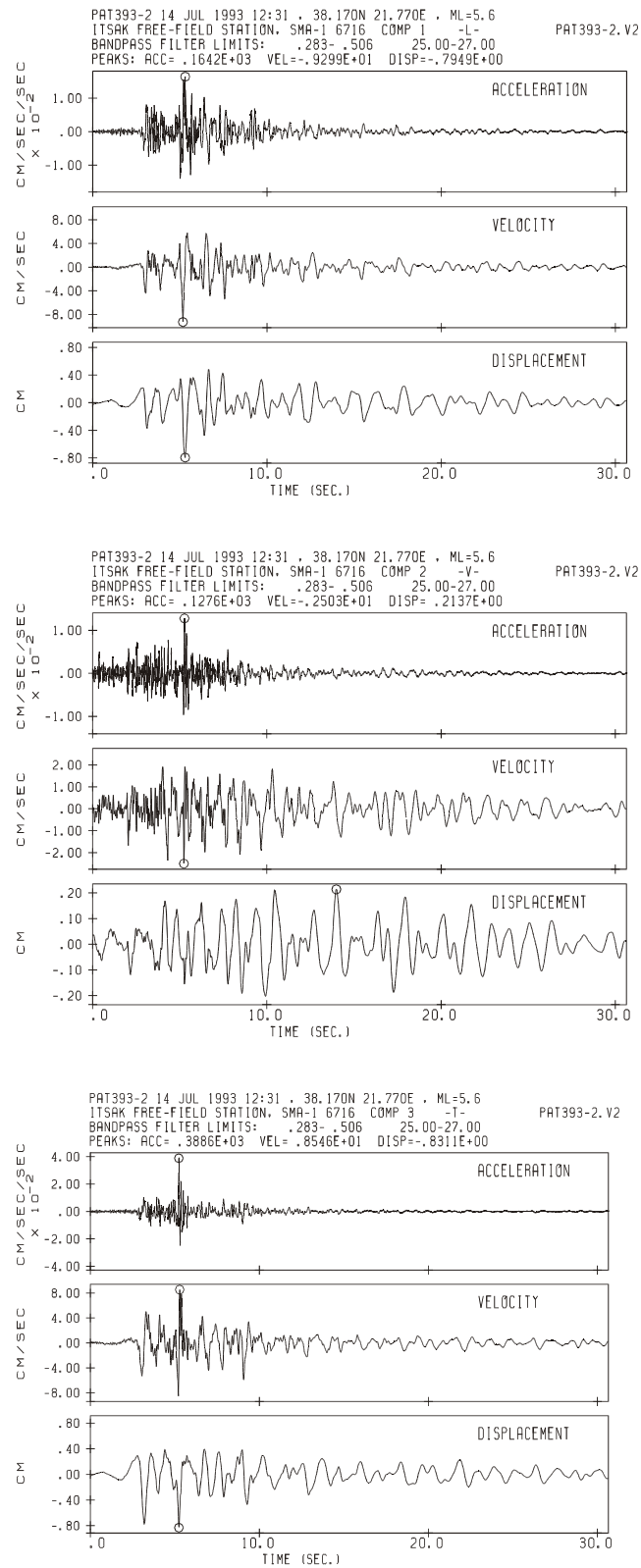
Για τη μελέτη του θορύβου τοποθετήθηκαν σε κοινό γράφημα τα FAS (Frequency-Amplitude Spectrums) των συνιστωσών των καταγραφών και των αντίστοιχων fixed-traces. Από τη σύγκριση παρατηρήθηκε ότι παρουσιάζεται μια έντονη τοπική μεταβλητότητα των φασμάτων σε κάθε περιοχή των συχνοτήτων. Αυτή η μεταβλητότητα είναι αποτέλεσμα του σφάλματος εκτέλεσης του μετασχηματισμού Fourier όταν χρησιμοποιούνται ψηφιοποιημένα δεδομένα συνεχών συναρτήσεων. Γι' αυτό το λόγο εξομαλύνθηκαν οι μετασχηματισμοί Fourier με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού.

Για να υπολογίσουμε τις χαρακτηριστικές συχνότητες, cut-off και roll-off, των υψηλοπερατών φίλτρων που θα εφαρμόσουμε στα μη διορθωμένα δεδομένα βρίσκουμε στην αρχή των καταγραφών δύο χαρακτηριστικά σημεία : το σημείο στο οποίο το πλάτος του σήματος για πρώτη φορά είναι μεγαλύτερο από το πλάτος του θορύβου και το σημείο εκείνο στο οποίο η αναλογία των πλατών του σήματος και του θορύβου είναι αυτή την οποία έχουμε θέσει σαν προϋπόθεση. Για τα χαμηλοπερατά φίλτρα χρησιμοποιήσαμε για όλες τις αναλογικές καταγραφές τις ίδιες χαρακτηριστικές συχνότητες 25 και 27Hz, οι οποίες αντιστοιχούν στην απόκριση του αναλογικού καταγραφέα, ενώ για τις ψηφιακές καταγραφές χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα οι χαρακτηριστικές συχνότητες 47 και 50 Hz. Εφαρμόζοντας τα προηγούμενα φίλτρα στις καταγραφές, παίρνουμε τα διορθωμένα δεδομένα με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού (της εταιρείας Kinemetrics Inc.). Αυτά βρίσκονται υπό μορφή αρχείων τα οποία περιέχουν τις συντεταγμένες των σημείων των διορθωμένων καταγραφών και έχουν κατάληξη .V2.

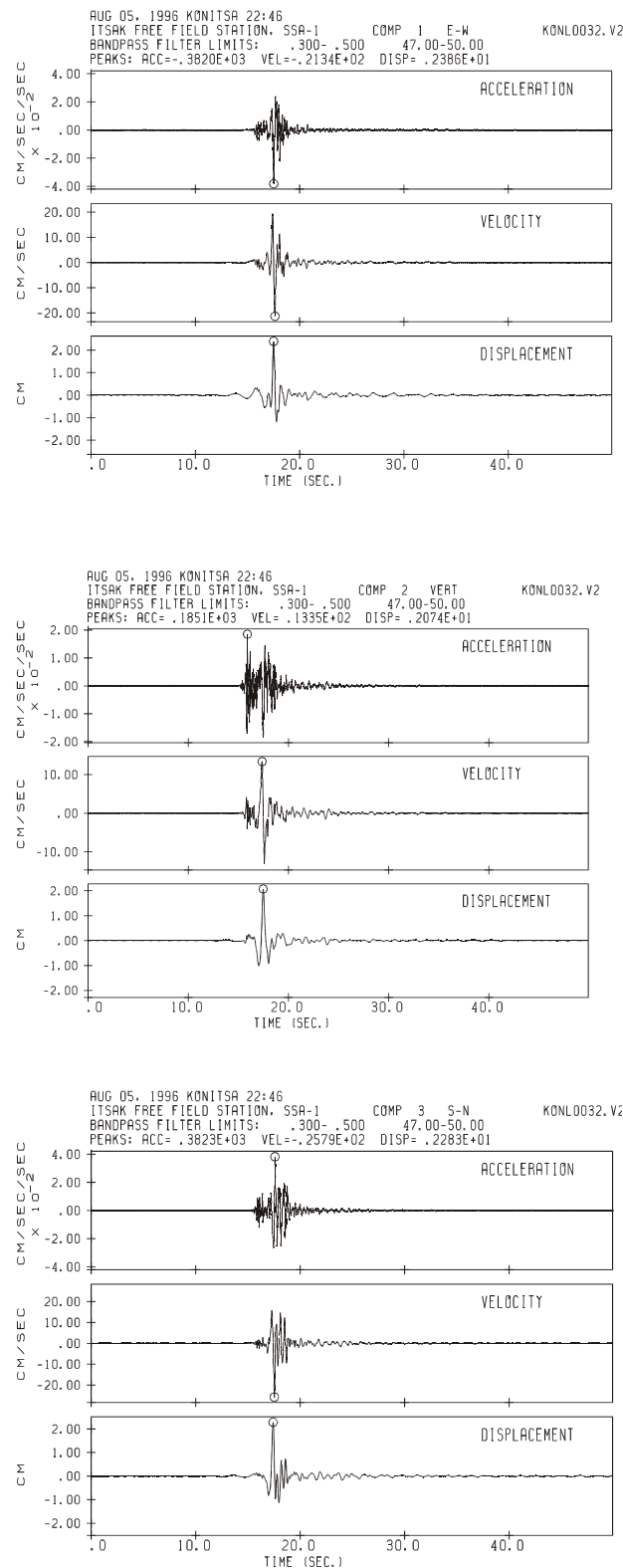
Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση των μη-διορθωμένων δεδομένων ως παραδείγματα της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας ψηφιοποίησης-διόρθωσης χρησιμοποιούνται οι δύο καταγραφές ισχυρής κίνησης PAT393-2 και KONL0032 οι οποίες καταγράφηκαν από αναλογικό και ψηφιακό καταγραφέα αντίστοιχα. Στο Σχήμα 3.3.4 παρουσιάζονται οι διορθωμένες τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων των 3 συνιστωσών της καταγραφής PAT393-2, ενώ στο Σχήμα 3.3.5 οι αντίστοιχες τιμές της καταγραφής KONL0032. Προκειμένου να εντοπίσουμε τις διαφορές που προκύπτουν χρησιμοποιούμε ένα τυχαίο ψηφιακό φίλτρο για την επεξεργασία των καταγραφών. Οι δύο καταγραφές ψηφιοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας ως υψηλοπερατά φίλτρα αυτά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις αρχές τις δεκαετίας του 70 από το CALTECH (Trifunac, 1971, 1972). Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των κυματομορφών των καταγραφών PAT393-2 και KONL0032 παρουσιάζονται αντίστοιχα στα Σχήματα 3.3.6 και 3.3.7.

Συγκρινόμενα τα αποτελέσματα της διόρθωσης των καταγραφών με βάση τα ψηφιακά φίλτρα του CALTECH (Σχ. 3.3.6 και 3.3.7) με τα αντίστοιχα που προέκυψαν με βάση το καθορισμό των φίλτρων από την μεθοδολογία του σήματος προς θόρυβο (Σχ. 3.3.4 και 3.3.5), δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές για τις διορθωμένες τιμές των επιταχύνσεων, ενώ κάποιες πρώτες διαφορές εμφανίζονται στις τιμές των ταχυτήτων. Οι διορθωμένες τιμές των μετατοπίσεων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές κυρίως στο επιταχυνσιόγραμμα το οποίο καταγράφηκε από τον αναλογικό καταγραφέα (SMA-1) PAT393-2 ενώ στην καταγραφή του ψηφιακού επιταχυνσιογράφου, KONL032, μικρές διαφορές στις μετατοπίσεις είναι δυνατόν να εντοπιστούν κυρίως στην κατακόρυφη συνιστώσα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν προκύψει για ανάλογες καταγραφές ισχυρής κίνησης του δικτύου του ΙΤΣΑΚ (Margaris, 1994).

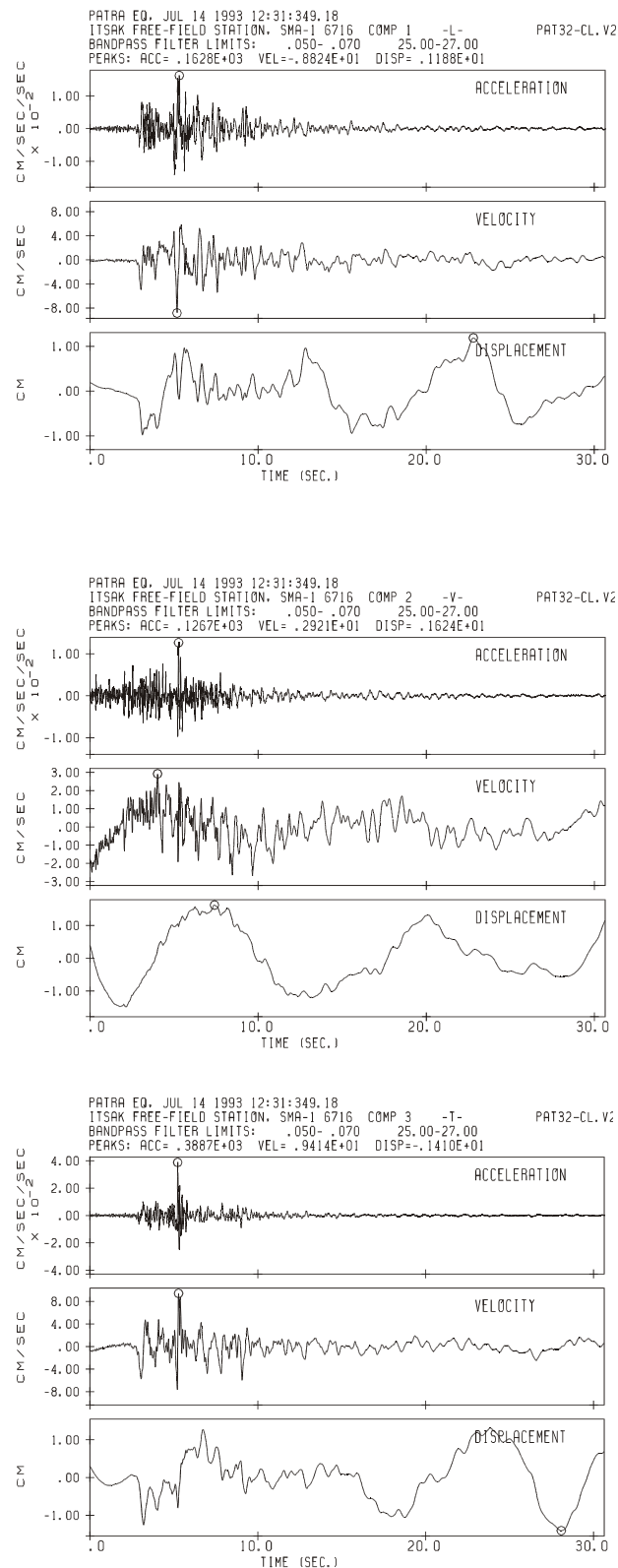
Στο Παράρτημα Α (περιέχεται σε ξεχωριστό συνοδευτικό τεύχος) παρουσιάζονται τα γραφήματα των χρονοϊστοριών επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης του συνόλου των διορθωμένων καταγραφών (V2) μαζί με τα αντίστοιχα υπολογισθέντα ελαστικά φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων (S_{pa}), ψευδοταχυτήτων (S_{pv}) και μετακινήσεων (δες σχετικά § 3.5).



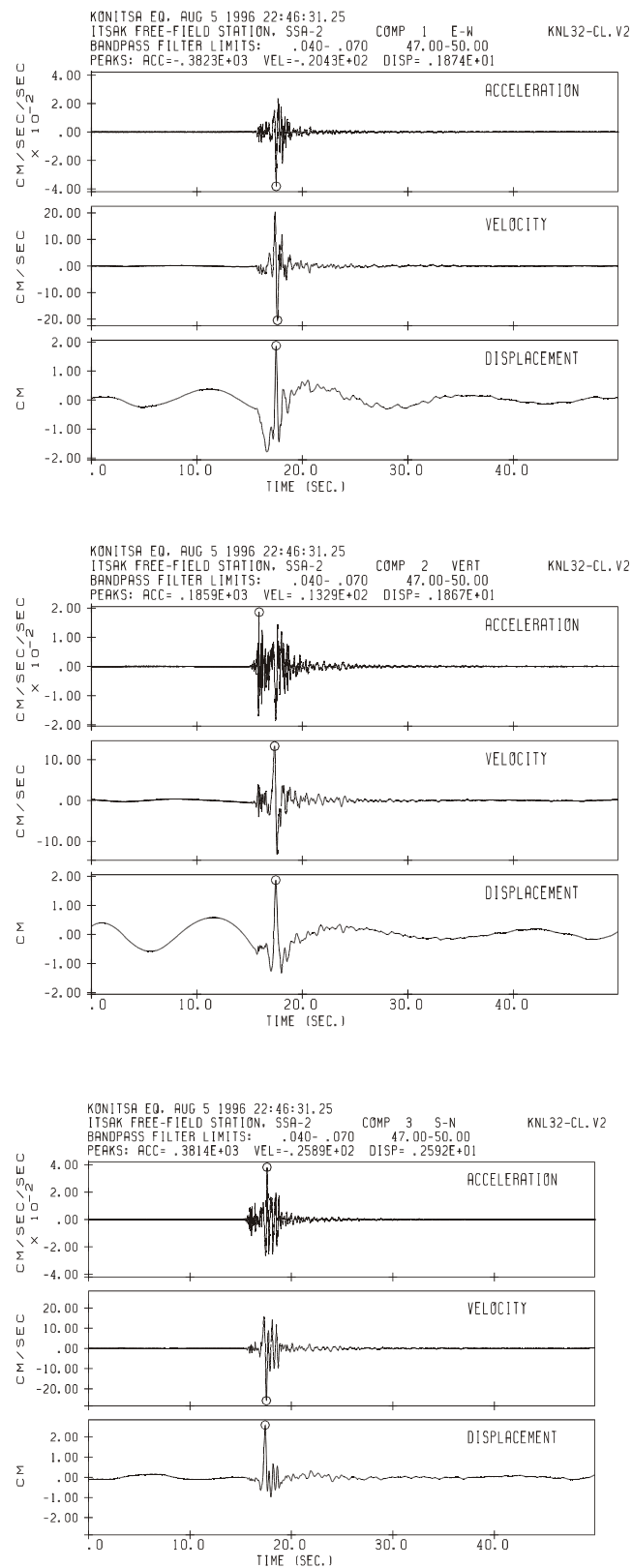
Σχήμα 3.3.4. Διορθωμένες τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων των τριών συνιστωσών της καταγραφής PAT393-2 (Μεθοδολογία σήματος προς θόρυβο)



Σχήμα 3.3.5. Διορθωμένες τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων των τριών συνιστωσών της καταγραφής KONL0032 (Μεθοδολογία σήματος προς θόρυβο)



Σχήμα 3.3.6. Διορθωμένες τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων των τριών συνιστωσών της καταγραφής PAT393-2 (Μεθοδολογία CALTECH)



Σχήμα 3.3.7. Διορθωμένες τιμές των επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μετατοπίσεων των τριών συνιστωσών της καταγραφής KONL0032 (Μεθοδολογία CALTECH)

3.4 ΦΑΣΗ 3 – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.4.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός της παρούσας φάσης του προγράμματος, είναι η ταξινόμηση των επιταχυνσιογραφημάτων που επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικό δείγμα του Ελληνικού χώρου με κριτήριο τις υφιστάμενες εδαφικές συνθήκες στο σταθμό της καταγραφής.

Ο τρόπος ταξινόμησης των επιταχυνσιογραφημάτων με βάση τις τοπικές εδαφικές συνθήκες έχει αποτελέσει θέμα επιστημονικής αναζήτησης και επανειλημμένες προσπάθειες έχουν καταγραφεί τόσο στον Ελληνικό χώρο (Klimis et al., 1999; Σέξτος κ.α., 1999), όσο και διεθνώς (Borcherdt, 1994; Crouse & McGuire, 1996; Dickenson & Seed, 1996; Dobry et al., 2000; Rodriguez-Marek et al., 1999). Οι παραπάνω επιστημονικές και ερευνητικές προσπάθειες έχουν αποτυπωθεί με τη μορφή κανονιστικών διατάξεων (EC8, UBC/97, AFPS/90, EAK/2000), ή και οδηγιών (NEHRP/97), οι οποίες ωστόσο παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους. Τούτο πρέπει να θεωρείται εύλογο, δεδομένου ότι οι κανονισμοί αντικατοπτρίζουν διαφορετικές θεωρήσεις αλλά και εμπειρία στις διαφορετικές χώρες στις οποίες εφαρμόζονται.

3.4.2 Κριτήρια εδαφικών συνθηκών – Κανονιστικές διατάξεις

Η ομαδοποίηση των επιταχυνσιογραφημάτων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για τις ανάγκες του παρόντος ερευνητικού προγράμματος βασίστηκε αφενός στη γενική γεωλογική πληροφορία από τα αντίστοιχα κατά περίπτωση φύλλα των γεωλογικών χαρτών του ΙΓΜΕ (Κλίμακα 1:50000) και αφετέρου, σε ορισμένα γεωτεχνικά – γεωφυσικά στοιχεία από δοκιμές πεδίου (κυρίως προερχόμενα από down-hole και cross-hole μετρήσεις) από τα οποία έχει προκύψει η μέση τιμή της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s) για τα πρώτα 30m της εδαφικής στήλης.

Σ' αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να υπενθυμίσει κανείς ότι ο μεν EAK/2000 διαχωρίζει 4 κατηγορίες εδαφών (A, B, Γ, Δ) και 1 πρόσθετη κατηγορία για την οποία απαιτούνται ειδικές μελέτες και επομένως δεν μπορεί να ενταχθεί στα πλαίσια ενός κανονισμού (κατηγορία X), ενώ ο EC8 (prEN 1998-1 / Draft May 2000) παρουσιάζει 5 βασικές κατηγορίες (A, B, C, D, E) και 2 ειδικές κατηγορίες (S_1 , S_2) για την συμπεριφορά των οποίων σε σεισμική δράση απαιτείται επίσης ειδική μελέτη. Επίσης, ο UBC/97 (ο οποίος ακολουθεί πιστά τις οδηγίες του NEHRP/94 και NEHRP/97) κατατάσσει το έδαφος θεμελίωσης επίσης σε 5 βασικές κατηγορίες (S_A , S_B , S_C , S_D , S_E) και 1 ειδική (S_F). Τόσο στον EC8 (prEN 1998-1 / Draft May 2000) όσο και στον UBC/97 ο διαχωρισμός γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων (V_s) στα πρώτα 30m της εδαφικής στήλης ή εναλλακτικά με τις μέσες τιμές των N_{SPT} και της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής c_u για τα πρώτα 30m.

Η κατάταξη των εδαφών με βάση τη μονοπαραμετρική κλίμακα της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα πρώτα 30m, αν και παρουσιάζει ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι της ποιοτικής κατάταξης των εδαφών υπό την έννοια ότι περιορίζει σημαντικά την αβεβαιότητα επιλογής κατηγορίας (περίπτωση του EAK/2000), ωστόσο παρουσιάζει και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα. Συγκεκριμένα, παρά την απλότητα της μονοπαραμετρικής κατάταξης, υπάρχουν διατυπωμένες επιστημονικές επιφυλάξεις σχετικά με την ορθότητα και την αξιοπιστία της αποκλειστικής χρήσης της μέσης τιμής V_s των

επιφανειακών 30m προκειμένου να περιγραφεί η επίδραση των τοπικών εδαφικών συνθηκών σε ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις. Παρατηρήσεις και μετρήσεις ενόργανων καταγραφών από τη διεθνή βιβλιογραφία προερχόμενες από ισχυρές σεισμικές δονήσεις καταστρεπτικών σεισμών (π.χ. Loma Prieta 1989, Northridge 1994) τεκμηριώνουν ότι τα βαθύτερα στρώματα διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της ισχυρής σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια του εδάφους, κυρίως στην περίπτωση μικρής δυσστησίας (σχετικά μαλακοί ή χαλαροί εδαφικοί σχηματισμοί σημαντικού πάχους), καθώς επίσης και η μεταβολή της δυσστησίας μεταξύ του «βραχώδους υποβάθρου» και των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών αλλά και άλλοι παράγοντες όπως η ένταση της ισχυρής σεισμικής κίνησης.

3.4.3 Κατάταξη επιταχυνσιογραφημάτων με βάση τις εδαφικές συνθήκες

Στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα, χρησιμοποιούνται καταγραφές από είκοσι διαφορετικές περιοχές (οι θέσεις εγκατάστασης των επιταχυνσιογράφων είναι περισσότερες καθόσον υπάρχουν σε ορισμένες περιπτώσεις περισσότερα εγκατεστημένα όργανα ανά περιοχή). Λαμβανομένου υπόψη ότι η κατάταξη με βάση τις εδαφικές συνθήκες κατά ΕΑΚ/2000 έχει ποιοτικό χαρακτήρα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κατάταξη παρουσιάζει κάποιο βαθμό αβεβαιότητας και δεν φαίνεται να συμφωνεί με τα αποτελέσματα μετρήσεων πεδίου γεωφυσικού χαρακτήρα (μετρήσεις ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων V_s). Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση καταβλήθηκε προσπάθεια να συνεκτιμηθούν μεν όλα τα δεδομένα (γεωλογικά – γεωτεχνικά και γεωφυσικά), αλλά ακολουθήθηκε κατά τον πιστότερο δυνατό τρόπο η κατάταξη κατά ΕΑΚ/2000, ακόμη και εάν δεν δικαιολογείτο πλήρως από την εδαφοδυναμική στήλη σχεδιασμού (όπου αυτή υπήρχε).

Πίνακας 3.4.1 Κατηγοριοποίηση των εδαφών με βάση τους ΕΑΚ/2000 & UBC/97.

V_{s30} (m/sec)	0		180	360	760	1500
UBC/97	S_E		S_D	S_C	S_B	S_A
ΕΑΚ/2000	Κατηγορία Δ Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας ($PI > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m	Κατηγορία Γ Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας, πάχους μεγαλύτερου των 5m, ή μέσης πυκνότητας και πάχους μεγαλύτερου των 70m	Κατηγορία Β Έντονα αποσθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70m.	Κατηγορία Α Βραχώδεις ή ημι-βραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλύοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70m.		

Ενδεικτικά στον Πίνακα 3.4.1 έχουν τοποθετηθεί οι κατατάξεις κατά ΕΑΚ/2000 και UBC/97. Η συγκριτική παρουσίαση και αλληλοσυσχέτιση των κατατάξεων που προτείνονται στον Πίνακα σύμφωνα με τους παραπάνω κανονισμούς, διαθέτει κυρίως ενδεικτικό χαρακτήρα, δοθέντος ότι έχει βασισθεί σε παλαιότερες εργασίες και σε σχετικά περιορισμένο δείγμα από προηγούμενες εργασίες (Klimis et al., 1998; Σέξτος κ.α., 1999).

Οι σταθμοί καταγραφής απ' όπου έχουν συλλεχθεί τα επιταχυνσιογραφήματα που χρησιμοποιούνται στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα είναι οι ακόλουθοι :

1. **Θεσσαλονίκη** (Ξενοδοχείο City: 8 όροφο κτήριο από οπλισμένο σκυρόδεμα με επιταχυνσιογράφο εγκατεστημένο στο υπόγειο). Από τον γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Θεσσαλονίκη, Κλίμακα 1:50.000) προκύπτει ότι η περιοχή δομείται από Ολοκαινικές αποθέσεις οι οποίες συνίστανται από παράκτιες αποθέσεις, προσχώσεις πεδιάδων και ερυθρές αργίλους με ασβεστιτικά συγκρίματα. Αν και δεν υφίστανται ερευνητικές γεωτρήσεις στην εγγύς περιοχή του επιταχυνσιογράφου, ωστόσο το «εκτιμώμενο» εδαφικό προφίλ συνίσταται από επιφανειακές χαλαρές – μαλακές οργανικές αργικοιλώδεις – ιλυώδεις αποθέσεις πάχους 20m περίπου με ταχύτητα διάδοσης V_s κυμαινόμενες από 150 έως 240m/sec, οι οποίες ακολουθούνται από στρώμα κοκκινόχρωμης αμμώδους αργίλου στιφρής – πολύ στιφρής έως σκληρής με παρουσία χαλίκων πάχους 110m περίπου και ταχύτητες διάδοσης V_s από 400 έως 800m/sec (Raptakis et al., 1998) και σε βάθος μεγαλύτερο των 150m θεωρείται το αποσαθρωμένο βραχώδες υπόβαθρο (Anastasiadis et al., 2001). Η μέση ταχύτητα των αρχικών 30m εκτιμάται $V_{s30} = 240\text{m/sec}$. Σύμφωνα με τα παραπάνω η θέση κατατάσσεται στην κατηγορία Γ κατά ΕΑΚ/2000.
2. **Κόρινθος** (Δημαρχείο Κορίνθου: 2όροφο κτήριο από οπλισμένο σκυρόδεμα με υπόγειο. Ο επιταχυνσιογράφος είναι εγκατεστημένος στο υπόγειο). Από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Κόρινθος, Κλ. 1:50.000) προκύπτει ότι η περιοχή δομείται από σύγχρονες προσχώσεις του Ολόκαινου, ήτοι υλικά αποσαθρωσέων από γειτονικά πετρώματα και προσχώσεις από ποτάμια και χειμάρρους. Οι αλλουβιακές αποθέσεις συνίστανται από άμμους, αργίλους, κροκάλες, λατύπες και χαλίκια ποικίλου μεγέθους. Η μέση ταχύτητα διάδοσης των V_s στα αρχικά 30m εκτιμάται 240m/sec περίπου. Με βάση τα παραπάνω εκτιμάται ότι η θέση κατατάσσεται στην κατηγορία Γ κατά ΕΑΚ/2000.
3. **Αργοστόλι** (Ο επιταχυνσιογράφος του Αργοστολίου βρίσκεται εγκατεστημένος στο υπόγειο του 2όροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα του ΟΤΕ κοντά στην κεντρική πλατεία). Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Νήσος Κεφαλληνία, Κλ. 1:50.000) η περιοχή δομείται από εδαφικούς σχηματισμούς του Πλειόκαινου, ήτοι κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και ασβεστόλιθους. Στον περίγυρο του κτηρίου του ΟΤΕ στα πλαίσια παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος (Ερευνητικό Πρόγραμμα 8048 ΟΑΣΠ, 1996), ανορύχθηκαν 2 γεωτρήσεις βάθους 51.5m (μία δειγματοληπτική και μία καταστροφική για τη διενέργεια δοκιμής πεδίου Cross-Hole). Από τα αποτελέσματα της ερευνητικής γεώτρησης προέκυψε ότι στα αρχικά 7m της γεώτρησης συναντήθηκαν στρώσεις αμμώδους αργίλου μέσης συνεκτικότητας έως πολύ στιφρής καστανέρυθρης αμμώδους αργίλου με χαλίκια (λευκοκίτρινη αργιλική μάργα έως τεφροκύανη μάργα) με ταχύτητα διάδοσης V_s από 260 έως 350m/sec. Ακολουθεί σκληρή καστανοκίτρινη ή τεφροκύανη μάργα με ψαμμιτικές ενστρώσεις πάχους 46m περίπου και με ταχύτητες διάδοσης των διατμητικών κυμάτων V_s από 350 έως 875m/sec και το «οιονεί» ή φύσει βραχώδες υπόβαθρο εκτιμήθηκε σε βάθος 57m περίπου ελλείψει πληρέστερων στοιχείων. Η μέση ταχύτητα διάδοσης στα αρχικά 30m

υπολογίσθηκε $V_{S30} = 405\text{m/sec}$. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία η υπόψη θέση κατατάσσεται στην κατηγορία **B** κατά ΕΑΚ/2000 (αν και εδώ η ποιοτική κατάταξη του εν λόγω αντισεισμικού κανονισμού δημιουργεί εύλογους προβληματισμούς περί της βεβαιότητας κατάταξης).

4. **Πολύγυρος** (Ο επιταχυνσιογράφος του Πολυγύρου βρίσκεται εγκατεστημένος στο υπόγειο του 3όροφου κτηρίου της Νομαρχίας από οπλισμένο σκυρόδεμα). Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Πολύγυρος: Κλ. 1:50.000) η περιοχή συνίσταται από φυλλίτες με ενστρώσεις χαλαζιτών. Από εκσκαφές σε κτήρια πλησίον της Νομαρχίας και τα παραπάνω γεωλογικά στοιχεία προκύπτει ότι η περιοχή θα πρέπει να καταταχθεί στην κατηγορία **A** κατά ΕΑΚ/2000 παρά τις υφιστάμενες αβεβαιότητες.
5. **Πελεκανάδα** (Ο επιταχυνσιογράφος της Πελεκανάδας βρίσκεται τοποθετημένος στο ισόγειο του μονώροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα του Δημαρχείου). Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Μελιγαλάς, Κλ. 1:50.000), η περιοχή είναι βραχώδης και δομείται από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους με ενδιάμεσες αργιλομαργαλικές στρώσεις. Δεδομένης της έλλειψης πληρέστερων γεωτεχνικών ή γεωφυσικών στοιχείων η θέση κατατάσσεται στην κατηγορία **A** κατά ΕΑΚ/2000.
6. **Καλαμάτα** (Στην Καλαμάτα υπάρχουν δύο εγκατεστημένοι επιταχυνσιογράφοι: οι καταγραφές **kal186** προέρχονται από τον επιταχυνσιογράφο που βρίσκεται εγκατεστημένος στο υπόγειο του 7όροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα της Νομαρχίας, ενώ οι καταγραφές **kal286** προέρχονται από τον επιταχυνσιογράφο που έχει εγκατασταθεί στο υπόγειο του 4όροφου νέου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα του ΟΤΕ, σε μικρή σχετικά απόσταση από την Νομαρχία). Με βάση το φύλλο Καλαμάτα (Κλ. 1:50.000) του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ από αλλουβιακές αποθέσεις υπερκείμενες μαργών μεγάλου και κυμαινόμενου πάχους. Επιπλέον των γενικών γεωλογικών στοιχείων έχουν υλοποιηθεί δοκιμές πεδίου Cross – Hole σε 10 διαφορετικές θέσεις (Αθανασόπουλος, 1989). Με βάση τα παραπάνω στοιχεία και τα γεωτεχνικά στοιχεία από τις 10 ερευνητικές – δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που διενεργήθηκαν στα πλαίσια εκτεταμένου προγράμματος γεωτεχνικής διερεύνησης (Σαμπατακάκης κ.α., 1987) προκύπτει ότι στις δύο θέσεις όπου είναι εγκατεστημένοι οι εν λόγω επιταχυνσιογράφοι η εδαφική στήλη αποτελείται από εναλλασσόμενες στρώσεις ιλυώδους αμμοχάλικου, αμμοίλου και αμμοχαλικώδους αργίλου μεγάλης σχετικής πυκνότητας/σκληρότητας. Το συνολικό πάχος των παραπάνω εδαφικών στρώσεων εκτιμάται ότι είναι της τάξης των 30m στο κέντρο της πόλης, ενώ κάτω από αυτές βρίσκεται μάργα αγνώστου πάχους. Στις δύο παραπάνω θέσεις η μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30m υπολογίσθηκαν αντίστοιχα 506 και 545m/sec. Επομένως η κατάταξη τους κατά ΕΑΚ/2000 γίνεται στην κατηγορία **B**.
7. **Ζάκυνθος** (Ο επιταχυνσιογράφος της Ζακύνθου βρίσκεται εγκατεστημένος στο ισόγειο του 2όροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα του ΟΤΕ). Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Νήσος Ζάκυνθος, Κλ. 1:50.000) η περιοχή δομείται από σύγχρονες αλλουβιακές προσχώσεις, ήτοι αμμώδεις αργίλους και αργιλοίλεις χαμηλής κυρίως πλαστικότητας μέσης συνεκτικότητας και εναλλαγές αμμοδών στρώσεων χαλαρές και μέσης πυκνότητας. Ελλείψει περισσοτέρων στοιχείων η κατάταξη γίνεται βάσει γεωλογικών δεδομένων και εντάσσεται στην κατηγορία **Γ** κατά ΕΑΚ/2000.

8. **Αμαλιάδα** (Ο επιταχυνσιογράφος της Αμαλιάδας βρίσκεται εγκατεστημένος στο ισόγειο του κτηρίου του ΟΤΕ). Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Αμαλιάς, Κλ. 1:50.000) η περιοχή δομείται από ψαμμιτικά πετρώματα και συγκολλημένες άμμους και κροκαλοπαγή. Λόγω έλλειψης εκτενέστερων γεωτεχνικών στοιχείων δεν είναι γνωστό εάν επιφανειακά επικρατούν χαλαρές κοκκώδεις αποθέσεις πάχους μεγαλύτερου των 5m. Σύμφωνα με τους Margaritis & Boore (1998) η περιοχή είχε καταταχθεί στην κατηγορία **D** κατά UBC/97. Σύμφωνα με τα παραπάνω, η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **Γ** με αρκετές επιφυλάξεις (ενδέχεται να ανήκει στην κατηγορία **B**).
9. **Έδεσσα** (Ο επιταχυνσιογράφος της Έδεσσας είναι εγκατεστημένος στο υπόγειο της Νομαρχίας, κτήριο 5όροφο από οπλισμένο σκυρόδεμα και θεμελιωμένο σε πασσάλους). Από στοιχεία παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος (Ερευνητικό Πρόγραμμα 8048 ΟΑΣΠ, 1996), ανορύχθηκε γεώτρηση βάθους 15.3m η οποία συνάντησε αρχικά 4m αμμώδους αργίλου χαμηλής πλαστικότητας και στη συνέχεια καστανότεφρη ιλύωδη άμμο έως τεφροπράσινη αργιλοϊλύωδη άμμο χαλαρής διάστρωσης πάχους 9m περίπου ακολουθούμενη από λεπτή στρώση μαλακής τύρφης πάχους 2m. Μετά τις επιφανειακές χαλαρές – μαλακές αποθέσεις συναντάται το βραχώδες υπόβαθρο από τραβερτίνη. Η μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα αρχικά 30m έχει προσδιορισθεί σε 375m/sec περίπου. Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **Γ** κατά ΕΑΚ/2000.
10. **Πύργος** (Ο επιταχυνσιογράφος του Πύργου είναι εγκατεστημένος στο υπόγειο της ΑΤΕ, 2όροφο κτήριο από οπλισμένο σκυρόδεμα). Από στοιχεία παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος (Ερευνητικό Πρόγραμμα 8048 ΟΑΣΠ, 1996), προκύπτει ότι αρχικά και σε βάθος 3.5m συναντώνται χαλαρές τεχνητές επιχωματώσεις, ενώ ακολούθως συναντάται μαργαϊκός σχηματισμός με τη μορφή ιλύωδους μάργας έως βάθος 24.5m και βαθύτερα με τη μορφή αργιλικής μάργας μέχρι βάθος 42.5m που περατώθηκε η ερευνητική γεώτρηση. Η μάργα συνιστά ασθενές πέτρωμα ή μαλακό βράχο και από μηχανικής πλευράς εξομοιώνεται με σκληρή προσυμπιεσμένη άργιλο η οποία μπορεί να θεωρηθεί (με βάση τον γεωλογικό χάρτη) ότι εκτείνεται σε μεγαλύτερα βάθη (> 70m) με γραμμικά μεταβαλλόμενη δυσκαμψία. Από πλευράς μέσης ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων σε βάθος 30m προκύπτει από τις δοκιμές πεδίου Cross – Hole που έγιναν τιμή $V_{S30} = 315\text{m/sec}$. Επομένως, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω στοιχεία, το έδαφος κατατάσσεται κατά ΕΑΚ/2000 στην κατηγορία **B**.
11. **Πάτρα** (Στην Πάτρα υπάρχουν δύο εγκατεστημένοι επιταχυνσιογράφοι: οι καταγραφές **pat193** προέρχονται από τον επιταχυνσιογράφο που βρίσκεται εγκατεστημένος στο υπόγειο του 7όροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα της Εθνικής Τράπεζας, ενώ οι καταγραφές **pat393** προέρχονται από τον επιταχυνσιογράφο που έχει εγκατασταθεί στο ισόγειο της εκκλησίας του Αγ. Δημητρίου). Με βάση το φύλλο Πάτρα (Κλ. 1:50.000) του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ η περιοχή καλύπτεται από προσχώσεις σύγχρονες, χειμαρρώδεις αναβαθμίδες και αλλουβιακούς σχηματισμούς, ήτοι αφενός από αργιλοαμμώδη υλικά, κροκάλες και λατύπες, και αφετέρου από ποταμοχειμάρειες αποθέσεις αποτελούμενες από αργιλοαμμώδη υλικά και κροκάλες – λατύπες ποικίλου μεγέθους. Στη θέση της Εθνικής Τράπεζας δεν υφίστανται περισσότερα γεωτεχνικά ή γεωφυσικά στοιχεία και ως εκ τούτου η κατάσταση θα βασισθεί κυρίως στην ποιοτική προσέγγιση του γεωλογικού χάρτη, αλλά και στα επιπλέον στοιχεία που υφίστανται για τη θέση του επιταχυνσιογράφου στην εκκλησία του Αγ. Δημητρίου. Σχετικά με τη

θέση αυτή (εκκλησία του Αγ. Δημητρίου) και σύμφωνα με αποτελέσματα παλαιότερου ερευνητικού προγράμματος (Ερευνητικό Πρόγραμμα 8048 ΟΑΣΠ, 1996), όπου ανορύχθηκαν 2 γεωτρήσεις, μία ερευνητική - δειγματοληπτική βάθους 52m και μια καταστροφική σε μικρή απόσταση και ίδιου βάθους για τη διενέργεια δοκιμής πεδίου Cross – Hole. Σύμφωνα με τη διεξαχθείσα γεωτεχνική έρευνα: μέχρι το βάθος των 5m συναντήθηκαν πρόσφατες επιχωματώσεις από ιλυώδες αμμοχάλικο με κροκάλες σε πυκνή διάστρωση, και ακολούθως έως 12.5m περίπου ιλυώδες αμμοχάλικο ή ιλυώδης άμμος με χαλίκια. Στη συνέχεια συναντάται στρώμα καστανοκόκκινης μαργαϊκής αργίλου χαμηλής πλαστικότητας ανομοιογενούς αντοχής (στιφρή έως σκληρή). Τέλος από το βάθος των 19m έως το πέρας της ερευνητικής γεώτρησης (52m) εμφανίζεται εκτεταμένο στρώμα τεφρής – κυανόλευκης μάργας σε πολύ στιφρή έως σκληρή κατάσταση εν γένει, και διακόπτεται τοπικά από λεπτές ενστρώσεις ιλυώδους άμμου. Επίσης με βάση τα αποτελέσματα της δοκιμής πεδίου Cross – Hole, η μέση ταχύτητα διάδοσης στα αρχικά 30m, υπολογίσθηκε $V_{S30} = 345\text{m/sec}$, ενώ το βραχώδες υπόβαθρο θεωρήθηκε σε βάθος 85m περίπου. Κατά συνέπεια η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **B** κατά ΕΑΚ/2000. Θεωρώντας ότι δεν υφίστανται ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ των δύο θέσεων (σύμφωνα με τα συμπεράσματα του προαναφερθέντος ερευνητικού προγράμματος) η γεωτεχνική και εδαφοδυναμική τομή θεωρείται αντιπροσωπευτική και για τη θέση του επιταχυνσιογράφου στο κτήριο της Εθνικής Τράπεζας και κατατάσσεται ομοίως στην κατηγορία **B** κατά ΕΑΚ/2000.

12. **Κοζάνη** (Ο επιταχυνσιογράφος είναι τοποθετημένος στο ισόγειο του 2όροφου από οπλισμένο σκυρόδεμα κτηρίου της Νομαρχίας). Σύμφωνα με το φύλλο Κοζάνη του ΙΓΜΕ (κλ. 1:50.000) στην περιοχή επικρατεί φλύσχος με επικράτηση των ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με σπανιότερες εμφανίσεις ασβεστόλιθων. Σύμφωνα με πληροφορίες από παλαιότερο ερευνητικό πρόγραμμα (Ερευνητικό Πρόγραμμα, Νομαρχίες Κοζάνης και Γρεβενών, 1996) η περιοχή που βρίσκεται τοποθετημένος ο επιταχυνσιογράφος ανήκει στα «σκληρά» εδάφη. Η μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στα αρχικά 30m, εκτιμάται $V_{S30} = 1100\text{m/sec}$ (Ambraseys, 2001; pers. communication: strong motion data base). Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία η περιοχή εντάσσεται στην κατηγορία **A** κατά ΕΑΚ/2000, με ορισμένες ωστόσο αβεβαιότητες λόγω έλλειψης πληρέστερων γεωτεχνικών και γεωφυσικών δεδομένων.
13. **Χρόμιο** (Ο επιταχυνσιογράφος βρίσκεται τοποθετημένος στο ισόγειο του 1όροφου κοινοτικού κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα). Από προηγούμενο ερευνητικό πρόγραμμα (Νομαρχίες Κοζάνης και Γρεβενών, 1996) όπου ανορύχθηκε ερευνητική – δειγματοληπτική γεώτρηση βάθους 45m για τη διεξαγωγή δοκιμής πεδίου Down – Hole προέκυψαν τα ακόλουθα: στα αρχικά 8m επικρατούν σχετικά χαλαρές έως μέσης πυκνότητας άμμοι με χαλίκια έως αμμοχάλικα, ενώ μέχρι βάθους 13m ακολουθεί στιφρή αργιλική μάργα. Στη συνέχεια επικρατούν συνεκτικά κροκαλοπαγή από ασβεστομαργαϊκό υλικό ενώ το οφιολιθικό κροκαλοπαγές εμφανίζεται σε βάθος 35m περίπου και συνεχίζεται μέχρι το πέρας της γεώτρησης στα 45m. Η μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στα αρχικά 30m, εκτιμάται $V_{S30} = 560\text{m/sec}$ σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμής Down – Hole. Επομένως, αν και η περιοχή παρουσιάζει σημαντικά δύσκαμπτο εδαφικό προφίλ, εν τούτοις κατά ΕΑΚ/2000 πρέπει να καταταχθεί στην κατηγορία **Γ** (ή οριακά στην κατηγορία **B**).

14. **Καρπερό** (Ο επιταχυνσιογράφος είναι εγκατεστημένος στο ισόγειο του Ιόροφου κτηρίου του Δημαρχείου). Το φύλλο του γεωλογικού χάρτη Αγιόφυλλο του ΙΓΜΕ (Κλ. 1:50.000) δείχνει ότι η ευρεία περιοχή δομείται από πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις (ψαμμούχες μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή) οι οποίες συνολικά εμφανίζουν εικόνα συνεκτικών – πυκνών σχηματισμών, πρακτικά ημι-βραχώδεις. Από τη βάση δεδομένων ισχυρής σεισμικής κίνησης (Ambraseys, 2001; pers. communication) έχει εκτιμηθεί ότι η μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων $V_{S30} = 665\text{m/sec}$. Από τα παραπάνω, και δεδομένου ότι δεν υπάρχει σαφής γνώση των επιφανειακών στρώσεων από ακριβέστερα γεωτεχνικά στοιχεία η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **B** (με επιφυλάξεις).
15. **Κέντρο** (Ο επιταχυνσιογράφος είναι τοποθετημένος στο ισόγειο του μονώροφου κτηρίου του Δημαρχείου). Από προηγούμενο ερευνητικό πρόγραμμα (Νομαρχίες Κοζάνης και Γρεβενών, 1996) όπου ανορύχθηκε ερευνητική – δειγματοληπτική γεώτρηση βάθους 45m για τη διεξαγωγή δοκιμής πεδίου Down – Hole προέκυψαν τα ακόλουθα: μέχρι βάθος 32m υπάρχουν εναλλαγές στρώσεων από αμμώδεις αργιλοίλεις ή αργίλους στιφρές έως πολύ στιφρές και από ιλυώδεις άμμους – αμμοίλεις μέσης ή μεγάλης πυκνότητας, ενώ από το βάθος των 32m και πλέον αρχίζουν οι μαργαϊκοί σχηματισμοί των οποίων η αντοχή αυξάνει γραμμικά με το βάθος. Με βάση τις μετρήσεις της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων προέκυψε ότι η μέση ταχύτητα διάδοσης στα ανώτερα 30m της εδαφικής στήλης είναι περίπου $V_{S30} = 310\text{m/sec}$. Κατά συνέπεια, η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **B** κατά ΕΑΚ/2000.
16. **Κόνιτσα** (Υπάρχουν εγκατεστημένοι 2 επιταχυνσιογράφοι σε 2 διαφορετικά σημεία):
 - **Κonu** : Ο επιταχυνσιογράφος αυτός είναι εγκατεστημένος στο υπόγειο του 3όροφου κτηρίου του Δημαρχείου της Κόνιτσας (Ανω Κόνιτσα). Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (Φύλλο Πογωνιανή – Βασιλικό, Κλ. 1:50000) η περιοχή της Άνω Κόνιτσας δομείται από συνεκτικής – πυκνής δομής αποθέσεις κώνων κορημάτων οι οποίοι υπέρκεινται του ασβεστολιθικού υποβάθρου. Από στοιχεία 2 δειγματοληπτικών – ερευνητικών γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν στην ΑΤΕ της Κόνιτσας (σε μικρή απόσταση από το Δημαρχείο) επικρατούν κυρίως ιλυώδεις – αργιλοίλυοί άμμοι με χαλίκια έως ιλυώδη – αργιλοίλυοί άμμοχαλίκια διακοπτόμενα από ενστρώσεις στιφρές έως σκληρής αμμώδους αργίλου με χαλίκια μέχρι βάθος 7 έως 8m. Ακολούθως, μέχρι βάθος 14 έως 15m συναντώνται πολύ πυκνές άμμοι – αμμοχαλίκια με κροκάλες ασβεστολιθικής κυρίως προέλευσης. Σε μεγαλύτερα βάθη εμφανίζεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο αρχικά αποσθρωμένο και βαθύτερα πιο υγιές. Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία η κατάταξη κατά ΕΑΚ/2000 γίνεται στην κατηγορία **A**.
 - **Κonl**: Ο επιταχυνσιογράφος αυτός είναι εγκατεστημένος στην κάτω Κόνιτσα, σε ισόγειο ιδιόκτητου 2όροφου κτηρίου. Σύμφωνα με τον ίδιο γεωλογικό χάρτη η κάτω Κόνιτσα είναι δομημένη σε σχετικά πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις ή και ποταμοχειμάρειες αποθέσεις (άμμοι, αμμοχαλίκια, άργιλοι, αργιλοίλεις, κλπ..). Ελλείψει περισσότερων γεωτεχνικών ή γεωφυσικών στοιχείων για την περιοχή αυτή, η κατάταξη γίνεται μόνο βάσει της γεωλογίας και με ορισμένες επιφυλάξεις εντάσσεται στην κατηγορία **Γ** κατά ΕΑΚ/2000.
17. **Αθήνα** (Στην Αθήνα υπάρχουν εγκατεστημένοι 3 επιταχυνσιογράφοι σε διαφορετικά σημεία εντός πόλεως):

- **Χαλάνδρι (ath299):** Επιταχυνσιογράφος εγκατεστημένος στο υπόγειο του Αετοπούλειου Πολιτιστικού Κέντρου (2όροφο κτήριο από οπλισμένο σκυρόδεμα). Η περιοχή δομείται από αλλουβιακές αποθέσεις μέσης έως υψηλής πυκνότητας ή πολύ στιφρές έως σκληρές (π.χ. πολύ στιφρές αμμώδεις αργιλοϊλίδες, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας έως πυκνές – πολύ πυκνές αργιλοϊλυώδεις άμμους με χαλίκια, καθώς επίσης και πολύ στιφρές - σκληρές αμμώδεις μαργαϊκές άργιλοι). Οι παραπάνω πληροφορίες αντλούνται από γεώτρηση του ΚΕΔΕ (1982) στην ευρεία περιοχή και από τους Bouckovalas et al., (2001). Η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **B** κατά ΕΑΚ/2000.
 - **ΚΕΔΕ (ath399):** Επιταχυνσιογράφος εγκατεστημένος στο ισόγειο του 1όροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα του ΚΕΔΕ. Σύμφωνα με 9 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις που ανορύχθηκαν στον περίγυρο του ΚΕΔΕ (1971), το υπέδαφος συνίσταται επιφανειακά από πολύ στιφρή – σκληρή μαργαϊκή αμμώδη άργιλο – αργιλοϊλύ χαμηλής πλαστικότητας (ερυθρού κυρίως χρώματος) με κυμαινόμενο ποσοστό χαλίκων και πάχος μεταβαλλόμενο από 11 έως 28m. Ειδικότερα στη θέση εγκατάστασης του επιταχυνσιογράφου εκτιμάται πάχος 20m περίπου. Η υποκείμενη στρώση συνιστά το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής το οποίο παρουσιάζεται με τη μορφή αργιλικού σχιστόλιθου ή ψαμμίτη ή κροκαλοπαγούς. Σύμφωνα με τους Bouckovalas et al., (2001) η περιοχή ανήκει στους πολύ πυκνούς – σκληρούς εδαφικούς σχηματισμούς. Κατά συνέπεια βάσει του ΕΑΚ/2000 η θέση κατατάσσεται στην κατηγορία **B**.
 - **ΓΥΣ (ath499):** Επιταχυνσιογράφος εγκατεστημένος στο υπόγειο 3όροφου κτηρίου από οπλισμένο σκυρόδεμα. Από διαθέσιμα στοιχεία (ΚΕΔΕ, 1969; Bouckovalas et al., 2001) προκύπτει ότι με εξαίρεση τα αρχικά 3m τα οποία συνίστανται από στιφρές αμμώδεις αργίλους έως πυκνές αργιλώδεις άμμους με χαλίκια, τα υποκείμενα εδαφικά στρώματα αποτελούνται από αποσαθρωμένους αργιλικούς σχιστόλιθους οι οποίοι αποτελούν το βραχώδες υπόβαθρο (Αθηναϊκός σχιστόλιθος). Στην περίπτωση αυτή η υπόψη θέση κατατάσσεται κατά ΕΑΚ/2000 στην κατηγορία **A** κατά ΕΑΚ/2000.
18. **Κερατσίνι** (Η περιοχή δομείται από σχηματισμούς μέτριου πάχους (με γεωλογικούς όρους) υλικών αποσάθρωσης τα οποία προέρχονται από το γεωλογικό υπόβαθρο (Αθηναϊκός σχιστόλιθος). Σύμφωνα με τους Bouckovalas et al., (2001) η περιοχή κατατάσσεται στους πολύ στιφρούς – πυκνούς εδαφικούς σχηματισμούς. Επομένως, η περιοχή εντάσσεται κατά ΕΑΚ/2000 στην κατηγορία **B**.
19. **Ραφήνα** (Ο επιταχυνσιογράφος είναι εγκατεστημένος στο ισόγειο μονώροφης ξύλινης ιδιόκτητης κατασκευής). Σύμφωνα με τους Bouckovalas et al., (2001) η περιοχή δομείται από μάργες του Νεογενούς. Οι υπόψη εδαφικοί σχηματισμοί ανήκουν στους μαλακούς βραχώδεις σχηματισμούς. Επομένως, η περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία **A** κατά ΕΑΚ/2000.
20. **Σεπόλια** (Ο υπόψη επιταχυνσιογράφος θεωρείται πρακτικά ελευθέρου πεδίου και είναι εγκατεστημένος σε απόσταση περίπου 500m από το σταθμό αυτοκινήτων). Η περιοχή ανήκει γεωλογικά σε αλλουβιακές αποθέσεις μέσης έως κυρίως υψηλής πυκνότητας ή συνεκτικότητας. Σύμφωνα με τους Γκαζέτας κ.α. (2001) η γεωτεχνική τομή σχεδιασμού είναι η ακόλουθη: στα αρχικά 6 έως 7m συναντάται αμμώδης ιλυώδης άργιλος σε στιφρή έως πολύ στιφρή κατάσταση, ενώ ακολουθεί στρώση από πολύ στιφρή – σκληρή αμμώδης άργιλος με χαλίκια και κροκάλες μέχρι βάθους 12 έως 15m. Σε βάθη μεγαλύτερα συναντάται ασβεστιτικό κροκαλοπαγές κατά τόπους κερματισμένο

(Αθηναϊκός σχιστόλιθος) το οποίο συνιστά το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής. Κατά συνέπεια η περιοχή κατατάσσεται κατά ΕΑΚ/2000 στην κατηγορία **B**.

Αν και στο παρόν ερευνητικό πρόγραμμα γίνεται χρήση της κατάταξης εδαφών κατά ΕΑΚ-2000 κατά την επεξεργασία των επιταχυνσιογράφων, έγινε μία προσπάθεια κατηγοριοποίησης των εδαφικών συνθηκών σε κάθε σταθμό σύμφωνα και με όσα προβλέπονται από τις σχετικές διατάξεις του UBC 97 καθώς και του Ευρωκώδικα 8 (σχέδιο 2000). Τα αποτελέσματα της εν λόγω κατηγοριοποίησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.2., και μπορούν να χρησιμεύσουν σε μελλοντική επιπρόσθετη έρευνα

Πίνακας 3.4.2 Κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών στους σταθμούς καταγραφής με βάση τους ΕΑΚ/2000, UBC/97 και Ευρωκώδικα 8 (σχέδιο 2000)

ΘΕΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	ΕΑΚ-2000	UBC'97	EC8 (Draft 2000)
Θεσσαλονίκη (Ξενοδοχείο City)	Γ	D	C
Κόρινθος	Γ	C	B
Αργοστόλι	B	C	B
Πολύγυρος	A	B (?)	A (?)
Πελεκανάδα	A	B (?)	A (?)
Καλαμάτα (Νομαρχία – kal186)	B	C	B
Καλαμάτα (ΟΤΕ-kal286)	B	C	B
Ζάκυνθος	Γ	D	C
Αμαλιάδα	Γ (B)	D (?)	C (?)
Εδεσσα	Γ	C (οριακά)	E (B οριακά)
Πύργος	B	D	C
Πάτρα (ΕΤΕ – pat193)	B	D (οριακά) ??	C (οριακά B)
Πάτρα (Εκκλ. Αγ. Δημητρίου – pat393)	B	D (οριακά)	C (οριακά B)
Κοζάνη	A	B	A
Χρόμιο	Γ (B)	C	B
Καρπερό	B	C	B
Κέντρο	B	D	C
Κόνιτσα (Δημαρχείο – Konu)	A (?)	C (?)	B (E)?
Κόνιτσα (Κάτω Κόνιτσα – 2όροφο – Konl)	Γ	D (?)	C
Αθήνα (Χαλάνδρι – ath299)	B	B (C?)	B
Αθήνα (ΚΕΔΕ –ath399)	B	C	B
Αθήνα (ΓΥΣ – ath499)	A	B	A
Κερατσίνι	B	C	B
Ραφήνα	A	C	B
Σεπόλια	B	C	B

3.5 ΦΑΣΗ 4 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΨΕΥΔΟΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ, ΨΕΥΔΟΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

3.5.1 Εισαγωγή – Μεθοδολογία

Αντικείμενο της παρούσας φάσης του προγράμματος είναι ο υπολογισμός των ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων, ψευδοταχυτήτων και μετακινήσεων για τις καταγραφές που επιλέχθηκαν και έτυχαν επεξεργασίας όπως περιγράφεται στις προηγούμενες ενότητες της παρούσας έκθεσης.

Όπως είναι γνωστό, τα φάσματα (ελαστικά και ανελαστικά) τόσο των ψευδοεπιταχύνσεων όσο και των μετακινήσεων παίζουν καθοριστικό ρόλο στη σύγχρονη Αντισεισμική Μηχανική. Στον αντισεισμικό σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις η βάση του σχεδιασμού είναι μια σειρά φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα επίπεδα απόσβεσης (κατά κανόνα πολύ ψηλότερα του 5% που χρησιμοποιούν ο ΕΑΚ και οι λοιποί σύγχρονοι κανονισμοί), ενώ η ανελαστική στατική ανάλυση (ανάλυση με έλεγχο των παραμορφώσεων) έχει νόημα όταν αναφέρεται σε μια μετακίνηση της κατασκευής που ρεαλιστικά μπορεί να εκτιμηθεί μόνο από ένα κατάλληλο φάσμα μετακινήσεων. Οι πρόσφατες εργασίες των Bommer and Elnashai (1999) και Tolis and Faccioli (1999) αποτελούν τις πρώτες ουσιαστικές συμβολές προς την πρώτη κατεύθυνση. Εξάλλου, το φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων εξακολουθεί να παίζει τον κύριο ρόλο στο «συμβατικό» αντισεισμικό σχεδιασμό που βασίζεται πάντα στις δυνάμεις και είναι η μέθοδος που υιοθετείται από το σύνολο των κανονισμών που ισχύουν σε διεθνές επίπεδο.

Ο υπολογισμός των ελαστικών φασμάτων έγινε με χρησιμοποίηση δύο διαφορετικών προγραμμάτων (SPECTR-90, INELSP-2k) που αναπτύχθηκαν στον Τομέα Κατασκευών του ΑΠΘ, από τα οποία το πρώτο (SPECTR-90) αφορά αποκλειστικά τα ελαστικά φάσματα και τις παραμέτρους που συνδέονται με αυτά (RMSA, φασματική ένταση, ένταση Agias κλπ. – Karpos and Kyriakakis 2000), ενώ το δεύτερο (INELSP-2k) είναι κυρίως πρόγραμμα υπολογισμού ανελαστικών φασμάτων, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και για τα ελαστικά. Η χρήση των δύο διαφορετικών προγραμμάτων για τον υπολογισμό των ελαστικών φασμάτων αποτέλεσε έναν πολύ χρήσιμο έλεγχο της αξιοπιστίας του νέου προγράμματος (INELSP-2k) που αναβαθμίστηκε στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος. Στα σχήματα 3.5.1 ως 3.5.6 φαίνονται τα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων S_{pa} (Σχ. 3.5.1 και 3.5.2), ψευδοταχυτήτων S_{pv} (Σχ. 3.5.3 και 3.5.4) και μετακινήσεων S_d (Σχ. 3.5.5 και 3.5.6) των δύο οριζοντίων συνιστωσών της καταγραφής του Αργοστολίου ARG183-7 (ARG83-7 του Πίνακα 3.2.1) που υπολογίστηκαν με βάση τα δύο προγράμματα. Είναι φανερό η ταύτιση των φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων και η σχεδόν ταύτιση των φασμάτων ψευδοταχυτήτων και μετακινήσεων που προέκυψαν από τα δύο προγράμματα (οι όποιες μικροδιαφορές αφορούν μόνο την, αποκλειστικά θεωρητικού ενδιαφέροντος, περίπτωση μηδενικής απόσβεσης).

Το σύνολο των ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων, ψευδοταχυτήτων και μετακινήσεων για το σύνολο των 34 καταγραφών (67 συνιστώσες) που επελέγησαν για τις ανάγκες του παρόντος προγράμματος με κριτήρια μέγεθος $M \geq 5$, ή απόσταση $5 \text{ km} \leq R \leq 100 \text{ km}$, ή $pga \geq 100 \text{ cm/sec}^2$, δίνεται στο Παράρτημα Α, στο τέλος της παρούσας έκθεσης. Όλα τα φάσματα έχουν υπολογιστεί για ιδιοπεριόδους 0.01 ως 3.0 sec, με πυκνότερο βήμα ($\Delta T=0.025 \text{ sec}$) στις χαμηλές ιδιοπεριόδους ($T \leq 0.5$) και σταδιακά αυξανόμενο μέχρι $\Delta T=0.20$ (για $T > 2.0 \text{ sec}$). Όπως φαίνεται από τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στα προηγούμενα κεφάλαια, ο υπολογισμός των φασμάτων για περιόδους μεγαλύτερες των 3.0

sec δεν έχει νόημα, διότι οι αντίστοιχες περιοχές συχνοτήτων έχουν φιλτραριστεί κατά την επεξεργασία των επιταχυνσιογραφημάτων. Εξάλλου, όλα τα φάσματα υπολογίστηκαν για όλη την περιοχή (ισοδύναμου) συντελεστή απόσβεσης ζ που ενδιαφέρει το σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις ή με χρήση σεισμικής μόνωσης (δηλ. τιμές του ζ ίσες προς 0, 2, 5, 10, 20 και 30%).

3.5.2 Αποτελέσματα

Τα τελικά αποτελέσματα της 4^{ης} φάσης του προγράμματος παρουσιάζονται εδώ στη μορφή μέσων φασμάτων ή/και μέσων συν μία τυπική απόκλιση φασμάτων (ποσοστημόριο 84%), για διάφορες τιμές απόσβεσης και για διάφορες κατηγορίες εδάφους. Επιπλέον γίνονται συγκρίσεις με τα φάσματα σχεδιασμού του ισχύοντος Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000). Όπως προαναφέρθηκε, το σύνολο των ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων, ψευδοταχυτήτων και μετακινήσεων για το σύνολο των 34 καταγραφών (67 συνιστώσες) δίνεται στο Παράρτημα Α.

3.5.2.1 Μέσα φάσματα

Τα μέσα φάσματα (από τις 67 συνιστώσες που αναλύθηκαν) δίνονται σε διάφορες μορφές στα σχήματα 3.5.7 ως 3.5.45. Όπως αναφέρεται διεξοδικότερα στα προηγούμενα κεφάλαια, η κατάταξη των (20 συνολικά) σταθμών καταγραφής έγινε με βάση τον ΕΑΚ 2000 στις κατηγορίες εδάφους Α, Β και Γ (το 19% των επιταχυνσιογραφημάτων κατατάχθηκε στην κατηγορία Α, το 54% στη Β και το 27% στη Γ – Πίν. 3.5.1). Με στόχο τον προσδιορισμό της μορφής των φασμάτων (και όχι του μεγέθους της επιτάχυνσης του εδάφους), όλες οι συνιστώσες ανάγονται στη μέση φασματική ένταση που υπολογίστηκε είτε για την κατηγορία εδάφους στην οποία ανήκουν (αν τα φάσματα αφορούν τη συγκεκριμένη κατηγορία) είτε για το σύνολο των επιταχυνσιογραφημάτων. Υπενθυμίζεται ότι ως φασματική ένταση ορίζεται το εμβαδόν κάτω από το διάγραμμα των ψευδοταχυτήτων στην περιοχή ιδιοπεριόδων από 0.1 ως 2.5 sec και έχει βρεθεί (Nau & Hall 1984, Karpos and Kyriakakis 2000) ότι αποτελεί έναν πολύ καλό δείκτη αναγωγής επιταχυνσιογραφημάτων, ιδιαίτερα για μέσες ως μεγάλες ιδιοπεριόδους (άνω των 0.5 sec). Στον πίνακα 3.5.1 φαίνονται οι τιμές φασματικής έντασης των 67 επιταχυνσιογραφημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας (κατανεμημένων στις κατηγορίες εδάφους του ΕΑΚ 2000), καθώς και οι συντελεστές αναγωγής τόσο ως προς τη μέση φασματική ένταση του συνόλου των καταγραφών όσο και ως προς τη μέση φασματική ένταση της αντίστοιχης κατηγορίας εδάφους.

Στα Σχ. 3.5.7 ως 3.5.9 δίνονται τα μέσα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων, ψευδοταχυτήτων και μετακινήσεων από όλες τις συνιστώσες (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών), για συντελεστές απόσβεσης 0, 2, 5, 10, 20 και 30%. Η αναγωγή των επιταχυνσιογραφημάτων έγινε ως προς τη μέση φασματική ένταση του συνόλου των συνιστωσών, βλ. στήλη (5) του Πίν. 3.5.1. Από τα φάσματα των Σχ. 3.5.7 ως 3.5.9 παρατηρείται ότι οι ισχυρές σεισμικές κινήσεις που έπληξαν τον Ελληνικό χώρο από τη δεκαετία του 1970 ως σήμερα είναι υψίσυχνες με τις αιχμές τόσο των φασματικών επιταχύνσεων, όσο και των φασματικών ταχυτήτων να παρουσιάζονται στην περιοχή των χαμηλών ιδιοπεριόδων ($T \leq 0.3$ sec και $T \leq 0.6$ sec, για S_{pa} και S_{pv} , αντίστοιχα). Αλλά και τα φάσματα των μετακινήσεων παρουσιάζουν ανάλογη εικόνα, με τάση σταθεροποίησης μετά τα 0.8 sec περίπου και έναρξη του φθίνοντος κλάδου στην περιοχή των

2.0 sec. Οι πρακτικές συνέπειες των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών είναι μεγάλες, όπως θα αναλυθεί αργότερα.

Πίνακας 3.5.1 Φασματική ένταση και συντελεστές αναγωγής επιταχυνσιογραφημάτων

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΛΑΦΟΥΣ	ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΓΡΑΦΗΜΑ	SI (mm)	λ_s	λ_{tot}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
A	POL183-2 (L)	28.38	5.873	10.031
	POL183-2 (T)	27.35	6.094	10.409
	PEL184-1 (L)	198.16	0.841	1.437
	PEL184-1 (T)	181.20	0.920	1.571
	POL95-6 (L)	41.46	4.020	6.867
	POL95-6 (T)	44.48	3.747	6.400
	KOZ95-1 (L)	284.93	0.585	0.999
	KOZ95-1 (T)	175.90	0.948	1.618
	KONU1007 (T)	465.74	0.358	0.611
	A499-1 (L)	214.94	0.775	1.325
	A499-1 (T)	293.49	0.568	0.970
	RFN1 (L)	90.12	1.850	3.159
	RFN1 (T)	120.65	1.381	2.360
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ SI (mm) ΕΛΑΦΟΥΣ Α		166.68		
B	ARG83-1 (L)	242.70	1.208	1.173
	ARG83-1 (T)	309.04	0.949	0.921
	ARG83-7 (L)	168.24	1.743	1.692
	ARG83-7 (T)	247.89	1.183	1.148
	ARG183-8 (L)	78.19	3.749	3.641
	ARG183-8 (T)	130.18	2.252	2.187
	KAL186-1 (L)	962.28	0.305	0.296
	KAL186-1 (T)	890.32	0.329	0.320
	KAL186-8 (L)	532.17	0.551	0.535
	KAL186-8 (T)	251.68	1.165	1.131
	KAL286-2 (L)	313.40	0.935	0.908
	KAL286-2 (T)	601.33	0.488	0.473
	PYR193-6 (L)	72.32	4.054	3.937
	PYR193-6 (T)	101.92	2.876	2.793
	PYR193-7 (L)	64.22	4.565	4.433
	PYR193-7 (T)	78.43	3.738	3.630
	PYR193-8 (L)	230.97	1.269	1.233
	PYR193-8 (T)	442.11	0.663	0.644
	PAT193-2 (L)	191.68	1.529	1.485
	PAT193-2 (T)	287.88	1.018	0.989
	PAT393-2 (L)	207.69	1.412	1.371
	PAT393-2 (T)	221.02	1.326	1.288
	KARP001 (L)	438.99	0.668	0.649
	KARP001 (T)	339.18	0.864	0.839
	KARP009 (L)	117.70	2.491	2.419
	KARP009 (T)	115.20	2.545	2.471
	KENTR063 (L)	140.72	2.083	2.023
	KENTR063 (T)	136.19	2.153	2.090
	A299-1 (L)	141.80	2.067	2.008
	A299-1 (T)	235.21	1.246	1.210

B	A399-1 (L)	445.32	0.658	0.639
	A399-1 (T)	404.60	0.725	0.704
	KERT99-1 (L)	229.37	1.278	1.241
	KERT99-1 (T)	198.05	1.480	1.437
	SPLB1 (L)	507.99	0.577	0.560
	SPLB1 (T)	478.06	0.613	0.596
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ SI (mm) ΕΛΑΦΟΥΣ Β		293.17		
Γ	THE178-1N (L)	388.04	0.910	0.734
	THE178-1N (T)	403.33	0.875	0.706
	KOR181-2N (L)	906.24	0.389	0.314
	KOR181-2N (T)	949.10	0.372	0.300
	ZAK188-4 (L)	258.69	1.364	1.101
	ZAK188-4 (T)	344.95	1.023	0.825
	AML188-6 (L)	183.79	1.921	1.549
	AML188-6 (T)	306.70	1.151	0.928
	EDE190-1 (L)	326.28	1.082	0.873
	EDE190-1 (T)	261.51	1.350	1.089
	CHROM013 (L)	70.47	5.009	4.040
	CHROM013 (T)	51.08	6.910	5.573
	CHROM032 (L)	120.56	2.928	2.361
	CHROM032 (T)	121.16	2.913	2.350
	KONL0032 (L)	498.63	0.708	0.571
	KONL0032 (T)	532.97	0.662	0.534
	ZAK97-3 (L)	235.34	1.450	1.210
	ZAK97-3 (T)	394.74	0.894	0.721
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ SI (mm) ΕΛΑΦΟΥΣ Γ		352.98		
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ SI (mm) ΣΥΝΟΛΙΚΑ		284.69		

Η επιρροή της απόσβεσης παρουσιάζει τα γνωστά χαρακτηριστικά, ήτοι είναι εντονότερη για τα χαμηλότερα ποσοστά απόσβεσης.

Η αποτελεσματικότητα (ή μη) της αναγωγής των επιταχυνσιογραφημάτων βάσει της φασματικής έντασης μπορεί να εκτιμηθεί από τα Σχ. 3.5.10 ως 3.5.12 που δίνουν το συντελεστή διασποράς (COV) των φασματικών τιμών για κάθε τύπο φάσματος. Παρατηρείται ότι ο COV είναι χαμηλός (κάτω του 0.70 για $\zeta > 0$), με εξαίρεση την περιοχή των πολύ μικρών ιδιοπεριόδων ($T \leq 0.2$ sec), μια παρατήρηση που βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με προηγούμενες εργασίες (Nau & Hall 1984, Karpos & Kyriakakis 2000). Σημειώνεται ότι για την περιοχή των ιδιοπεριόδων που κυρίως ενδιαφέρουν τους μηχανικούς (από 0.3 ως 1.5 sec) ο COV είναι πολύ χαμηλός (για $\zeta > 0$, ενγίνει δεν ξεπερνά το 0.50), καθώς και ότι δεν παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση της διασποράς σε κάθε τύπο φάσματος.

Με δεδομένα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά των ελληνικών φασμάτων, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η εξέταση της επιρροής των εδαφικών συνθηκών στη μορφή του φάσματος. Τα μέσα φάσματα για κάθε κατηγορία εδάφους δίνονται (για $\zeta = 0$ ως 30%) στα Σχ. 3.5.13 ως 3.5.24, μαζί με τους αντίστοιχους συντελεστές διασποράς (COV) των φασματικών ψευδοεπιταχύνσεων (υπενθυμίζεται ότι παρόμοιες τιμές COV προκύπτουν και για τα άλλα φάσματα). Για κάθε τύπο εδάφους, τα επιταχυνσιογραφήματα έχουν αναχθεί στη μέση φασματική ένταση της κατηγορίας (στήλη (4) του Πιν. 3.5.1) Από την άλλη, στα Σχ.

3.5.25 ως 3.5.33 δίνονται τα μέσα φάσματα (S_{pa} , S_{pv} , S_d) για κατηγορίες εδάφους A, B και Γ, καθώς και για το σύνολο των επιταχυνσιογραφημάτων στο ίδιο διάγραμμα, για συνήθεις τιμές του συντελεστή απόσβεσης (2, 5 και 10%). Στην περίπτωση αυτή, η αναγωγή έγινε ως προς τη μέση φασματική ένταση του συνόλου των 67 συνιστωσών (στήλη (5) του Πιν. 3.5.1). Επισημαίνεται με έμφαση ότι, λόγω της ομαλοποίησης στην ίδια φασματική ένταση, τα μέσα φάσματα των Σχ. 3.5.25 ως 3.5.33 αποσκοπούν στη σύγκριση της *μορφής* του φάσματος για κάθε κατηγορία εδάφους και *όχι του μεγέθους* των φασματικών τιμών. Αυτές φαίνονται με κατάλληλες συγκρίσεις των φασμάτων των Σχ. 3.5.13 ως 3.5.24, όπου φαίνεται ότι, κατά μέσο όρο (ανά κατηγορία εδάφους), οι μέγιστες φασματικές επιταχύνσεις βαίνουν μειούμενες από το έδαφος A προς το Γ, ενώ το αντίστροφο ισχύει για τις μέγιστες φασματικές ταχύτητες και μετακινήσεις.

Η γενική παρατήρηση είναι ότι οι εδαφικές συνθήκες επηρεάζουν, όπως αναμενόταν, ποιοτικά τα φάσματα καθώς το συχνοτικό περιεχόμενο των επιταχυνσιογραφημάτων γίνεται πλουσιότερο όσο αυξάνει η κατηγορία εδάφους (όσο δηλ. μειώνεται η δυστημσία του, G), όπως π.χ. προκύπτει από σύγκριση των φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων στα Σχ. 3.5.13 (έδαφος A) και 3.5.21 (έδαφος Γ). Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι «ποσοτικά» οι διαφοροποιήσεις δεν είναι μεγάλες και ο φθίνων κλάδος των φασμάτων αρχίζει από χαμηλές ιδιοπεριόδους (0.2 ως 0.3 sec για τις ψευδοεπιταχύνσεις, 0.6 ως 0.7 sec για τις ψευδοταχύτητες, και περίπου 2.0 sec για τις μετακινήσεις). Η μόνη ουσιαστική διαφοροποίηση λόγω επιρροής των εδαφικών συνθηκών είναι ότι η κλίση του φθίνοντος κλάδου γίνεται ηπιότερη μεταβαίνοντας από το έδαφος A στο Γ. Είναι φανερό ότι οι προαναφερθείσες τιμές ιδιοπεριόδων δεν είναι συμβατές με τις τιμές που υιοθετούνται από τον ΕΑΚ, όπως θα φανεί σαφέστερα και από τις άμεσες συγκρίσεις με το φάσμα του Κανονισμού που θα ακολουθήσουν.

Στα Σχ. 3.5.25 ως 3.5.33 δίνονται τα μέσα φάσματα (S_{pa} , S_{pv} , S_d) για κατηγορίες εδάφους A, B και Γ, όπου όλα τα επιταχυνσιογραφήματα έχουν αναχθεί στη μέση φασματική ένταση που υπολογίστηκε για το σύνολο των καταγραφών. Ως αποτέλεσμα αυτής της αναγωγής, φαίνεται ότι η μέση p_{ga} είναι υψηλότερη για έδαφος A και χαμηλότερη για έδαφος Γ, κάτι που ενγένη δεν ισχύει, απλώς οι συντελεστές αναγωγής για τα επιταχυνσιογραφήματα σε έδαφος A είναι υψηλότεροι (μικρά εμβαδά του διαγράμματος S_{pv} για ιδιοπεριόδους > 0.3 sec). Αντιθέτως, *ισχύει* ότι η φασματική *ενίσχυση* στην περιοχή των αιχμών του φάσματος (χαμηλές ιδιοπεριόδοι) είναι σημαντικά υψηλότερη στα σκληρότερα εδάφη, π.χ. για τη συνήθη τιμή $\zeta=5\%$ (Σχ. 3.5.28) ο λόγος της μέγιστης φασματικής επιτάχυνσης προς την αντίστοιχη για $T=0.01\text{sec}$ ($\approx p_{ga}$) είναι περίπου 3.7 για έδαφος A, αλλά μόνο 2.2 για έδαφος Γ. Οι προηγούμενες παρατηρήσεις έχουν επίσης πρακτικές συνέπειες για τον αντισεισμικό σχεδιασμό, δεδομένου ότι δεν είναι πλήρως συμβατές με τις σύγχρονες τάσεις (βλ. π.χ. Karros 2001) για αύξηση τόσο των τιμών της p_{ga} , όσο και των φασματικών ενισχύσεων για τα μαλακότερα εδάφη. Βεβαίως, οι φασματικές τιμές των ταχυτήτων και, κυρίως, των μετακινήσεων, για μέσες και υψηλές ιδιοπεριόδους ($T>0.5\text{sec}$), είναι υψηλότερες στα μαλακότερα εδάφη (ενγένη περισσότερο απ' ό,τι φαίνεται στα Σχ. 3.5.26-3.5.27, 3.5.29-3.5.30, 3.5.32-3.5.33, λόγω και πάλι της αναγωγής).

Όπως είναι γνωστό, οι αντισεισμικοί κανονισμοί υιοθετούν για το φάσμα σχεδιασμού είτε τις *μέσες* τιμές φασματικής ενίσχυσης («μέσο φάσμα») ανηγμένες στην επιτάχυνση εδάφους που έχει μια δεδομένη πιθανότητα μη υπέρβασης π.χ. 84% ή 90%, είτε το ποσοστημόριο 84% της

φασματικής ενίσχυσης (μέση τιμή συν μία τυπική απόκλιση) ανηγμένη στη μέση επιτάχυνση εδάφους που προέκυψε από τη μελέτη σεισμικής επικινδυνότητας. Η σύγχρονη τάση είναι, βεβαίως, το «φάσμα ομοιόμορφης επικινδυνότητας» (uniform hazard spectrum) που συνεπάγεται αρκετά κοπιαστικότερη διαδικασία υπολογισμού (Kappos 2001). Στα σχήματα 3.5.34 ως 3.5.45 δίνονται τα μέσα φάσματα και τα αντίστοιχα φάσματα για ποσοστημόριο 84% (μέση τιμή συν μία τυπική απόκλιση) για τρεις τιμές του λόγου απόσβεσης ζ (5, 10 και 20%), αφενός για το σύνολο των επιταχυνσιογραφήματων και αφετέρου για κάθε κατηγορία εδάφους χωριστά. Η μορφή αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στα πλαίσια των αντισεισμικών κανονισμών, όπως προαναφέρθηκε.

Παρατηρείται καταρχήν ότι η διασπορά στις τιμές της φασματικής ενίσχυσης είναι σημαντική, π.χ. για την κατηγορία εδάφους B (όπου ανήκουν και τα περισσότερα επιταχυνσιογραφήματα) και $\xi=5\%$, η μέγιστη φασματική επιτάχυνση (για $T \approx 0.2\text{sec}$) είναι 0.75g (φασματική ενίσχυση περίπου 2.7) όταν ληφθεί το μέσο φάσμα, αλλά το διπλάσιο (1.5g και φασματική ενίσχυση περίπου 3.3) όταν ληφθεί το 84^ο ποσοστημόριο (μέση τιμή συν μία τυπική απόκλιση). Η υιοθέτηση μέσων τιμών συν μία τυπική απόκλιση τόσο για την p_{ga} όσο και για τις φασματικές ενισχύσεις κρίνεται υπερβολική, γι' αυτό και, όπως προαναφέρθηκε, οι κανονισμοί υιοθετούν τη μέση τιμή για τη μία από τις δύο παραμέτρους. Εξάλλου, η γενική εικόνα από τα υπολογισθέντα φάσματα είναι ότι η διασπορά στις τιμές της φασματικής ενίσχυσης είναι μεγαλύτερη στις ψευδοεπιταχύνσεις, μικρότερη στις ψευδοταχύτητες και ακόμη μικρότερη στις μετακινήσεις (βλ. π.χ. Σχ. 3.5.43 - 3.5.44 - 3.5.45).

Τέλος, μια άλλη σημαντική παρατήρηση σε σχέση με τα φάσματα των Σχ. 3.5.34 ως 3.5.45 είναι ότι η *μορφή* των φασμάτων ενγένει δεν αλλάζει όταν λαμβάνεται το ποσοστημόριο 84%, διατηρείται δηλαδή ο υψίσυχνος χαρακτήρας που σχολιάστηκε ήδη.

3.5.2.2 Συγκρίσεις με ΕΑΚ

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του παρόντος προγράμματος με τα φάσματα σχεδιασμού του ΕΑΚ μπορεί να γίνει κυρίως ως προς τη *μορφή* των φασμάτων, ενώ σε σχέση με το απόλυτο μέγεθος των τεταγμένων τα υπολογισθέντα μέσα (και μέσα συν μία τυπική απόκλιση) φάσματα, τα οποία στηρίζονται αποκλειστικά στις ισχυρές κινήσεις που καταγράφηκαν την τελευταία τριακονταετία, δεν είναι ενγένει συγκρίσιμα με εκείνα του ΕΑΚ που συνεκτιμούν και την ιστορική σεισμικότητα του Ελληνικού χώρου. Με βάση τις παρατηρήσεις αυτές, επιδιώχθηκε να γίνουν μια σειρά από διαφορετικές συγκρίσεις, καθεμία από τις οποίες πιστεύεται ότι έχει τη σημασία και τη χρησιμότητά της.

Στα Σχ. 3.5.46 ως 3.5.57 τα φάσματα σχεδιασμού κατά ΕΑΚ για κάθε κατηγορία εδάφους (κατηγορία Α στα Σχ. 3.5.46÷3.5.49, Β στα Σχ. 3.5.50÷3.5.53, Γ στα Σχ. 3.5.54÷3.5.57) συγκρίνονται με τα αντίστοιχα μέσα και μέσα συν μία τυπική απόκλιση φάσματα που υπολογίσθηκαν για τα επιλεγέντα 67 επιταχυνσιογραφήματα (Πιν. 3.5.1), ανηγμένα στη μέση φασματική ένταση κάθε ομάδας (δηλ. το σύνολο των επιταχυνσιογραφήματων που αντιστοιχεί σε κάθε κατηγορία εδάφους). Σημειώνεται ότι τα φάσματα που προκύπτουν από την αναγωγή αυτή δεν ταυτίζονται απαραίτητα με τις μέσες φασματικές τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε ιδιοπερίοδο (αλλά και δεν αναμένεται να διαφέρουν σημαντικά από αυτές). Οι συγκρίσεις γίνονται για τέσσερις τυπικές τιμές του ζ (2, 5, 10 και 20%) και η

αναγωγή των φασμάτων του ΕΑΚ στα διαφορετικά ζ έγινε με βάση τη γνωστή σχέση του Κανονισμού.

Παρατηρείται καταρχήν ότι σε σχέση με την p_{ga} , τα υπολογισθέντα μέσα φάσματα αντιστοιχούν περίπου σε ζώνη II για έδαφος Α και σε ζώνη III για έδαφος Β και Γ, ενώ τα μέσα συν μία τυπική απόκλιση φάσματα αντιστοιχούν περίπου σε ζώνη IV για όλα τα εδάφη (τουλάχιστον για $\zeta=5\%$). Με δεδομένες τις προαναφερθείσες παρατηρήσεις, οι αντιστοιχίσεις αυτές σημαίνουν απλώς ότι είναι λογικό να συγκριθούν οι μορφές των φασμάτων, όπως γίνεται παρακάτω.

Από τις συγκρίσεις που παρουσιάζονται στα Σχ. 3.5.46 ως 3.5.57 προκύπτει το σημαντικό συμπέρασμα ότι τα φάσματα που υιοθετούνται από τον ΕΑΚ δεν είναι αντιπροσωπευτικά των ισχυρών σεισμικών κινήσεων που έχουν καταγραφεί στον Ελληνικό χώρο από τότε που άρχισαν οι ενόργανες καταγραφές. Πιο συγκεκριμένα, τα φάσματα του ΕΑΚ φαίνονται αφενός μεν να υποτιμούν (λίγο ως πολύ) τη μέγιστη φασματική ενίσχυση, που πάντως συμβαίνει σε μια στενή περιοχή ιδιοπεριόδων (περίπου μεταξύ 0.1 και 0.2 sec), ενώ υπερτιμούν συστηματικά τη φασματική ενίσχυση σε όλη την υπόλοιπη περιοχή (άνω του 0.2 sec), που παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον αντισεισμικό σχεδιασμό. Πρέπει να τονιστεί ότι η προηγούμενη παρατήρηση ισχύει ανεξάρτητα της κατηγορίας εδάφους (βλ. π.χ. Σχ. 3.5.47, 3.5.51, 3.5.55 που αναφέρονται στην απόσβεση αναφοράς του ΕΑΚ $\zeta=5\%$).

Για να τεκμηριωθούν περαιτέρω τα προαναφερθέντα συμπεράσματα, στα Σχ. 3.5.58 ως 3.5.66 παρουσιάζονται οι τρεις τύποι μέσων φασμάτων (S_{pa} , S_{pv} , S_d) για $\zeta=5\%$ μαζί με τα αντίστοιχα φάσματα του ΕΑΚ (τα S_{pv} , S_d προκύπτουν με διαίρεση του φάσματος του Κανονισμού με ω και ω^2 , αντίστοιχα) για κάθε κατηγορία εδάφους. Για τα φάσματα του ΕΑΚ, δίνονται τόσο το ελαστικό φάσμα (του Παραρτ. Α του Κανονισμού), όσο και το φάσμα σχεδιασμού για $q=1$ της §2.3.1, όπου ο φθίνων κλάδος περιλαμβάνει τον όρο $(T_2/T)^{2/3}$ (αντί του T_2/T του ελαστικού φάσματος). Η διαφορά με τα προηγούμενα σχήματα έγκειται στον τρόπο αναγωγής των μέσων φασμάτων, ήτοι, εκτός της αναγωγής στη φασματική ένταση SI του φάσματος του ΕΑΚ (που υπολογίζεται από το αντίστοιχο S_{pv}), γίνεται επίσης αναγωγή στην ίδια p_{ga} (0.1g στα φάσματα των Σχ. 3.5.58 ως 3.5.66), καθώς και αναγωγή με βάση τόσο την SI όσο και την p_{ga} , δηλ. ανάγονται πρώτα όλα τα φάσματα στην SI του φάσματος του ΕΑΚ και κατόπιν ανάγονται στην επιλεγείσα p_{ga} (δηλ. η προκύπτουσα με βάση την πρώτη αναγωγή p_{ga} μειώνεται στην επιλεγείσα στάθμη).

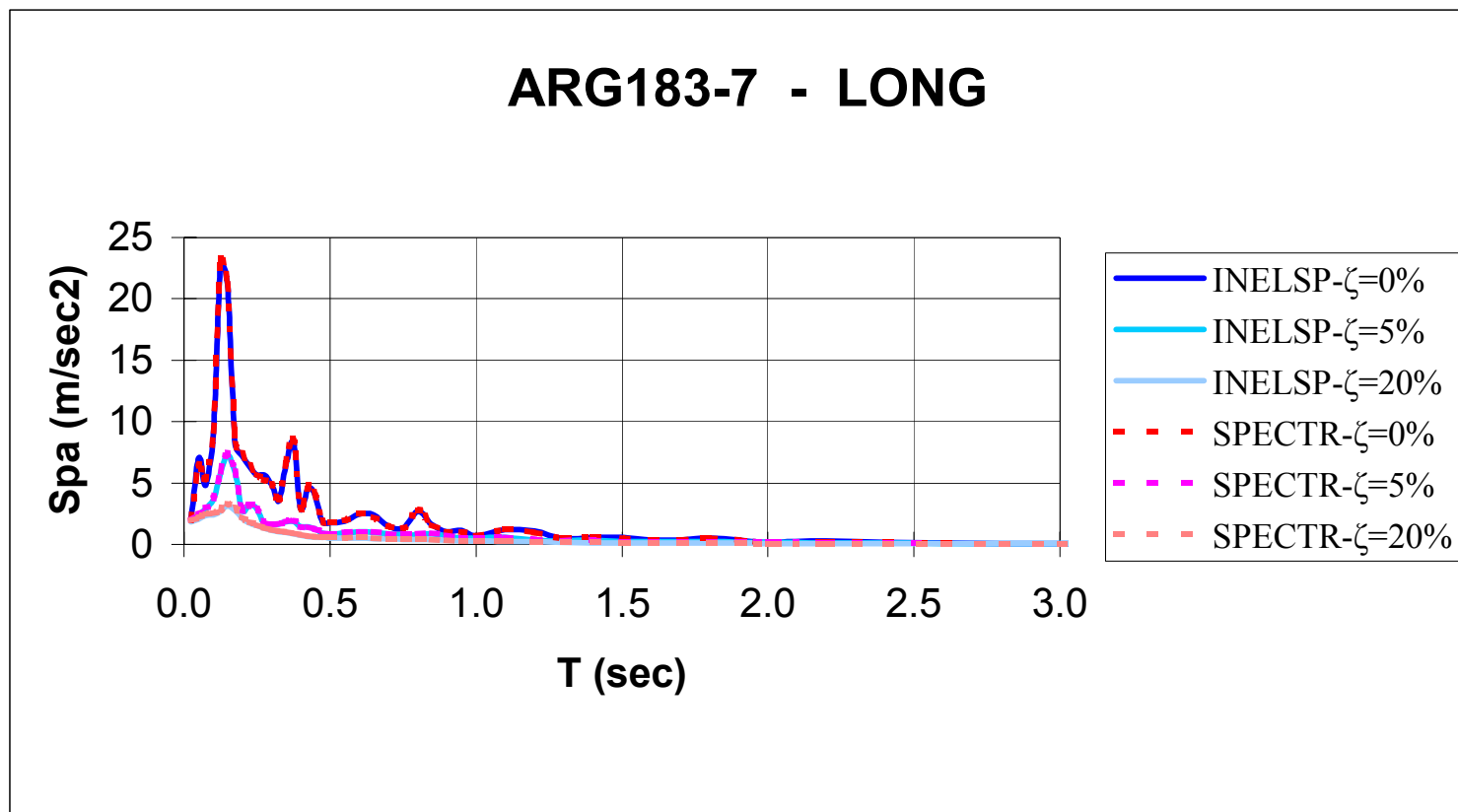
Σε σχέση με τα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων (Σχ. 3.5.58, 3.5.61, 3.5.64), παρατηρείται καταρχήν ότι η αναγωγή στην ένταση SI του φάσματος του ΕΑΚ καταλήγει σε ιδιαίτερα υψηλές τιμές επιταχύνσεων στην περιοχή των χαμηλότερων ιδιοπεριόδων (διευκρινίζεται ότι με βάση την αναγωγή αυτή το εμβαδόν κάτω από τα διαγράμματα S_{pv} των Σχ. 3.5.59, 3.5.62, 3.5.65 είναι το ίδιο, ενώ αυτό δε συμβαίνει στο φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων), που προφανώς οφείλεται στο ότι η «περίσσεια» ενέργειας στην περιοχή των υψηλότερων ιδιοπεριόδων στο φάσμα S_{pv} του ΕΑΚ εξισορροπείται με την αντίστοιχη περίσσεια ενέργειας των ανηγμένων φασμάτων στην περιοχή των χαμηλότερων ιδιοπεριόδων. Επομένως, η πρακτικά χρησιμότερη σύγκριση είναι των φασμάτων που έχουν αναχθεί με βάση και την επιτάχυνση (p_{ga}), οπότε φαίνεται καθαρά η διαφορετική (πιο υψίσυχη) μορφή τους σε σχέση με το φάσμα του ΕΑΚ, διαφορά που επιτείνεται σημαντικά όταν θεωρηθεί το φάσμα σχεδιασμού για $q=1$ (αντί του ελαστικού φάσματος). Επισημαίνεται εδώ ότι σήμερα έχει γίνει διεθνώς δεκτό ότι η χρήση του όρου $(T_2/T)^{2/3}$ στο φάσμα σχεδιασμού είναι αδικαιολόγητη όταν γίνεται δυναμική

ανάλυση και ήδη στο τελικό κείμενο του Ευρωκώδικα 8 (Ιούνιος 2002) έχει καταργηθεί ο εκθέτης 2/3.

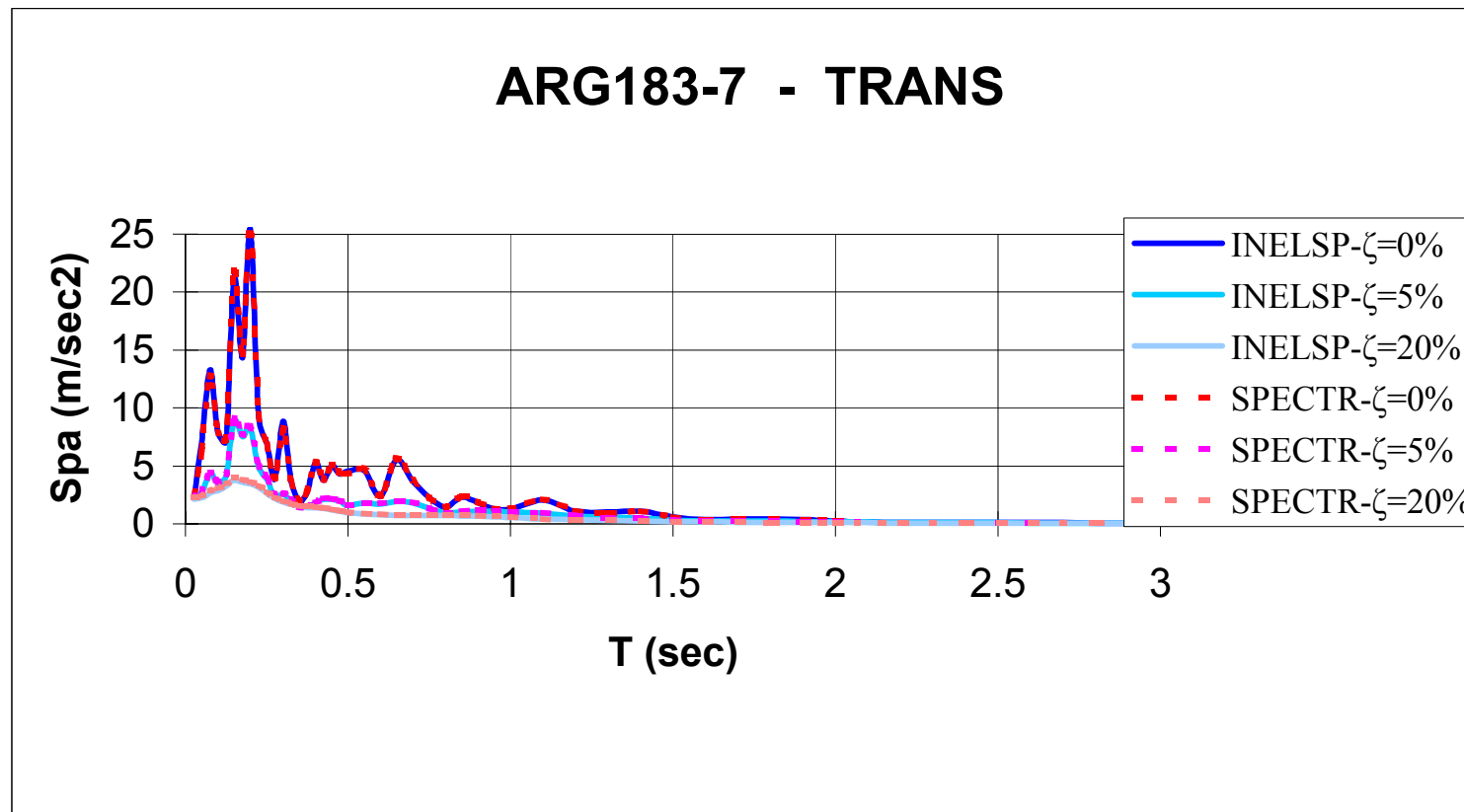
Μια άλλη πρακτικά σημαντική συνέπεια των προαναφερθεισών παρατηρήσεων είναι η σημαντική υπερτίμηση των ταχυτήτων και, κυρίως, των μετακινήσεων, οι οποίες παρουσιάζουν και ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το σύγχρονο αντισεισμικό σχεδιασμό. Αναφορικά με τα Σχ. 3.5.60, 3.5.63 και 3.5.65 (φάσματα S_d) παρατηρείται ότι οι μετακινήσεις που προκύπτουν σύμφωνα με τα φάσματα του ΕΑΚ ουδεμία σχέση έχουν με εκείνες που προκύπτουν με βάση τις πραγματικές καταγραφές των Ελληνικών σεισμών, με εξαίρεση την περιοχή των πολύ χαμηλών ιδιοπεριόδων (κάτω του 0.3), που δεν έχει και ιδιαίτερη πρακτική σημασία. Ειδικότερα οι μετακινήσεις που προκύπτουν από το φάσμα σχεδιασμού για $q=1$ είναι εξόφθαλμα εξωπραγματικές και, βεβαίως, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό.

Στα Σχ. 3.5.67 ως 3.5.69 δίνονται με εποπτικό τρόπο οι συγκρίσεις των ελαστικών φασμάτων του ΕΑΚ (S_{pa} , S_{pv} , S_d) για $\zeta=5\%$ με τα υπολογισθέντα στο παρόν πρόγραμμα (και οι τρεις καμπύλες για τις τρεις κατηγορίες εδάφους δίνονται στο ίδιο διάγραμμα), ανηγμένα στην ίδια επιτάχυνση ($p_{ga}=0.1g$). Από τα σχήματα αυτά και στο μέτρο που οι πολυάριθμες καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη είναι όντως αντιπροσωπευτικές της σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα, προκύπτει σαφώς η ανάγκη αναθεώρησης των φασμάτων του ΕΑΚ, ιδιαίτερα εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση μετακινήσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάγκη εκτίμησης των σεισμικών μετακινήσεων προκύπτει ήδη με την εισαγωγή (στα τέλη του 2003) του νέου Ελληνικού Κανονισμού Επεμβάσεων, ο οποίος υιοθετεί και τις ανελαστικές μεθόδους, με έμφαση στην ανελαστική στατική ανάλυση (για στοχευόμενη μετακίνηση εκτιμώμενη από το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα).

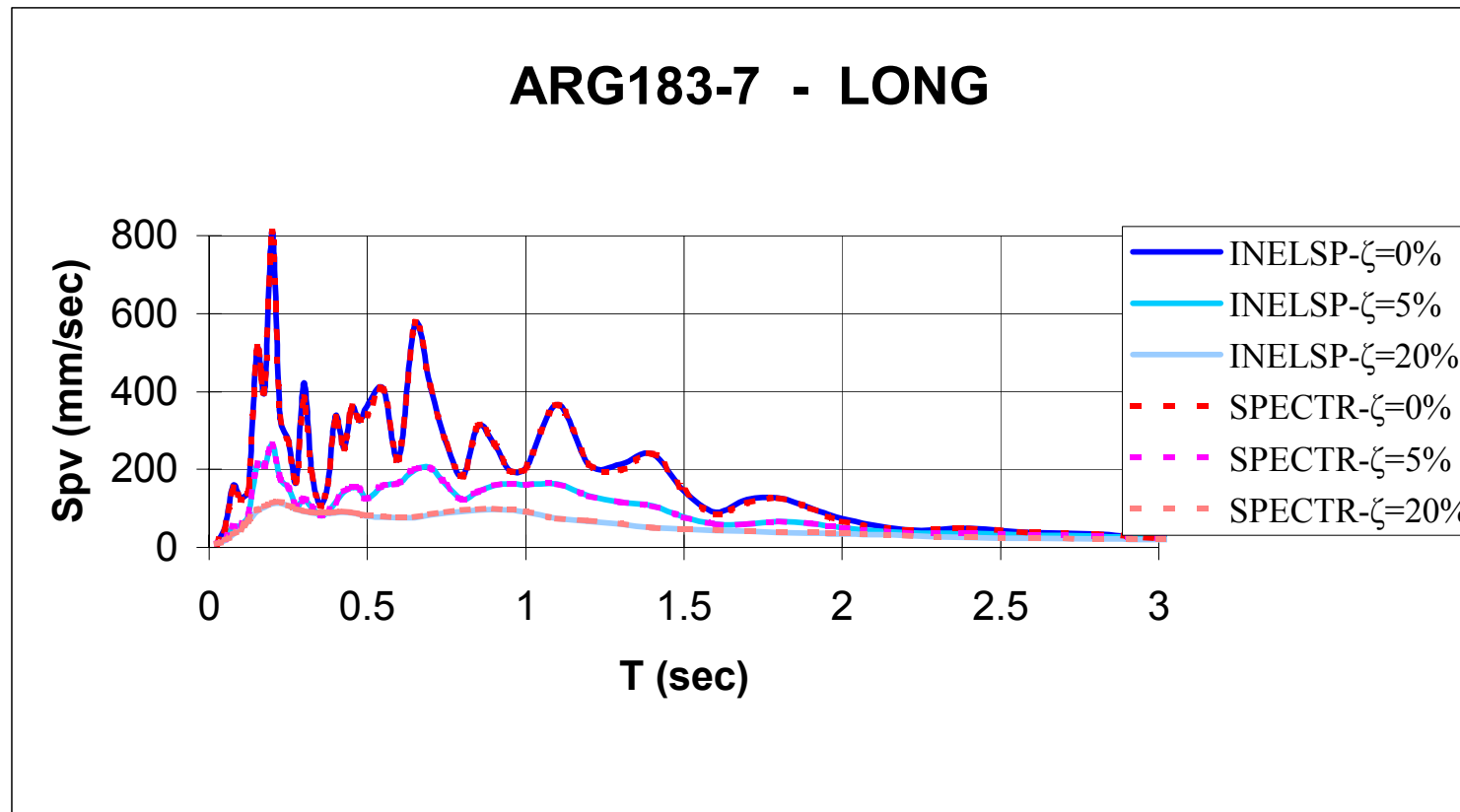
Στα Σχ. 3.5.70 ως 3.5.75 φαίνονται, ανά κατηγορία εδάφους, τα φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων που προέκυψαν από την ανάλυση για $\zeta=2\div 20\%$, καθώς και τα αντίστοιχα φάσματα του ΕΑΚ 2000, ανηγμένα στην ίδια p_{ga} (0.1g). Η γενική εικόνα από τη σύγκριση των φασμάτων του Κανονισμού με τα υπολογισθέντα είναι ότι τα πρώτα είναι κατά κανόνα συντηρητικότερα από τα δεύτερα (υψηλότερες τιμές τεταγμένων) για ποσοστά απόσβεσης υψηλότερα του 5%.



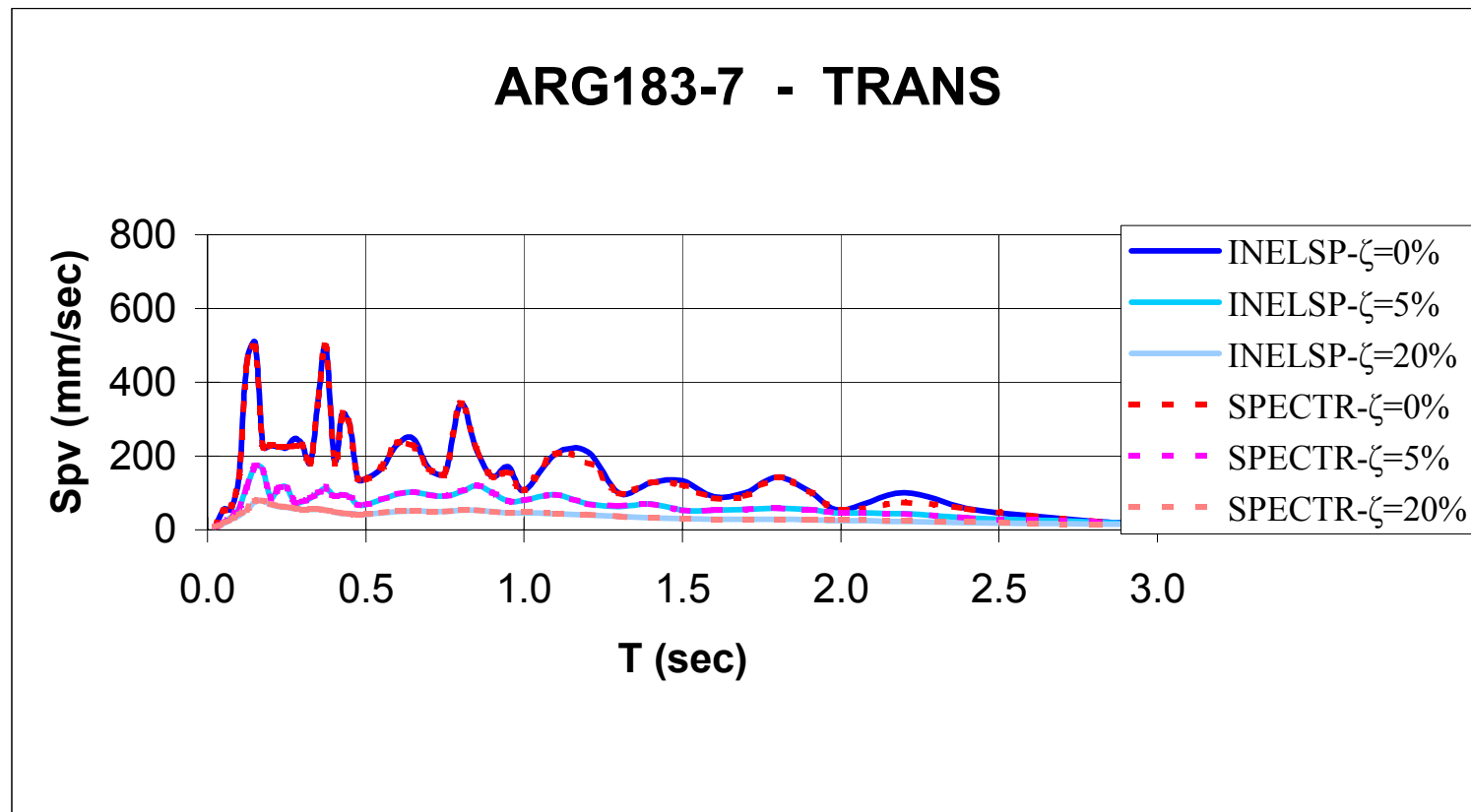
Σχ. 3.5.1 Σύγκριση ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων που προέκυψαν από τα προγράμματα INELSP-2000 και SPECTR-92



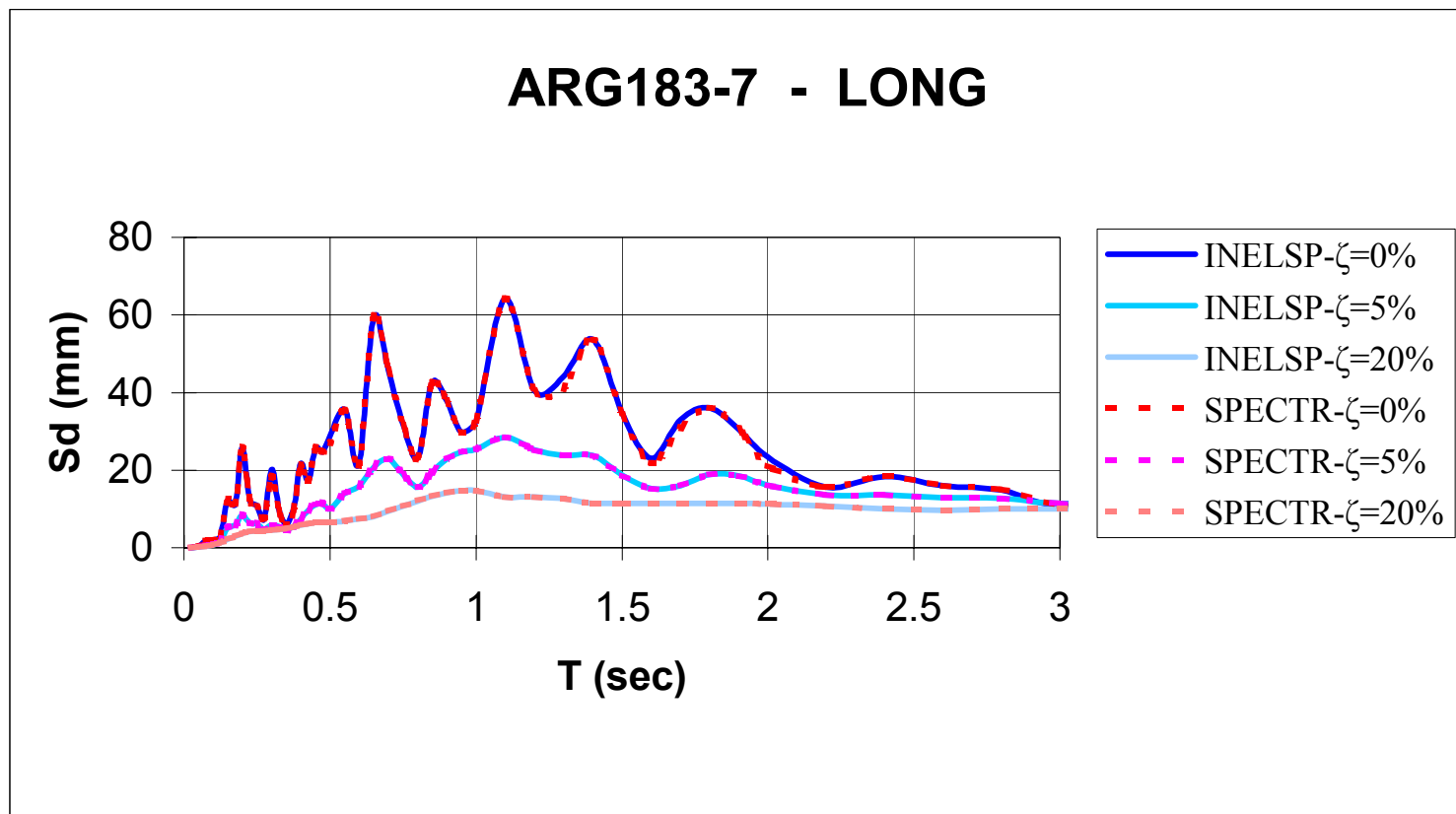
Σχ. 3.5.2 Σύγκριση ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων που προέκυψαν από τα προγράμματα INELSP-2000 και SPECTR-92



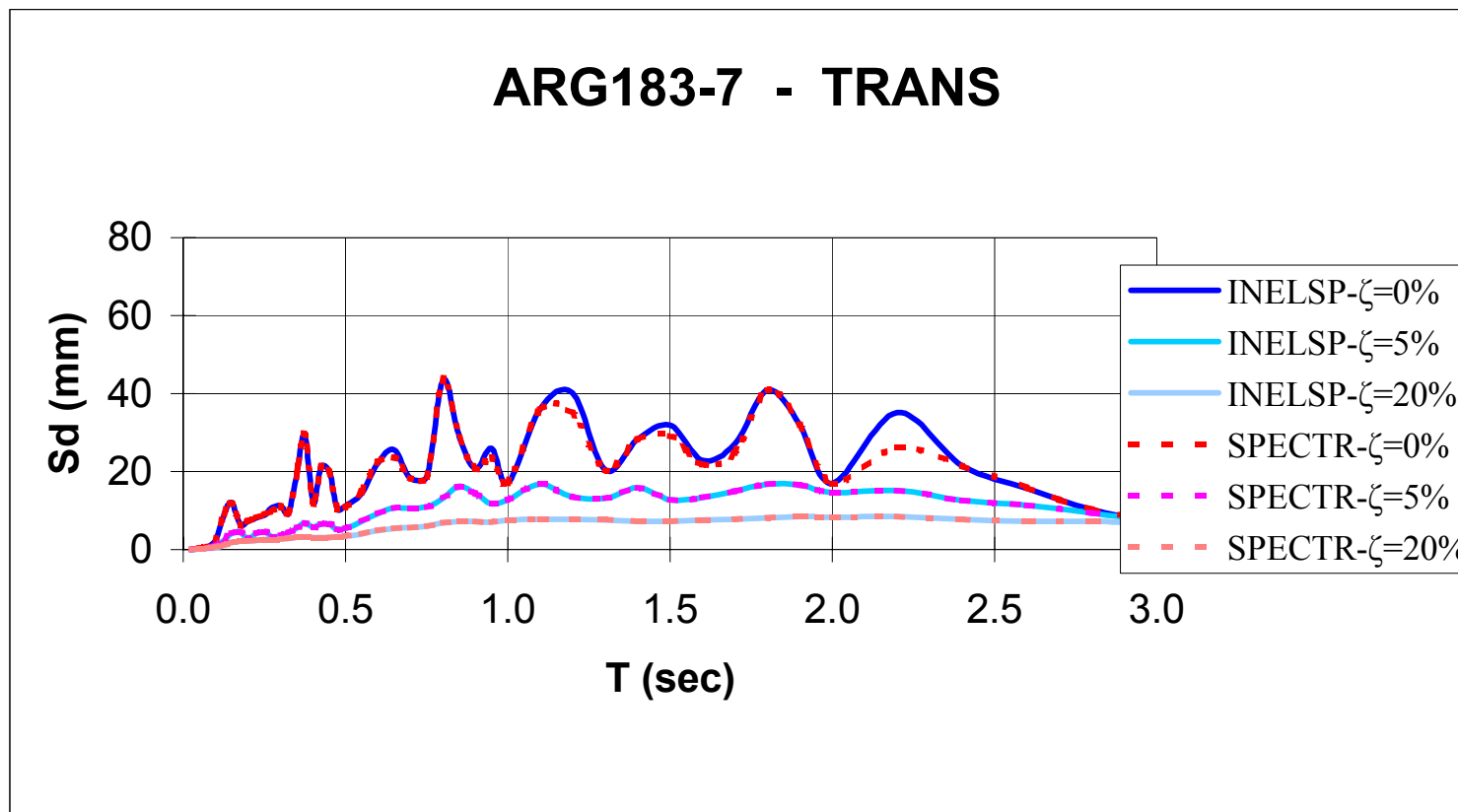
Σχ. 3.5.3 Σύγκριση ελαστικών φασμάτων ψευδοταχυτήτων που προέκυψαν από τα προγράμματα INELSP-2000 και SPECTR-92



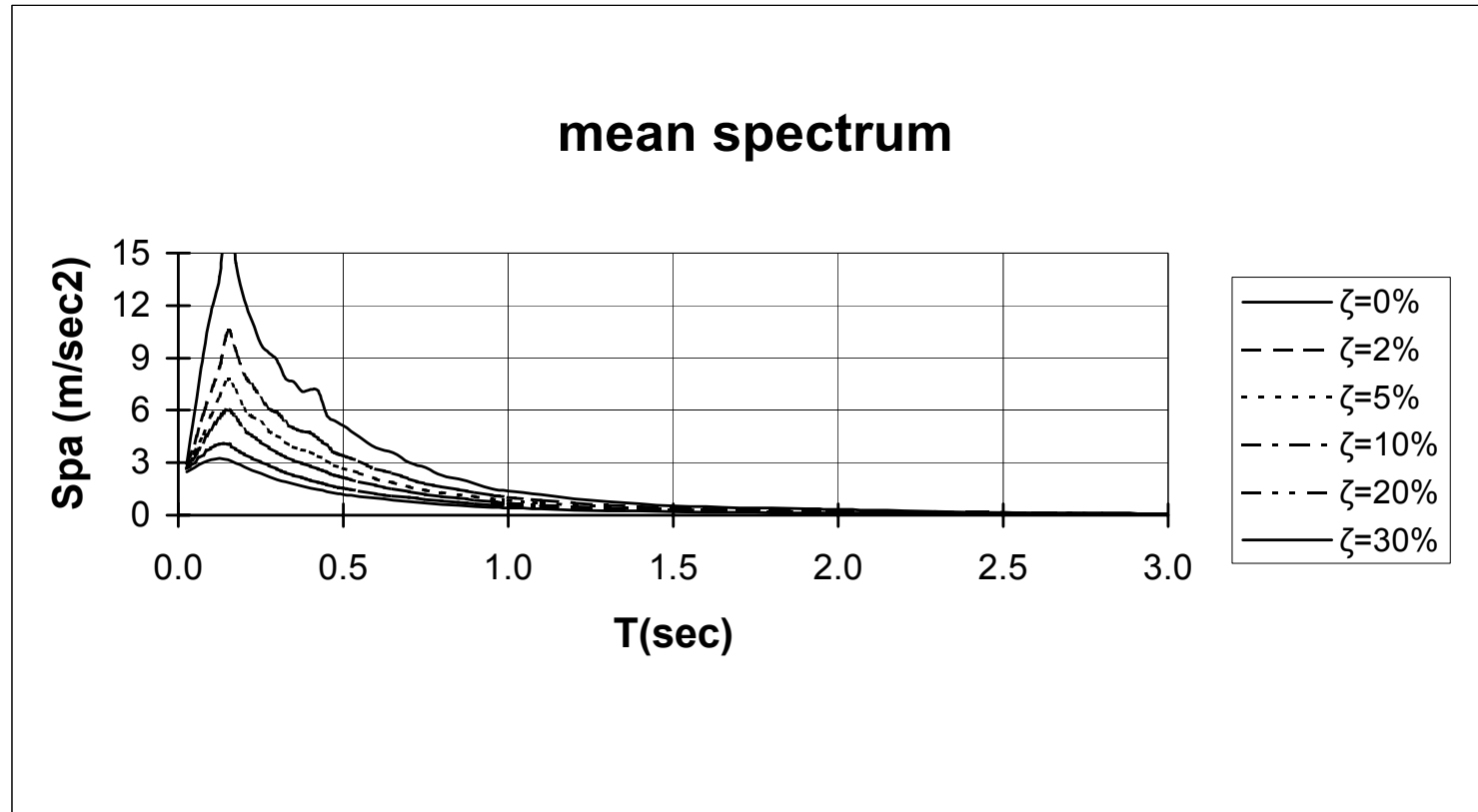
Σχ. 3.5.4 Σύγκριση ελαστικών φασμάτων ψευδοταχυτήτων που προέκυψαν από τα προγράμματα INELSP-2000 και SPECTR-92



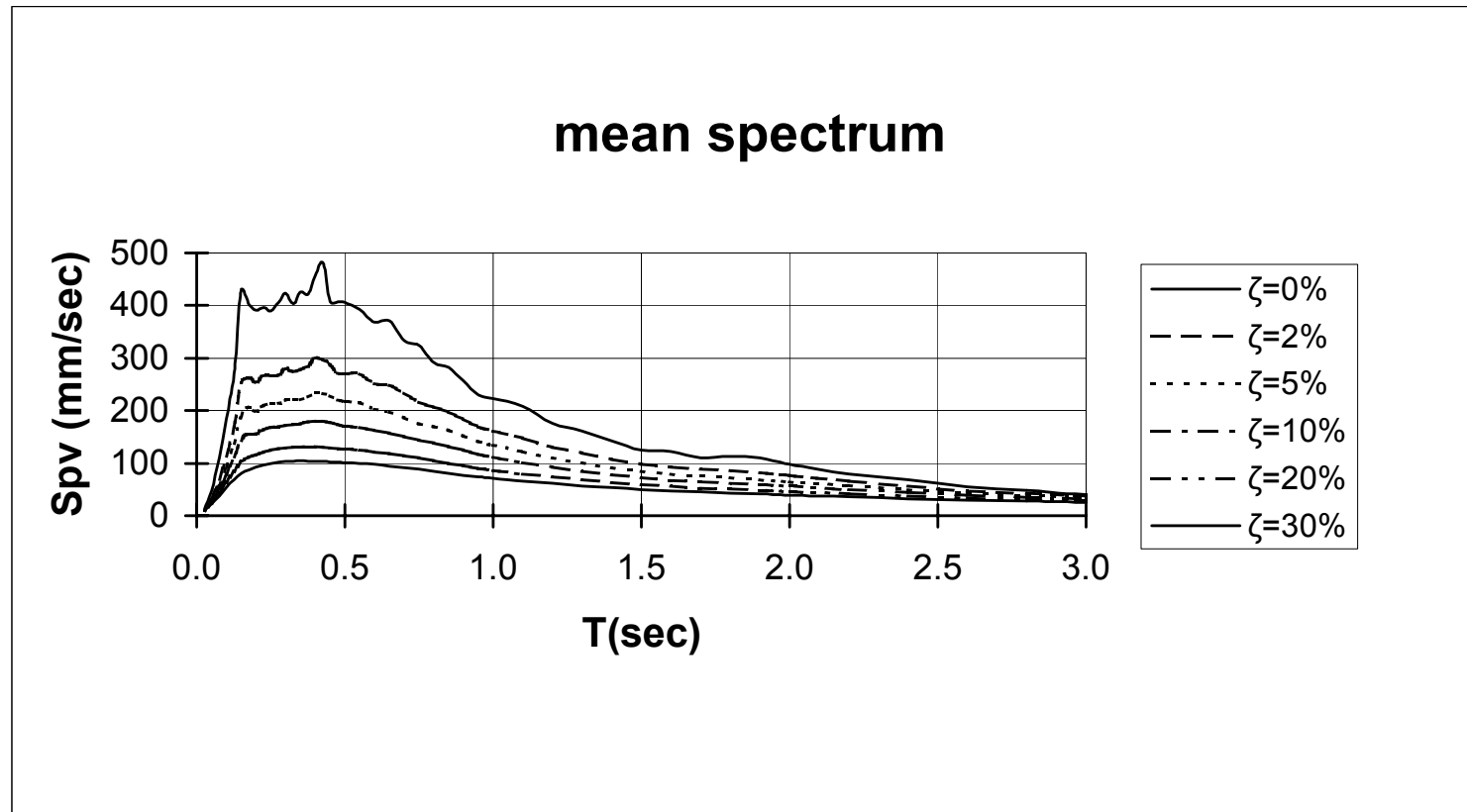
Σχ. 3.5.5 Σύγκριση ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων που προέκυψαν από τα προγράμματα INELSP-2000 και SPECTR-92



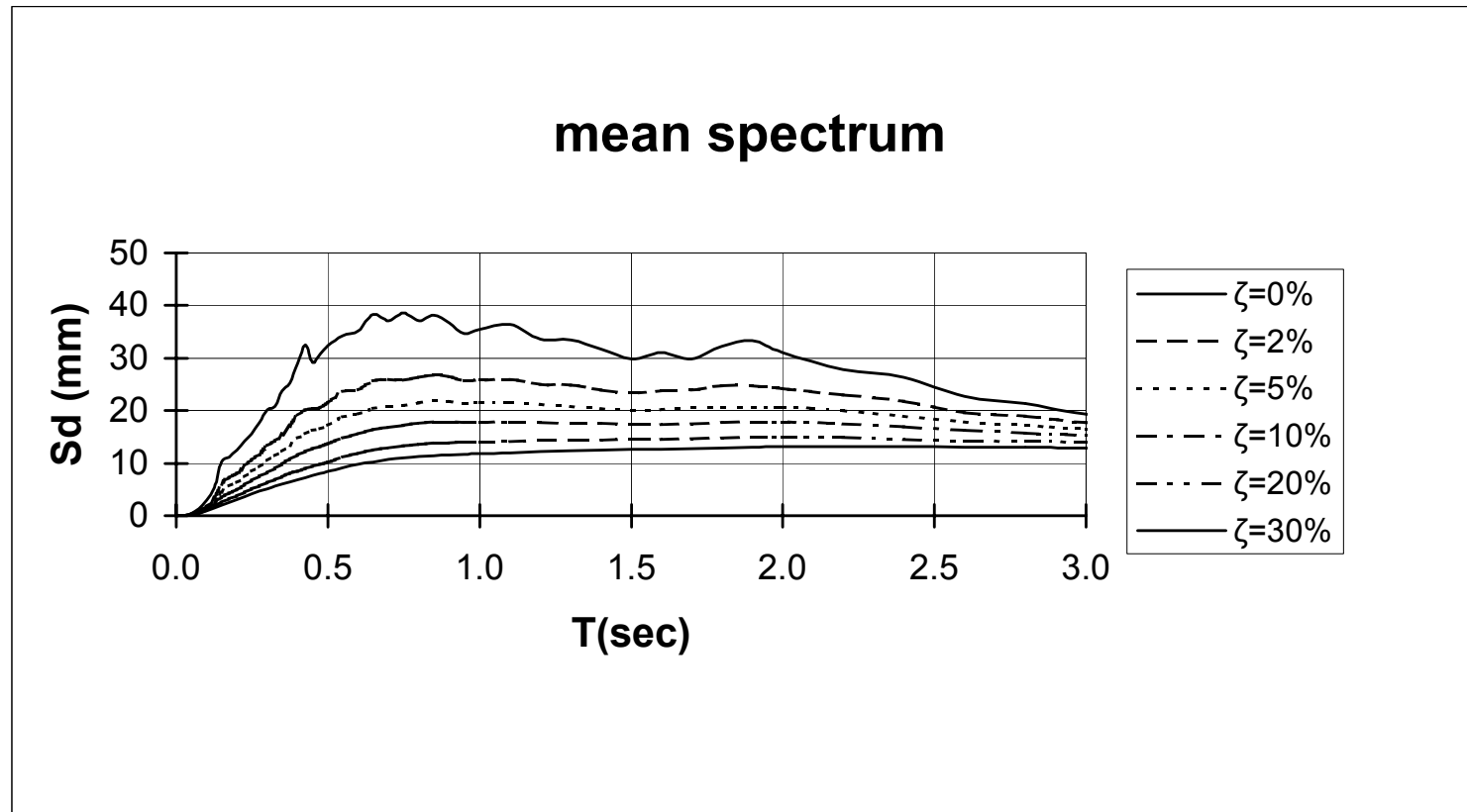
Σχ. 3.5.6 Σύγκριση ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων που προέκυψαν από τα προγράμματα INELSP-2000 και SPECTR-92



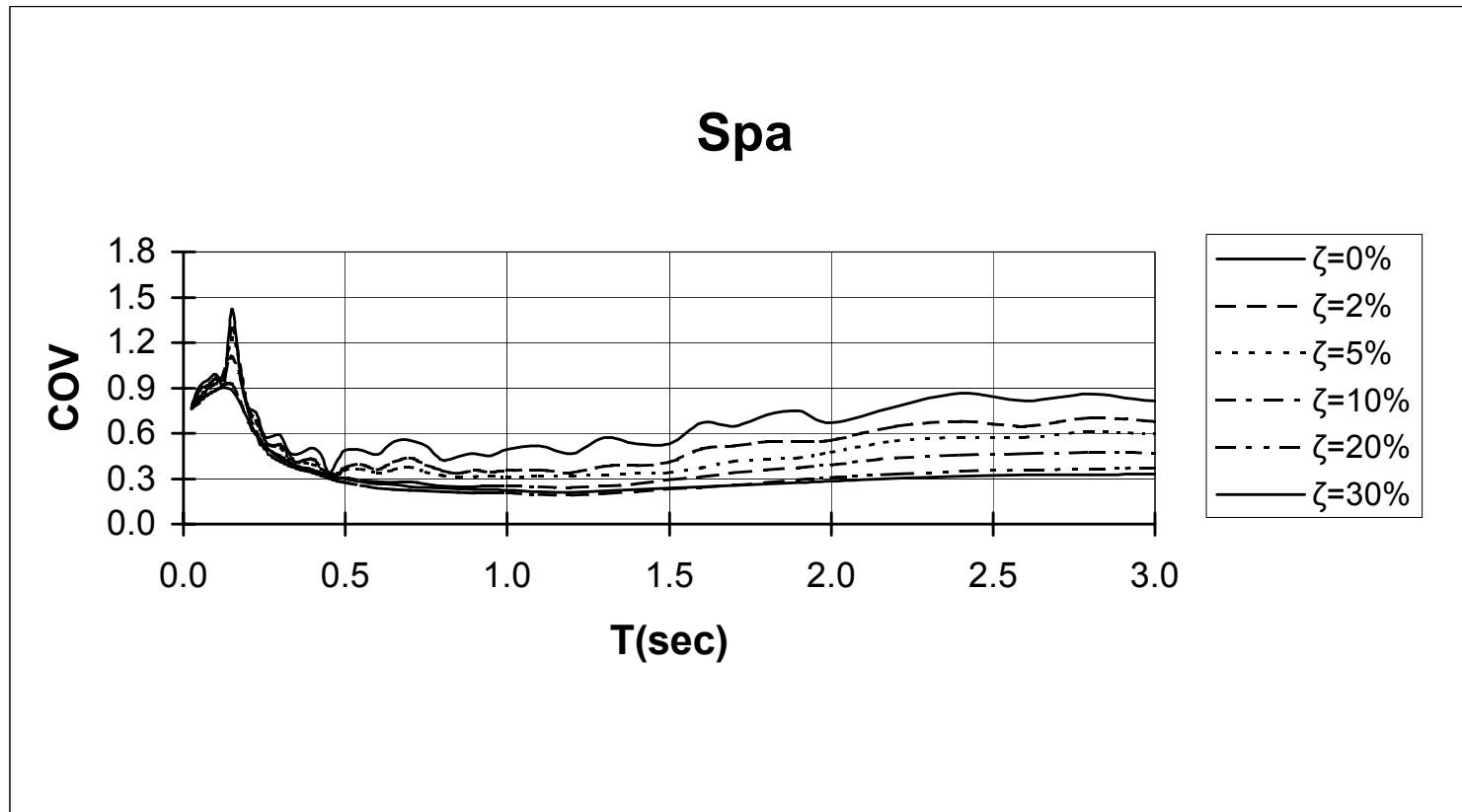
Σχ. 3.5.7 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



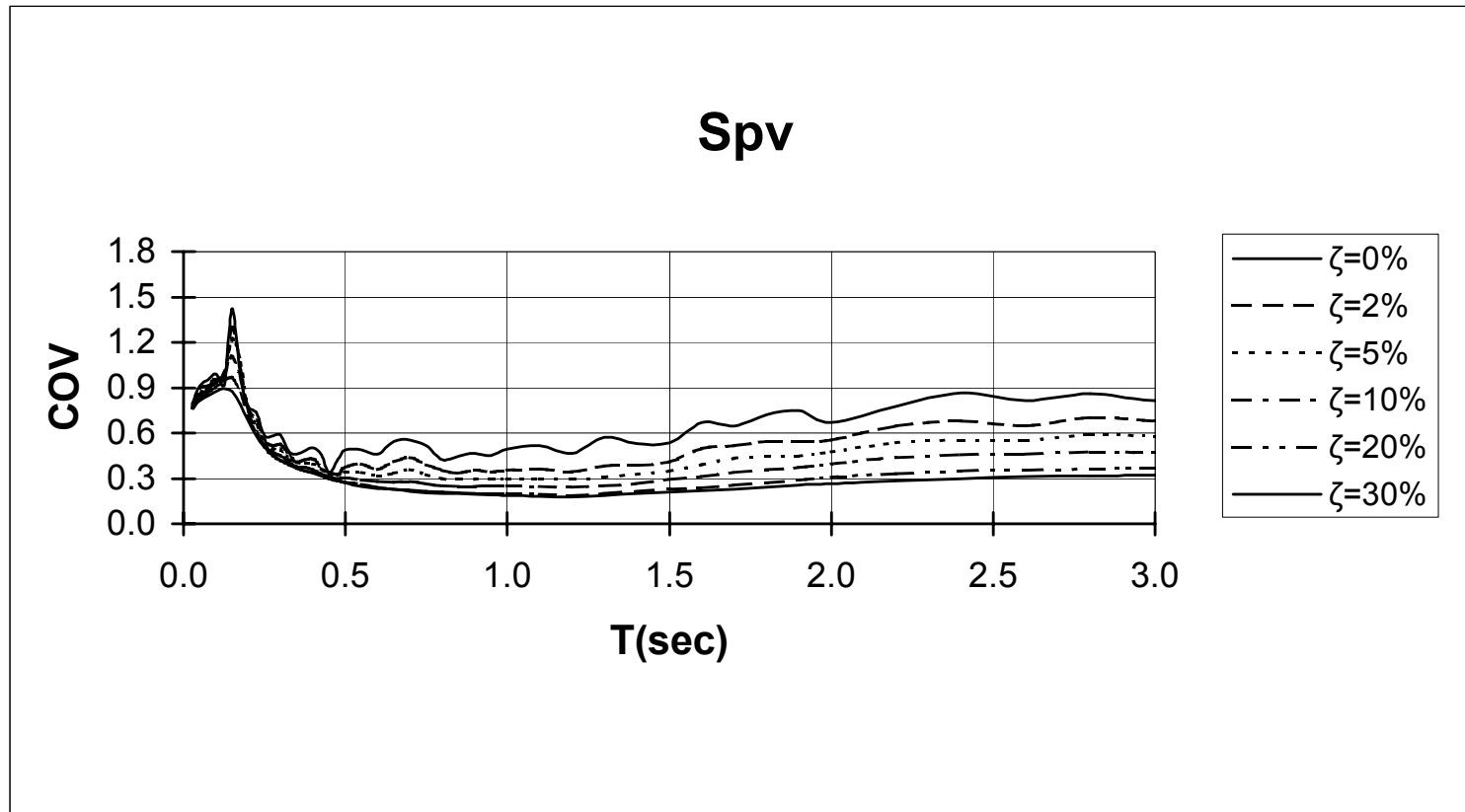
Σχ. 3.5.8 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



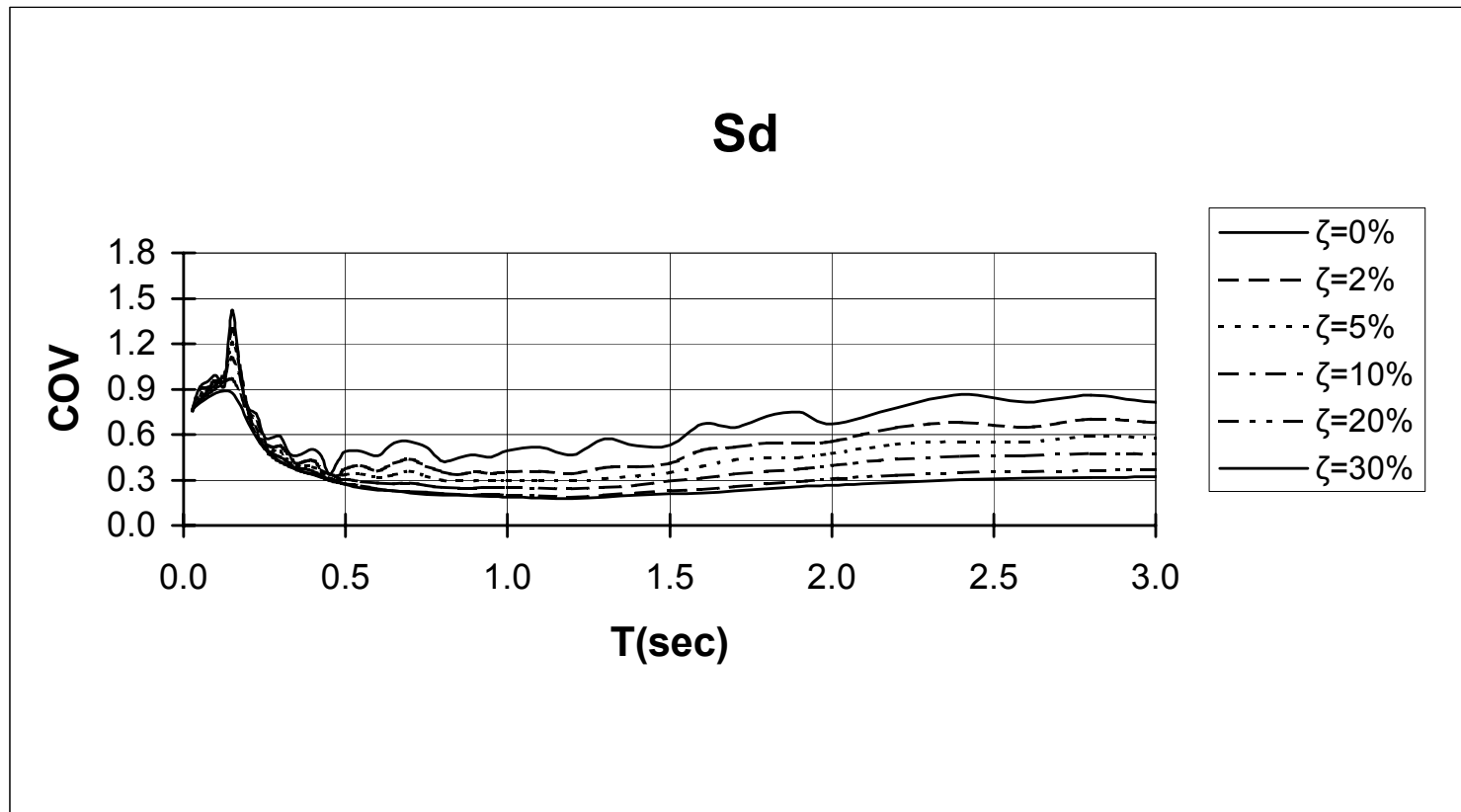
Σχ. 3.5.9 Μέσο ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



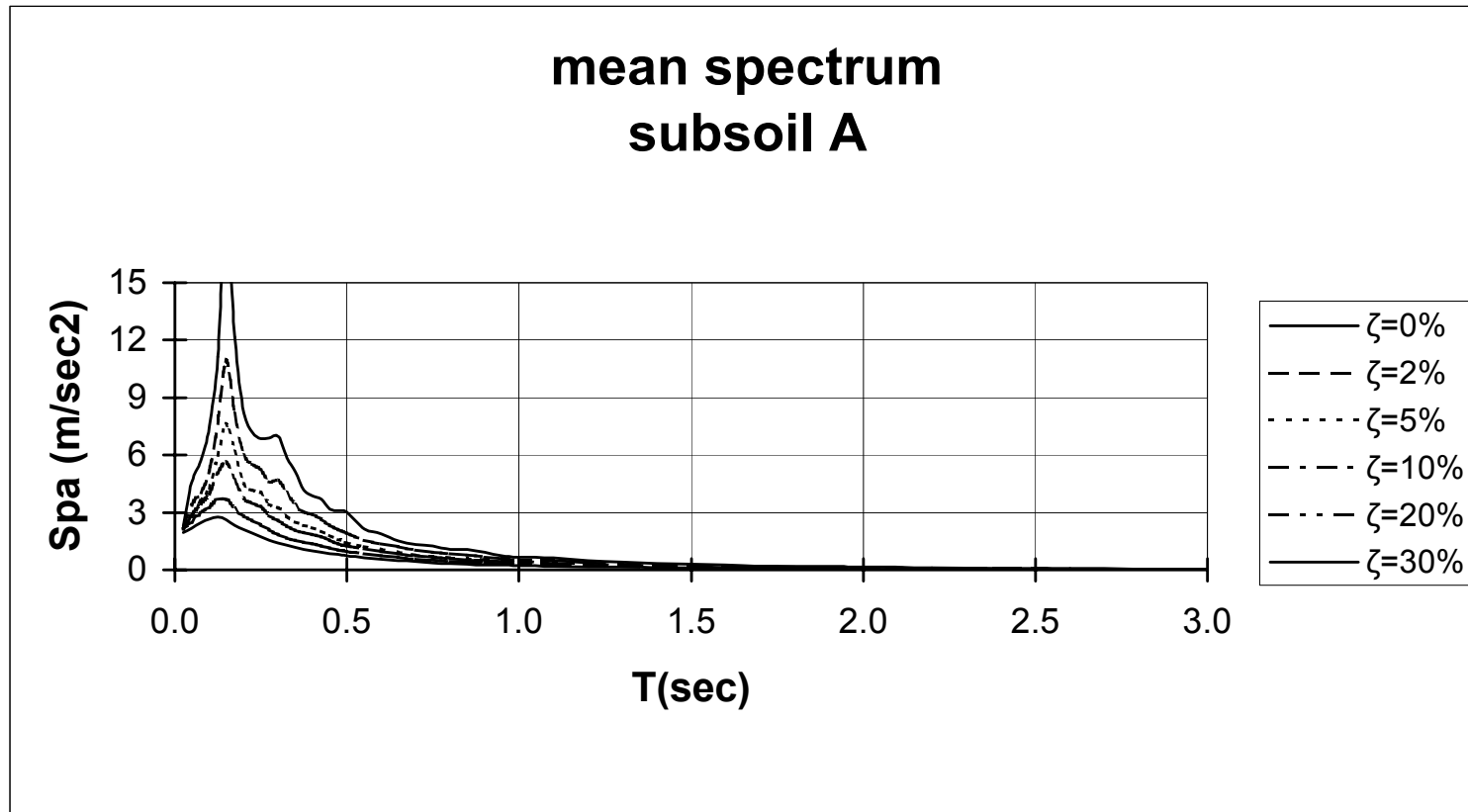
Σχ. 3.5.10 Συντελεστές διασποράς φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων



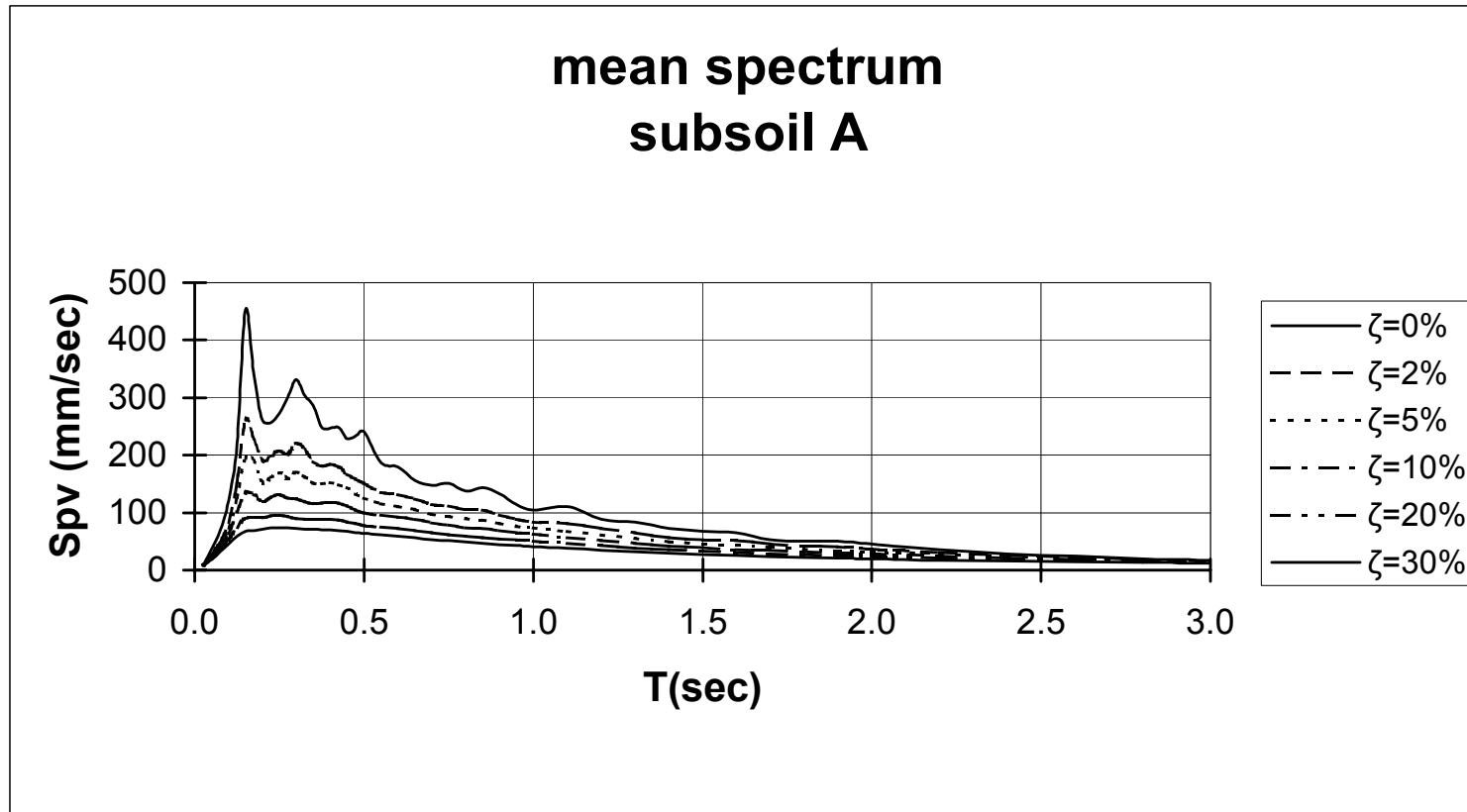
Σχ. 3.5.11 Συντελεστές διασποράς φασμάτων ψευδοταχυτήτων



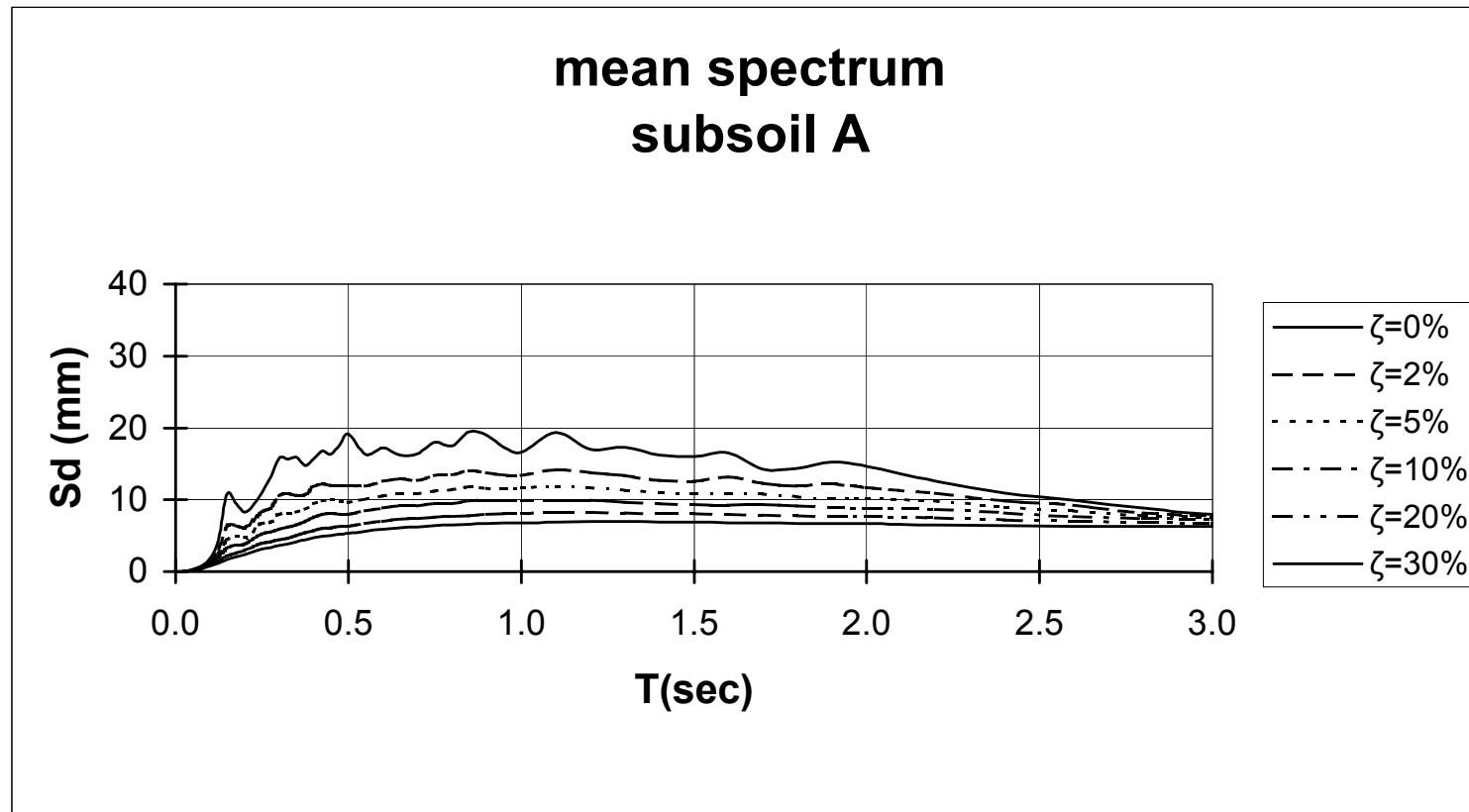
Σχ. 3.5.12 Συντελεστές διασποράς φασμάτων μετακινήσεων



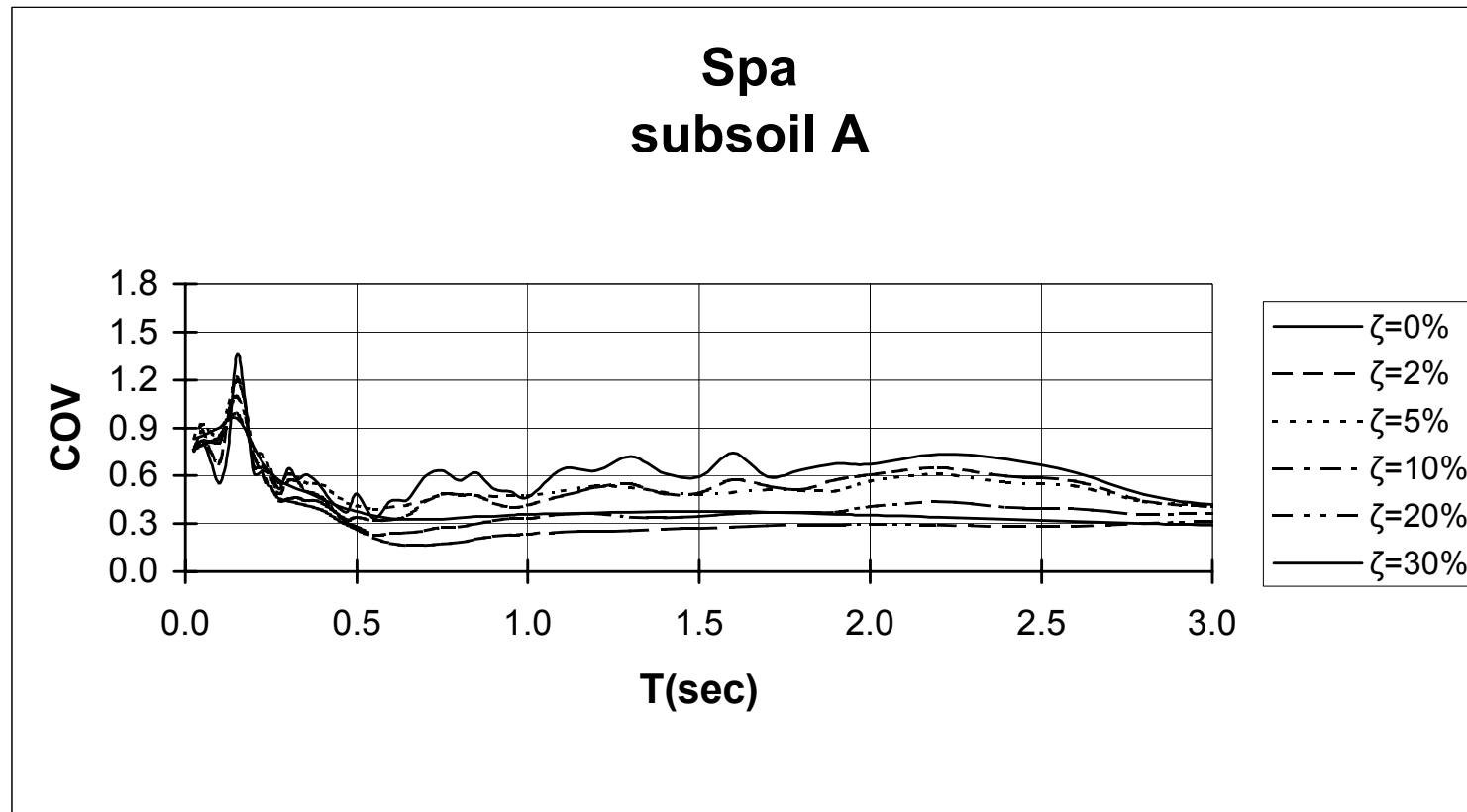
Σχ. 3.5.13 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



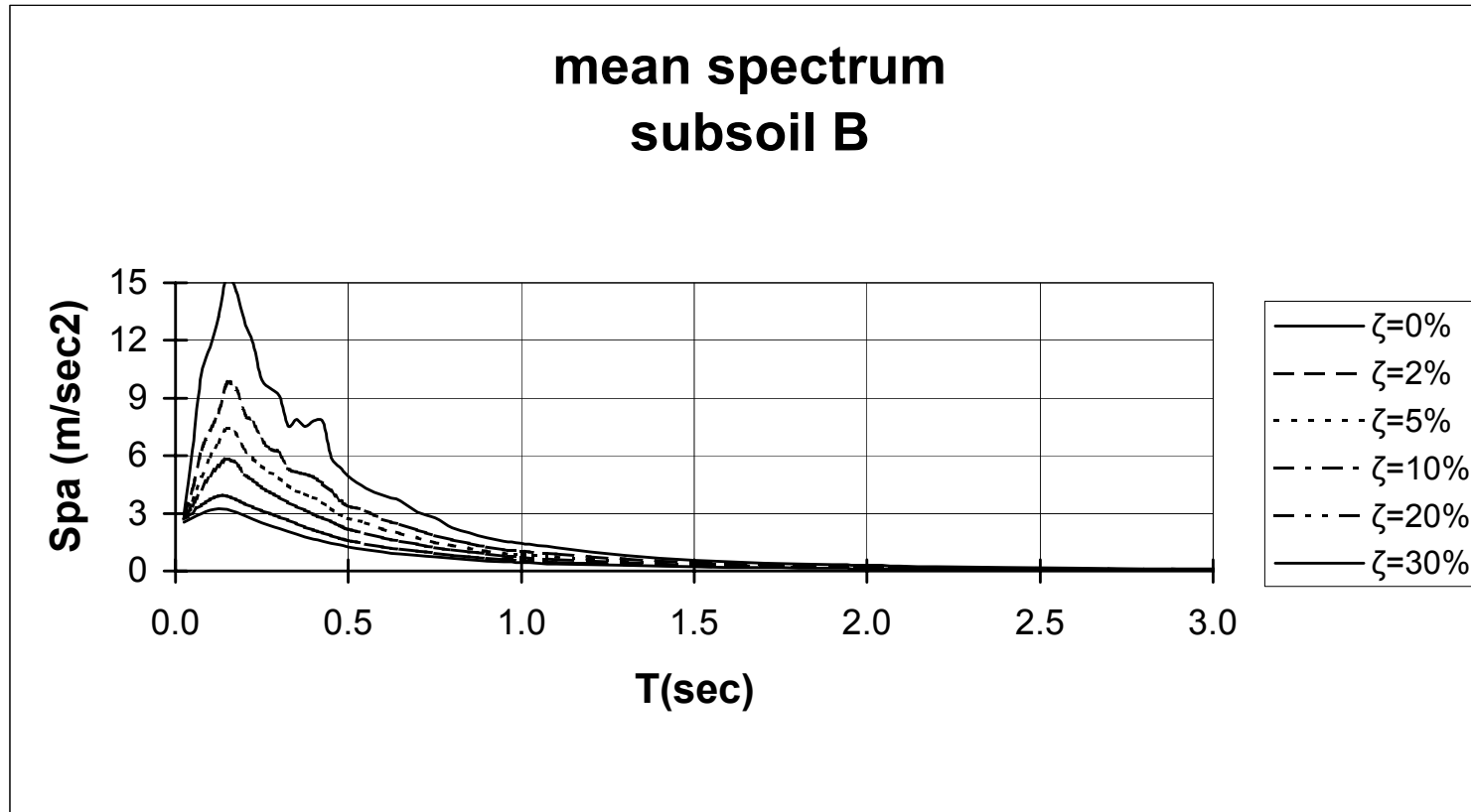
Σχ. 3.5.14 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



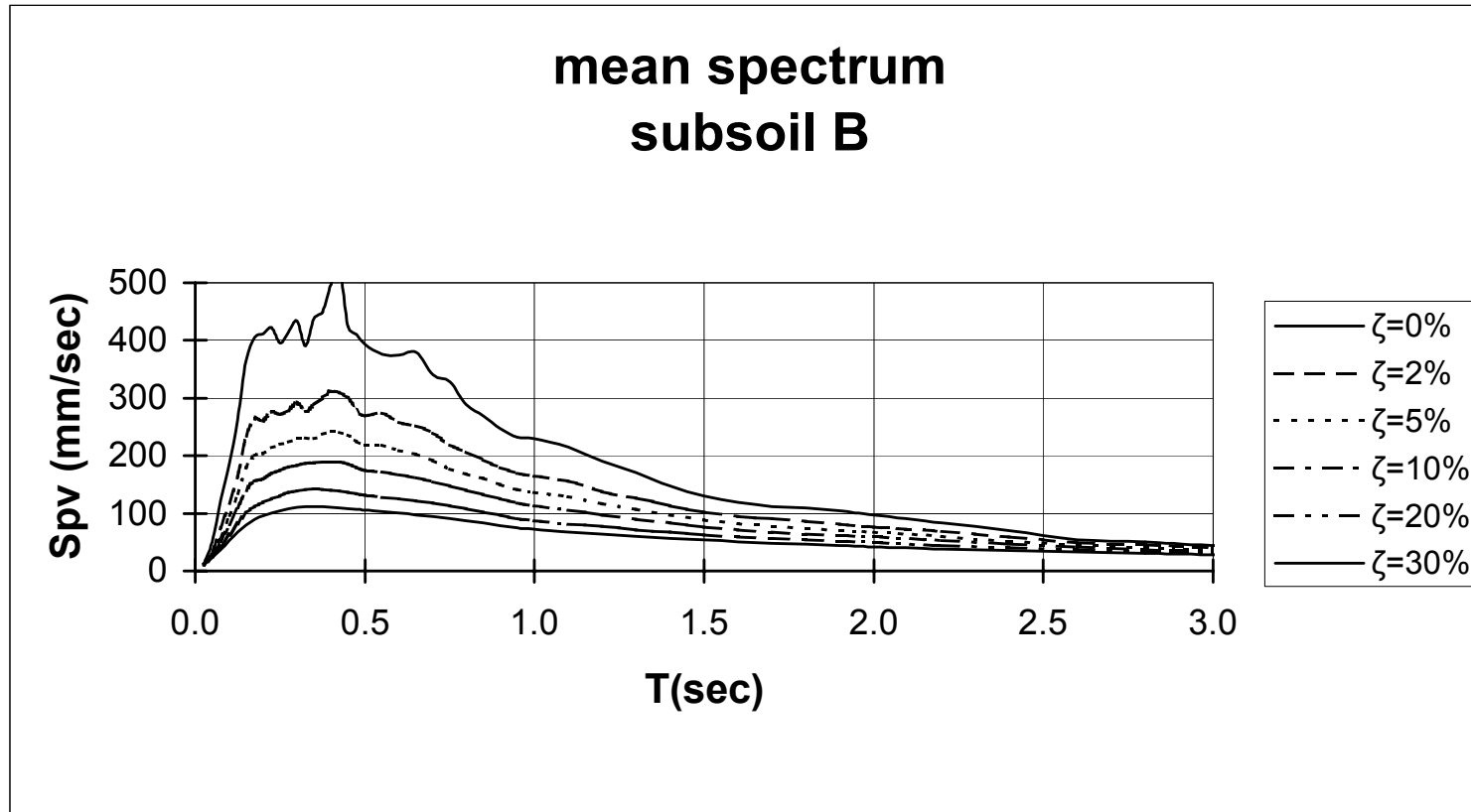
Σχ. 3.5.15 Μέσο ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



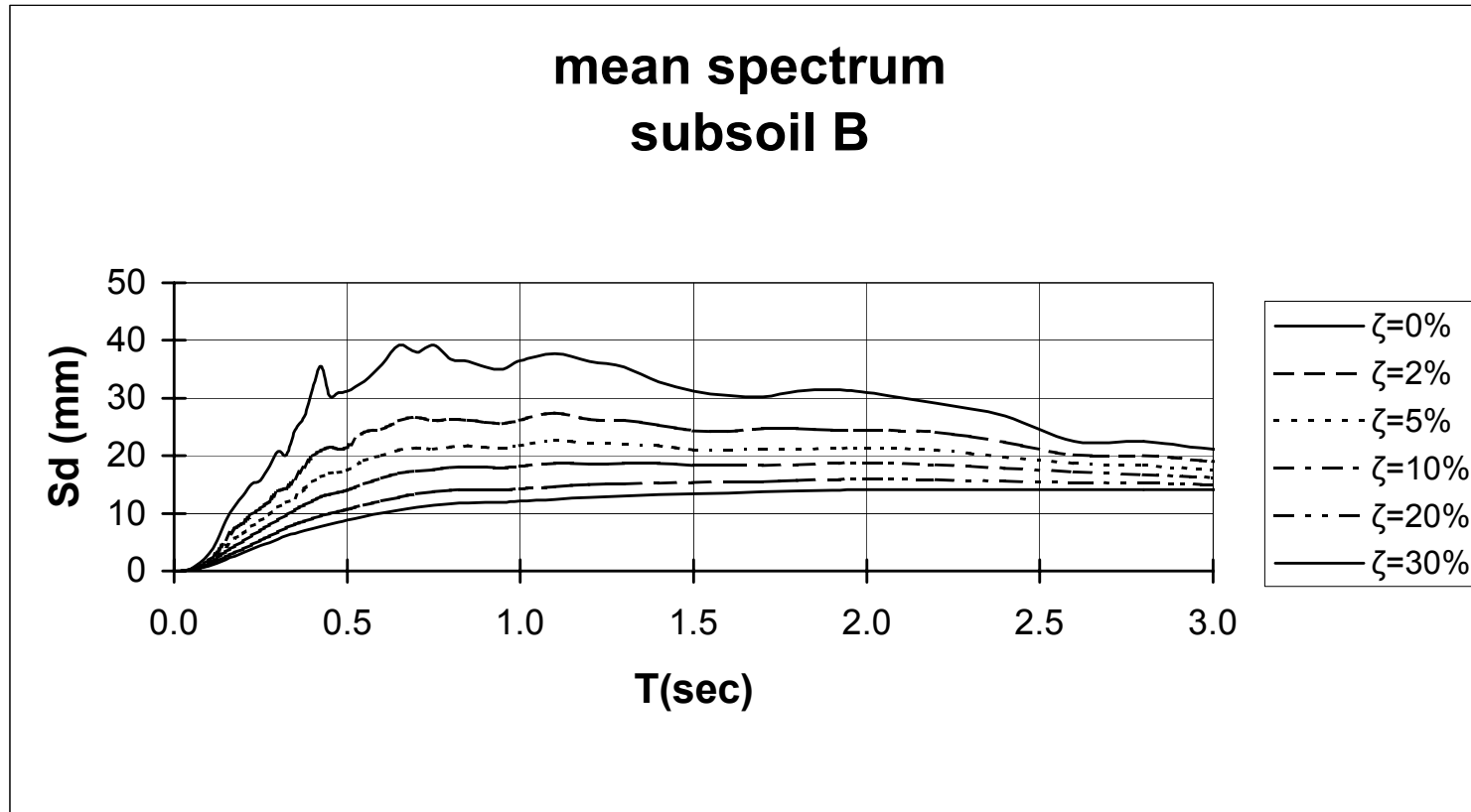
Σχ. 3.5.16 Συντελεστές διασποράς φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων



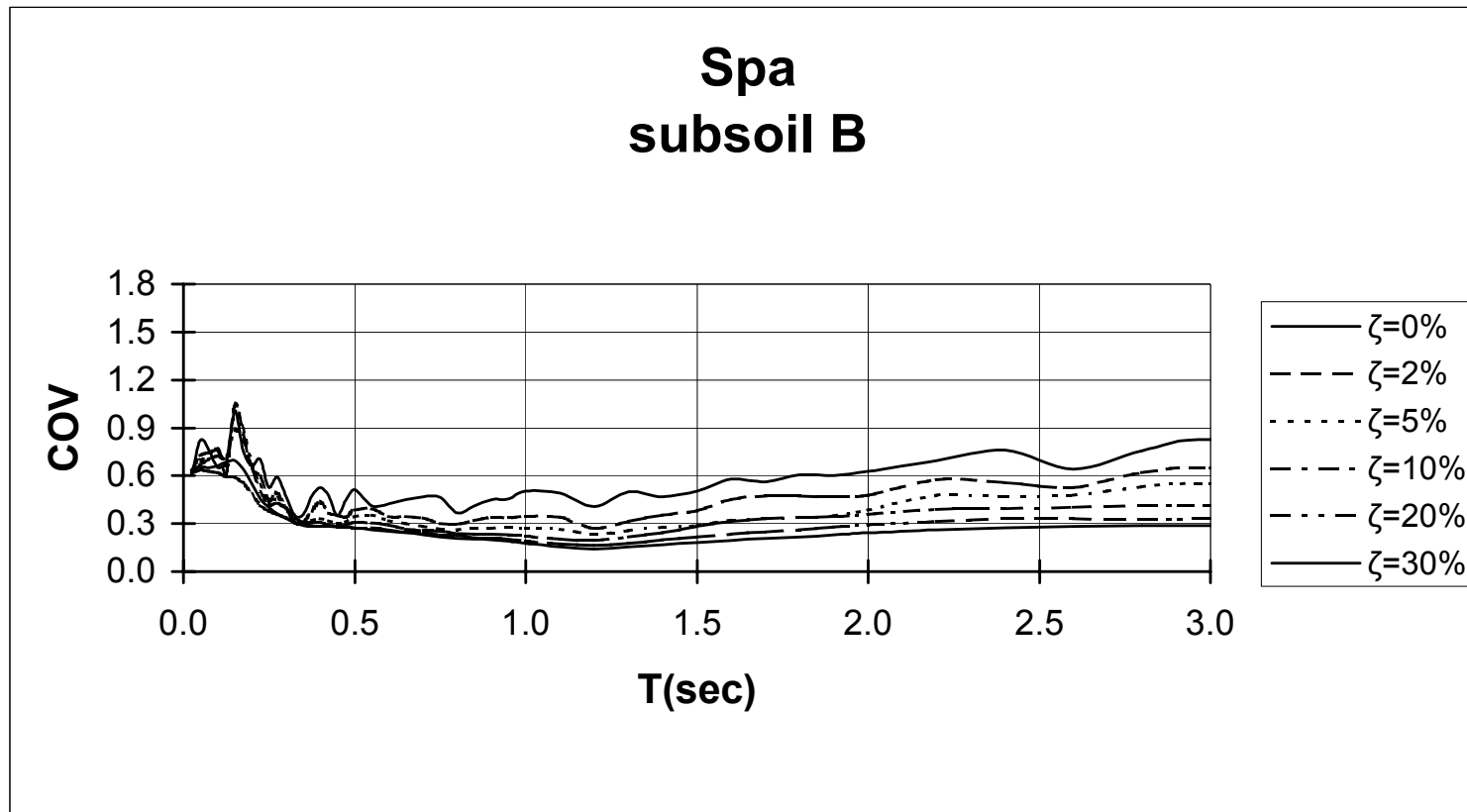
Σχ. 3.5.17 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



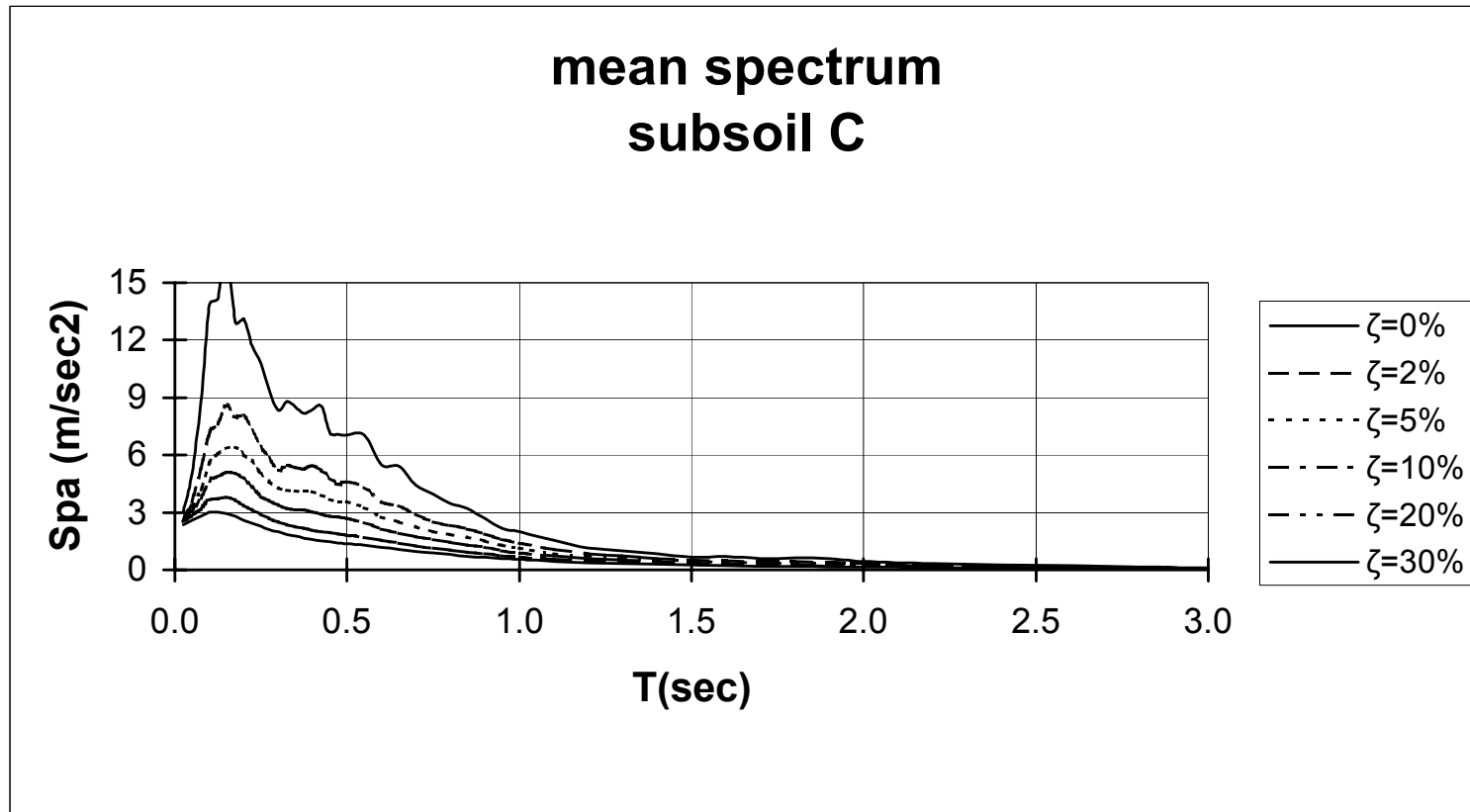
Σχ. 3.5.18 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



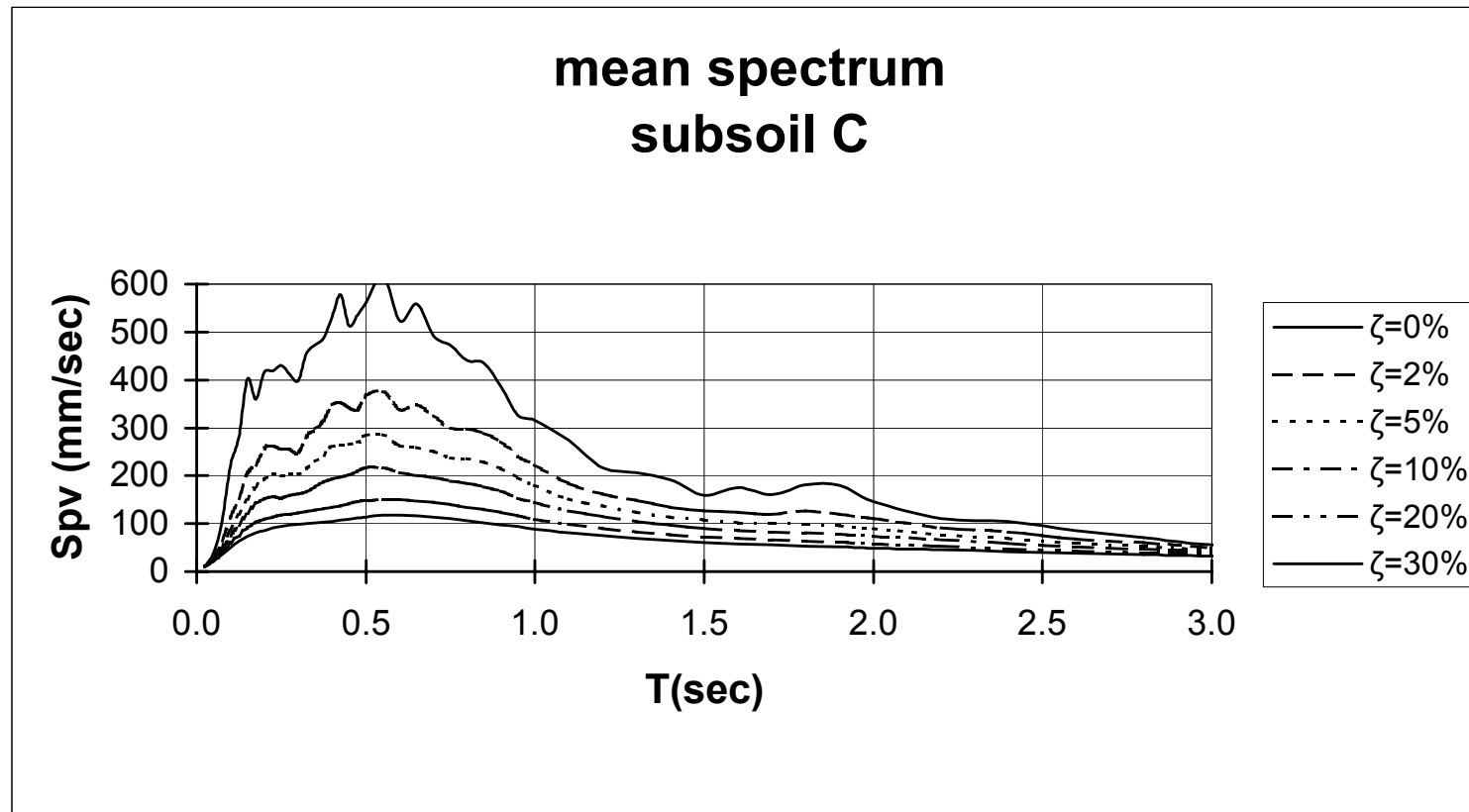
Σχ. 3.5.19 Μέσο ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



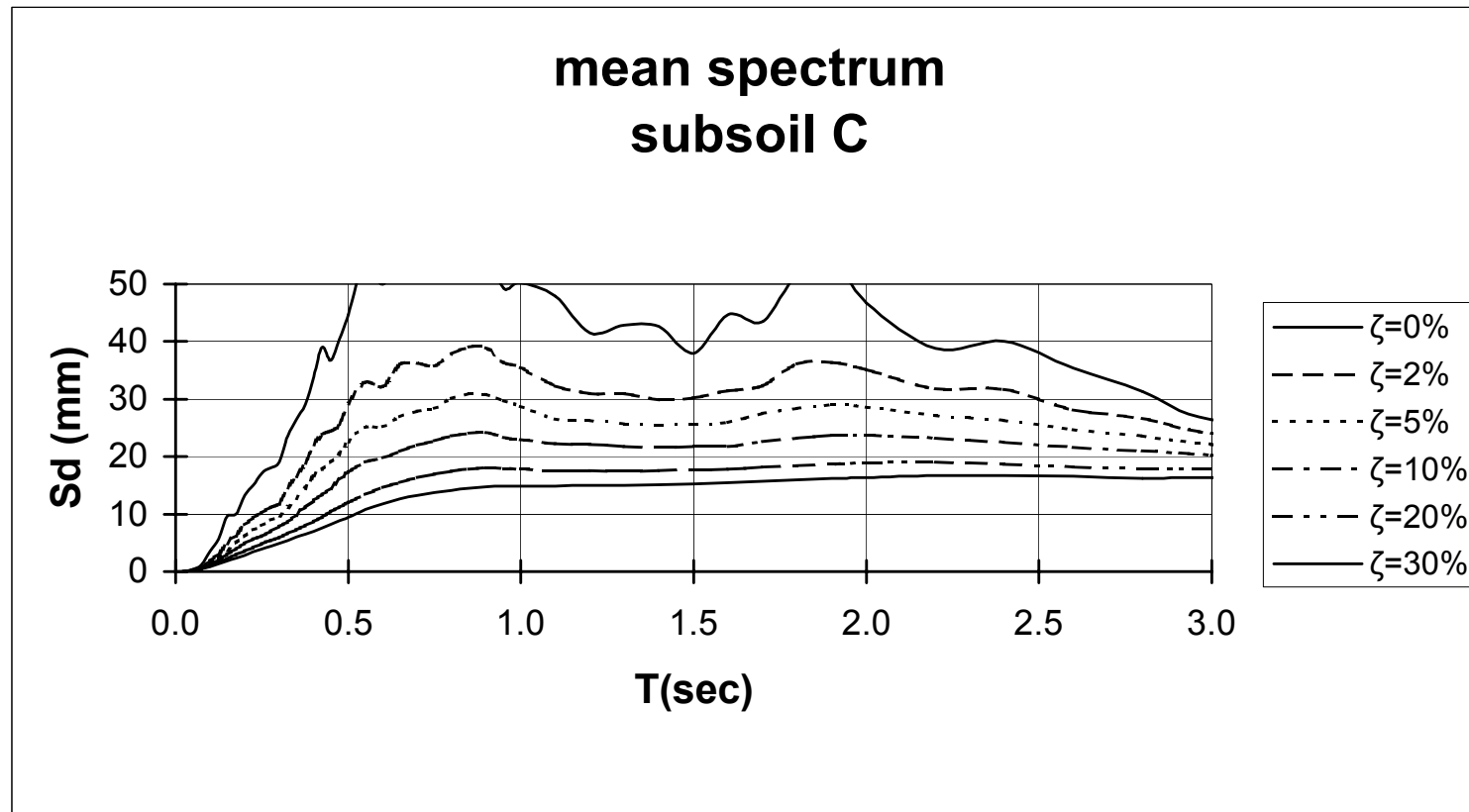
Σχ. 3.5.20 Συντελεστές διασποράς φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων



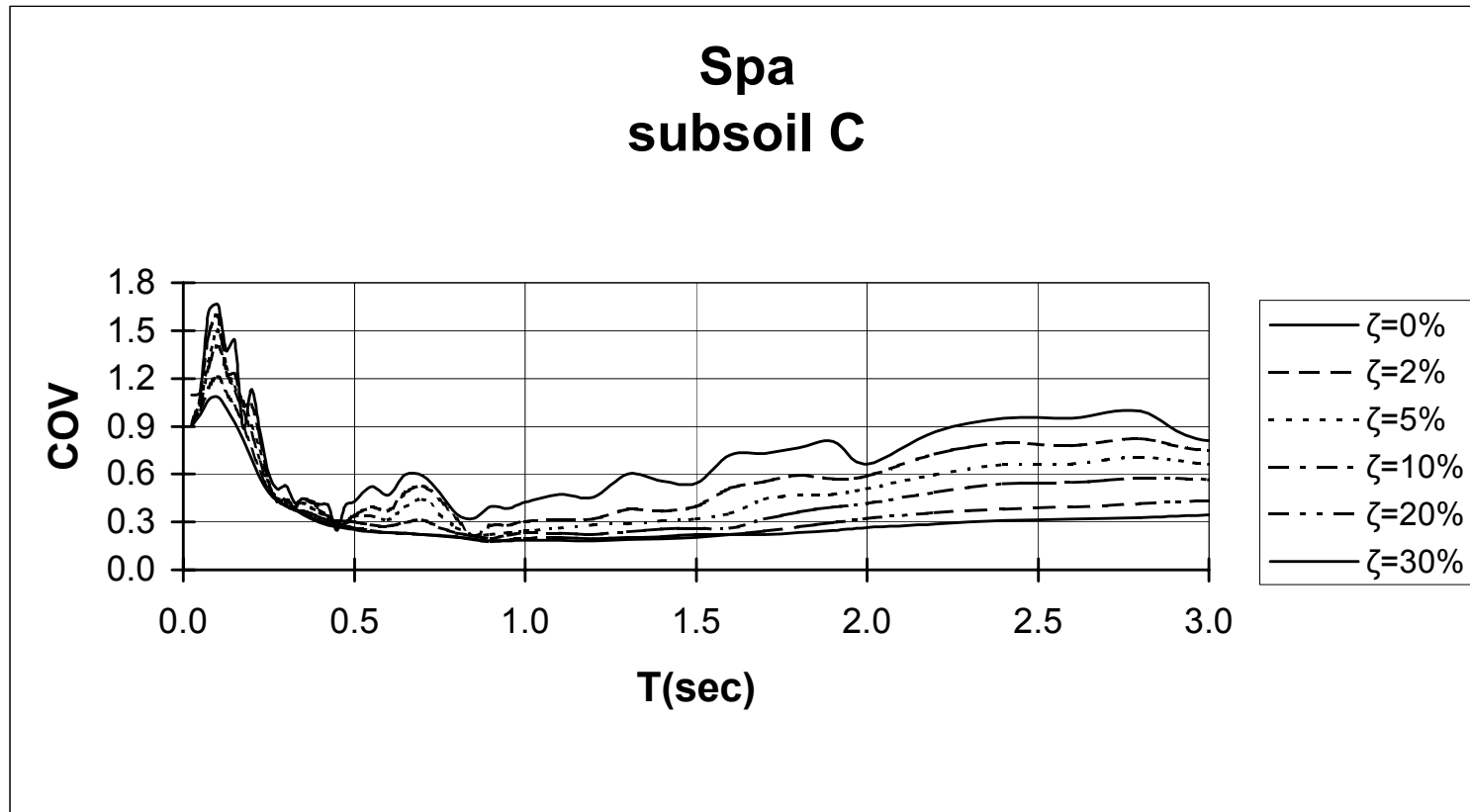
Σχ. 3.5.21 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



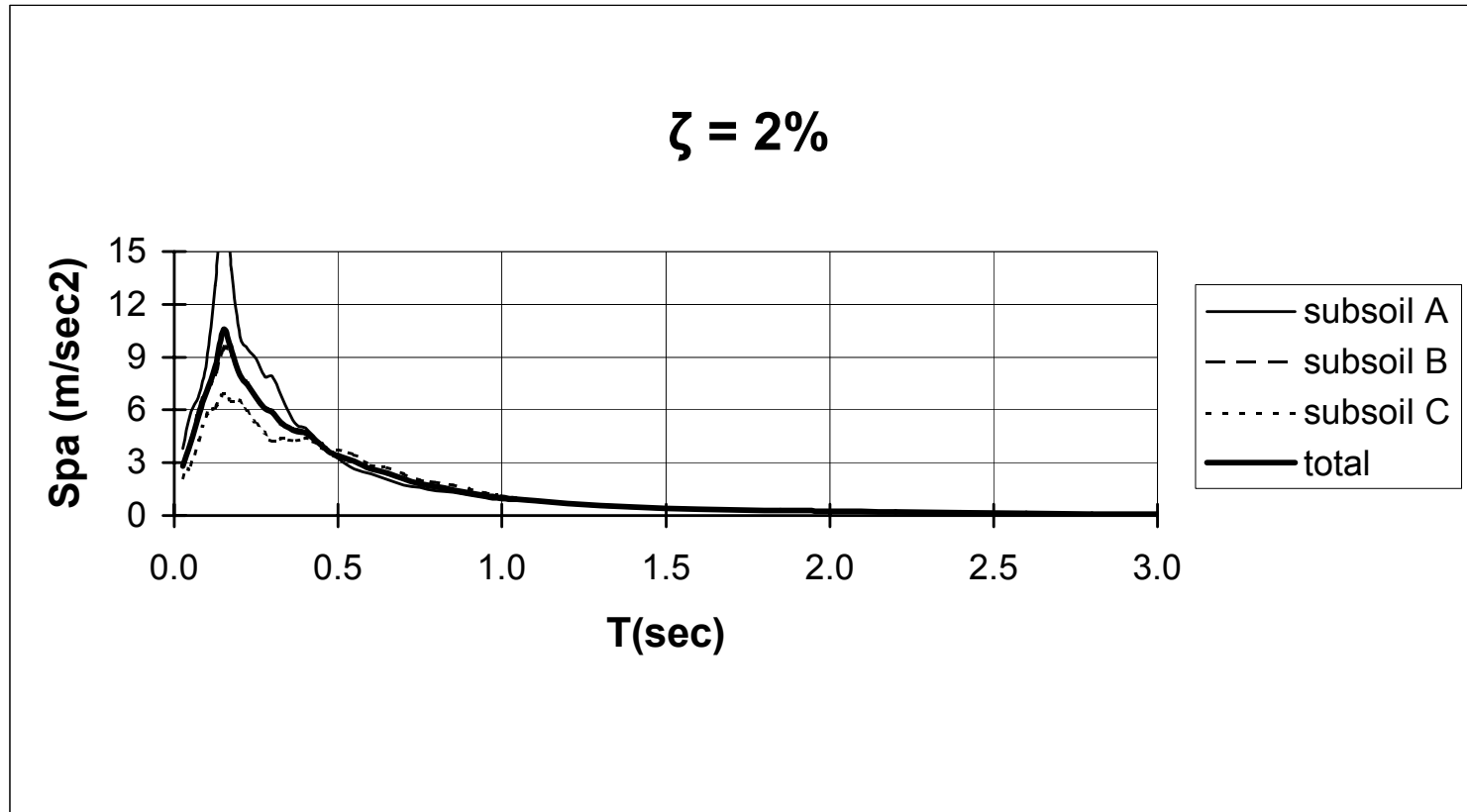
Σχ. 3.5.22 Μέσο ελαστικό φάσμα ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



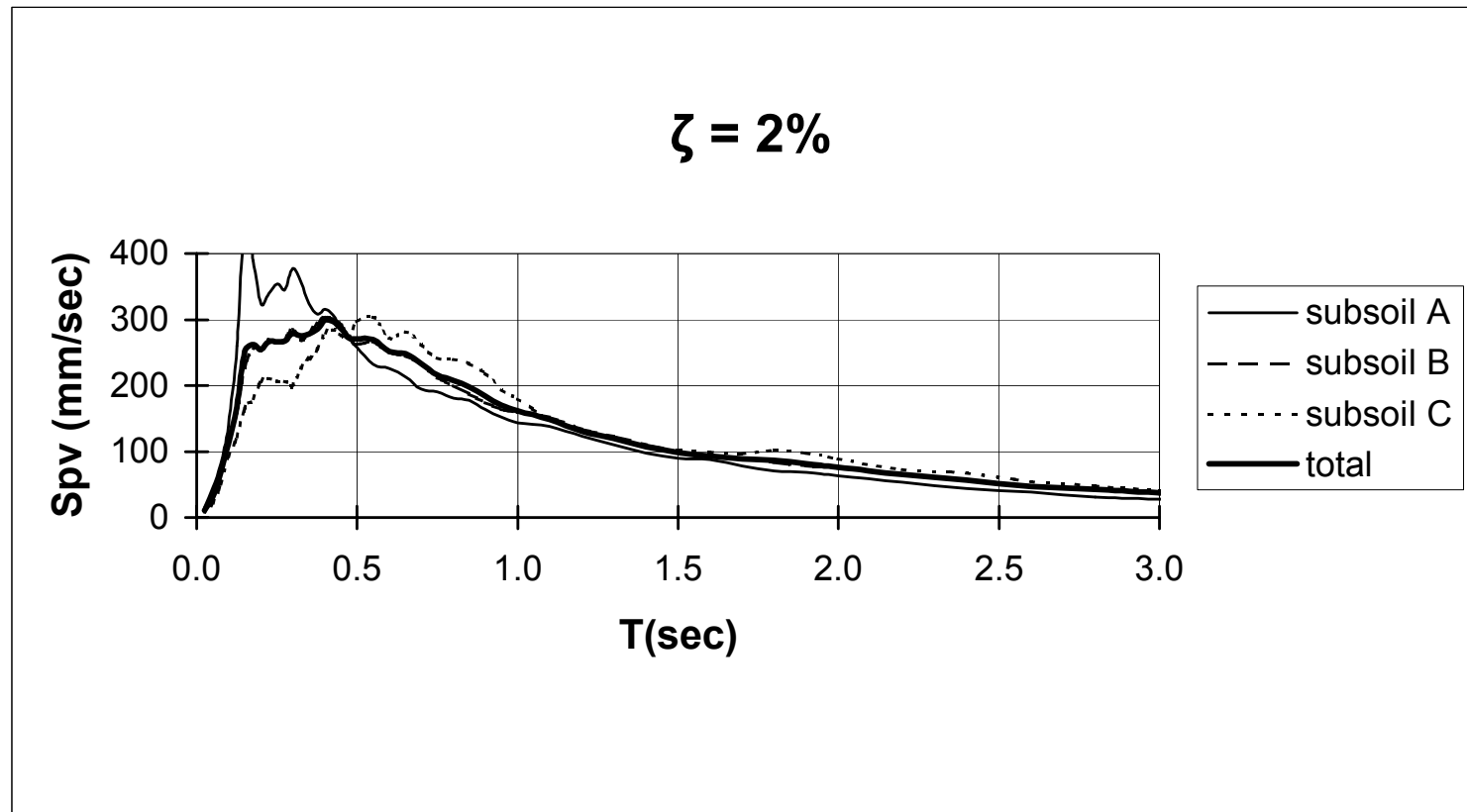
Σχ. 3.5.23 Μέσο ελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



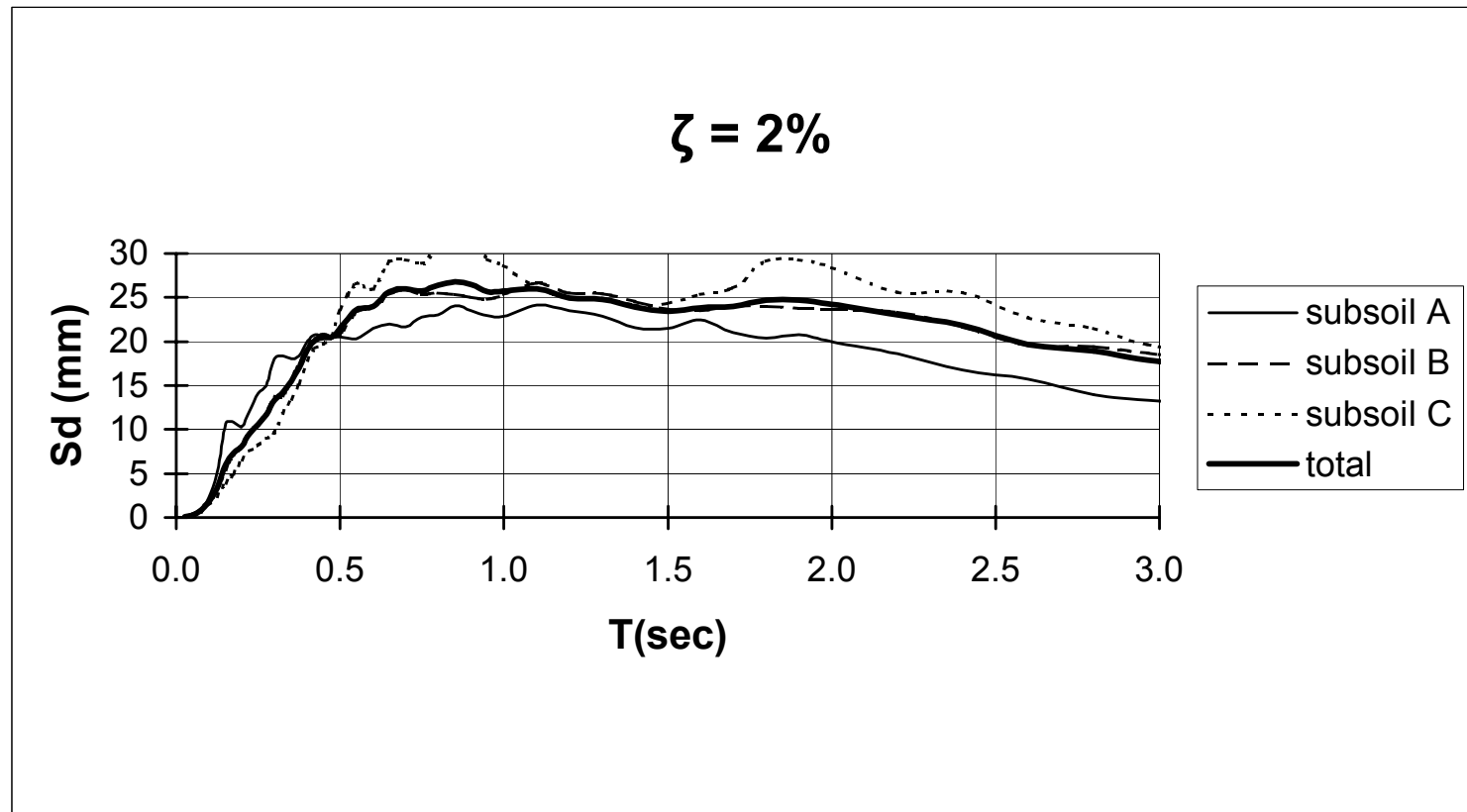
Σχ. 3.5.24 Συντελεστές διασποράς φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων



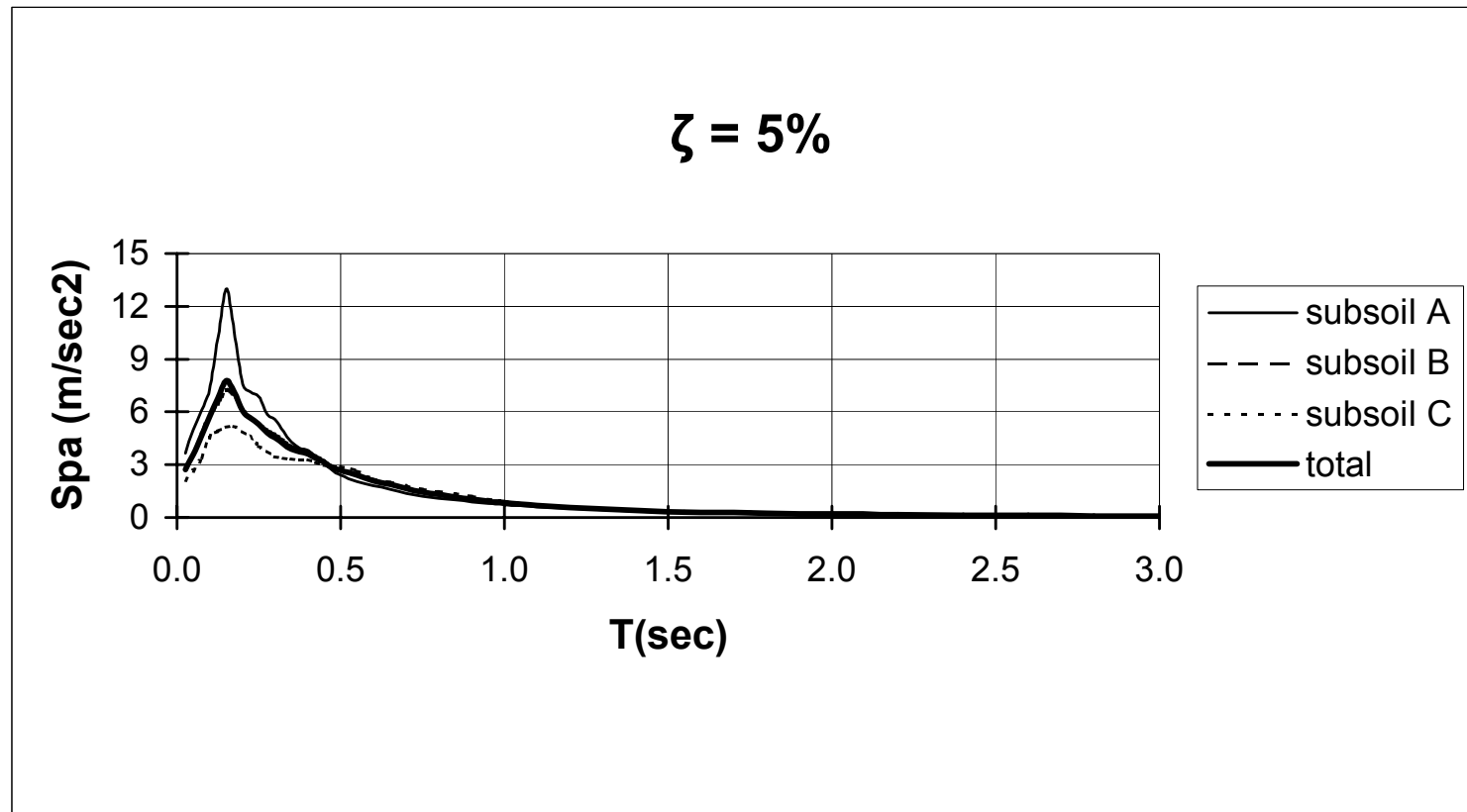
Σχ. 3.5.25 Μέσα ελαστικά φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



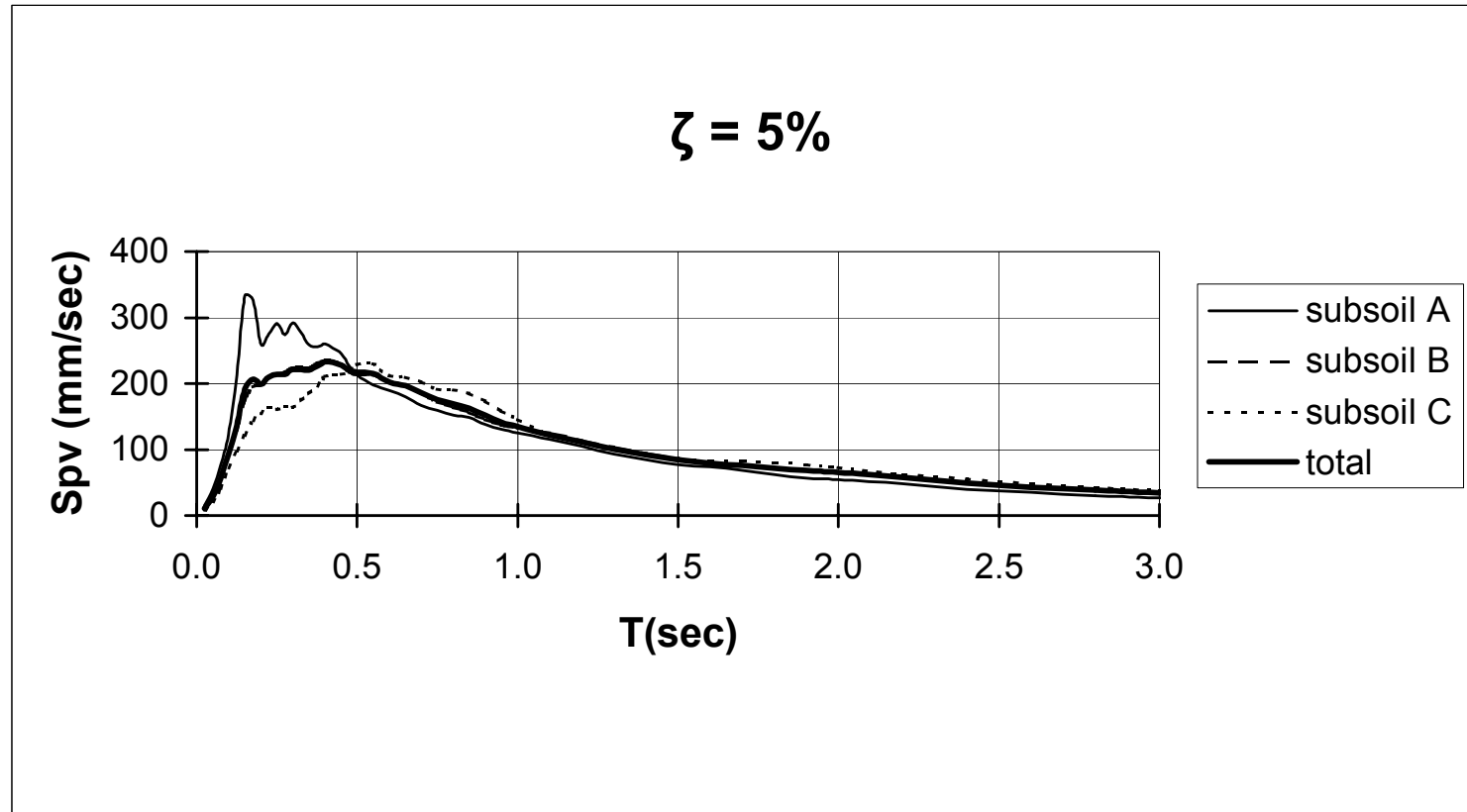
Σχ. 3.5.26 Μέσα ελαστικά φάσματα ψευδοταχυτήτων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



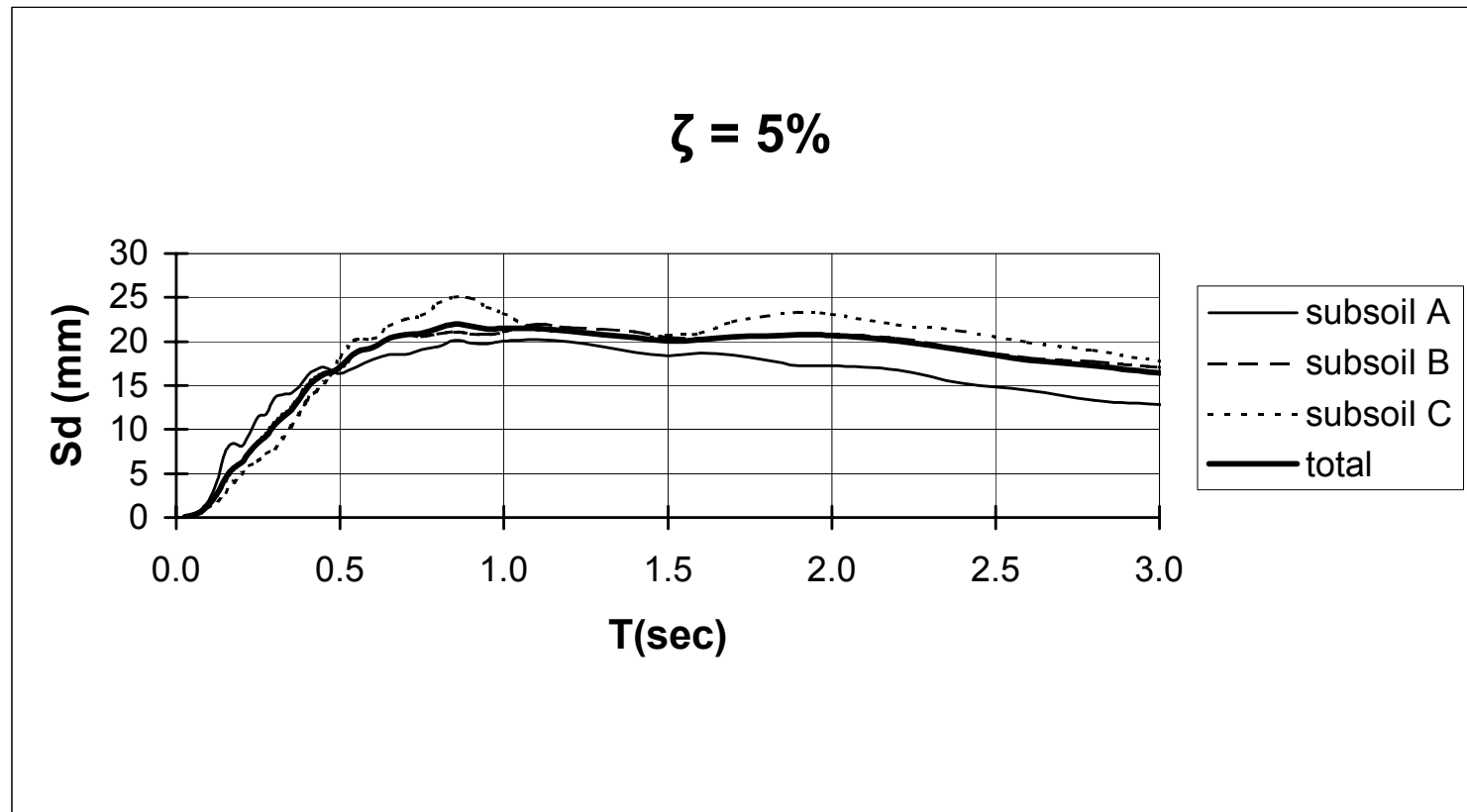
Σχ. 3.5.27 Μέσα ελαστικά φάσματα μετακινήσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



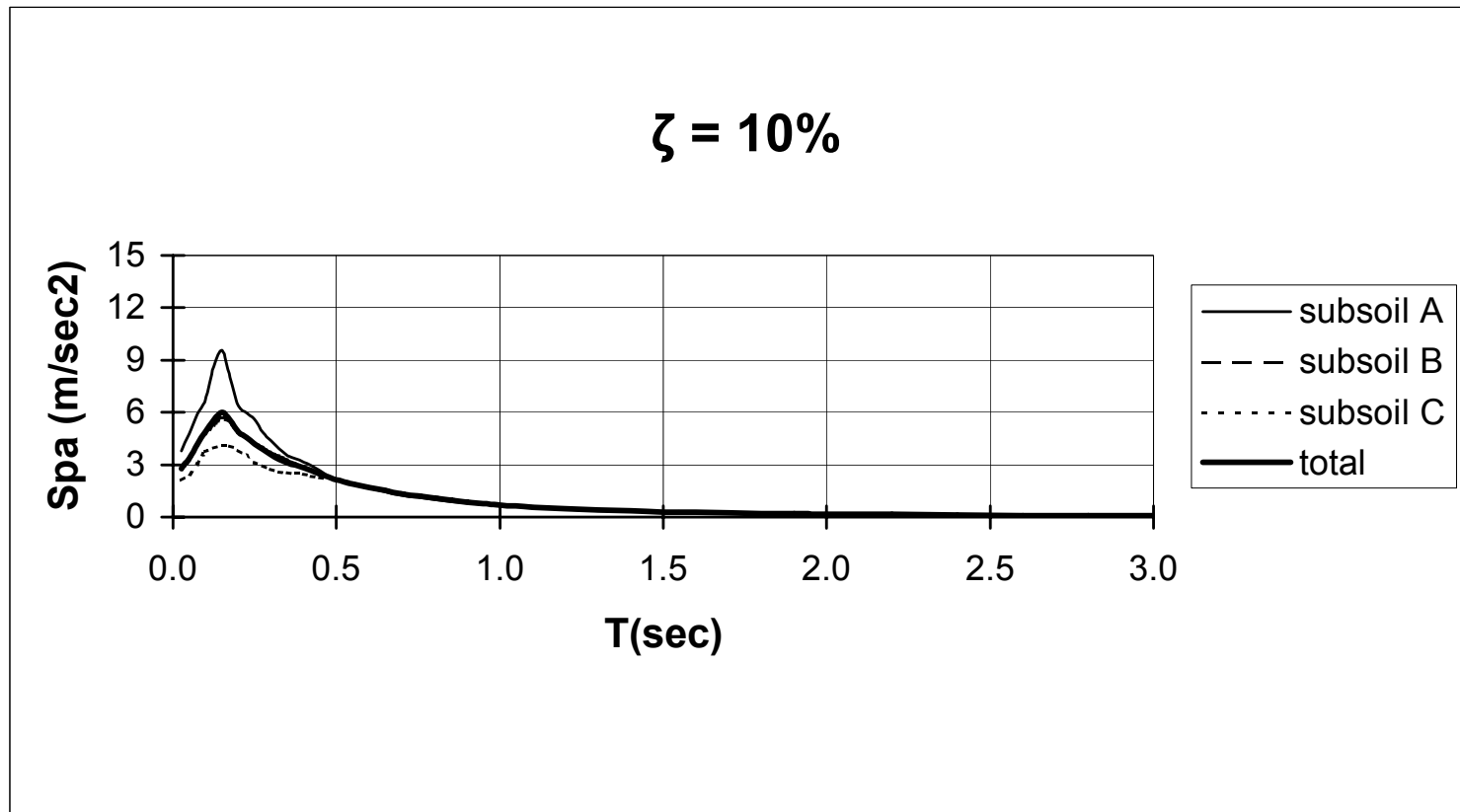
Σχ. 3.5.27 Μέσα ελαστικά φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



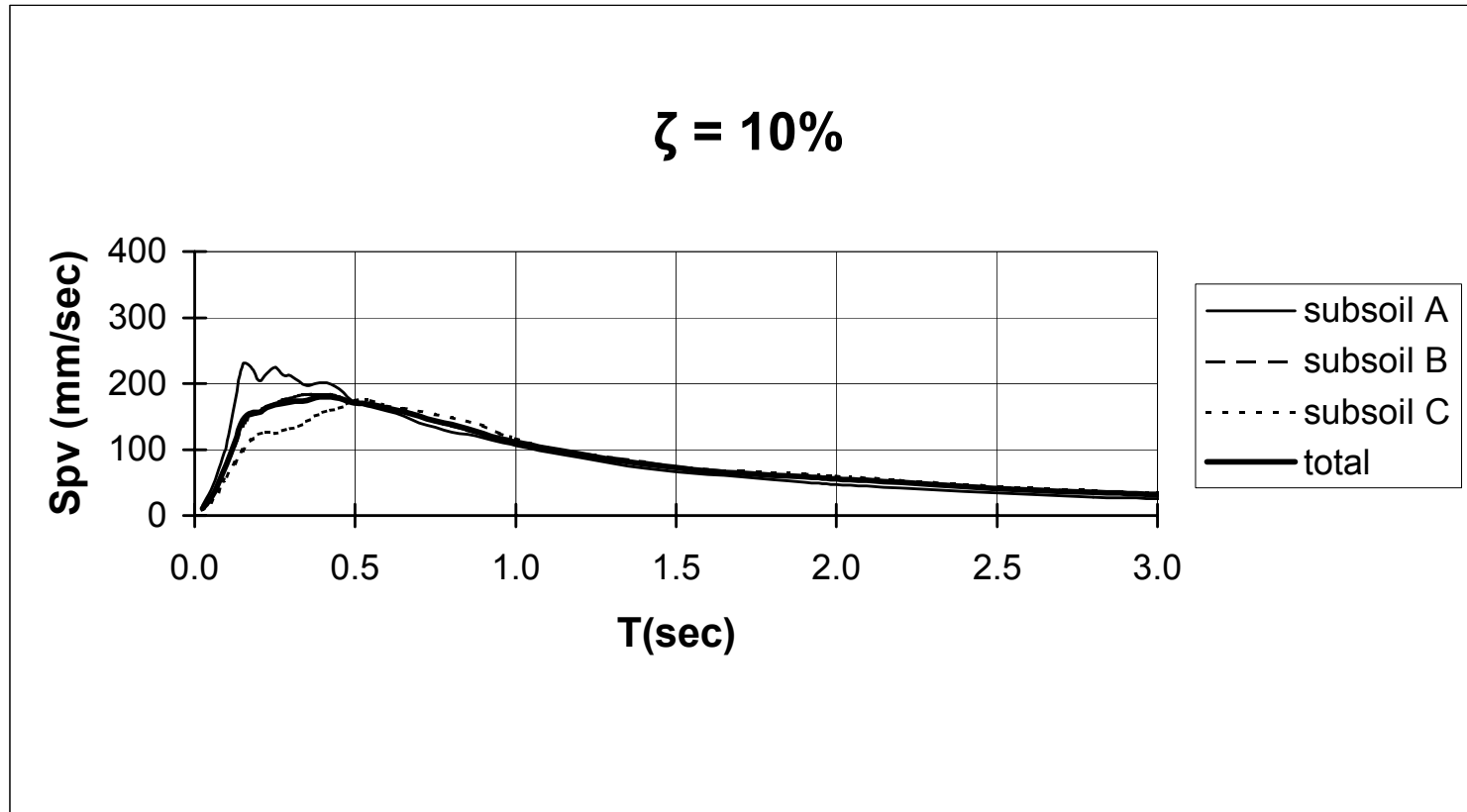
Σχ. 3.5.29 Μέσα ελαστικά φάσματα ψευδοταχυτήτων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



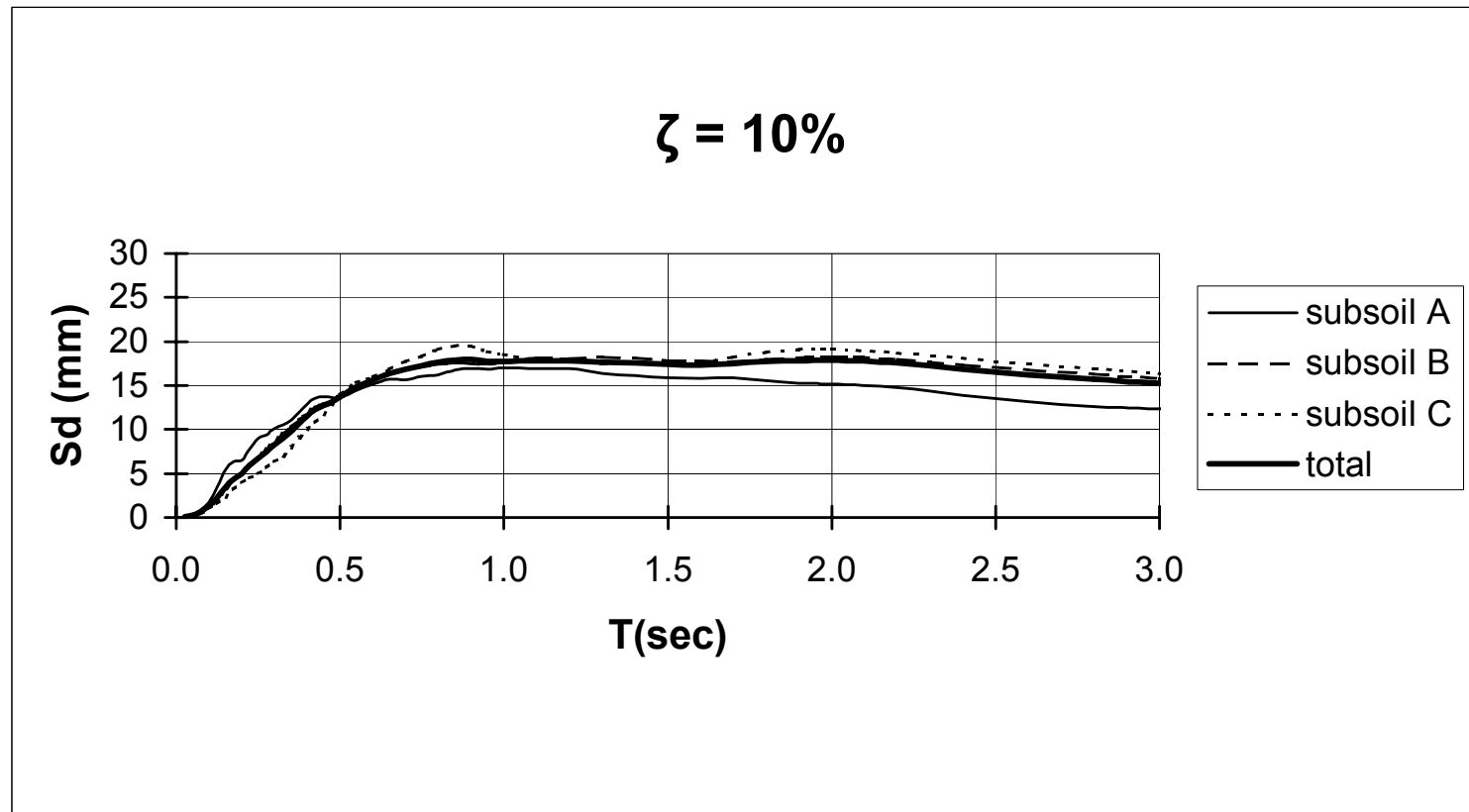
Σχ. 3.5.30 Μέσα ελαστικά φάσματα μετακινήσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



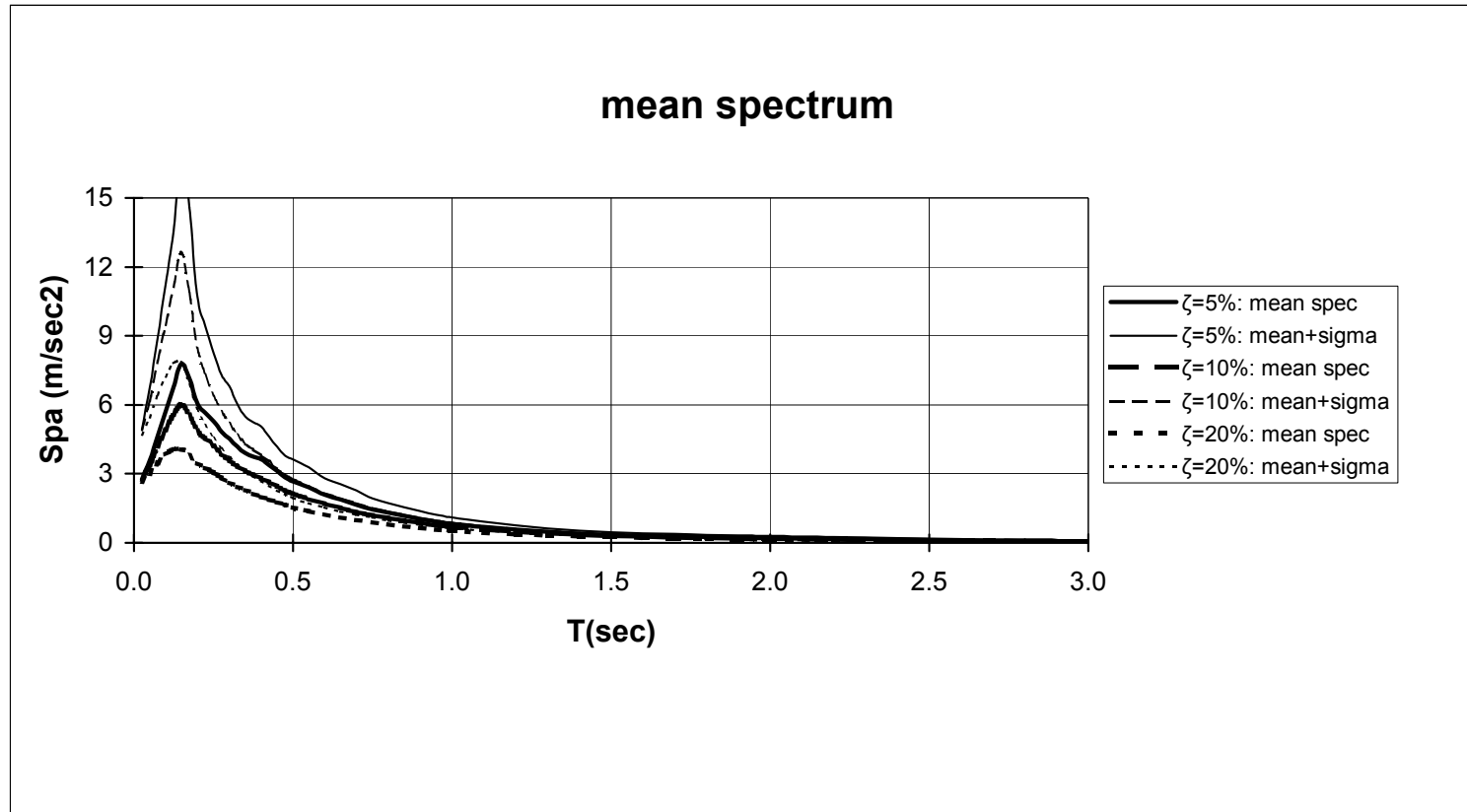
Σχ. 3.5.31 Μέσα ελαστικά φάσματα ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



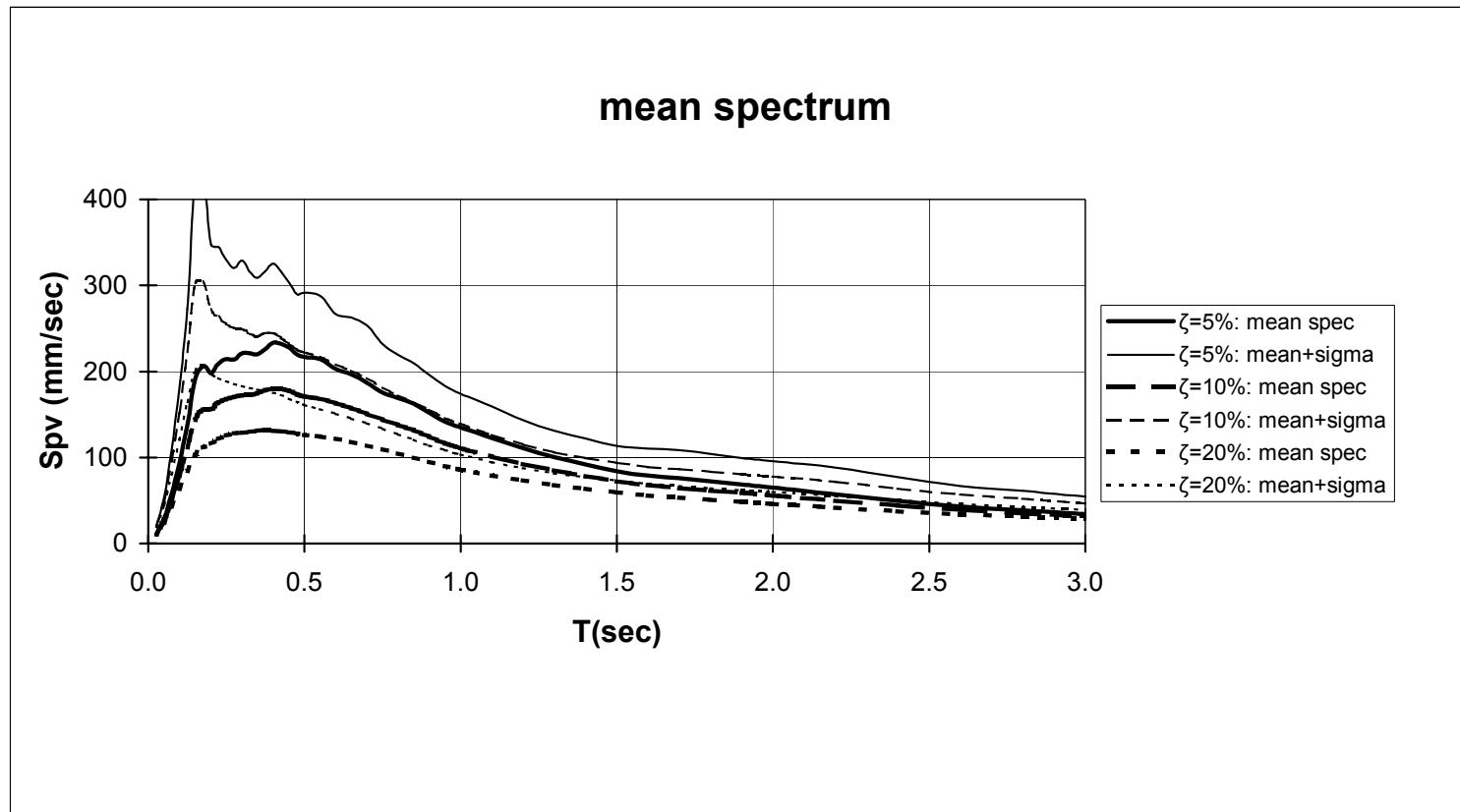
Σχ. 3.5.32 Μέσα ελαστικά φάσματα ψευδοταχυτήτων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



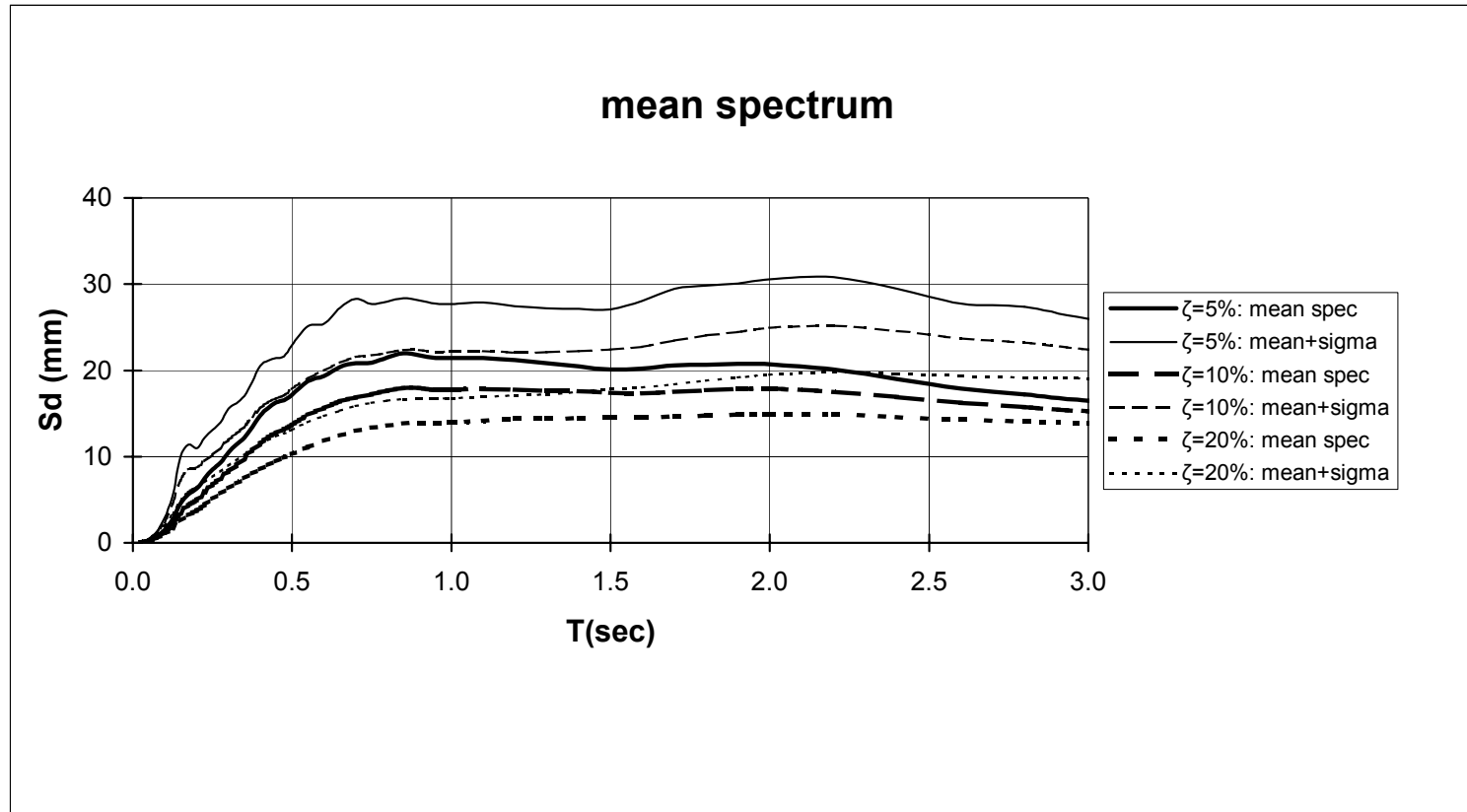
Σχ. 3.5.33 Μέσα ελαστικά φάσματα μετακινήσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



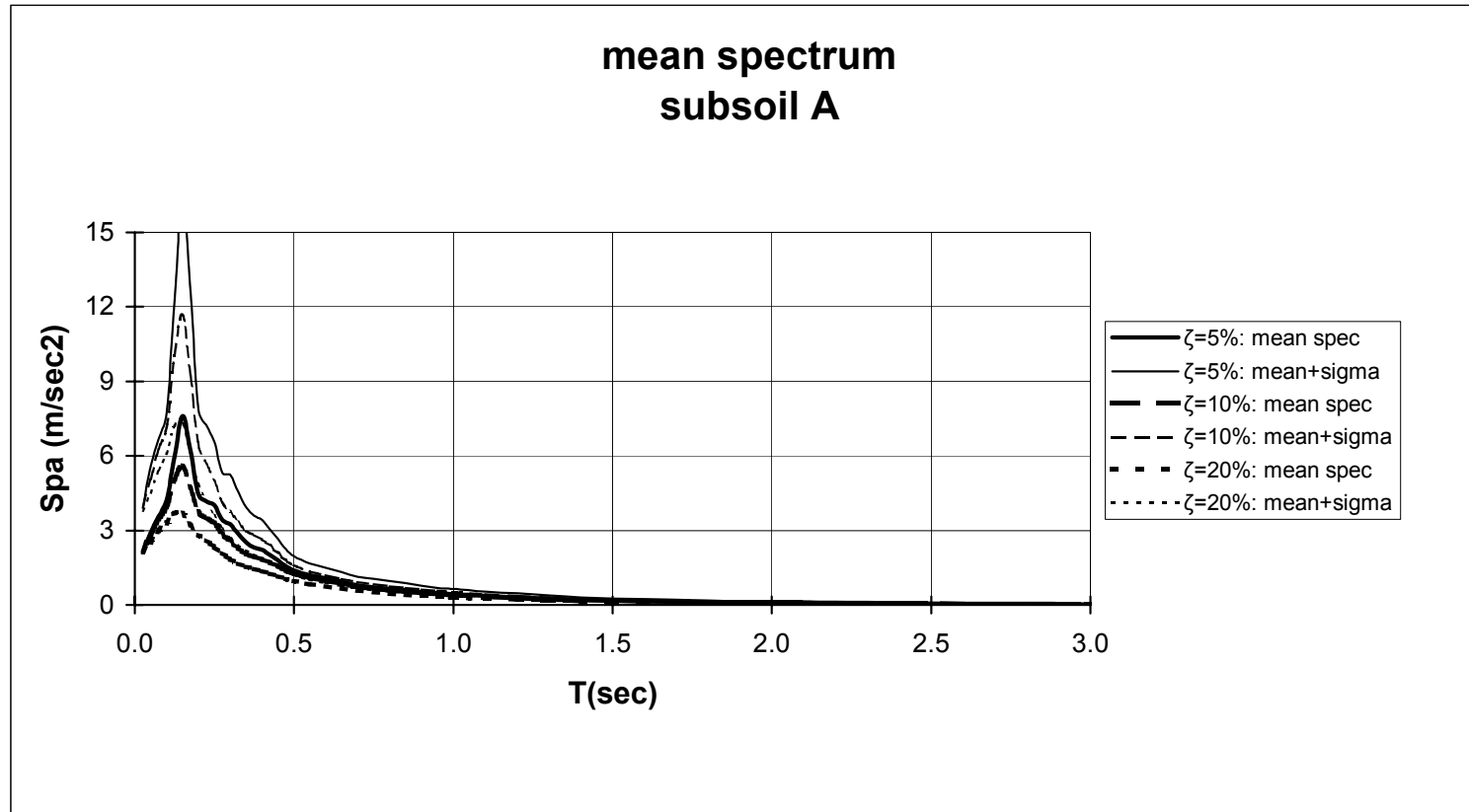
Σχ. 3.5.34 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



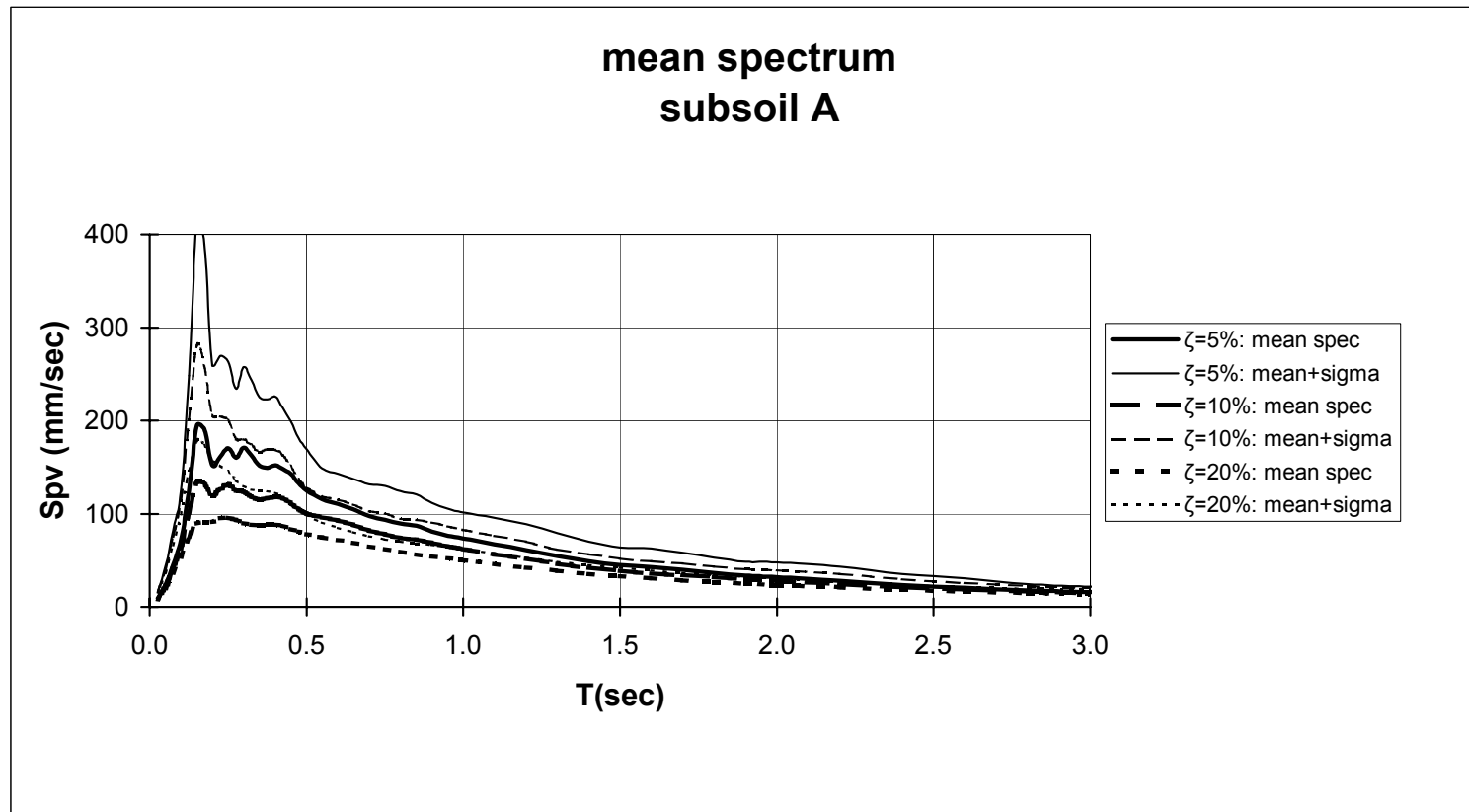
Σχ. 3.5.35 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



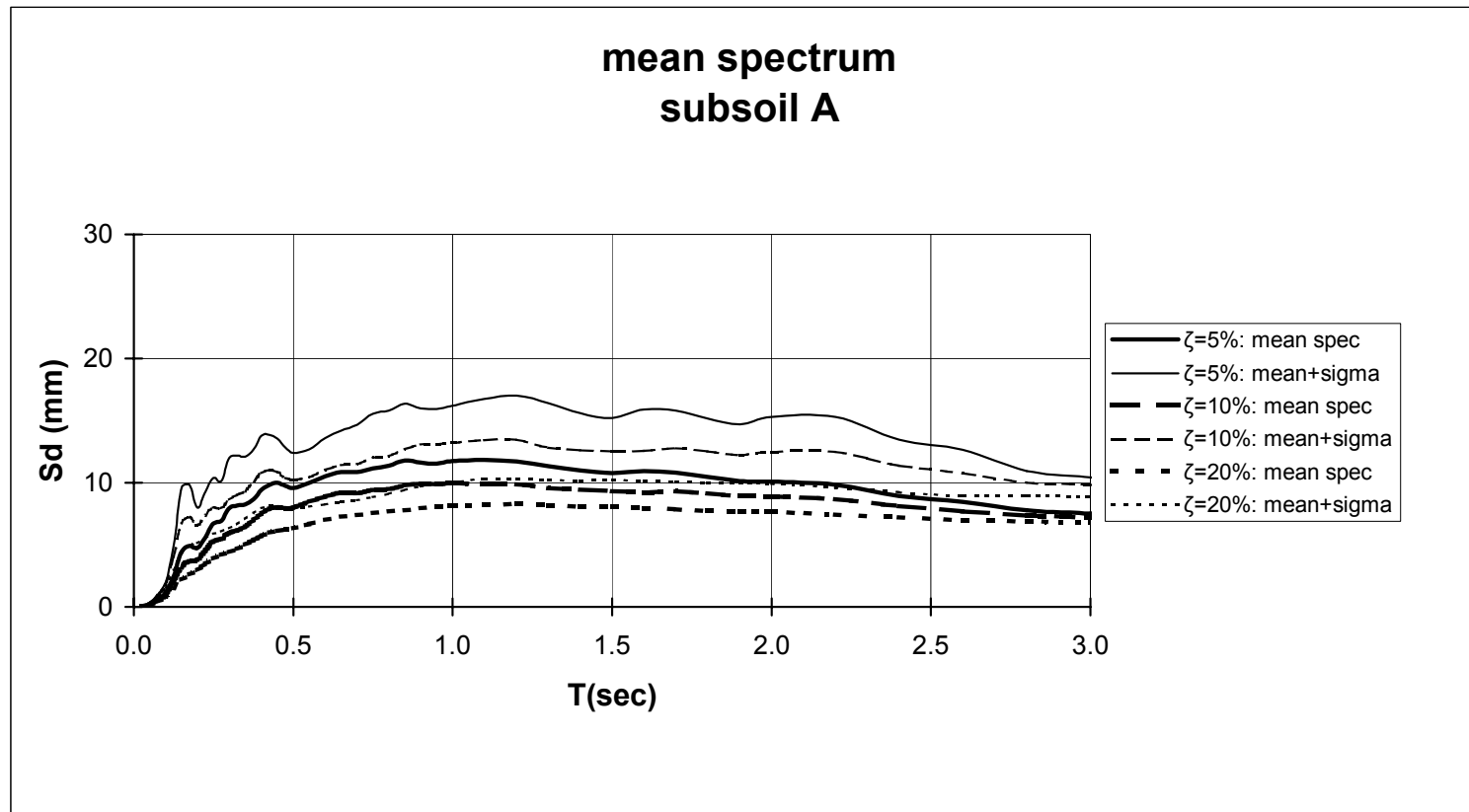
Σχ. 3.5.36 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



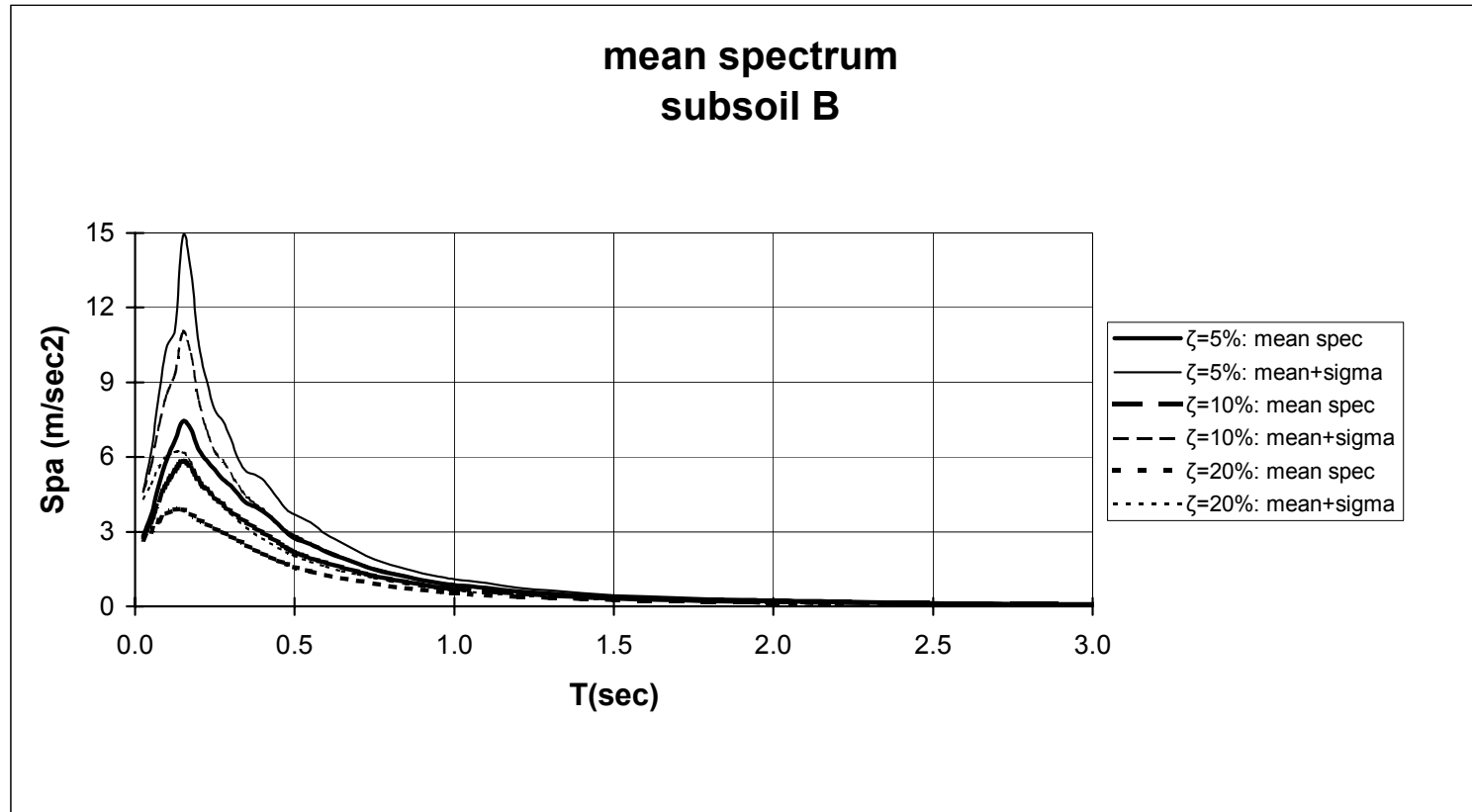
Σχ. 3.5.37 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



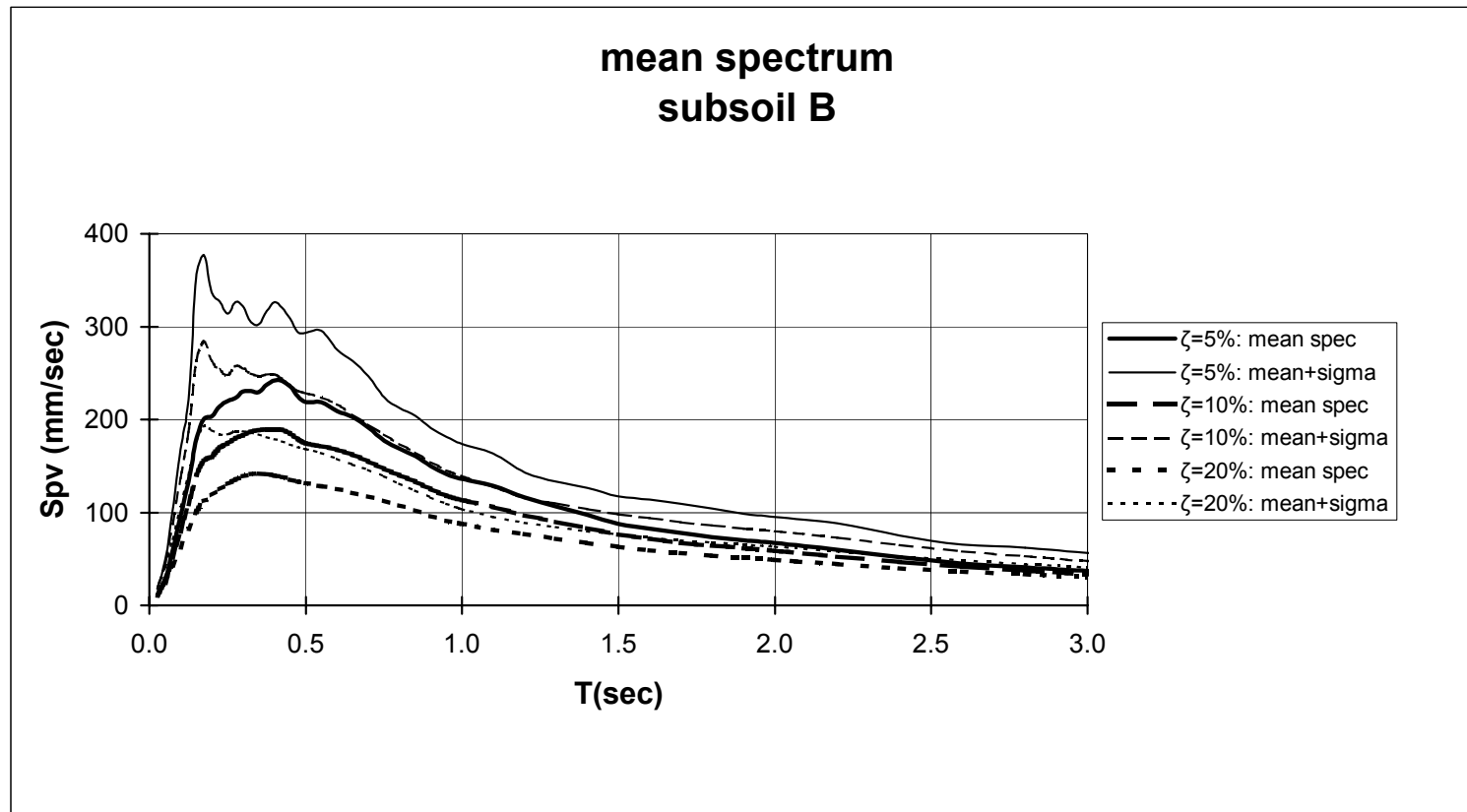
Σχ. 3.5.38 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



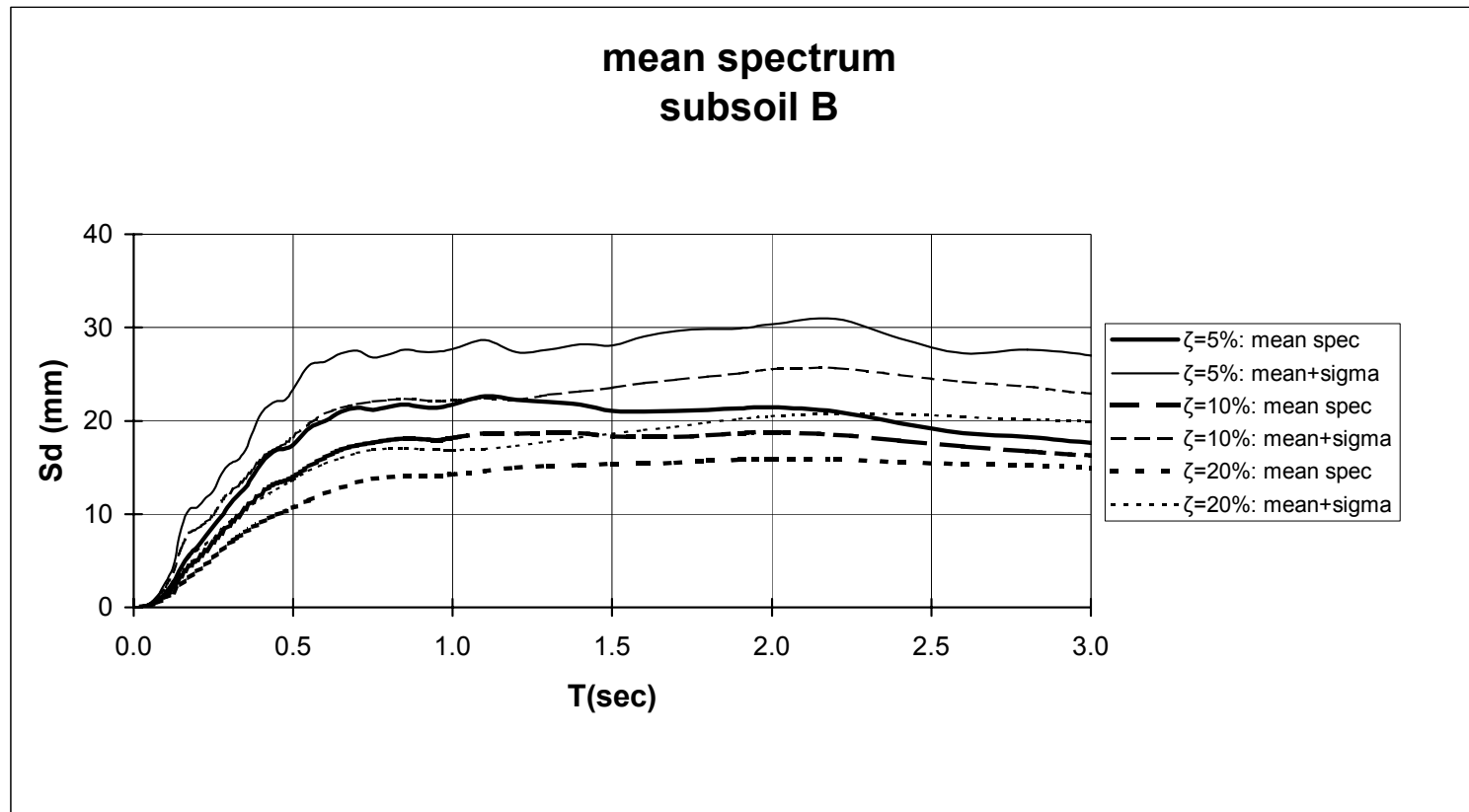
Σχ. 3.5.39 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



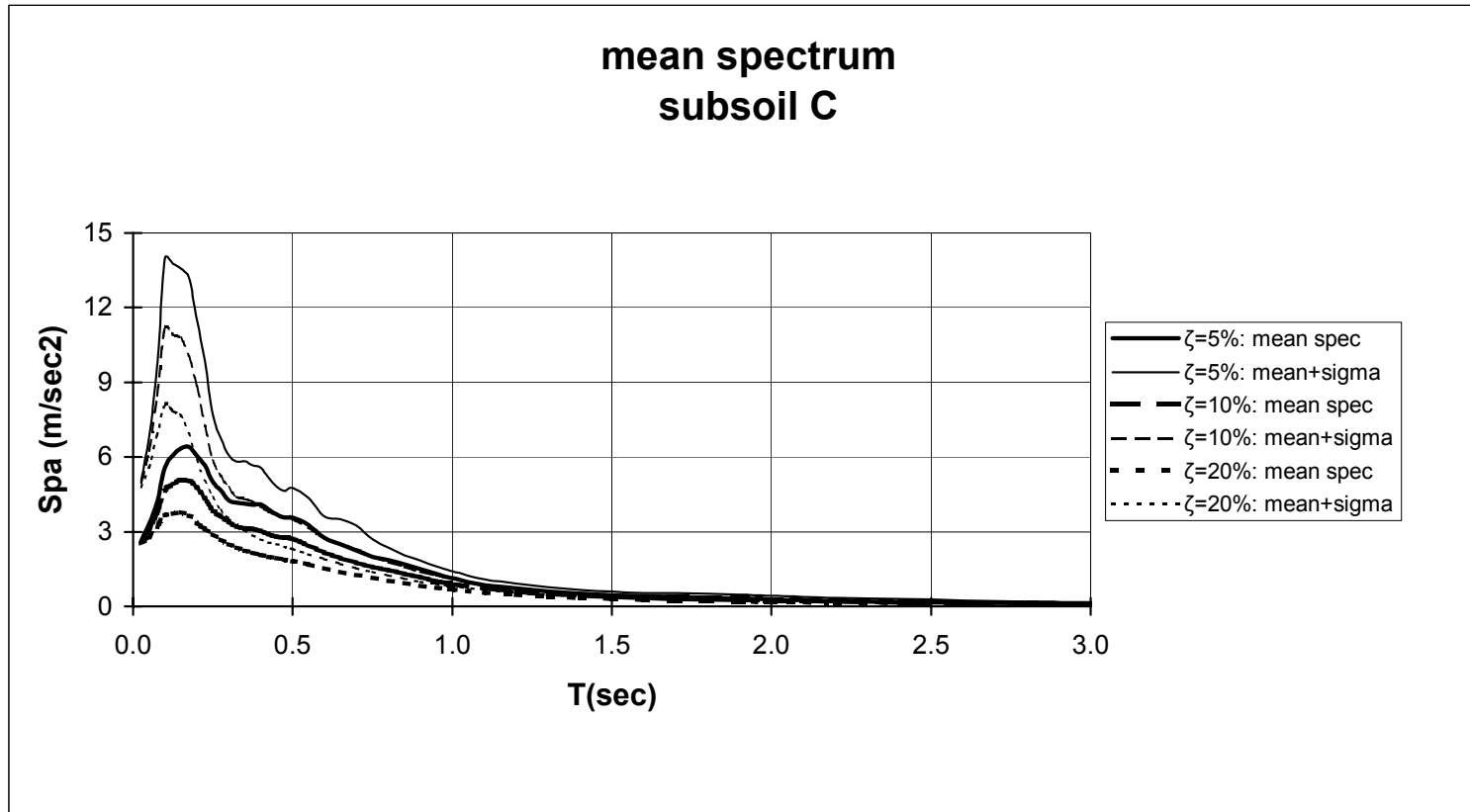
Σχ. 3.5.40 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



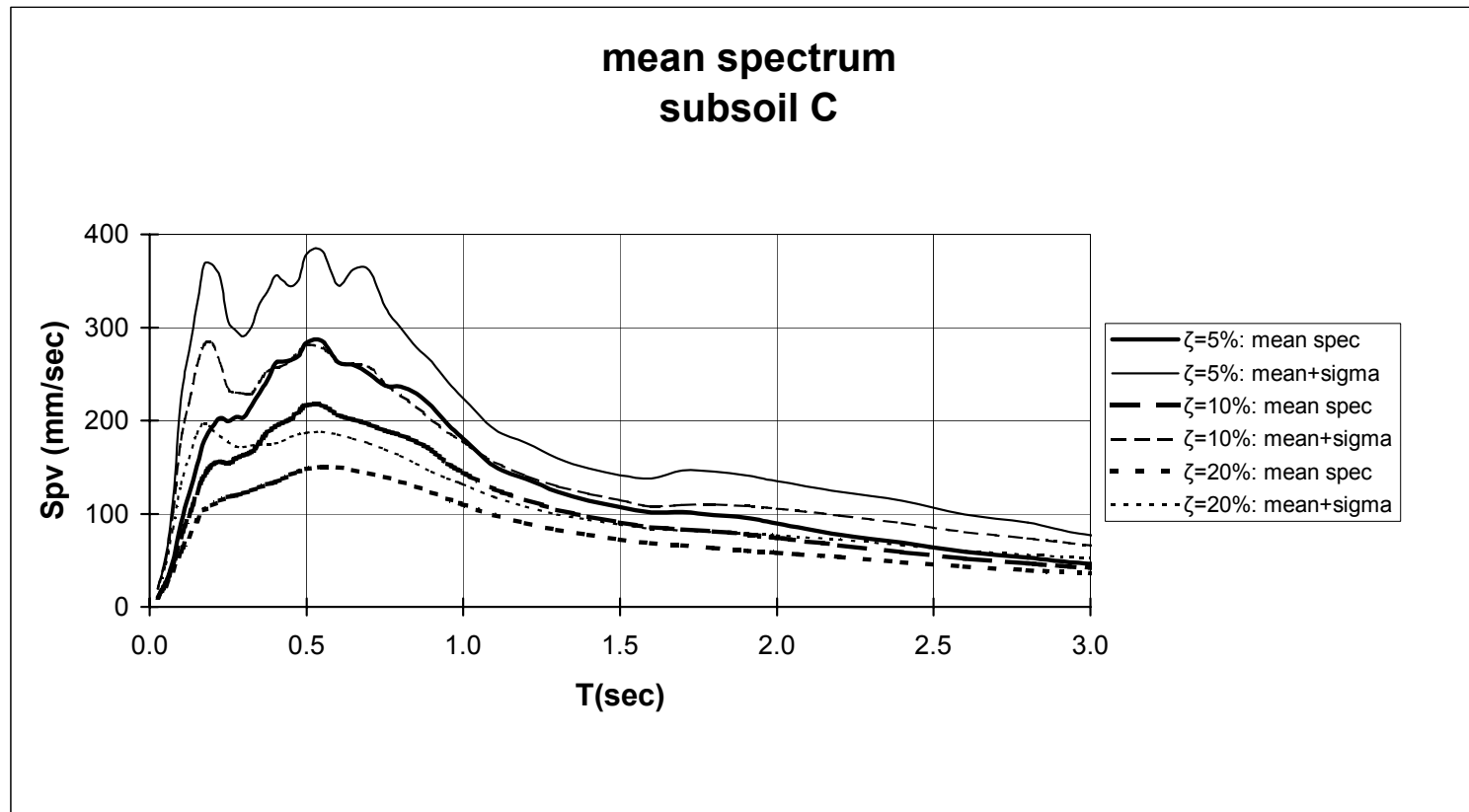
Σχ. 3.5.41 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



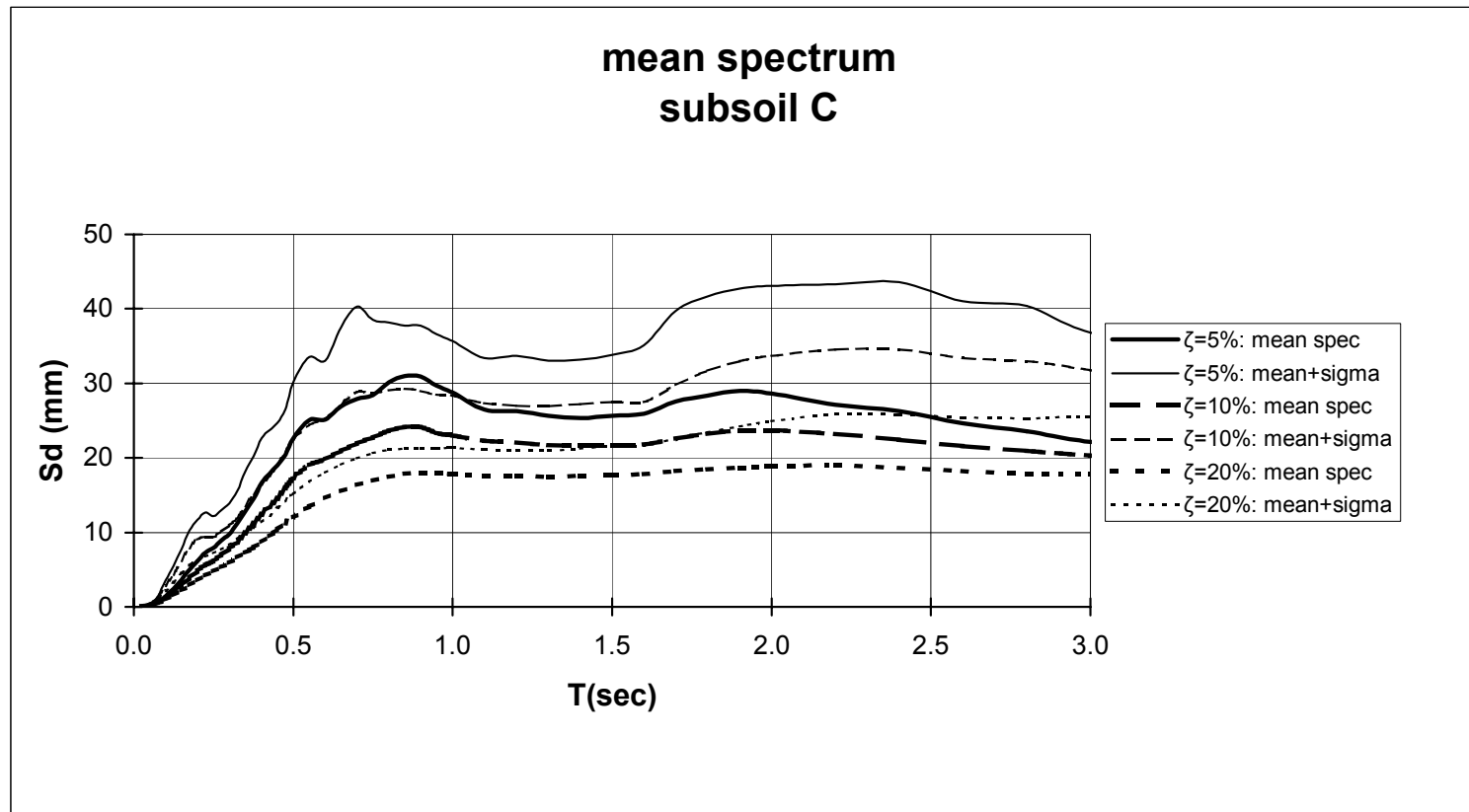
Σχ. 3.5.42 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



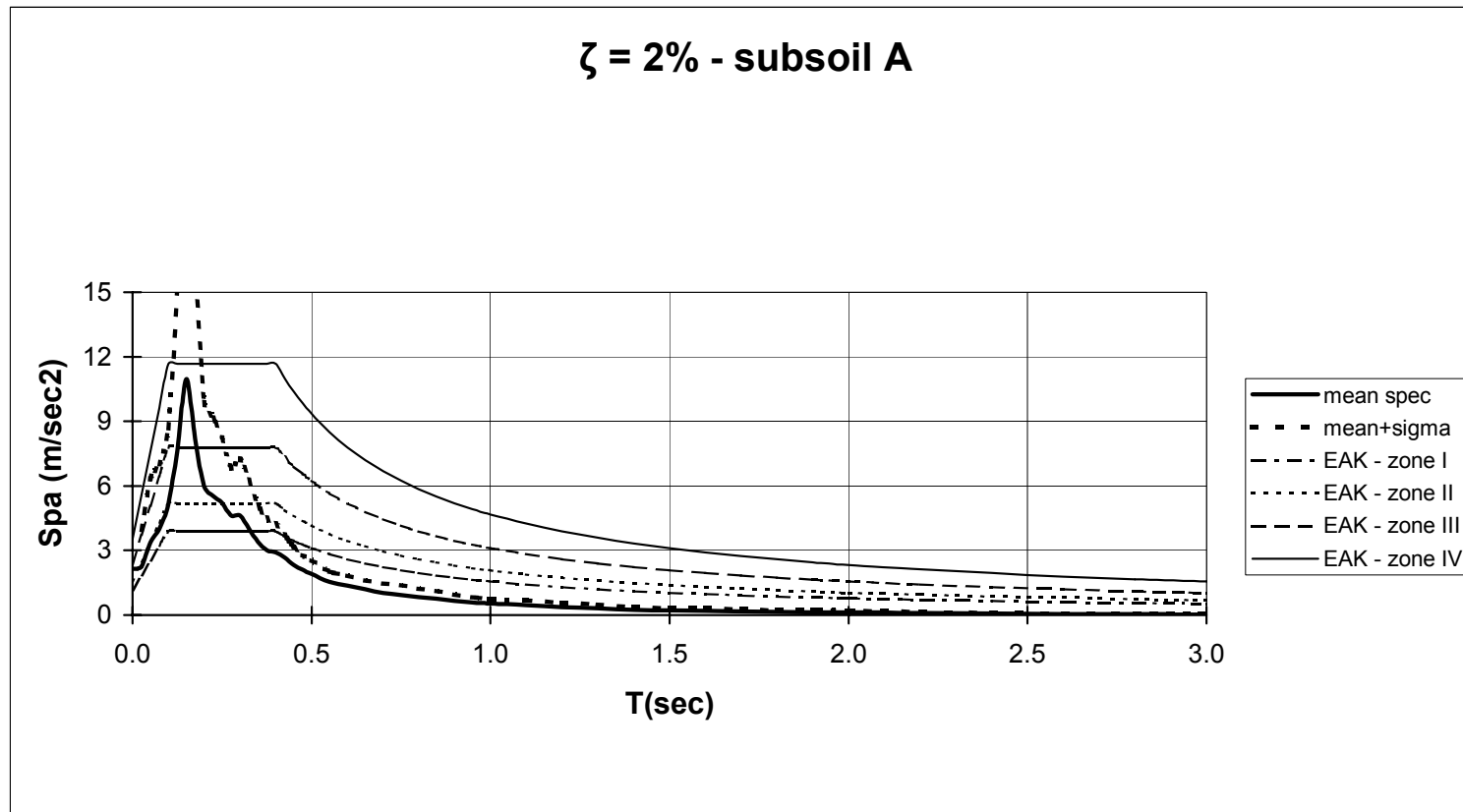
Σχ. 3.5.43 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



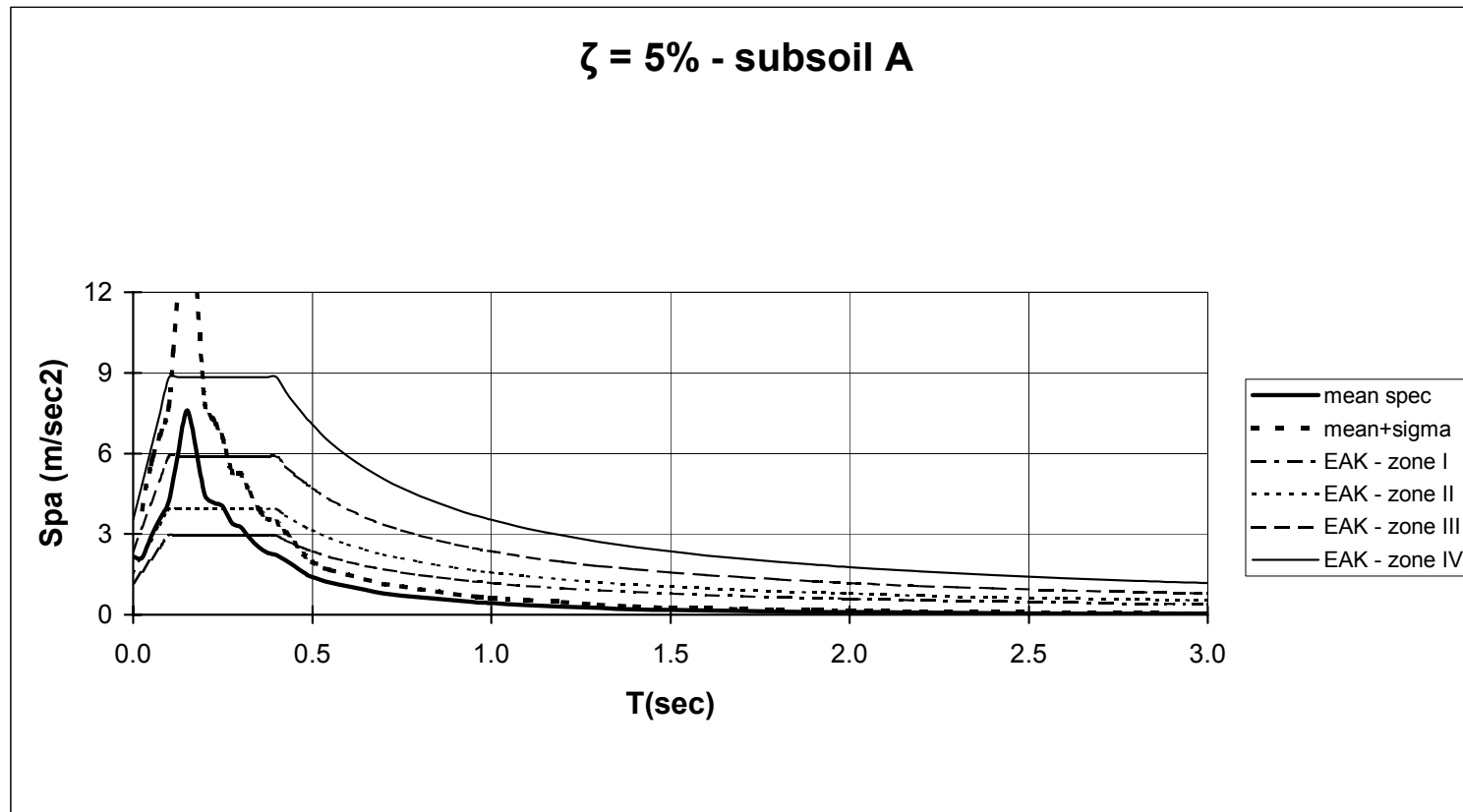
Σχ. 3.5.44 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων ψευδοταχυτήτων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



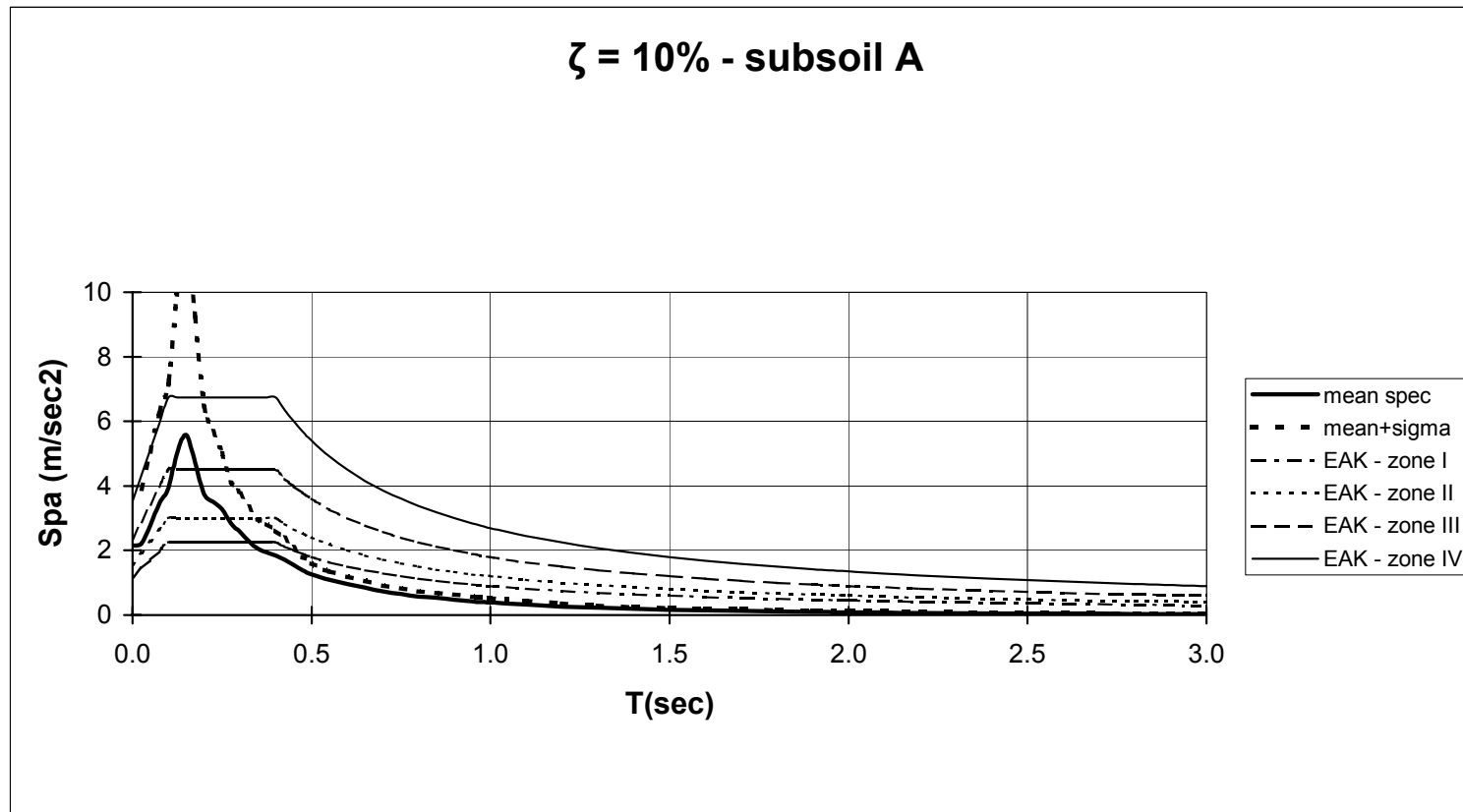
Σχ. 3.5.45 Στατιστική επεξεργασία ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές ιξώδους απόσβεσης



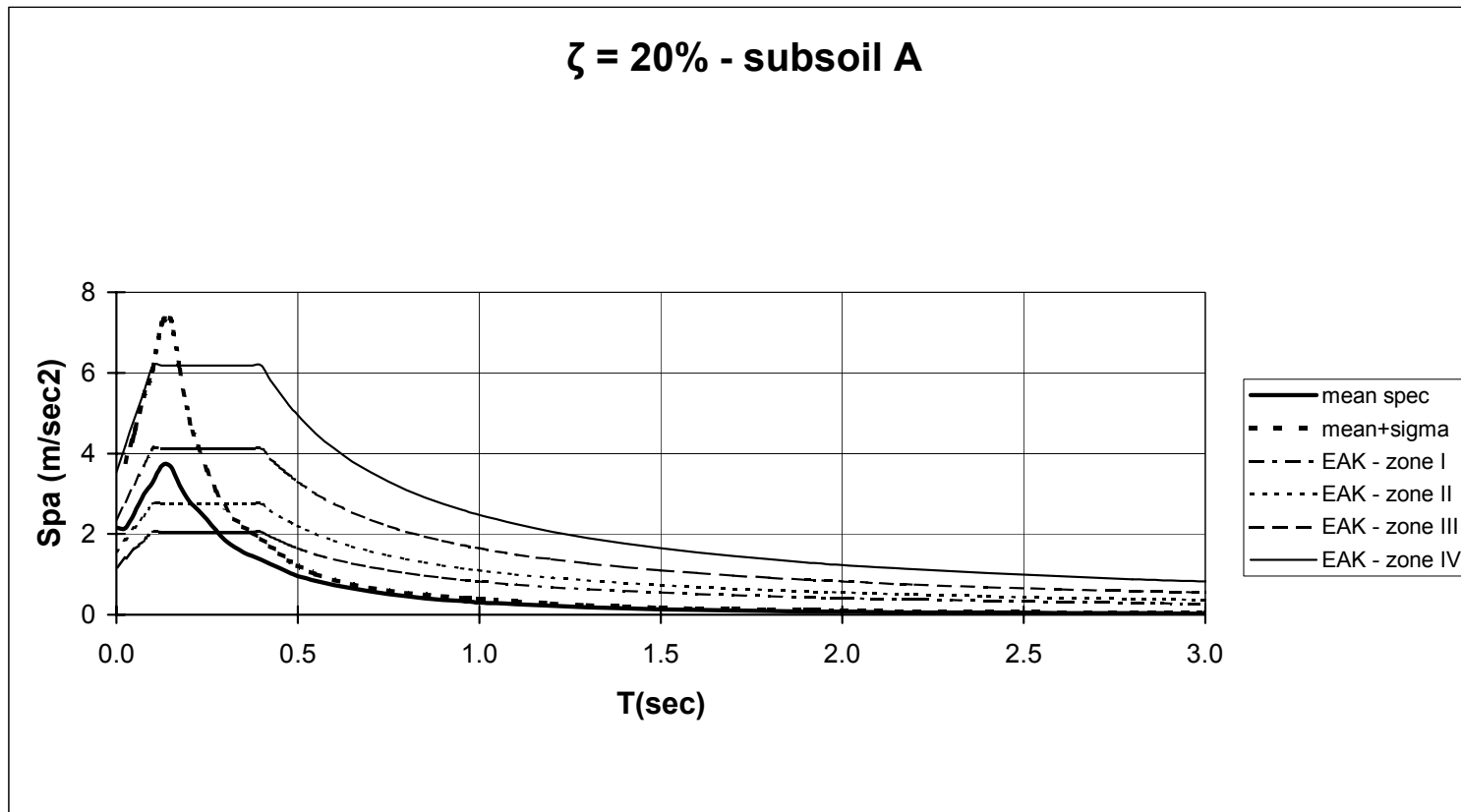
Σχ. 3.5.46 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων (αναγωγή βάσει SI) – φασμάτων κανονισμού



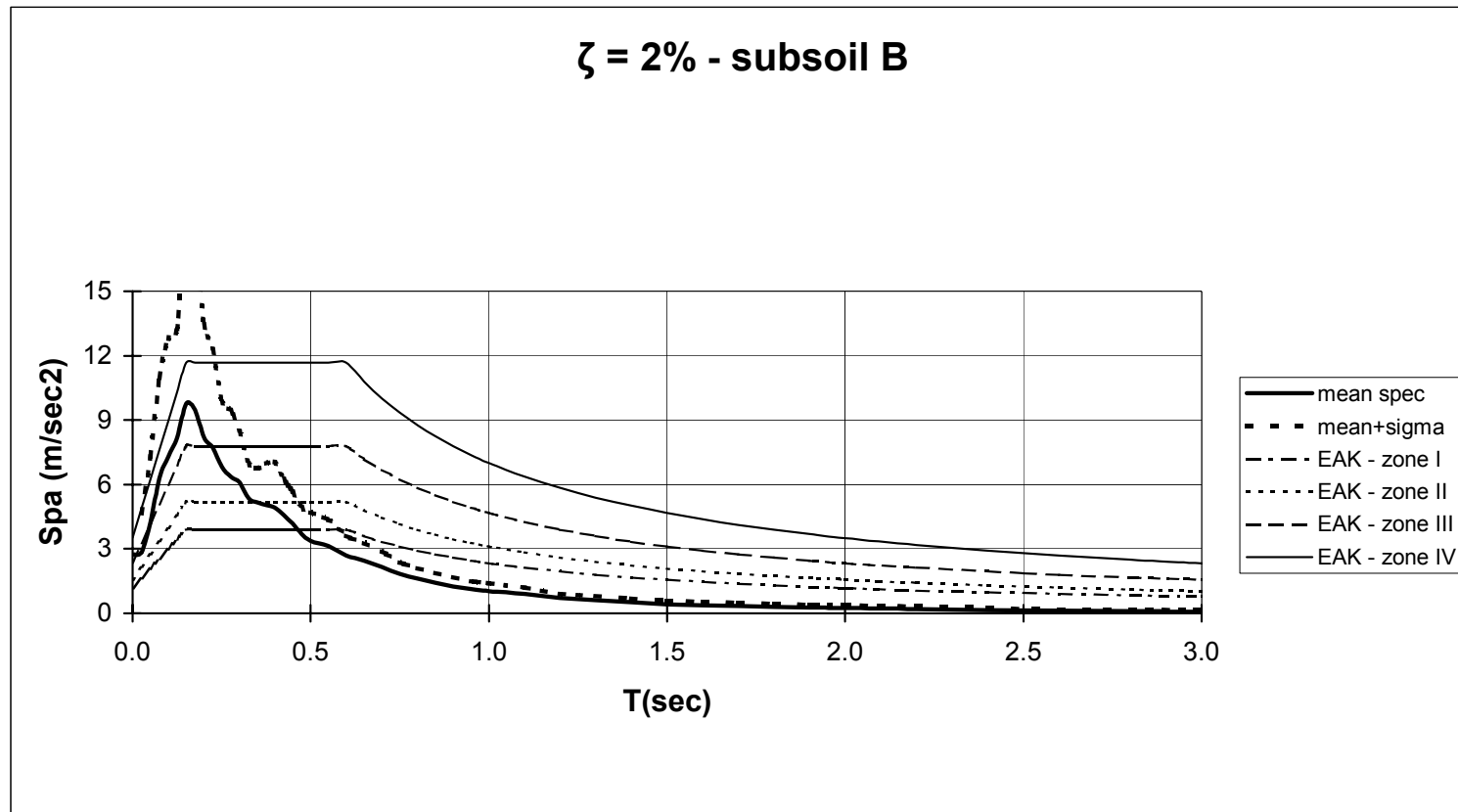
Σχ. 3.5.47 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



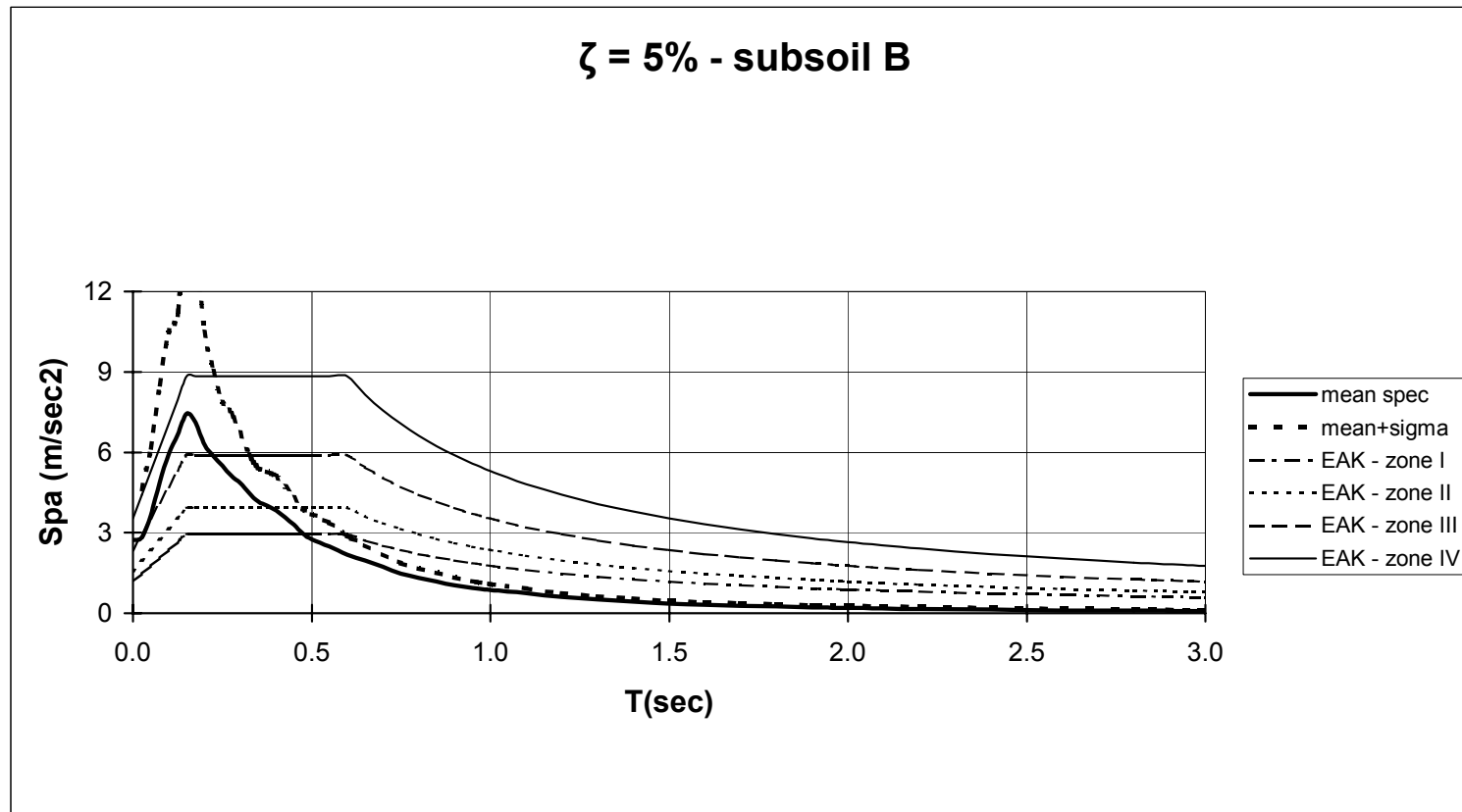
Σχ. 3.5.48 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



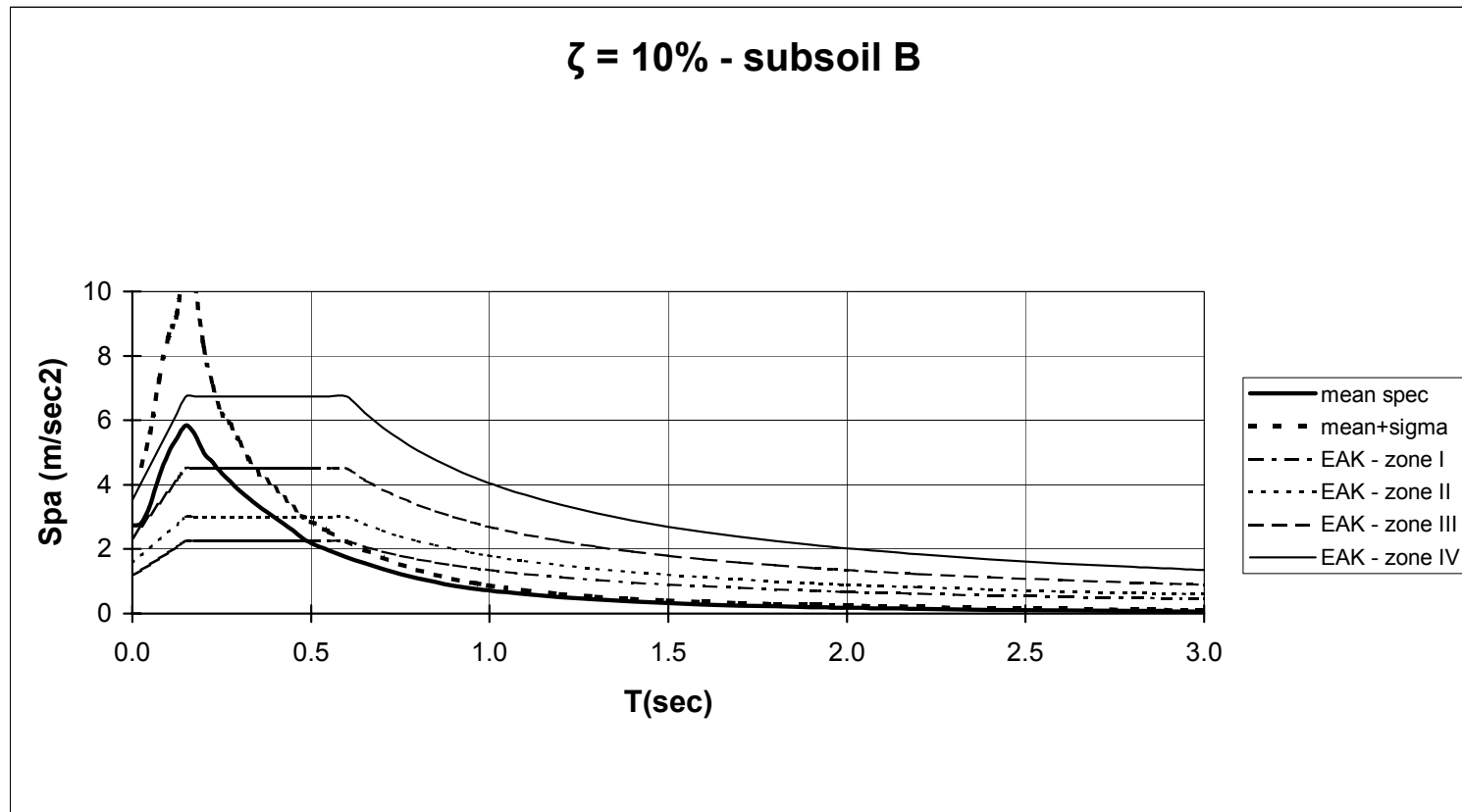
Σχ. 3.5.49 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



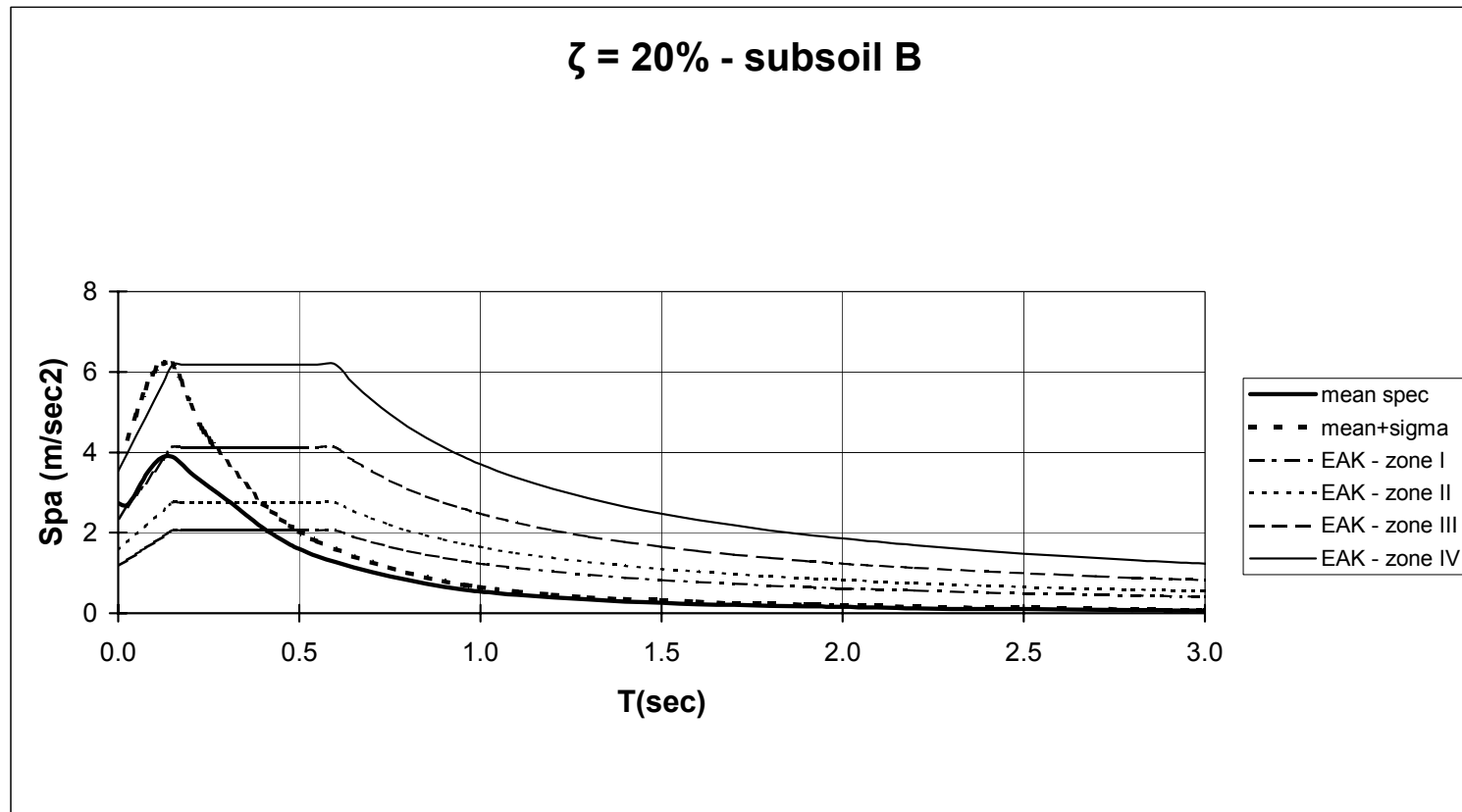
Σχ. 3.5.50 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



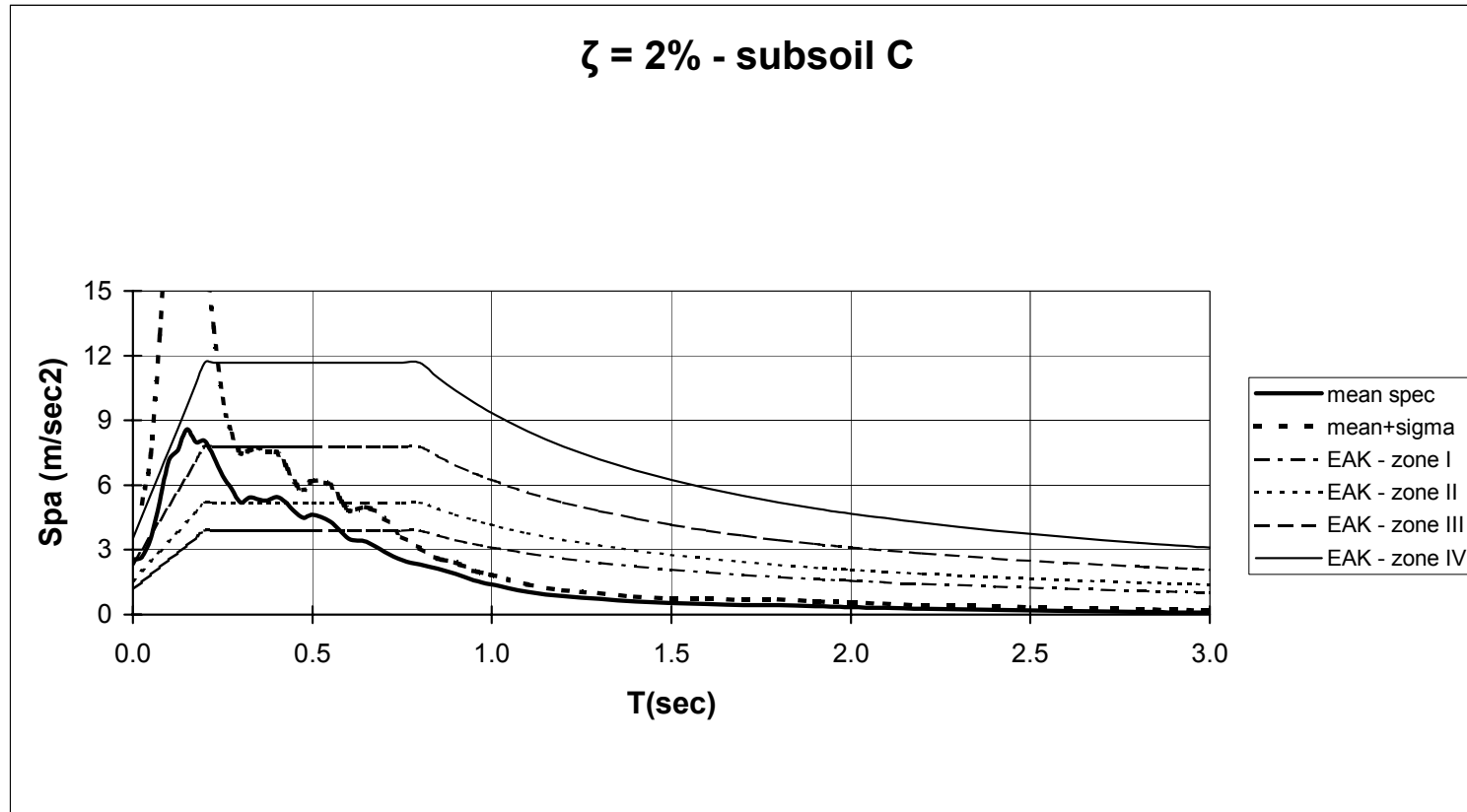
Σχ. 3.5.51 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



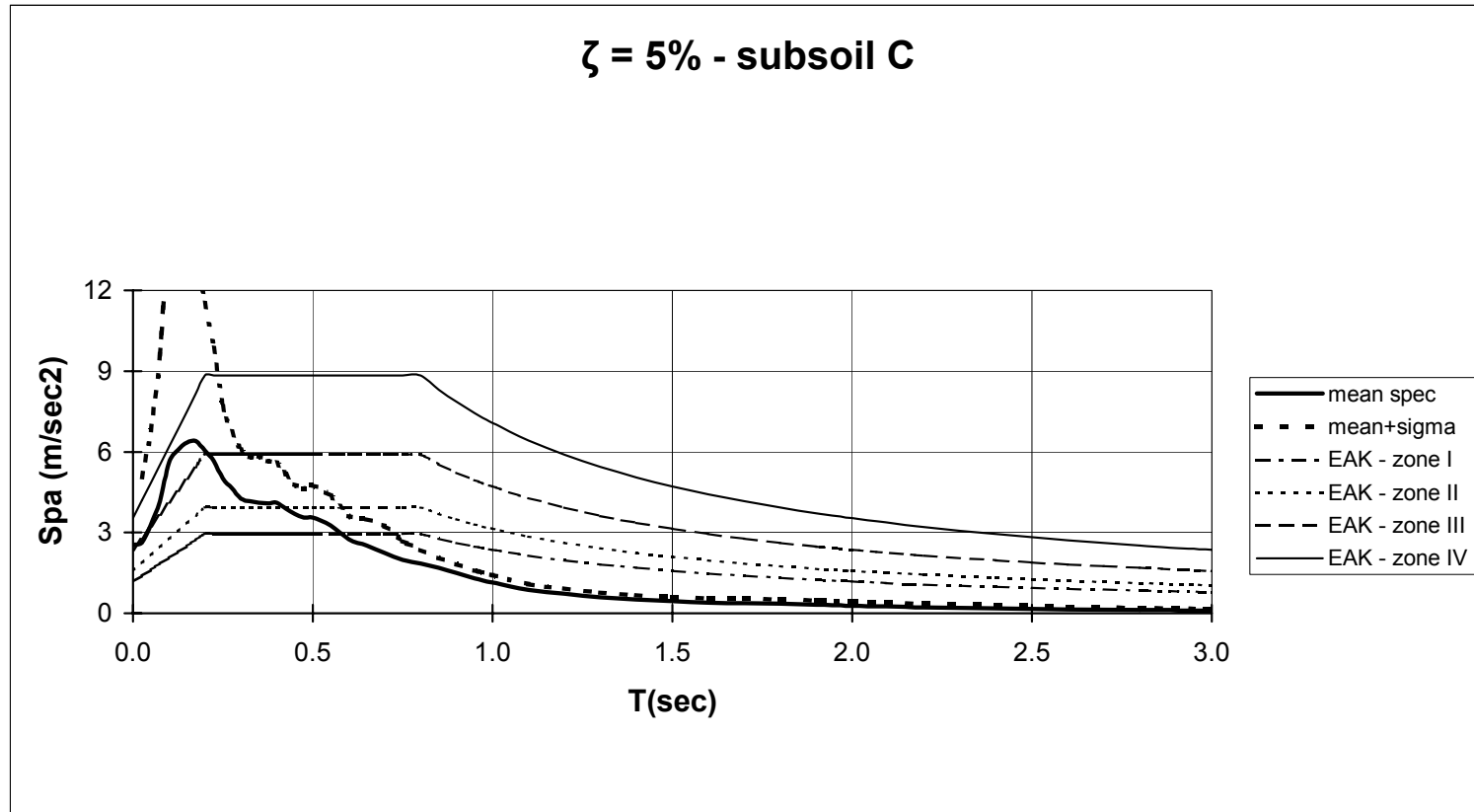
Σχ. 3.5.52 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



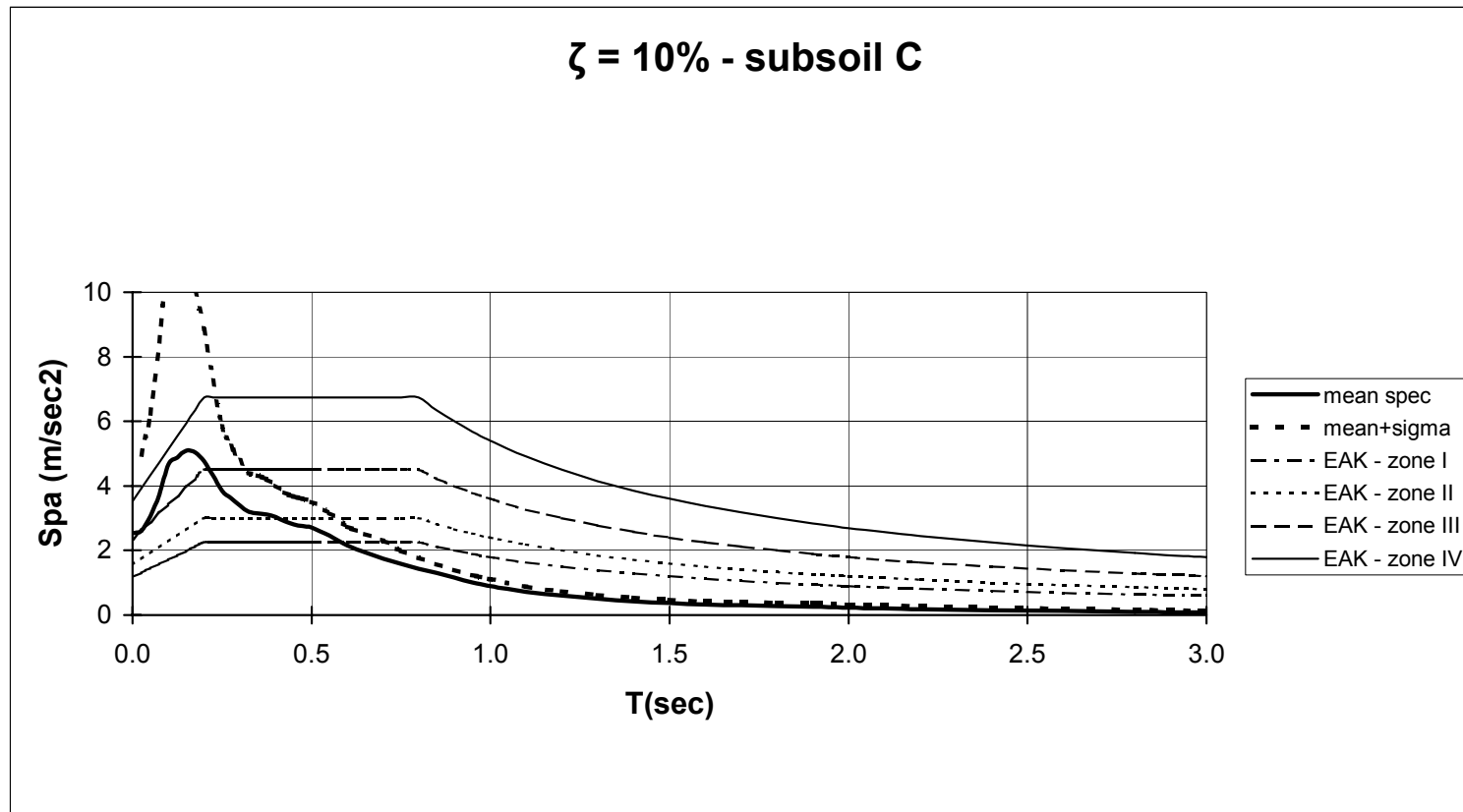
Σχ. 3.5.53 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



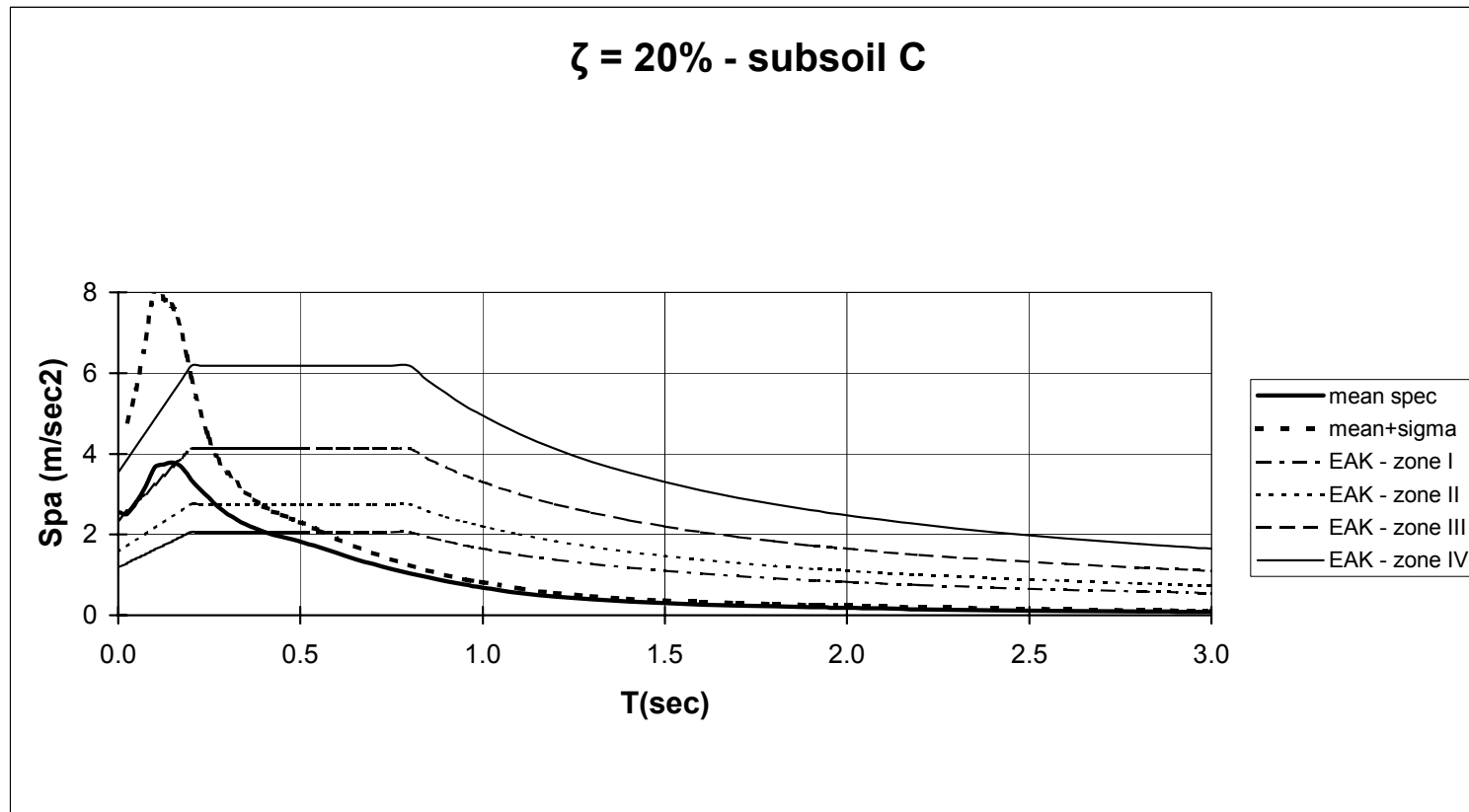
Σχ. 3.5.54 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



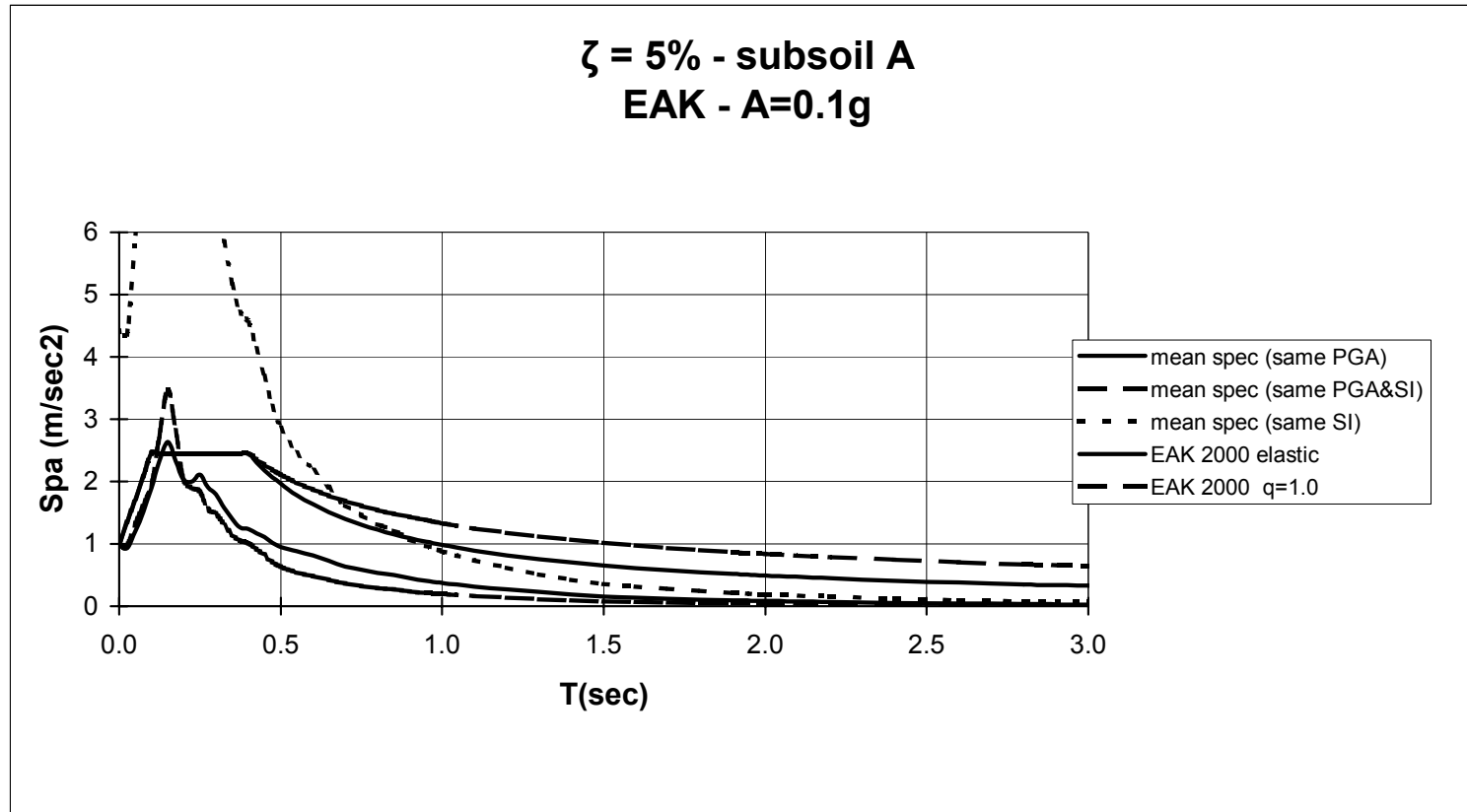
Σχ. 3.5.55 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



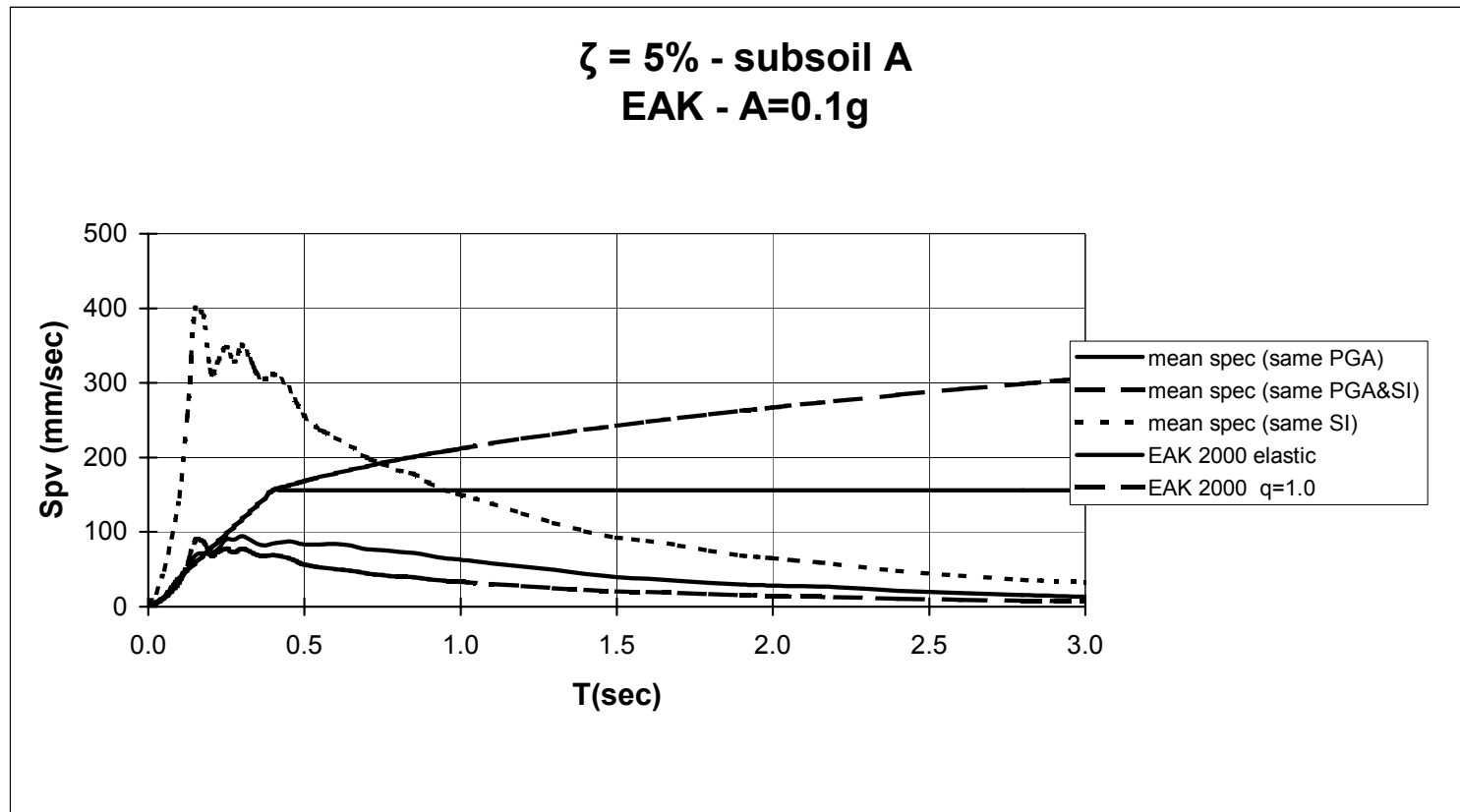
Σχ. 3.5.56 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



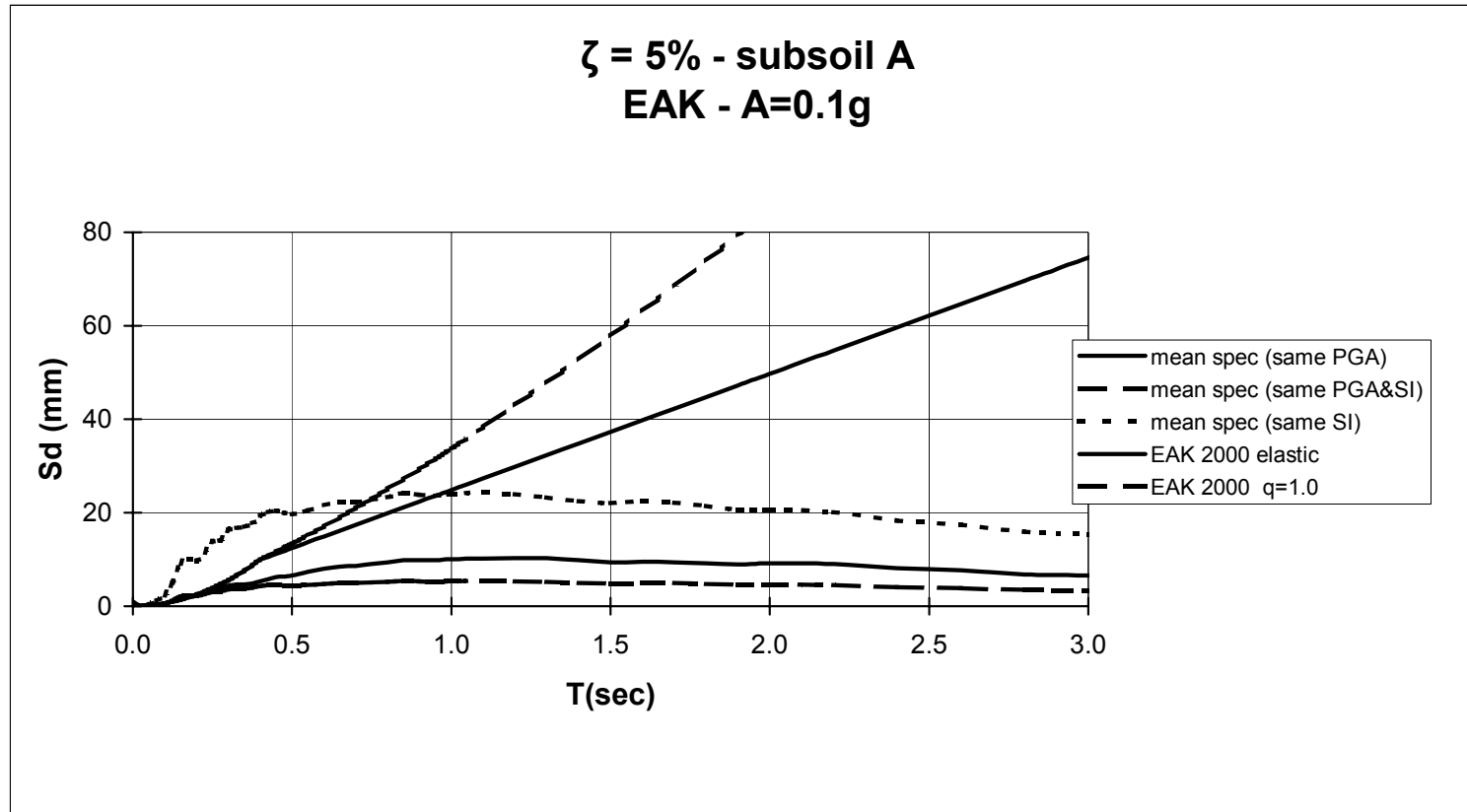
Σχ. 3.5.57 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



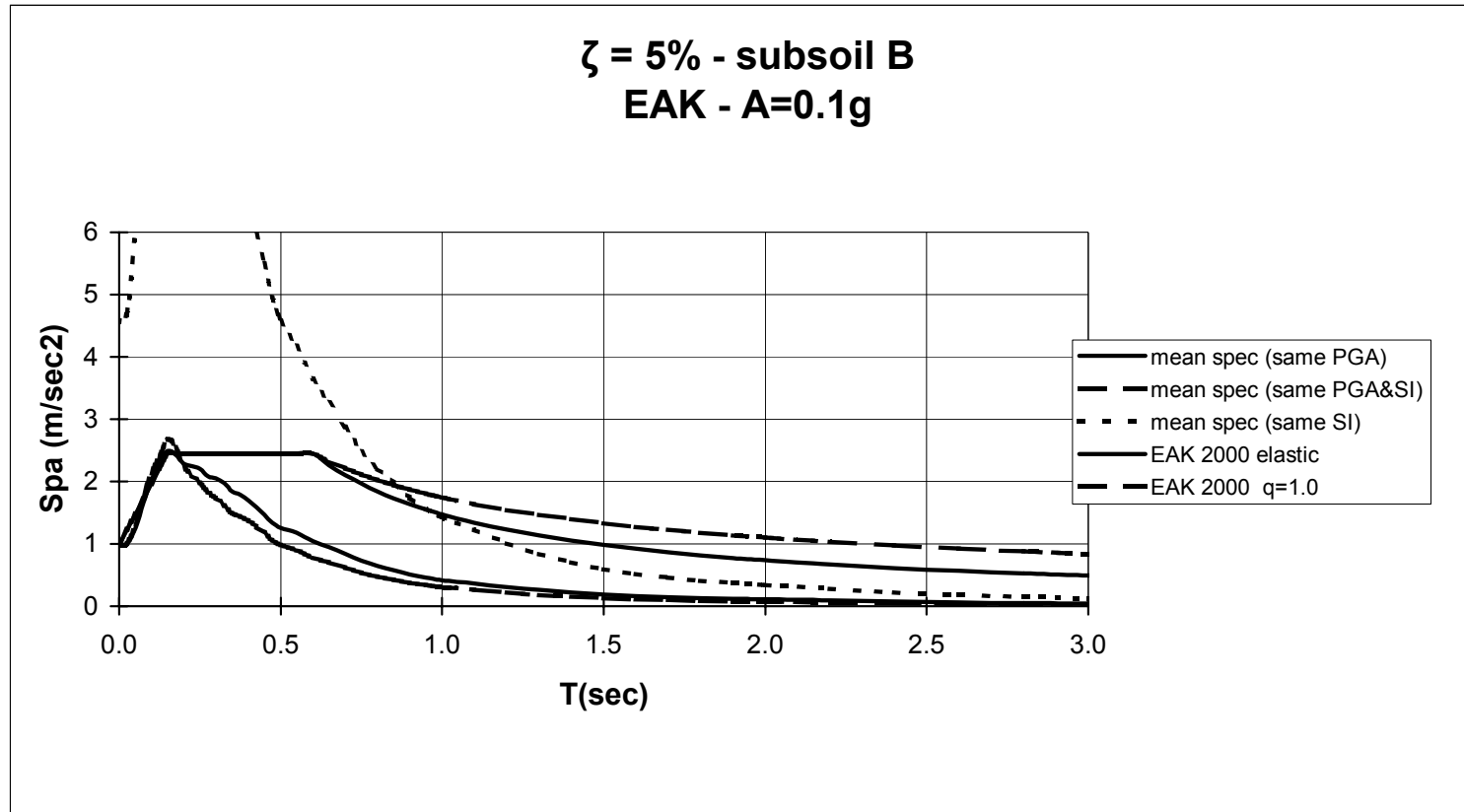
Σχ. 3.5.58 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



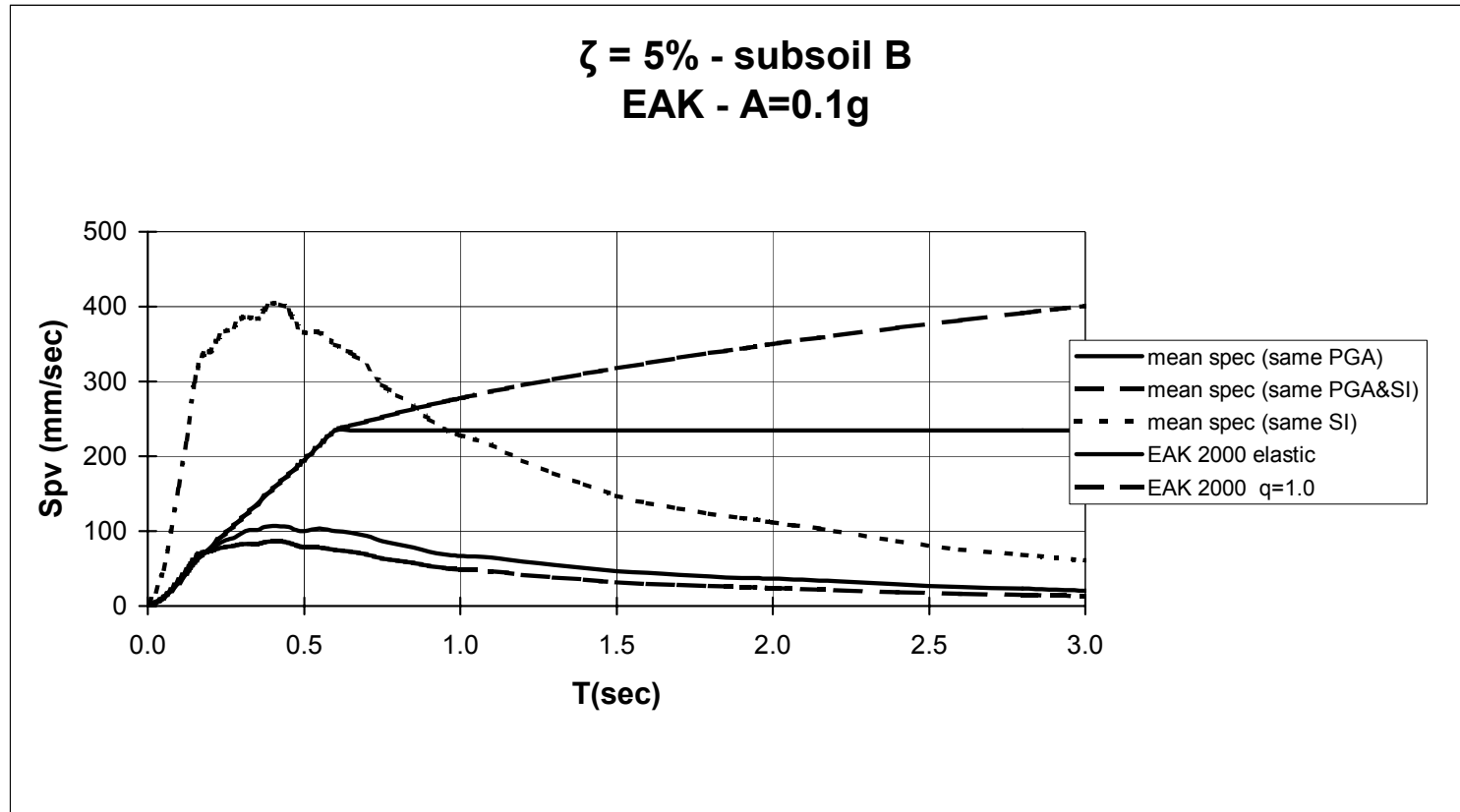
Σχ. 3.5.59 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοταχυτήτων – φασμάτων κανονισμού



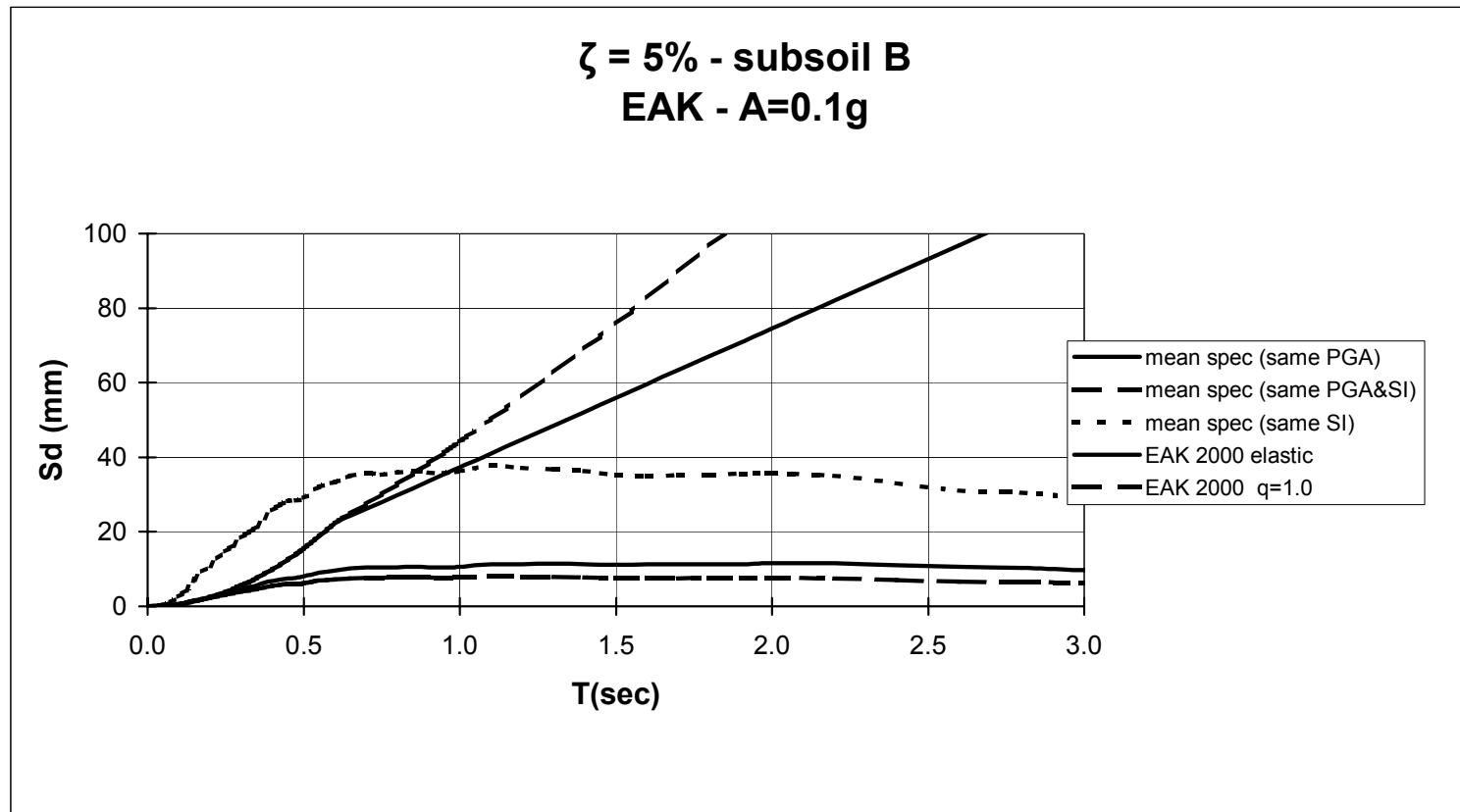
Σχ. 3.5.60 Σύγκριση μέσου φάσματος μετακινήσεων – φασμάτων κανονισμού



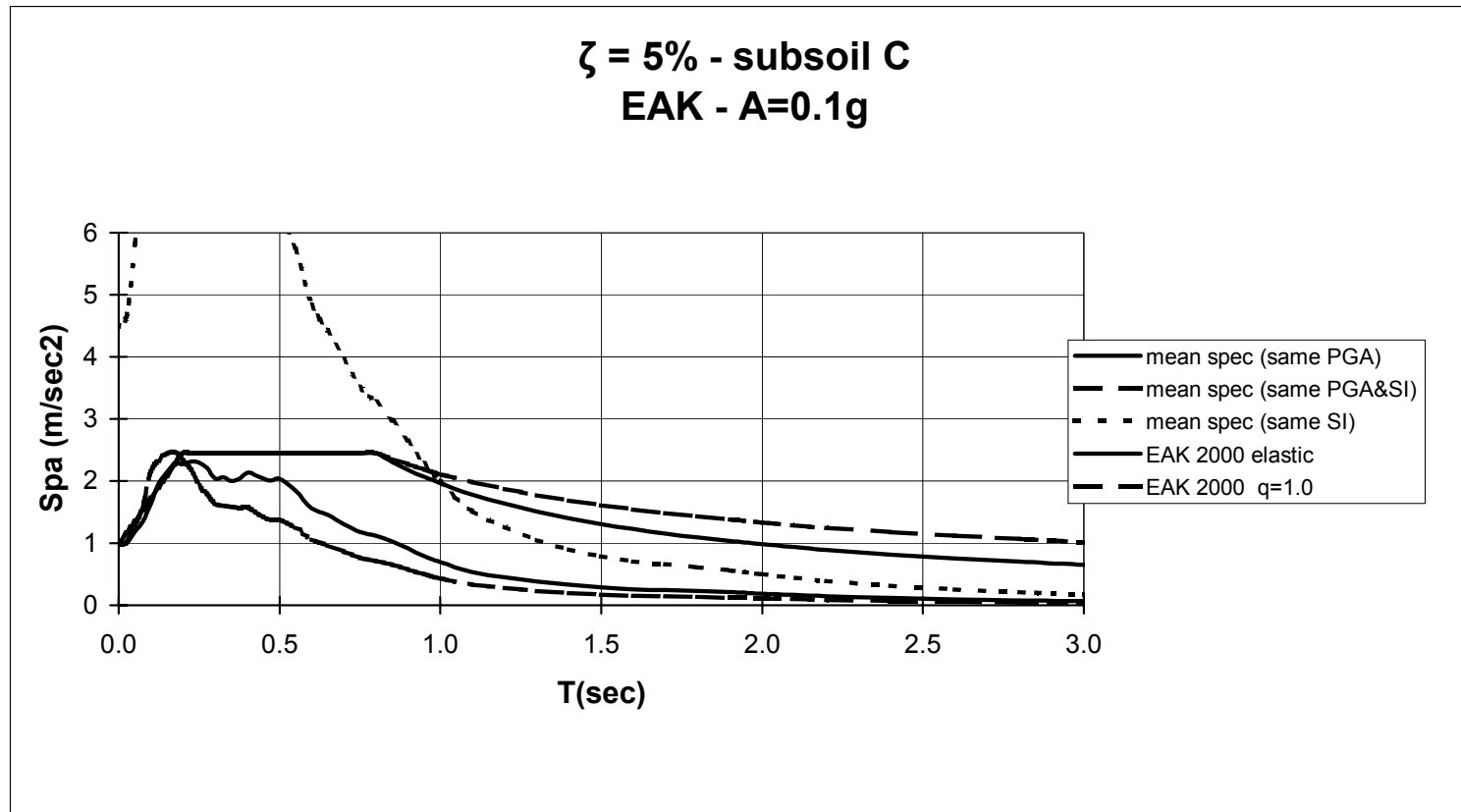
Σχ. 3.5.61 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



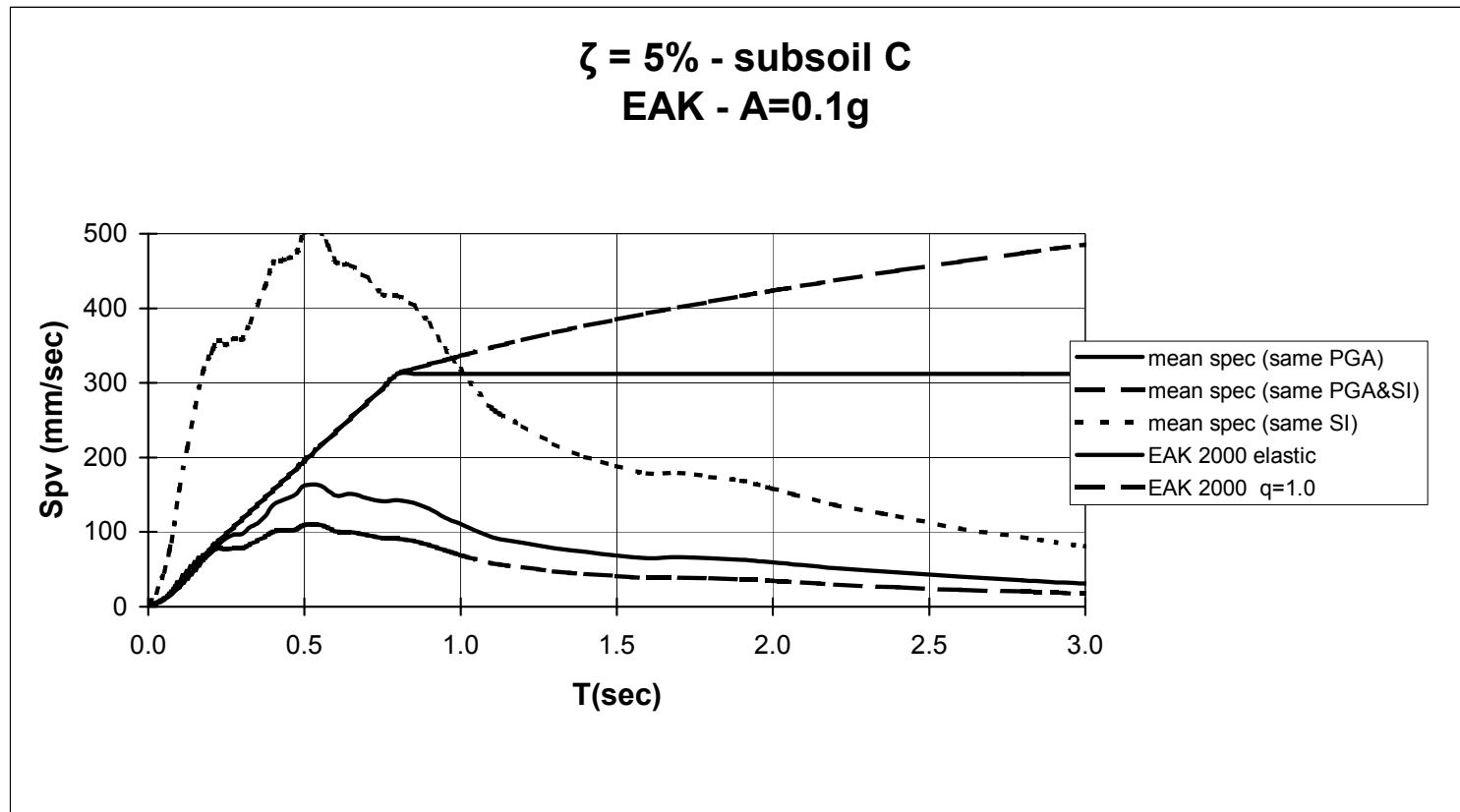
Σχ. 3.5.62 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοταχυτήτων – φασμάτων κανονισμού



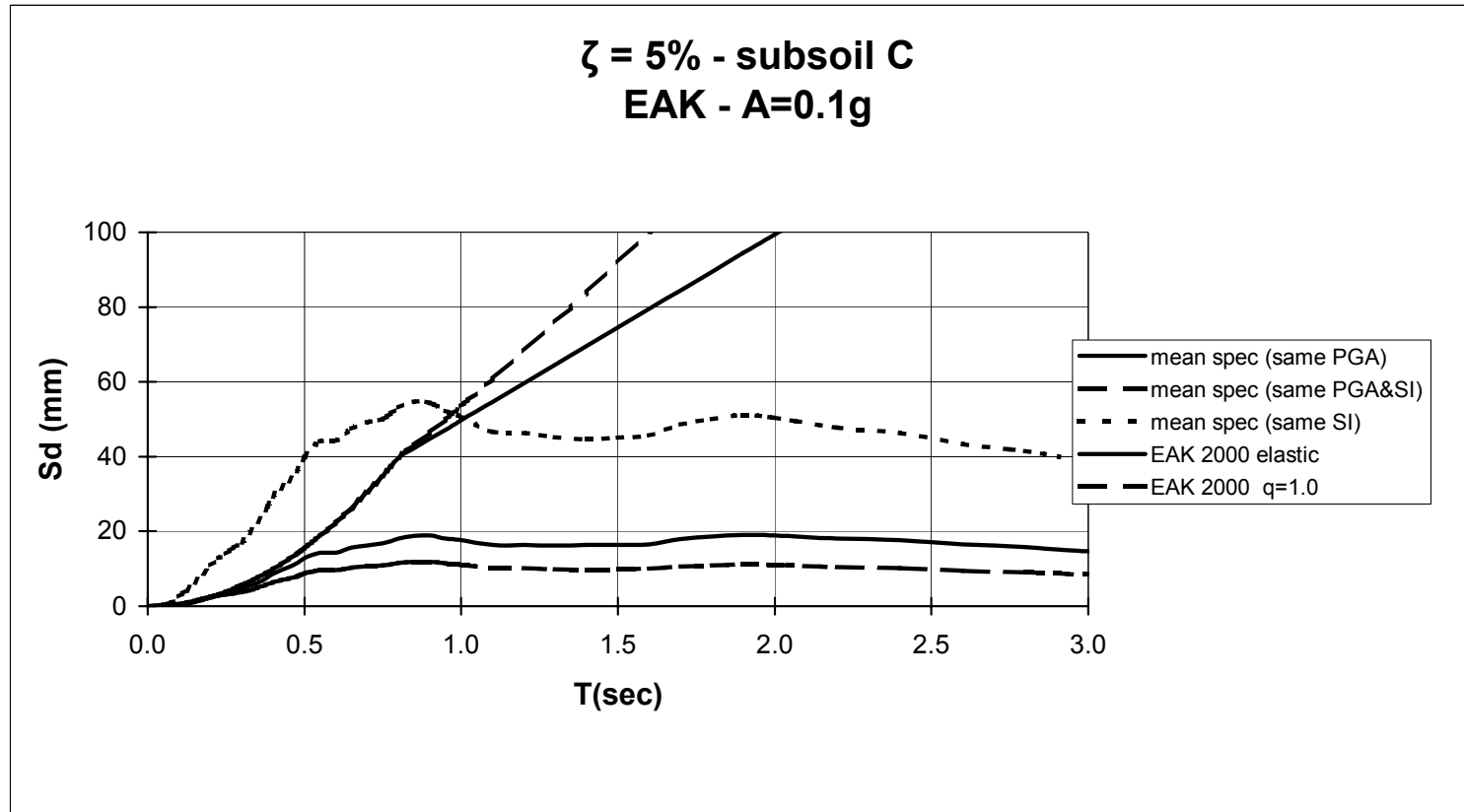
Σχ. 3.5.63 Σύγκριση μέσου φάσματος μετακινήσεων – φασμάτων κανονισμού



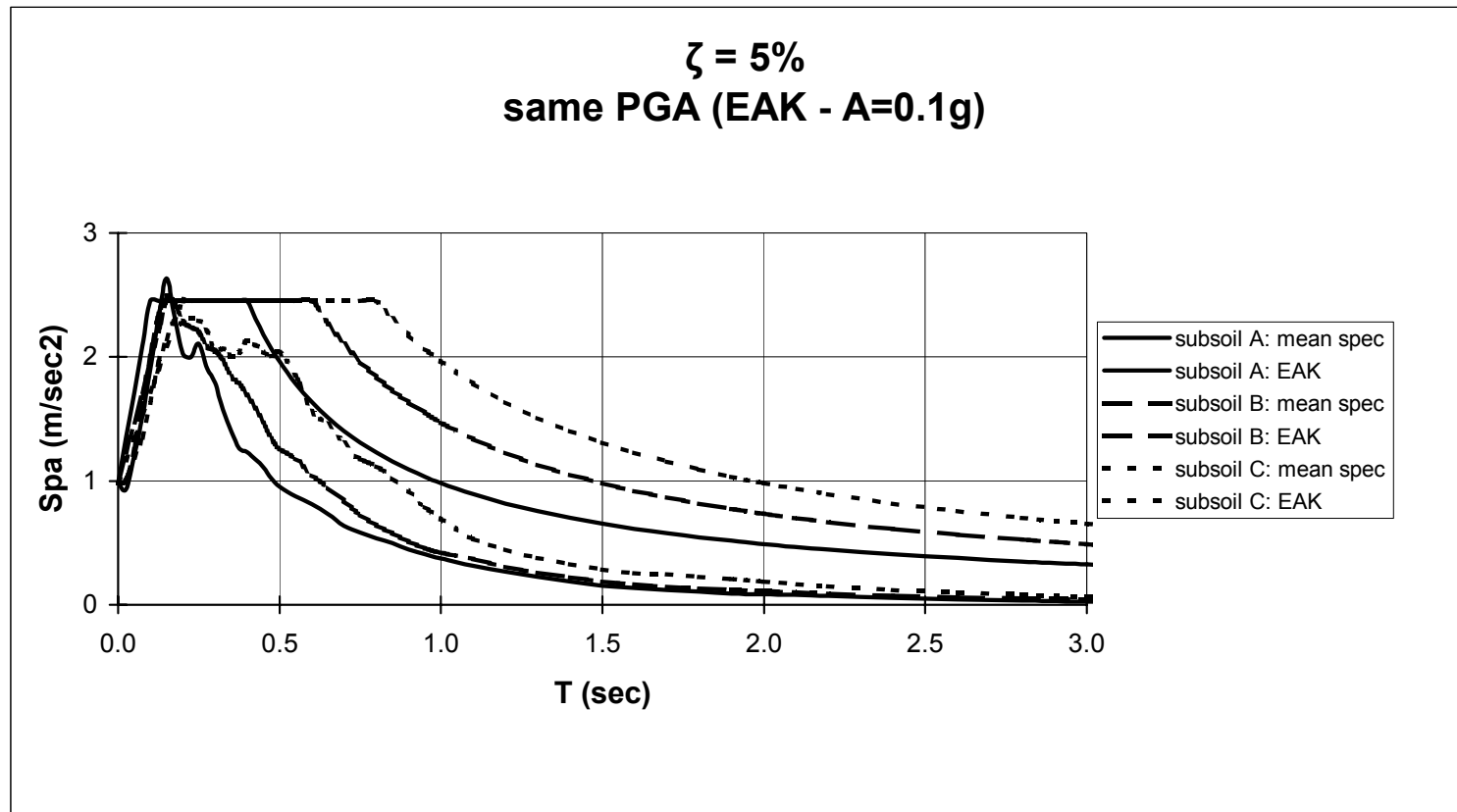
Σχ. 3.5.64 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοεπιταχύνσεων – φασμάτων κανονισμού



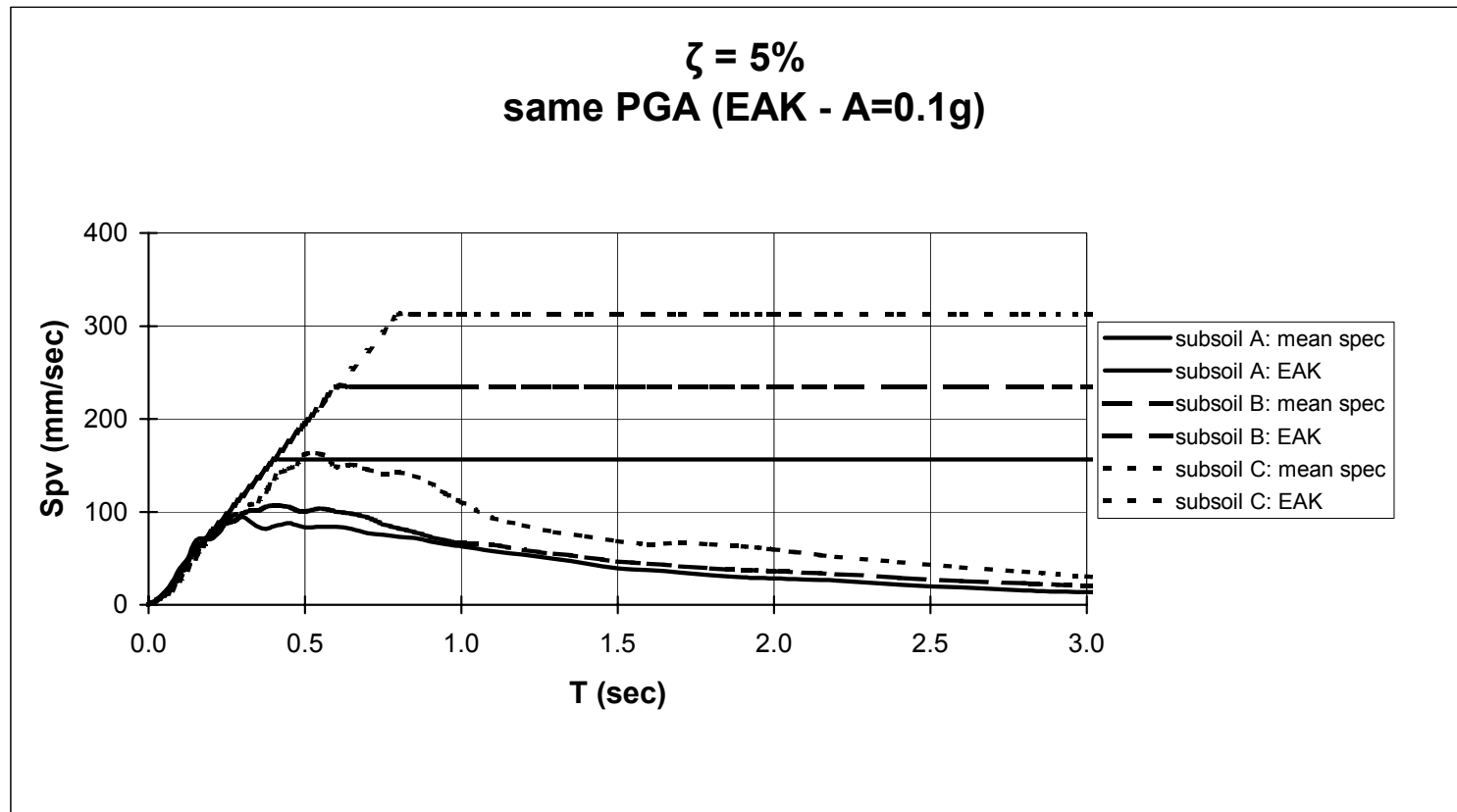
Σχ. 3.5.65 Σύγκριση μέσου φάσματος ψευδοταχυτήτων – φασμάτων κανονισμού



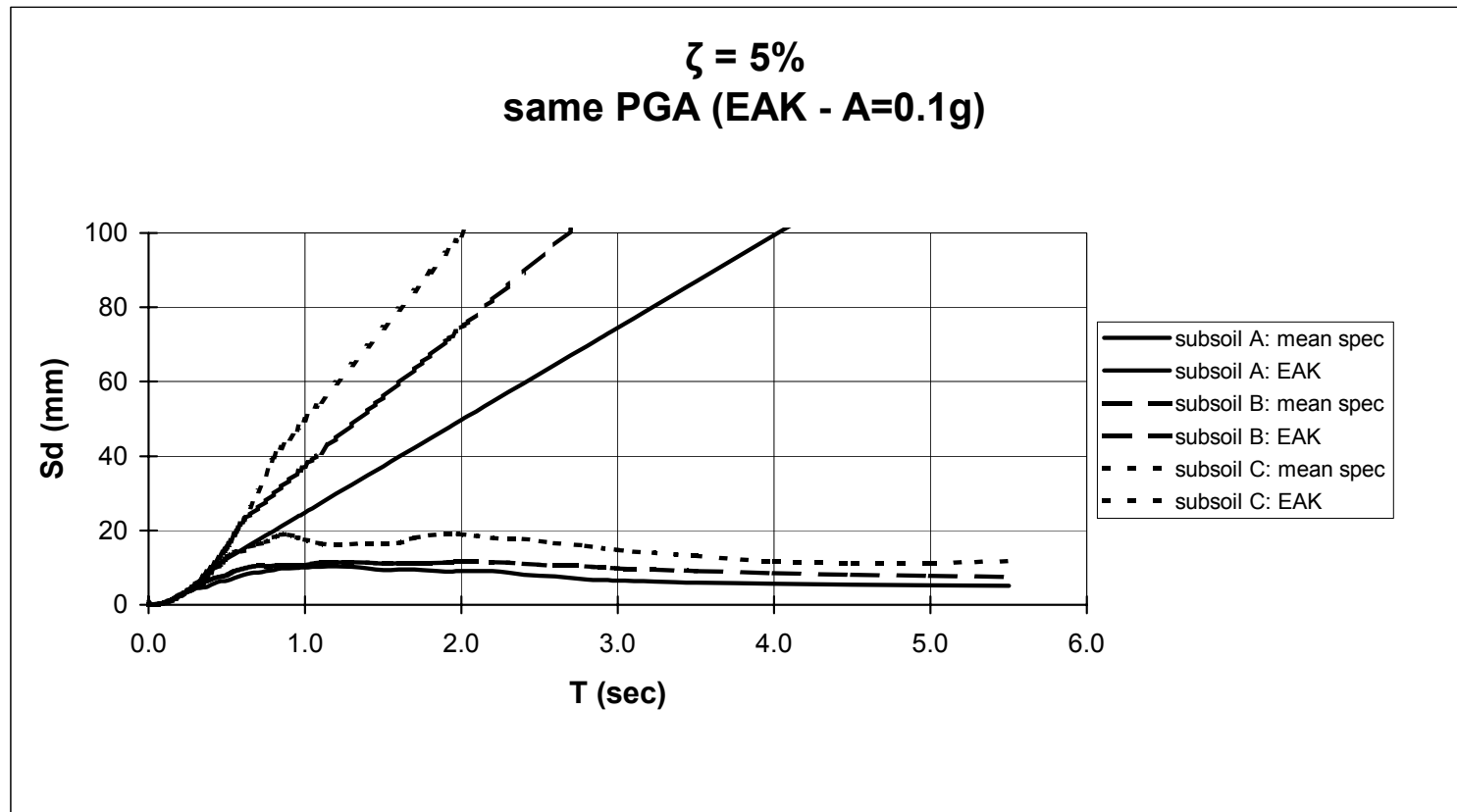
Σχ. 3.5.66 Σύγκριση μέσου φάσματος μετακινήσεων – φασμάτων κανονισμού



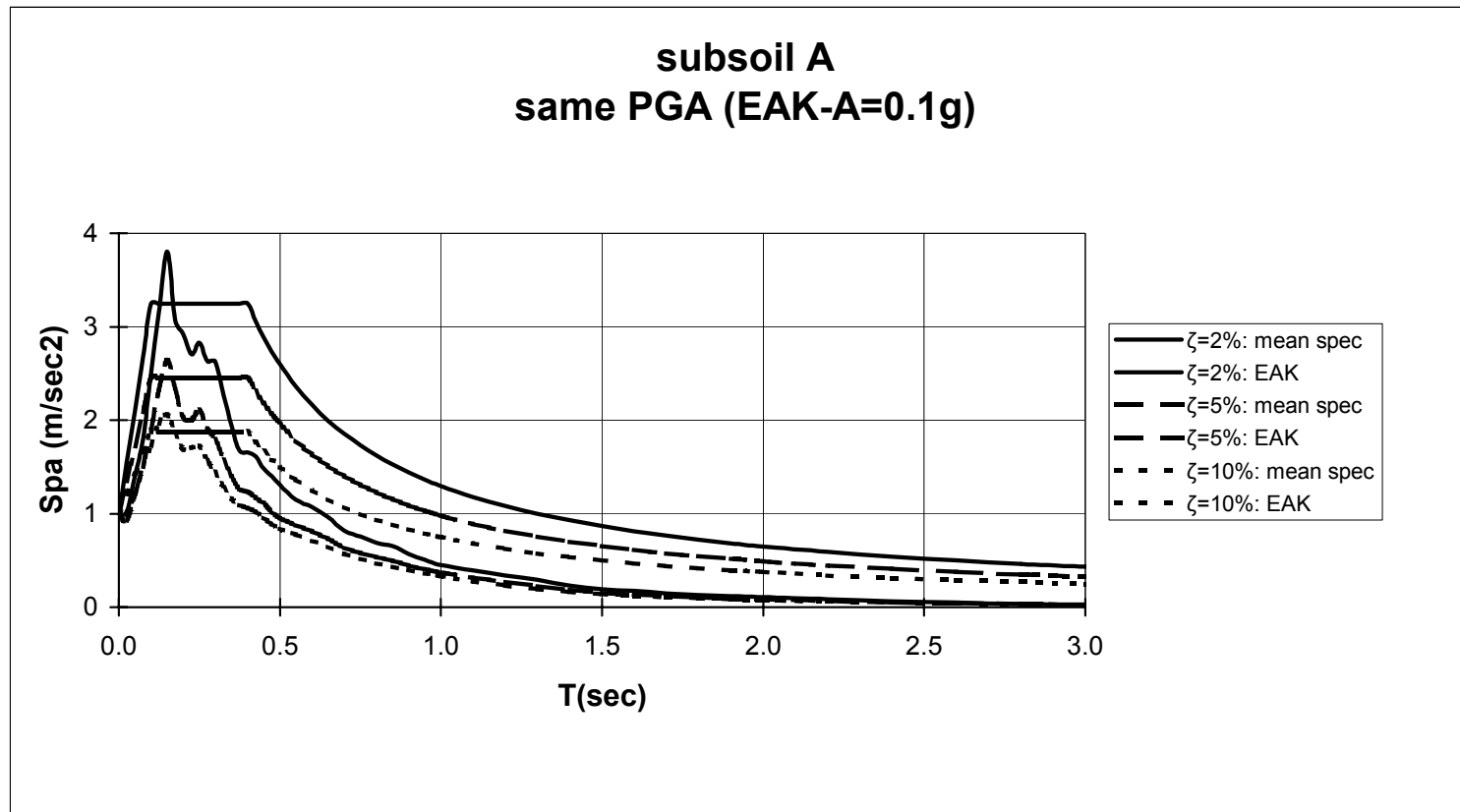
Σχ. 3.5.67 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του ΕΑΚ 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



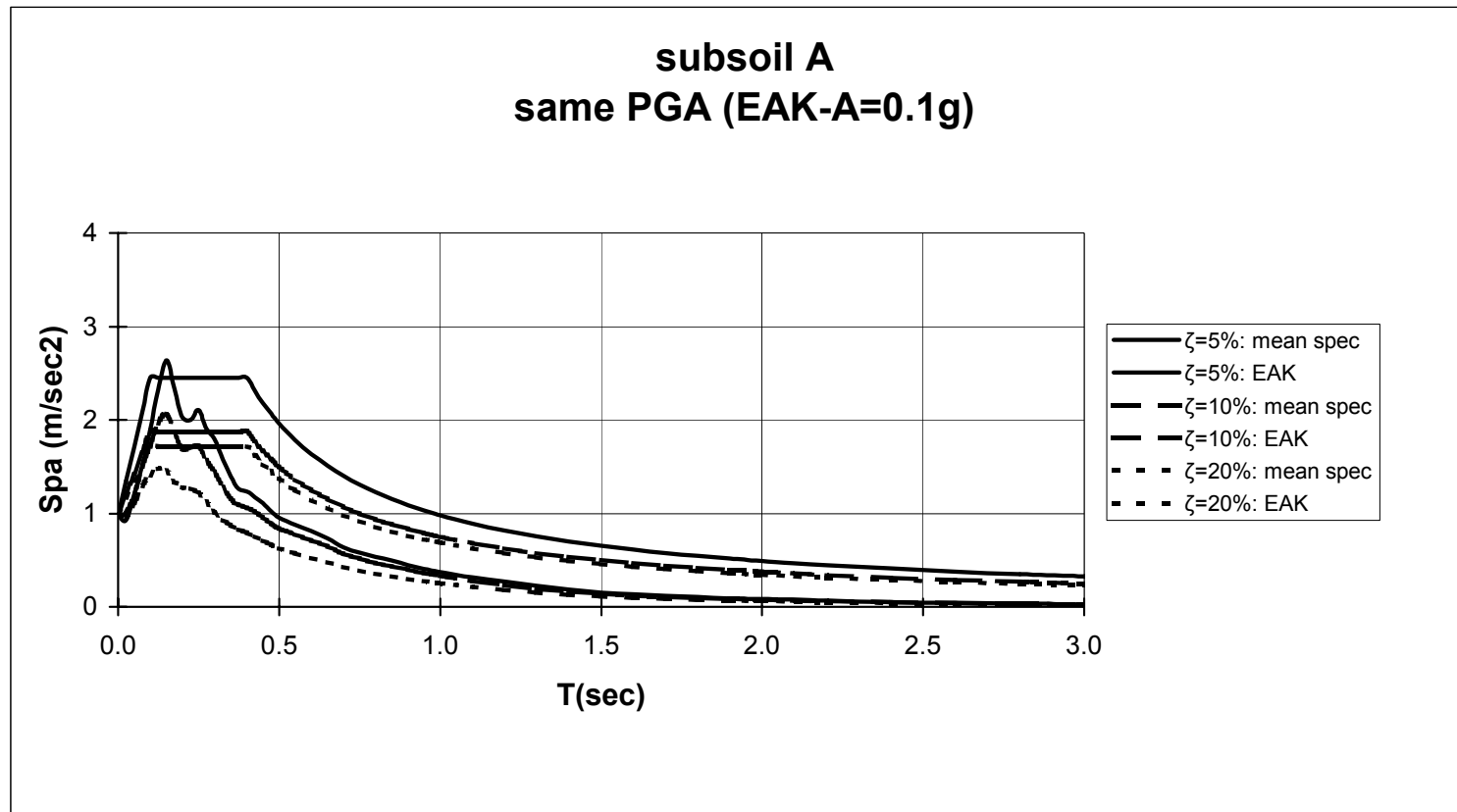
Σχ. 3.5.68 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοταχυτήτων με τα αντίστοιχα του EAK 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



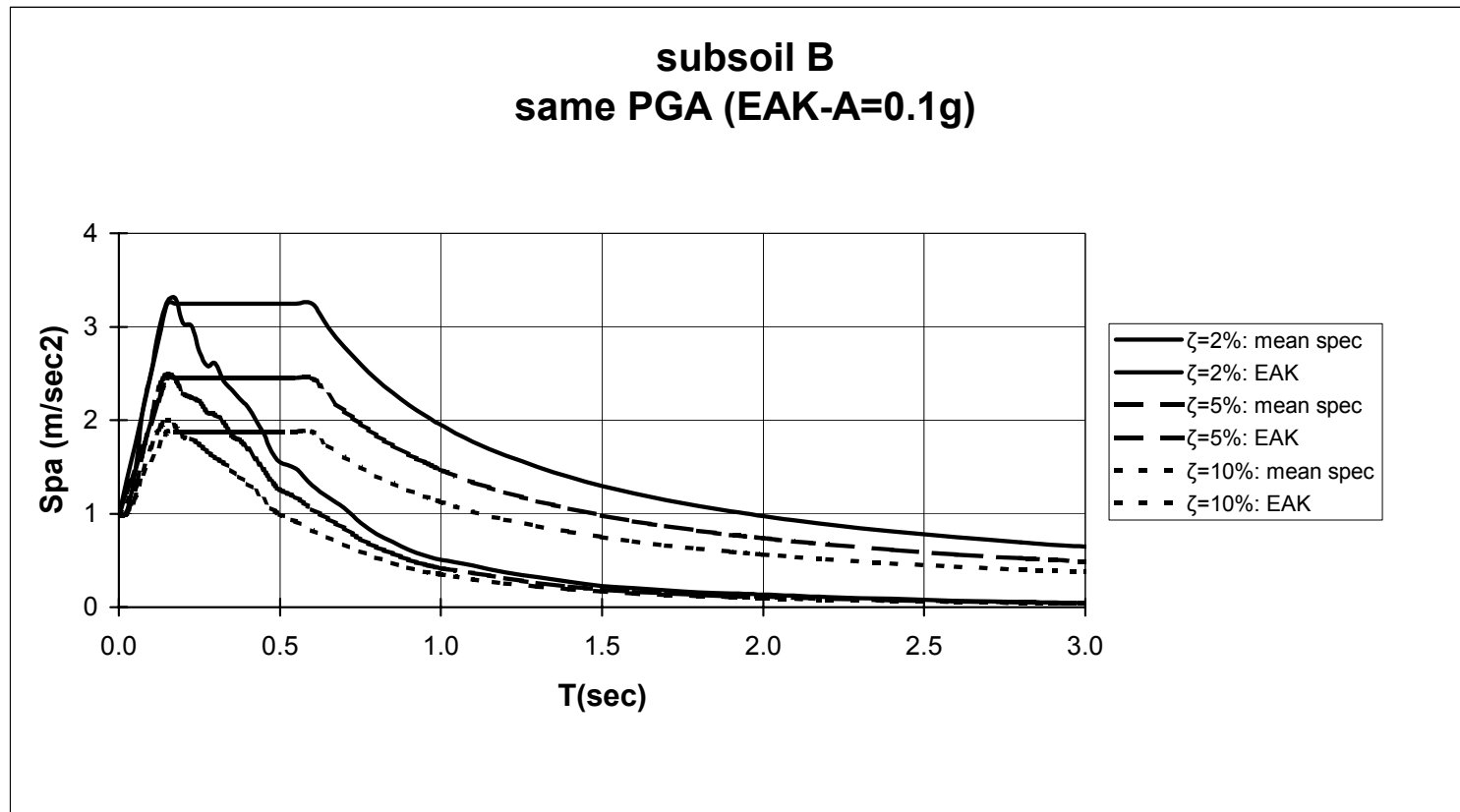
Σχ. 3.5.69 Σύγκριση μέσων φασμάτων μετακινήσεων με τα αντίστοιχα του ΕΑΚ 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



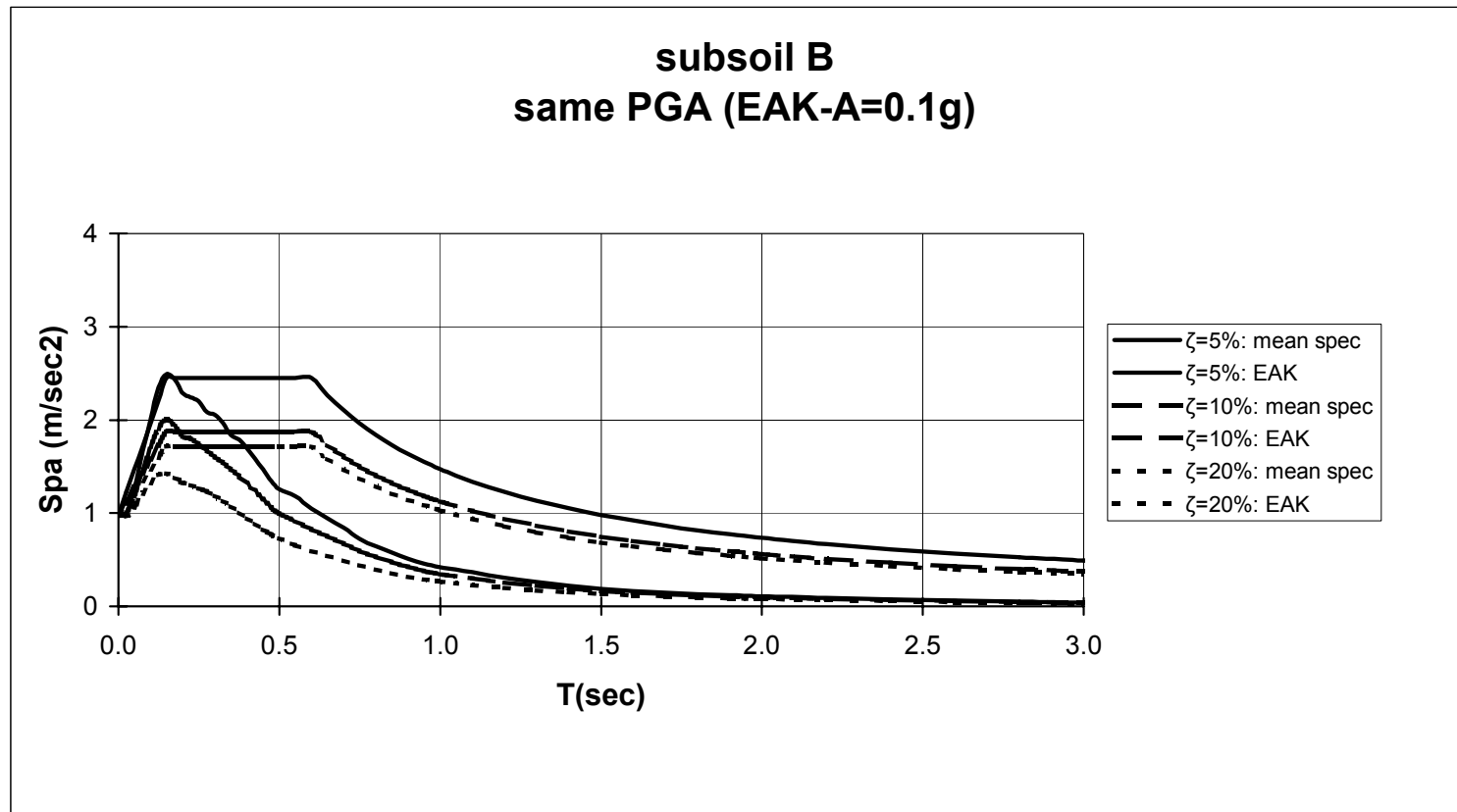
Σχ. 3.5.70 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του EAK 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



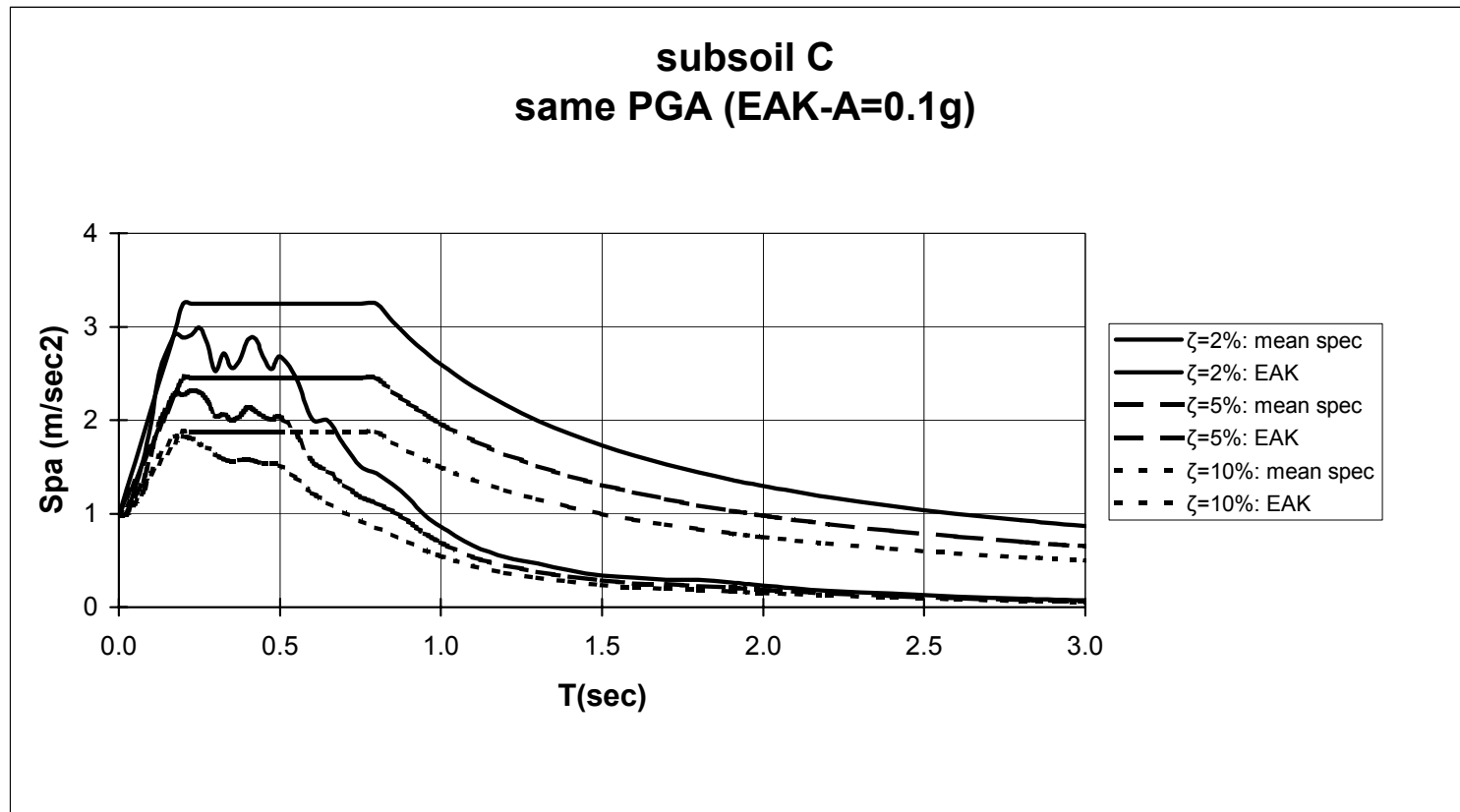
Σχ. 3.5.71 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του ΕΑΚ 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



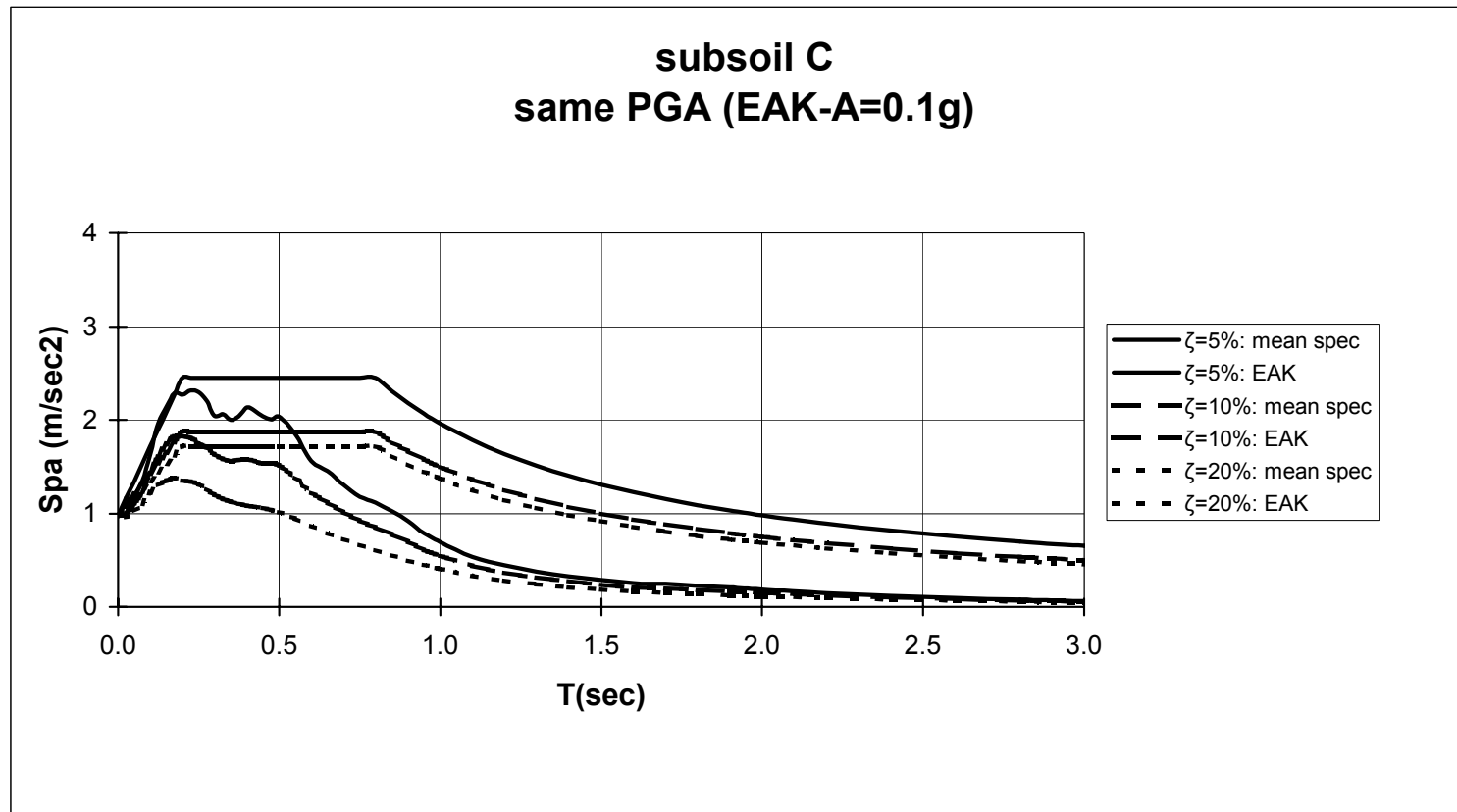
Σχ.3.5.72 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του EAK 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



Σχ. 3.5.73 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του EAK 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



Σχ. 3.5.74 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του EAK 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους



Σχ. 3.5.75 Σύγκριση μέσων φασμάτων ψευδοεπιταχύνσεων με τα αντίστοιχα του EAK 2000, ανηγμένων στην ίδια μέγιστη επιτάχυνση εδάφους

3.6 ΦΑΣΗ 5 - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

3.6.1 Εισαγωγή

Η επικρατούσα σήμερα πρακτική είναι να σχεδιάζονται οι κατασκευές με τέτοιον τρόπο ώστε στη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού να συμπεριφέρονται μεν ανελαστικά, αλλά οι αντίστοιχες απαιτήσεις πλαστιμότητας να μην ξεπερνούν τις τιμές που επιδιώκονταν στη φάση του σχεδιασμού και για τις οποίες είχαν διαμορφωθεί κατασκευαστικά οι κρίσιμες ζώνες των δομικών στοιχείων. Είναι επομένως ιδιαίτερα χρήσιμο, από πρακτική κυρίως σκοπιά, να υπολογιστούν ανελαστικά φάσματα που να αντιστοιχούν σε σταθερή πλαστιμότητα (μ), που να δίνουν δηλαδή την απαιτούμενη αντοχή ενός συστήματος ώστε αυτό να παρουσιάσει στη διάρκεια του σεισμού (για τον οποίο υπολογίζεται το φάσμα) μια επιθυμητή απαίτηση πλαστιμότητας. Ένα τέτοιο φάσμα μπορεί να προκύψει είτε με παρεμβολή μεταξύ (πυκνών) καμπυλών φασμάτων σταθερής αντοχής, ή, ακριβέστερα, με διαδοχική διόρθωση του επιπέδου της αντοχής F_y για κάθε ιδιοπερίοδο, μέχρι να επιτευχθεί (στα πλαίσια του αποδεκτού σφάλματος, π.χ. 5%) η στοχευόμενη πλαστιμότητα. Το μέγεθος που συνήθως αποτελεί την τεταγμένη ενός τέτοιου φάσματος είναι η ανηγμένη αντοχή, που άλλοτε εκφράζεται ως σεισμικός συντελεστής $C_y = F_y/W$ ($W=m \cdot g$ το βάρος του συστήματος) και άλλοτε ως $F_y/(m \cdot a_g)$.

Με βάση τη συνήθη στα ελαστικά φάσματα πρακτική, οι τιμές των ανελαστικών φασμάτων σταθερής πλαστιμότητας μπορεί να οριστούν και ως εξής (Chopra 1995)

$$S_{dy} = u_y \quad S_{pvy} = \omega u_y \quad S_{pay} = \omega^2 u_y \quad (3.6.1)$$

Με βάση τους ορισμούς αυτούς, S_{dy} είναι η μετακίνηση διαρροής (u_y) του συστήματος και όχι η μέγιστη μετακίνησή του (u_{max}) και επομένως ένα διάγραμμα $S_{dy} - T$ για σταθερό δείκτη μ λέγεται φάσμα μετακινήσεων διαρροής (και όχι φάσμα μετακινήσεων όπως προηγουμένως). Σε αντιστοιχία με τους ορισμούς για το κλασικό ελαστικό φάσμα, το διάγραμμα $S_{pvy} - T$ λέγεται φάσμα ψευδοταχυτήτων και το διάγραμμα $S_{pay} - T$ λέγεται φάσμα ψευδο-επιταχύνσεων. Με τους ορισμούς αυτούς είναι δυνατή και η σχεδίαση των τριών φασμάτων στο ίδιο διάγραμμα υπό λογαριθμική κλίμακα, όπως ακριβώς και για τα ελαστικά φάσματα. Είναι προφανές ότι το φάσμα των ψευδοεπιταχύνσεων S_{pay} είναι το ίδιο ουσιαστικά με εκείνο του F_y , δεδομένου ότι $F_y = m \cdot S_{pay}$, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο στην περίπτωση των S_d και S_{dy} .

3.6.2 Μεθοδολογία

Η διαδικασία για τον υπολογισμό των φασμάτων ενός ανελαστικού συστήματος μπορεί να συνοψιστεί ως εξής (Chopra 1995):

1. Καθορισμός της σεισμικής διέγερσης σε αριθμητική μορφή (ζεύγη επιταχύνσεων-χρόνων).
2. Επιλογή του ποσοστού απόσβεσης (ζ) για το οποίο θα υπολογιστεί το φάσμα (στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος λαμβάνεται σειρά τιμών ζ μεταξύ 0 και 30% για τα ελαστικά φάσματα, αλλά τα ανελαστικά υπολογίστηκαν ενγένει για $\zeta=5\%$).

3. Επιλογή μιας τιμής ιδιοπεριόδου T .
4. Υπολογισμός του ελαστικού φάσματος, δηλ. της ελαστικής απόκρισης $u(t)$ του μονοβάθμιου συστήματος στη διέγερση. Αυτός ο υπολογισμός δίνει, μεταξύ άλλων, τη μέγιστη ελαστική μετακίνηση u_{el} του συστήματος (δηλ. τη φασματική μετακίνηση S_d) και την αντίστοιχη μέγιστη δύναμη $F_{el} = k \cdot u_{el}$.
5. Υπολογισμός της απόκρισης $u(t)$ του ελαστοπλαστικού μονοβάθμιου συστήματος (για τα ίδια T και ζ) με αντοχή $F_y = \alpha \cdot F_{el}$ όπου $\alpha < 1$ ένα αρχικά επιλεγόμενο ποσοστό της μέγιστης δύναμης που προκύπτει για ελαστική συμπεριφορά. Από τη μέγιστη μετακίνηση u_{max} του συστήματος υπολογίζεται ο δείκτης πλαστιμότητας από τη σχέση

$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (3.6.2)$$

Ο υπολογισμός αυτός επαναλαμβάνεται για μια σειρά τιμών του α που να καλύπτουν την επιθυμητή περιοχή του μ , επιτρέποντας αριθμητικές παρεμβολές.

6. Για κάθε στοχευόμενη πλαστιμότητα προσδιορίζεται η αντίστοιχη τιμή του α με αριθμητική παρεμβολή στα αποτελέσματα του βήματος 5. Επισημαίνεται ότι ο δείκτης μ δεν αυξάνει πάντα με τη μείωση της αντοχής και σε μία τιμή του μ μπορεί να αντιστοιχούν περισσότερες τιμές της $F_y = \alpha \cdot F_{el}$. Για τους σκοπούς του αντισεισμικού σχεδιασμού πρέπει πάντα να λαμβάνεται η υψηλότερη τιμή της F_y .
7. Οι φασματικές τιμές μπορεί τώρα να υπολογιστούν από τις σχέσεις (3.6.1) με βάση τη u_y που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα ($u_y = F_y/k_0$).
8. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 ως 7 για μια σειρά ιδιοπεριόδων που ενδιαφέρουν για το σχεδιασμό.
9. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 ως 8 για διάφορες τιμές του μ (συνήθως μεταξύ 2 και 6 ή περισσότερο).

Εναλλακτικά στην προηγούμενη διαδικασία μπορεί το βήμα 5 να συνίσταται σε διαδοχικές διορθώσεις του α μέχρι να επιτευχθεί η στοχευόμενη μ , όπως προαναφέρθηκε, αποφεύγοντας έτσι τις αριθμητικές παρεμβολές. Παλιότερα προγράμματα (π.χ. Mahin & Lin 1983) ακολουθούσαν τη διαδικασία των παρεμβολών, ενώ το πρόγραμμα INELSP-2k που αναπτύχθηκε στο Εργ. Σκυροδέματος του ΑΠΘ (π.χ. Karros 1999) και επεκτάθηκε και αναβαθμίστηκε στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος, ακολουθεί την εναλλακτική διαδικασία (διόρθωση α) που ενγένηι δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα.

3.6.3 Αποτελέσματα

Σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τη φάση 5 του παρόντος προγράμματος, υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του INELSP-2k τα ανελαστικά φάσματα αντοχής (C_y) και μετακίνησης (S_d) για όλα τα επιταχυνσιογραφήματα του Πίν. 3.5.1. Τα ανελαστικά φάσματα υπολογίστηκαν για τέσσερις τιμές του δείκτη πλαστιμότητας μ , ήτοι 1.0 (ελαστική συμπεριφορά), 2.0 (χαμηλή πλαστιμότητα), 3.5 (μέση πλαστιμότητα) και 5.0 (υψηλή πλαστιμότητα). Τα φάσματα αυτά δίνονται στο Παράρτημα Β της παρούσας έκθεσης (περιέχεται σε ξεχωριστό συνοδευτικό τεύχος). Όλα τα φάσματα του Παραρτήματος Β έχουν υπολογιστεί για ανελαστική συμπεριφορά σύμφωνα με το μοντέλο φθίνουσας δυσκαμψίας (πολύ αντιπροσωπευτικότερο

της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών απ' ότι το ελαστοπλαστικό) και για ποσοστό κράτυνσης (λόγο δυσκαμψίας μετά τη διαρροή προς την αντίστοιχη ελαστική) $p=5\%$ (τιμή αντιπροσωπευτική για κατασκευές από σκυρόδεμα) και λόγο απόσβεσης $\zeta=5\%$. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν τα μέσα ανελαστικά φάσματα αντοχής και μετακίνησης (συνολικά και ανά κατηγορία εδάφους) κατ' αντιστοιχία προς τα ελαστικά. Σε κάθε περίπτωση η αναγωγή των επιταχυνσιογραφημάτων έγινε ως προς τη μέση φασματική ένταση της κατηγορίας που εξετάζεται, όπως και στα ελαστικά. Επιπλέον, για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων, υπολογίστηκαν (για τις καταγραφές σε έδαφος Γ του Πίν. 3.5.1) τα ανελαστικά φάσματα τόσο με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου με κράτυνση 5% όσο και αυτά με χρήση του μοντέλου φθίνουσας δυσκαμψίας αλλά για διάφορες τιμές μέτρου κράτυνσης ($p=0\%, 5\%, 15\%$).

3.6.3.1 Μέσα φάσματα

Τα μέσα ανελαστικά φάσματα (από τις 67 συνιστώσες του Πίν. 3.5.1) δίνονται σε διάφορες μορφές στα σχήματα 3.6.3 ως 3.6.32. Σε κάθε περίπτωση τα επιταχυνσιογραφήματα βάσης έχουν αναχθεί στη μέση φασματική ένταση της αντίστοιχης κατηγορίας σύμφωνα με τους συντελεστές λ του Πίν. 3.5.1. Η αναγωγή μπορεί να γίνει είτε με απευθείας πολλαπλασιασμό όλων των επιταχύνσεων του εδάφους με τον εκάστοτε συντελεστή λ και στη συνέχεια υπολογισμό του (ανηγμένου) φάσματος είτε με υπολογισμό του φάσματος αρχικά για $\lambda_0=1.0$ (φάσματα του Παραρτήματος Α) και στη συνέχεια πολλαπλασιασμό των φασματικών τιμών επί λ . Είναι προφανές ότι στην περίπτωση των ελαστικών φασμάτων θα προκύψουν ταυτόσημα αποτελέσματα και με τις δύο μεθόδους. Στα σχήματα 3.6.1 και 3.6.2 φαίνονται τα ανελαστικά φάσματα αντοχής και μετακίνησης αντίστοιχα των δύο συνιστωσών των σεισμών των Αλκυονίδων 1981 (με τη μεγαλύτερη σχεδόν φασματική ένταση και το μικρότερο λ) και της Ιερισσού 1983 (με τη μικρότερη SI και το μεγαλύτερο λ) όπως προέκυψαν με εφαρμογή της πρώτης (κόκκινες διακεκομμένες γραμμές) είτε της δεύτερης (γαλάζιες συνεχείς γραμμές) μεθόδου αναγωγής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας. Τα αποτελέσματα είναι, όπως αναμενόταν, ταυτόσημα στην περίπτωση των αντοχών (Σχ. 3.6.1) ενώ παρουσιάζονται αρκετές διαφορές στις ανελαστικές μετακινήσεις που αυξάνονται με την αύξηση της πλαστιμότητας (Σχ. 3.6.2). Με βάση αυτά, τα ανελαστικά φάσματα μετακινήσεων που παρουσιάζονται στη συνέχεια προέκυψαν με πολλαπλασιασμό των επιταχύνσεων εδάφους (για κάθε συνιστώσα) επί τον αντίστοιχο συντελεστή αναγωγής λ και στη συνέχεια υπολογισμό του φάσματος.

Στα σχήματα 3.6.3 ως 3.6.6 φαίνονται τα μέσα ανελαστικά φάσματα αντοχής για το σύνολο των 67 καταγραφών (Σχ. 3.6.3) και για τα επιταχυνσιογραφήματα της κατηγορίας εδάφους Α (Σχ. 3.6.4), Β (Σχ. 3.6.5) και Γ (Σχ. 3.6.6) του ΕΑΚ 2000 (Πίν. 3.5.1) για δείκτες πλαστιμότητας $\mu = 1.0, 2.0, 3.5$ και 5.0 , ενώ στα σχήματα 3.6.7 ως 3.6.10 φαίνονται οι αντίστοιχοι συντελεστές διασποράς COV, οι οποίοι έχουν γενικά πολύ χαμηλές τιμές, γενικά μικρότερες από τις αντίστοιχες των ελαστικών φασμάτων. Το πρώτο που παρατηρείται από τα Σχ. 3.6.3÷3.6.6 είναι ότι η μορφή των ανελαστικών φασμάτων είναι διαφορετική από εκείνη των ελαστικών. Γενικά τα ανελαστικά φάσματα είναι πιο ομαλά (λιγότερο έντονες διακυμάνσεις) και αυτή η τάση γίνεται εντονότερη όσο αυξάνει το επίπεδο πλαστιμότητας. Για $\mu \geq 3.5$ οι απαιτήσεις αντοχής (για δεδομένη μ) συνήθως μειώνονται συνεχώς με την ιδιοπερίοδο. Η ανελαστική συμπεριφορά μειώνει πιο δραστικά τις απαιτήσεις αντοχής στις

καταγραφές σε βράχο (Σχ. 3.6.4), αλλά, ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών, η μείωση της ελαστικής απαίτησης (F_{el}) είναι πολύ σημαντική στην περιοχή των μέσων και υψηλών ιδιοπεριόδων. Από πρακτική πλευρά, σημαντική είναι η παρατήρηση ότι για $\mu \geq 3.5$ η επιρροή του επιπέδου πλαστιμότητας στις απαιτήσεις αντοχής είναι μικρή. Συνέπεια αυτού είναι ότι μικρές μειώσεις της αντοχής κατασκευών μέσης και υψηλής πλαστιμότητας μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική επαύξηση των απαιτήσεων πλαστιμότητας.

Στα σχήματα 3.6.11 ως 3.6.14 δίνονται τα μέσα ανελαστικά φάσματα αντοχής και τα αντίστοιχα μέσα συν μία τυπική απόκλιση (ποσοστημόριο 84%) για τις τρεις τιμές του δείκτη πλαστιμότητας $\mu = 2.0, 3.5$ και 5.0 που αφορούν αφενός στο σύνολο των επιταχυνσιογραφημάτων (Σχ. 3.6.11) και αφετέρου χωριστά ανά κατηγορία εδάφους. Παρατηρείται ότι η μορφή των φασμάτων γενικά δεν αλλάζει όταν θεωρείται το ποσοστημόριο 84% και ισχύουν οι προηγούμενες παρατηρήσεις, ιδιαίτερα για $\mu \geq 3.5$, ενώ στη χαμηλή πλαστιμότητα ($\mu=2.0$) εμφανίζονται έντονες αιχμές για $T \approx 0.15 \text{ sec}$, ιδίως στις καταγραφές σε βράχο (Σχ. 3.6.12).

Η επιρροή των εδαφικών συνθηκών στα μέσα ανελαστικά φάσματα αντοχής φαίνεται στα σχήματα 3.6.15, 3.6.16 και 3.6.17 που αντιστοιχούν σε τιμές δείκτη πλαστιμότητας 2.0, 3.5 και 5.0. Η αναγωγή των επιταχυνσιογραφημάτων έγινε ως προς τη μέση φασματική ένταση του *συνόλου* των θεωρούμενων καταγραφών. Παρατηρείται ότι οι απαιτήσεις αντοχής στις περιοχές μέσων και υψηλών ιδιοπεριόδων είναι γενικά πολύ μικρές ανεξάρτητα από τις εδαφικές συνθήκες. Η φασματική ενίσχυση – στην περίπτωση της χαμηλής πλαστιμότητας – είναι μεγαλύτερη στα σκληρά εδάφη (A) από ότι στα πιο μαλακά, ενώ για μέση και υψηλή πλαστιμότητα είναι γενικά πολύ μικρή, ανεξαρτήτως εδάφους.

Μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα φάσματα *μετακινήσεων*, ιδιαίτερα στα πλαίσια της σύγχρονης τάσης για αντισεισμικό σχεδιασμό με βάση τις μετακινήσεις. Τα σχήματα 3.6.18 ως 3.6.32 είναι τα αντίστοιχα των 3.6.3÷3.6.17 και αφορούν τις ανελαστικές μετακινήσεις. Μια πρώτη παρατήρηση είναι ότι το επίπεδο της πλαστιμότητας μ πολύ λίγο επηρεάζει την τιμή της μετακίνησης για περιόδους μέχρι περίπου 2.5 sec και αυτό γίνεται πιο έντονο όσο πιο σκληρό είναι το έδαφος. Βεβαίως, όπως αναμενόταν, οι απαιτήσεις μετακινήσεων αυξάνουν όσο πιο μαλακό είναι το έδαφος, ενγένηι περισσότερο από ότι φαίνεται στα Σχ. 3.6.30 ως 3.6.32 (λόγω της αναγωγής των επιταχυνσιογραφημάτων – βλ. παρ. 3.5.2.1). Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό, με αρκετά γενική ισχύ, είναι ότι για χαμηλές ιδιοπεριόδους, μέχρι περίπου 0.5 sec, οι ανελαστικές μετακινήσεις είναι μεγαλύτερες των αντίστοιχων ελαστικών ($\mu=1$), ενώ από κει και πέρα είτε οι μετακινήσεις είναι περίπου ίδιες (κανόνας ίσων μετακινήσεων) είτε οι ελαστικές μετακινήσεις είναι μεγαλύτερες από τις ανελαστικές.

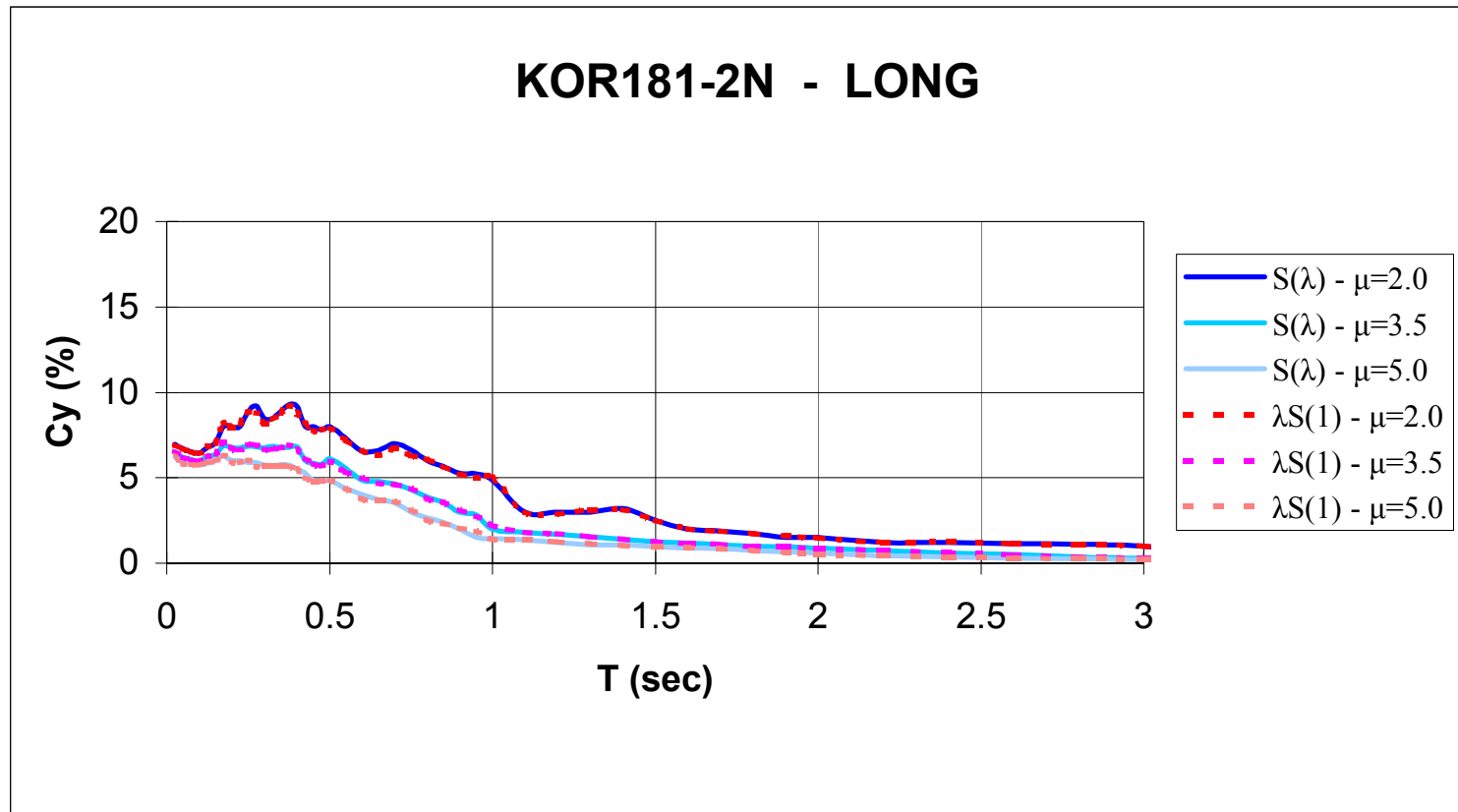
3.6.3.2 Επιρροή του μοντέλου υστερητικής συμπεριφοράς και του μέτρου κράτυνσης

Στα σχήματα 3.6.33 ως 3.6.36 φαίνεται η επιρροή του μοντέλου υστερητικής συμπεριφοράς στα ανελαστικά φάσματα αντοχής (Σχ. 3.6.33 και 3.6.34) και μετακινήσεων (Σχ. 3.6.35 και 3.6.36). Όλες οι αναλύσεις έγιναν για τρεις τιμές δείκτη πλαστιμότητας ($\mu=2.0, 3.5$ και 5.0) και για μέτρο κράτυνσης $p=5\%$. Στα σχήματα 3.6.33÷3.6.36 με γαλάζια γραμμή φαίνονται τα φάσματα που προέκυψαν με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου με κράτυνση ενώ με κόκκινη γραμμή τα αντίστοιχα για το μοντέλο φθίνουσας δυσκαμψίας, που γενικά ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματική συμπεριφορά των κατασκευών και είναι αυτό

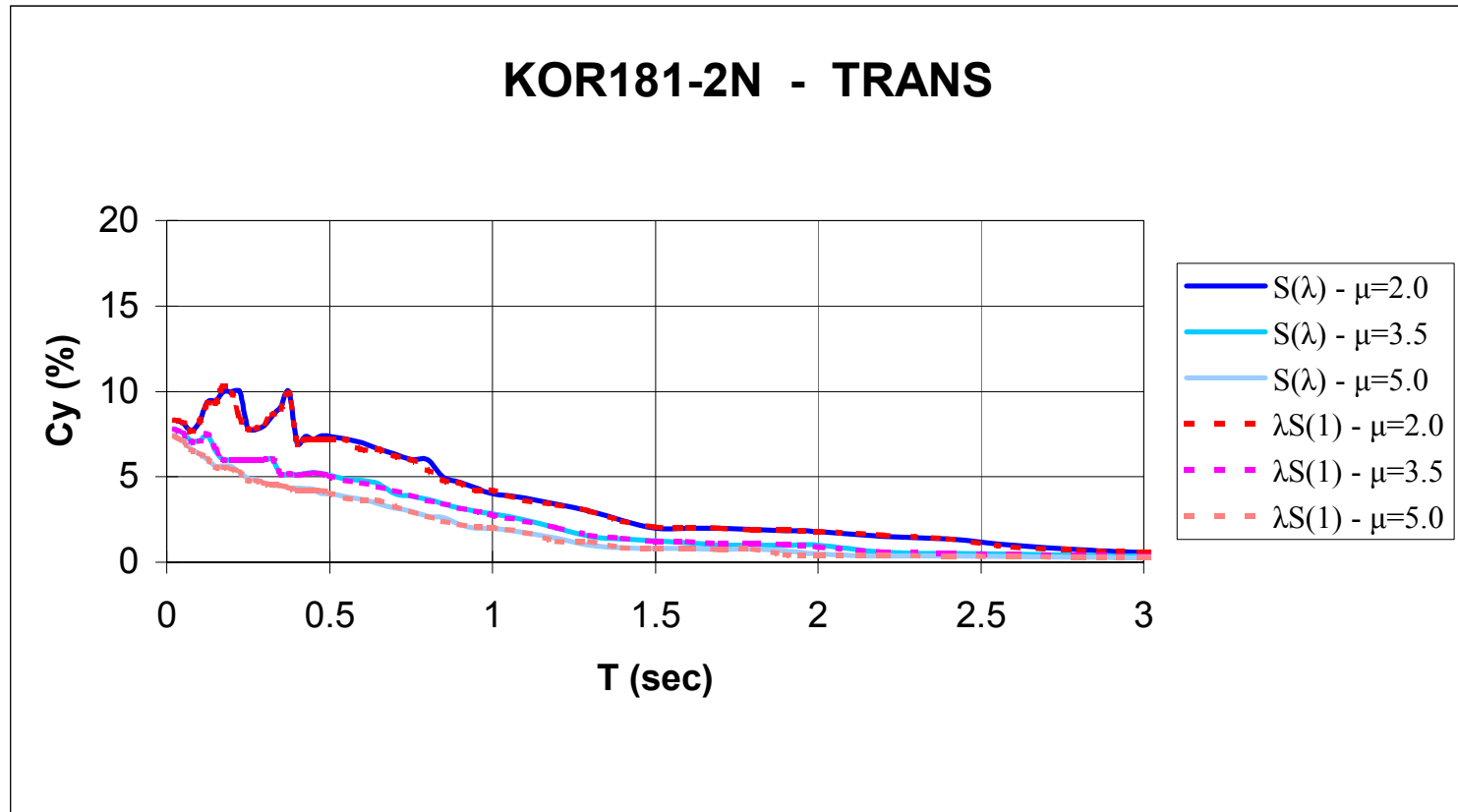
που χρησιμοποιήθηκε γενικά στα πλαίσια της παρούσας. Στα Σχ. 3.6.33 και 3.6.35 φαίνονται τα φάσματα που προέκυψαν για συγκεκριμένες καταγραφές και ειδικότερα για τις δύο συνιστώσες των σεισμών των Αλκυονίδων 1981 (Σχ. 3.6.33α, β και 3.6.35α, β), της Ζακύνθου 1988 (Σχ. 3.6.33γ, δ και 3.6.35γ, δ) και της Κοζάνης 17-5-1995 (στο Χρώμιο) (Σχ. 3.6.33ε, στ και 3.6.35ε, στ), ενώ στα Σχ. 3.6.34 και 3.6.36 τα μέσα φάσματα για όλες τις καταγραφές του Πίν. 3.5.1 σε έδαφος Γ κατά ΕΑΚ 2000, ανηγμένες στη μέση φασματική ένταση της κατηγορίας.

Από τη σύγκριση των Σχ. 3.6.33α÷στ δε φαίνεται να υπάρχει σαφής τάση διαφοροποίησης του φάσματος αντοχής που υπολογίζεται με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου σε σχέση με αυτό για το μοντέλο φθίνουσας δυσκαμψίας, ενώ είναι σαφής η επιρροή του επιταχυνσιογραφήματος βάσης στα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης, γεγονός που έχει επισημανθεί πολλές φορές στο παρελθόν και επιβάλλει, σε κάθε περίπτωση, τη χρήση περισσότερων επιταχυνσιογραφημάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων μετά από στατιστική επεξεργασία. Όσον αφορά στα μέσα φάσματα αντοχής (Σχ. 3.6.34), η επιρροή του μοντέλου υστερητικής συμπεριφοράς δε φαίνεται να είναι σημαντική. Οι ανελαστικές μετακινήσεις που προκύπτουν με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου φαίνεται να είναι μικρότερες από αυτές του μοντέλου φθίνουσας δυσκαμψίας για χαμηλές ιδιοπεριόδους (περίπου $T < 0.5$) αλλά μεγαλύτερες απ' αυτές όταν $T \geq 0.70 \text{ sec}$, όπως φαίνεται από τα μέσα φάσματα του Σχ. 3.6.36 αλλά και από τα περισσότερα φάσματα των Σχ. 3.6.35. Η επικρατούσα άποψη είναι ότι ο λόγος της ανελαστικής μετακίνησης για συστήματα με φθίνουσα δυσκαμψία προς την αντίστοιχη μετακίνηση για ελαστοπλαστικά συστήματα (συντελεστής C_2 στη FEMA 273) είναι μεγαλύτερος της μονάδας για χαμηλές T και ίσος προς 1.0 για υψηλές T (π.χ. Whittaker et al. 1999), άρα υπάρχει ένδειξη για διαφοροποίηση των ελληνικών επιταχυνσιογραφημάτων (σε σχέση με τα «ξένα») στην περιοχή των υψηλών ιδιοπεριόδων, που πάντως θέλει περαιτέρω διερεύνηση, κυρίως σε σχέση με την επιρροή του εδάφους στο επιταχυνσιογράφημα.

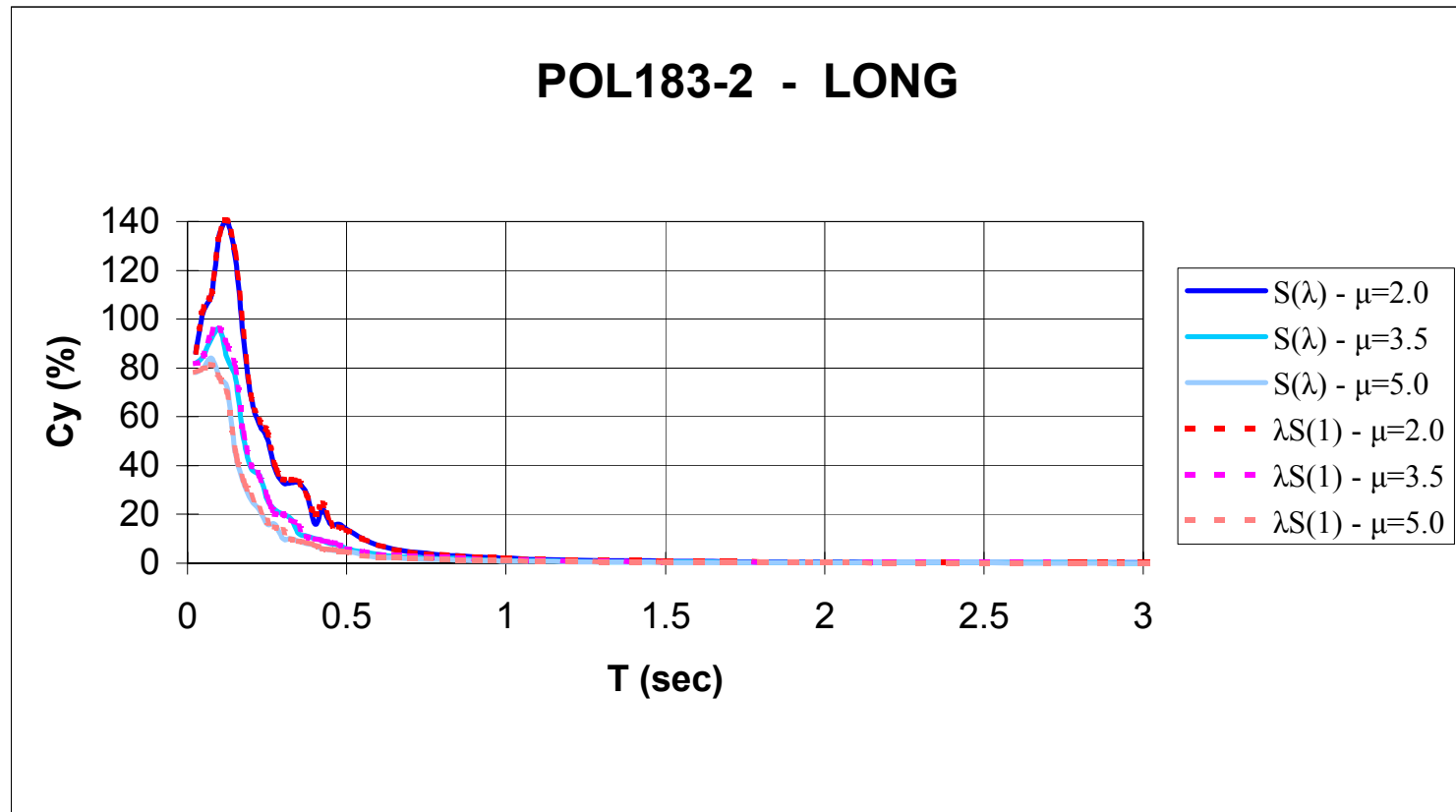
Η επιρροή του ποσοστού κράτυνσης μετά την ανελαστικοποίηση φαίνεται στα Σχ. 3.6.37 ως 3.6.40, στα οποία φαίνονται τα ανελαστικά φάσματα αντοχής (Σχ. 3.6.37 και 3.6.38) και μετακινήσεων (Σχ. 3.6.39 και 3.6.40) για μεμονωμένους σεισμούς (Σχ. 3.6.37 και 3.6.39) και ως μέσες τιμές (Σχ. 3.6.38 και 3.6.40). Οι αναλύσεις έγιναν με χρήση του μοντέλου φθίνουσας δυσκαμψίας για ποσοστά κράτυνσης 0% (πλαστική συμπεριφορά), 5% (συνήθης τιμή κράτυνσης, αντιπροσωπευτική για κατασκευές από σκυρόδεμα) και 15%. Στα Σχ. 3.6.37÷3.6.40 με γαλάζια γραμμή φαίνονται τα αποτελέσματα για $p=0\%$, με κόκκινη για $p=5\%$ και με πράσινη για $p=15\%$. Από τα σχήματα φαίνεται ότι η τιμή του ποσοστού κράτυνσης δεν επηρεάζει σημαντικά τις αντοχές, με τη γενική τάση να είναι μείωση της απαιτούμενης αντοχής C_y με την αύξηση της κράτυνσης (όπως και αναμενόταν), τουλάχιστο στην περιοχή των χαμηλότερων ιδιοπεριόδων. Επίσης, και οι ανελαστικές μετακινήσεις φαίνεται να αυξάνονται ελαφρά με τη μείωση του p (μείωση της απομένουσας δυσκαμψίας μετά τη διαρροή), χωρίς όμως οι διαφορές να είναι σημαντικές.



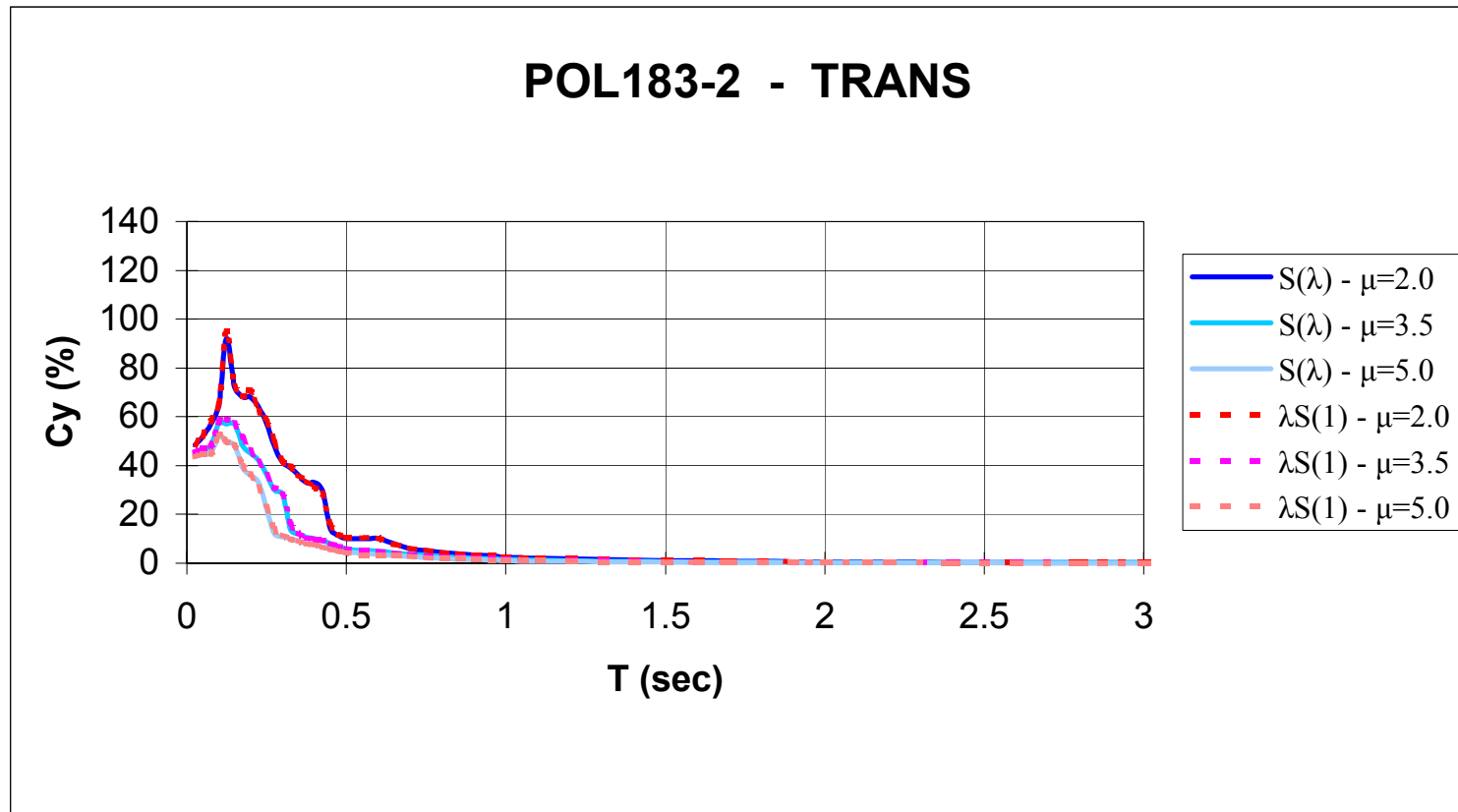
Σχ. 3.6.1(α) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



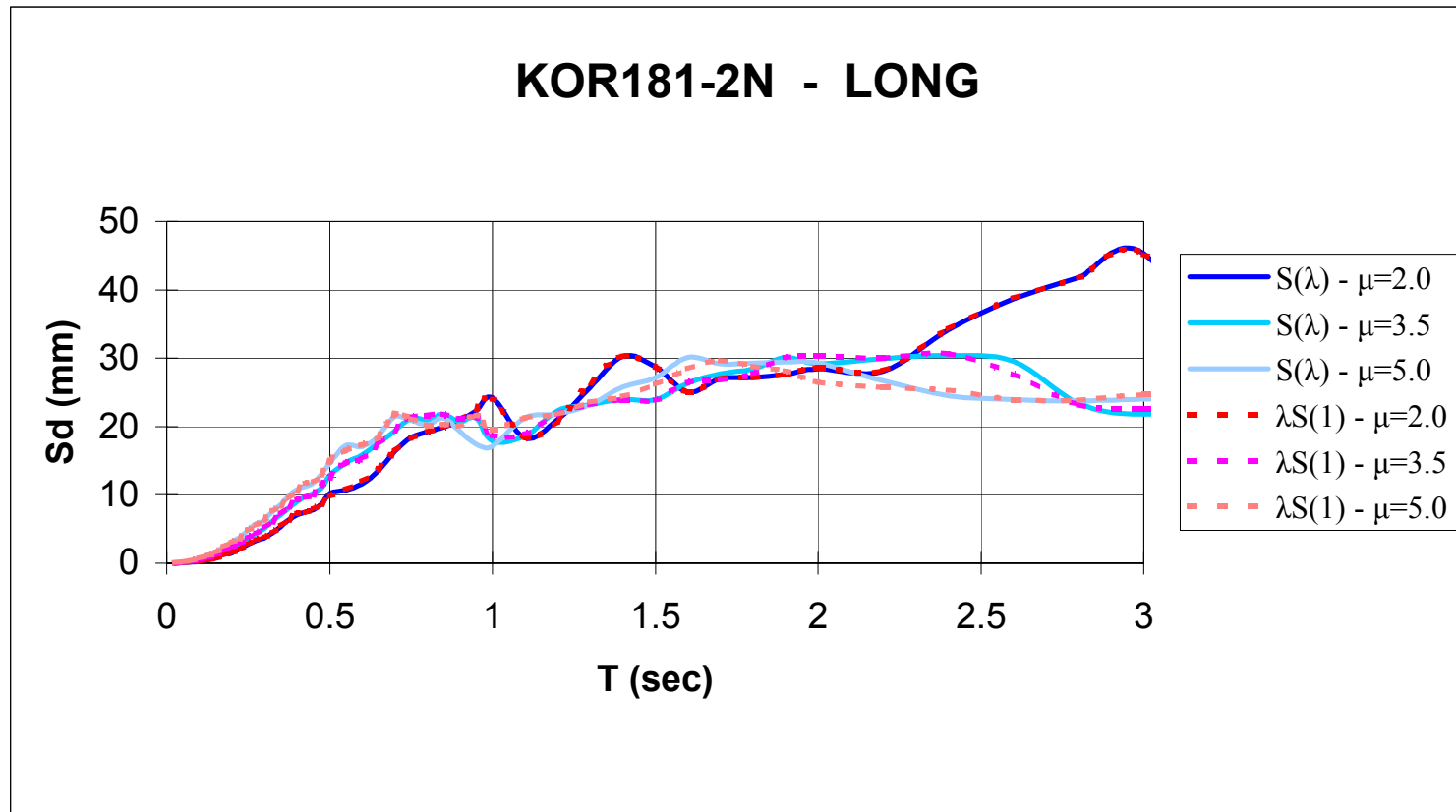
Σχ. 3.6.1(β) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



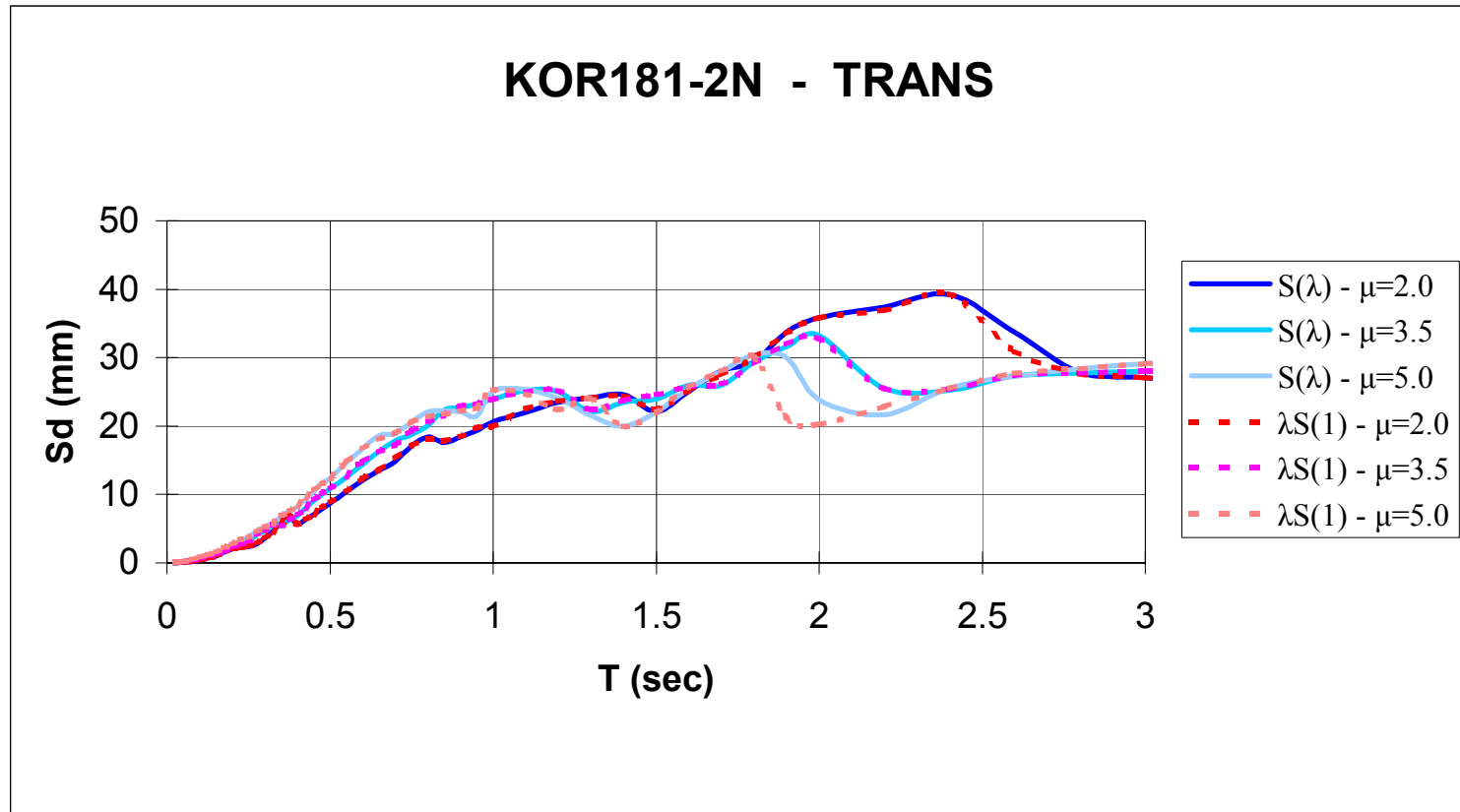
Σχ. 3.6.1(γ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



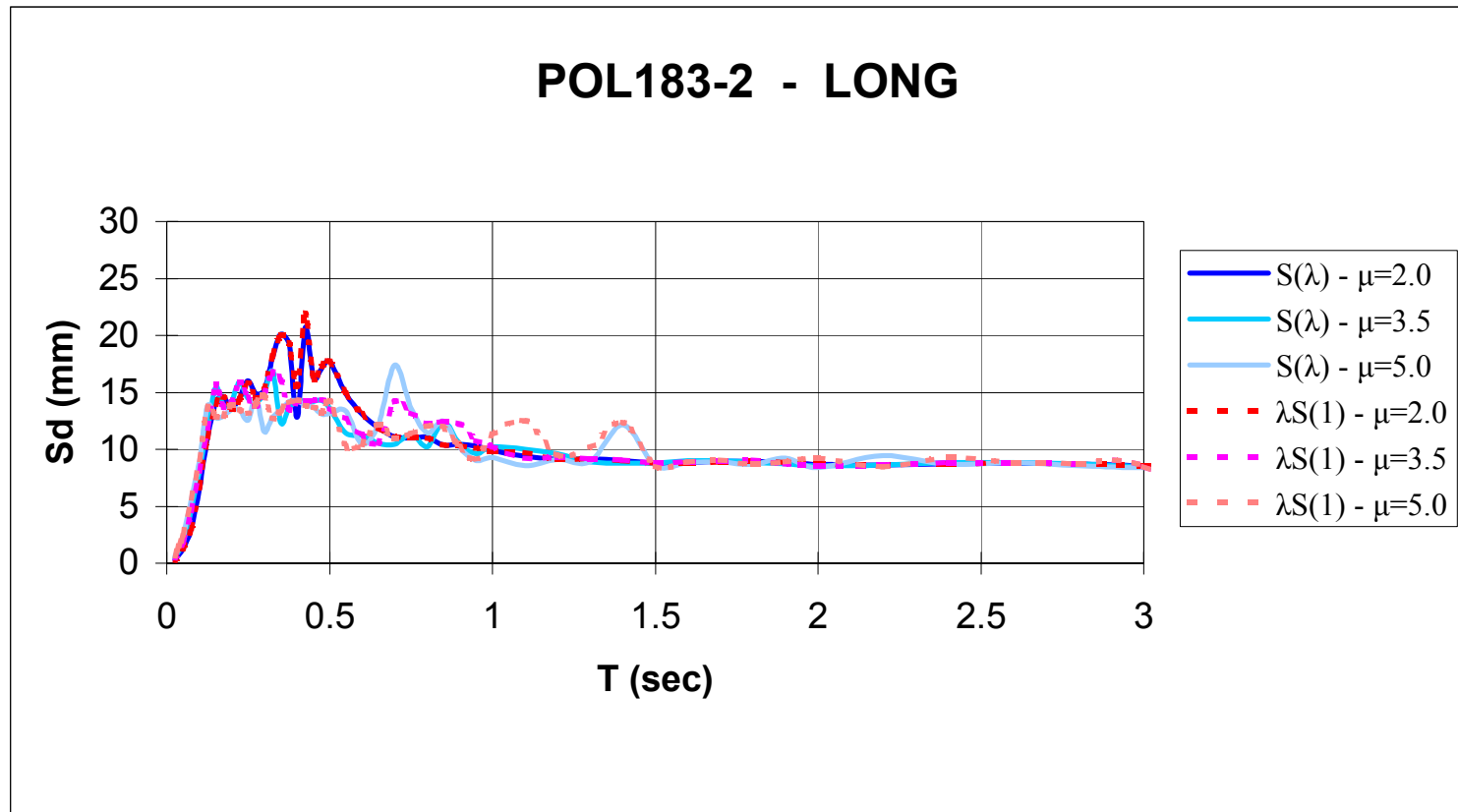
Σχ. 3.6.1(δ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



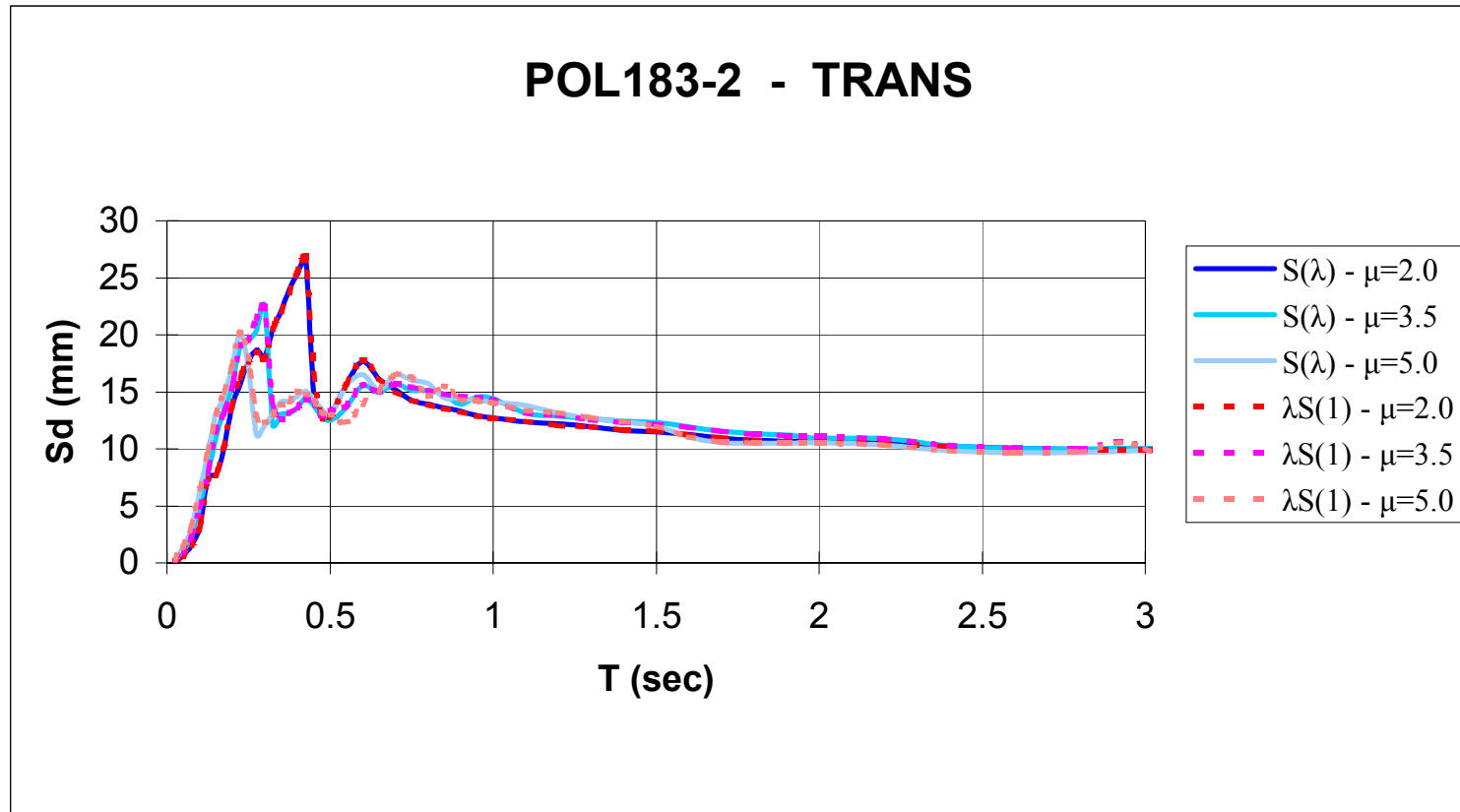
Σχ. 3.6.2(α) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



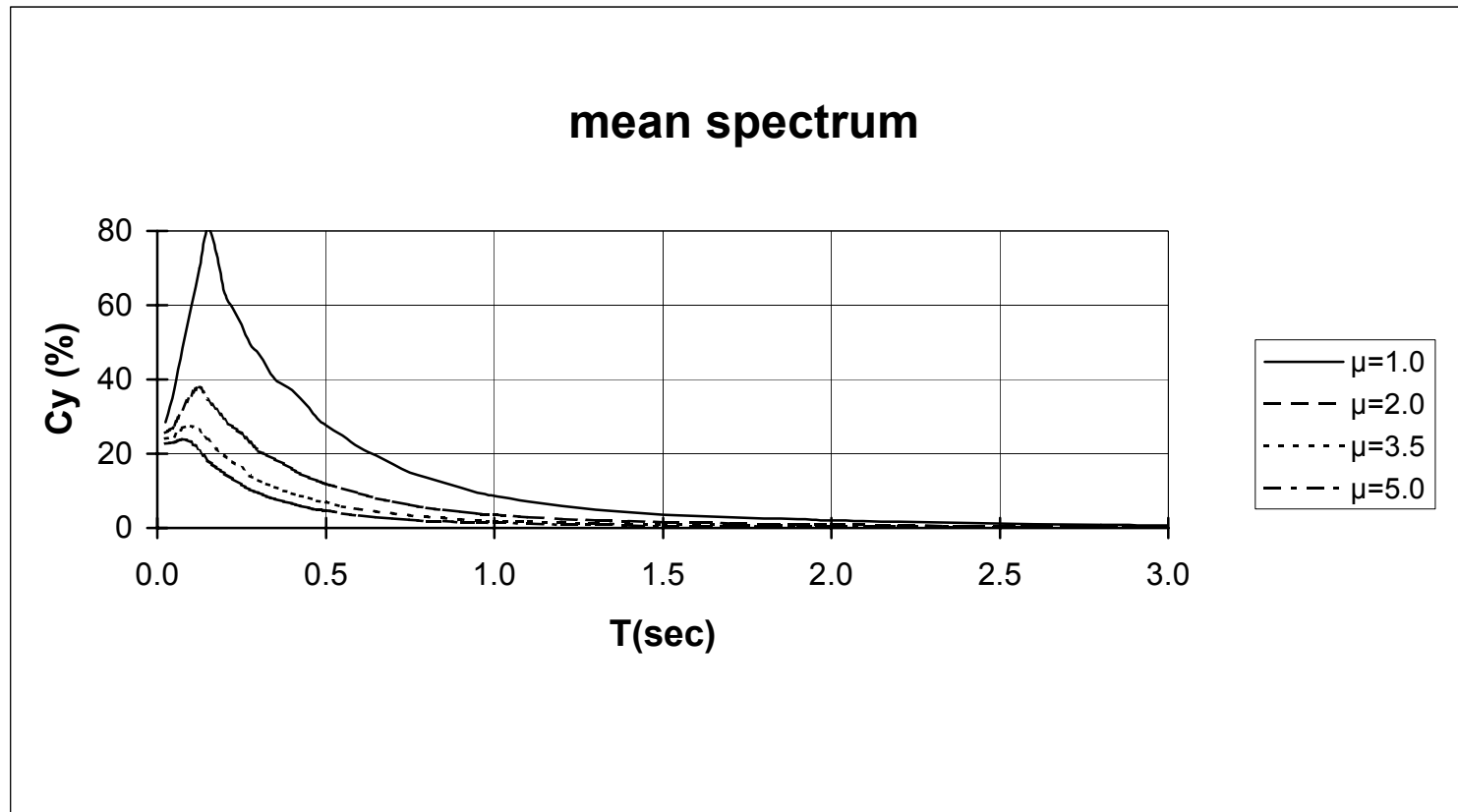
Σχ. 3.6.2(β) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



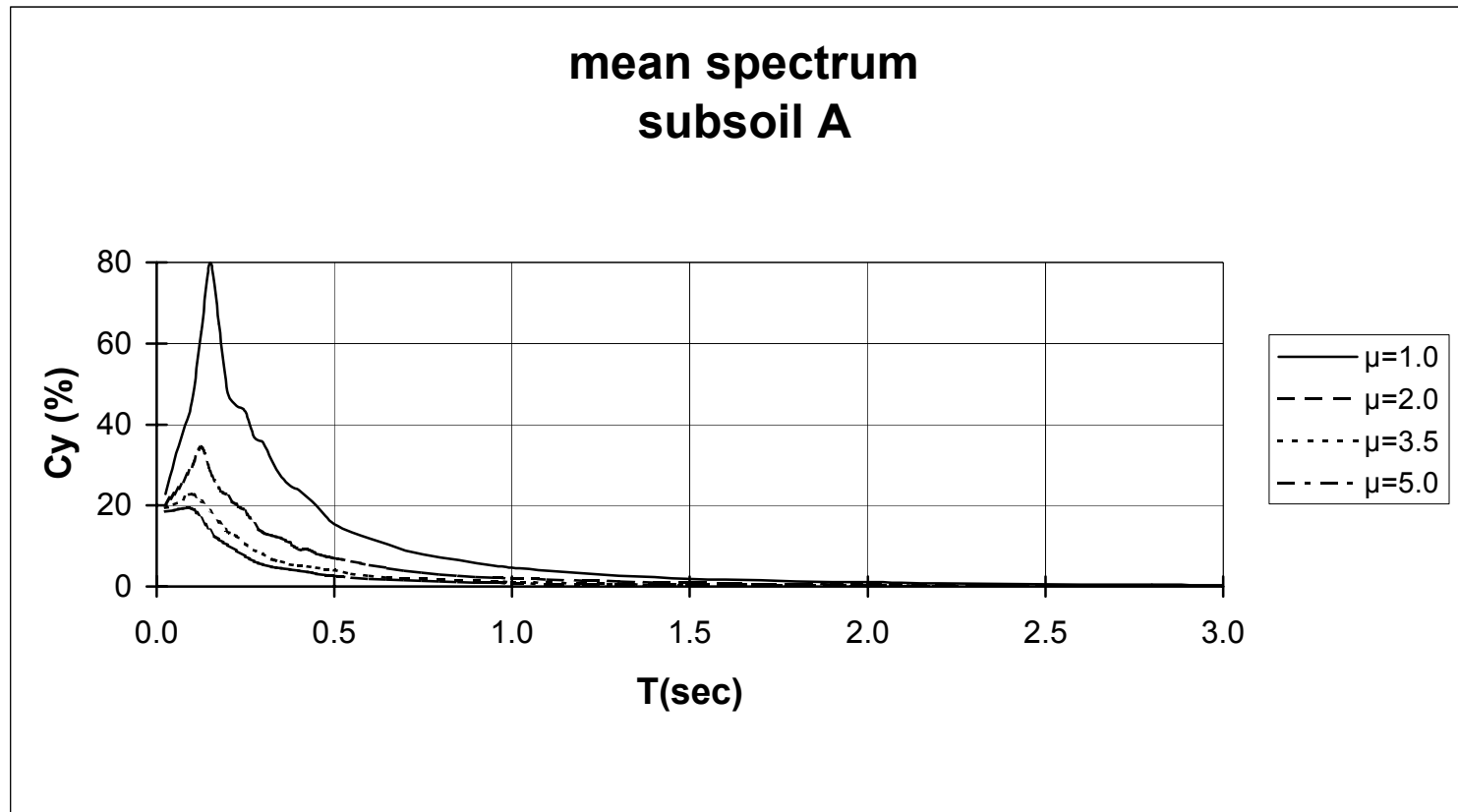
Σχ. 3.6.2(γ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



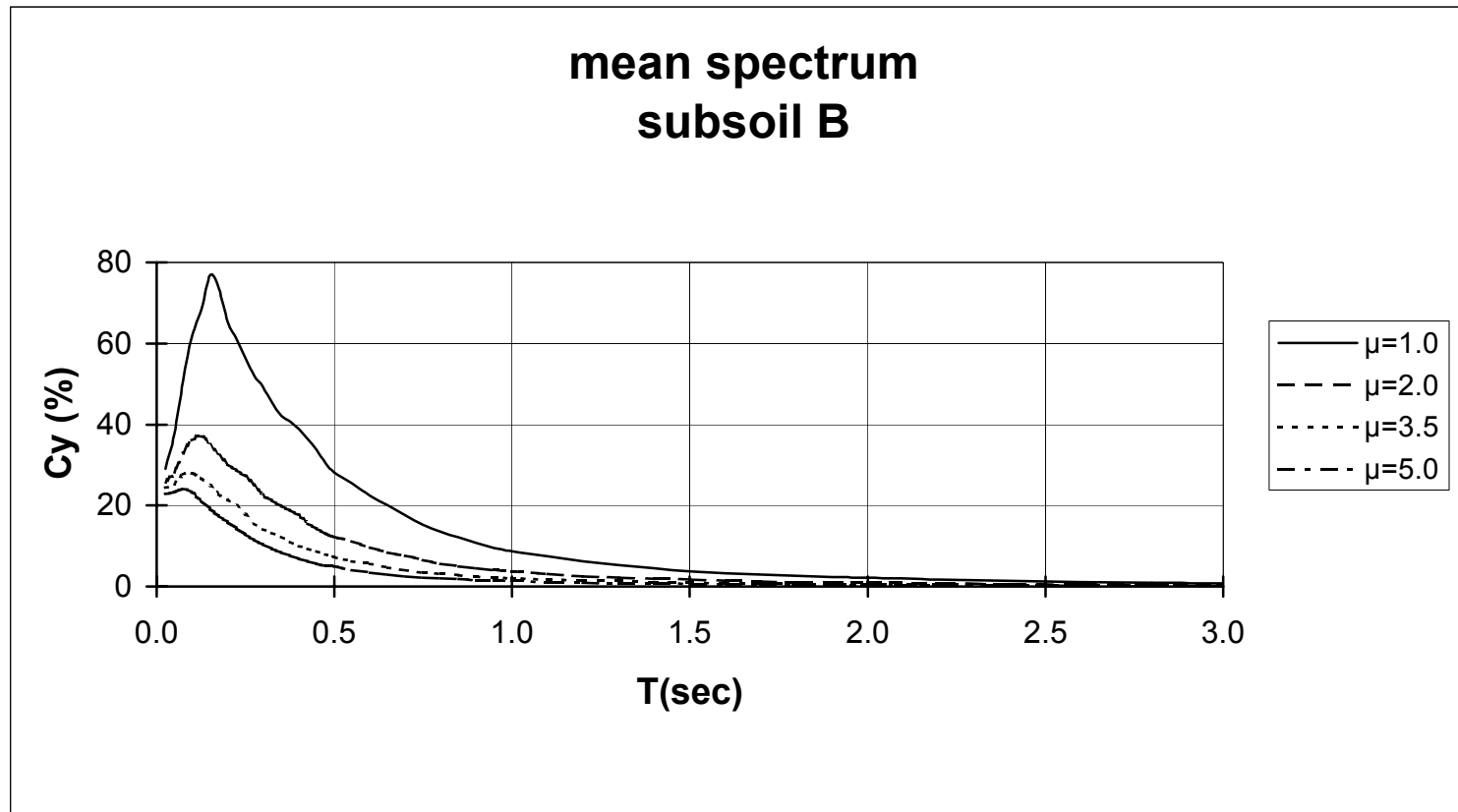
Σχ. 3.6.2(δ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους τρόπους αναγωγής του επιταχυνσιογραφήματος βάσης



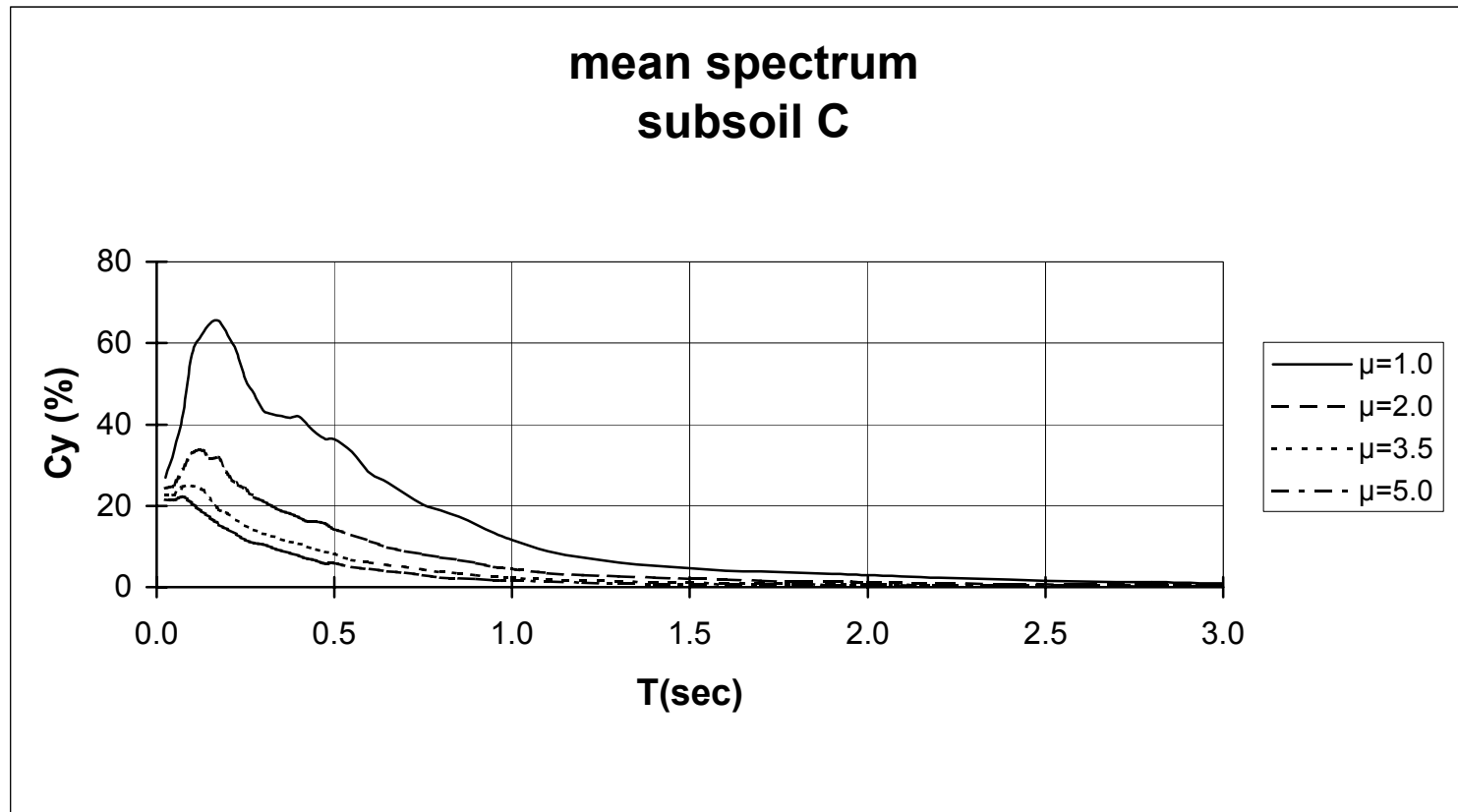
Σχ. 3.6.3 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (σύνολο καταγραφών)



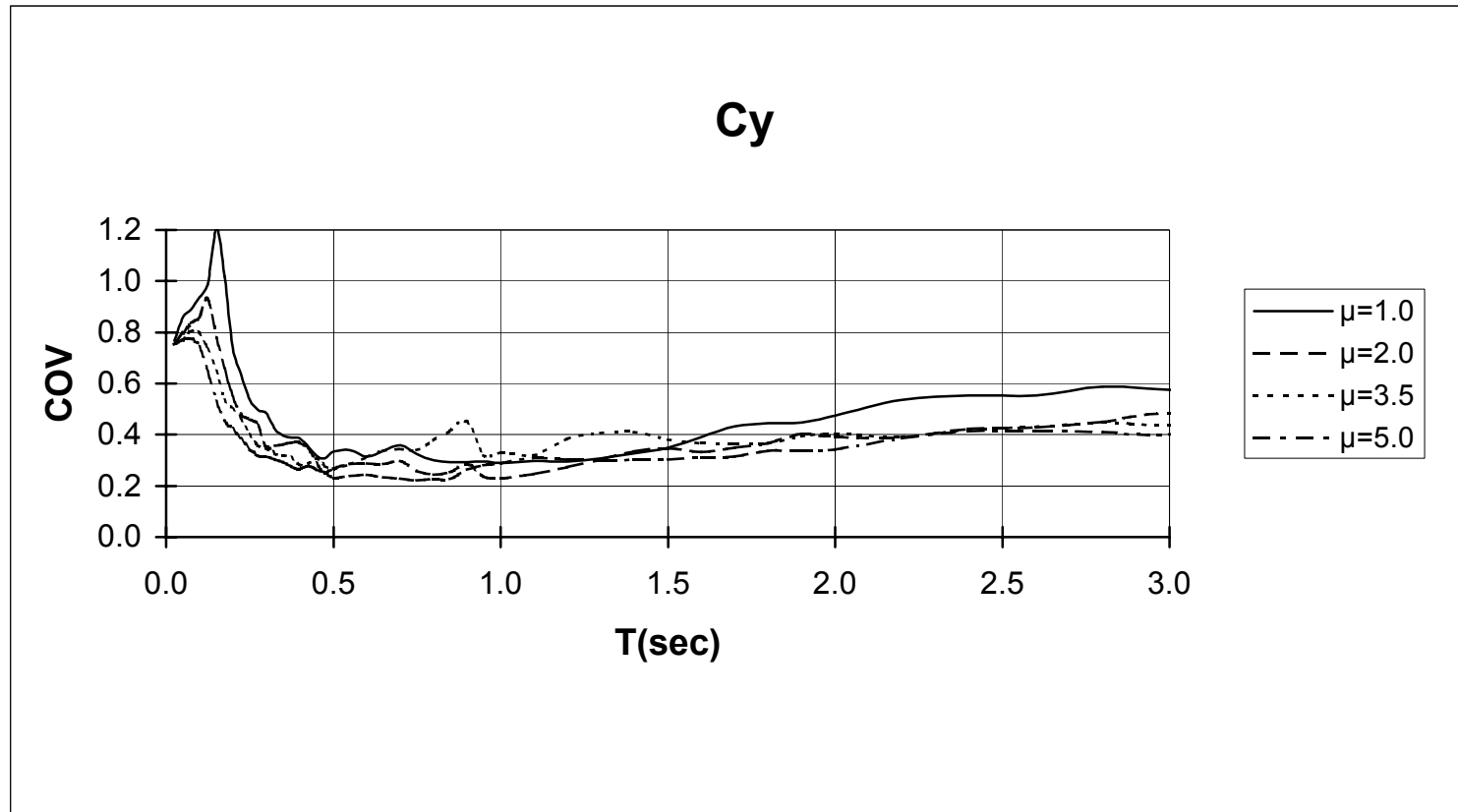
Σχ. 3.6.4 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Α)



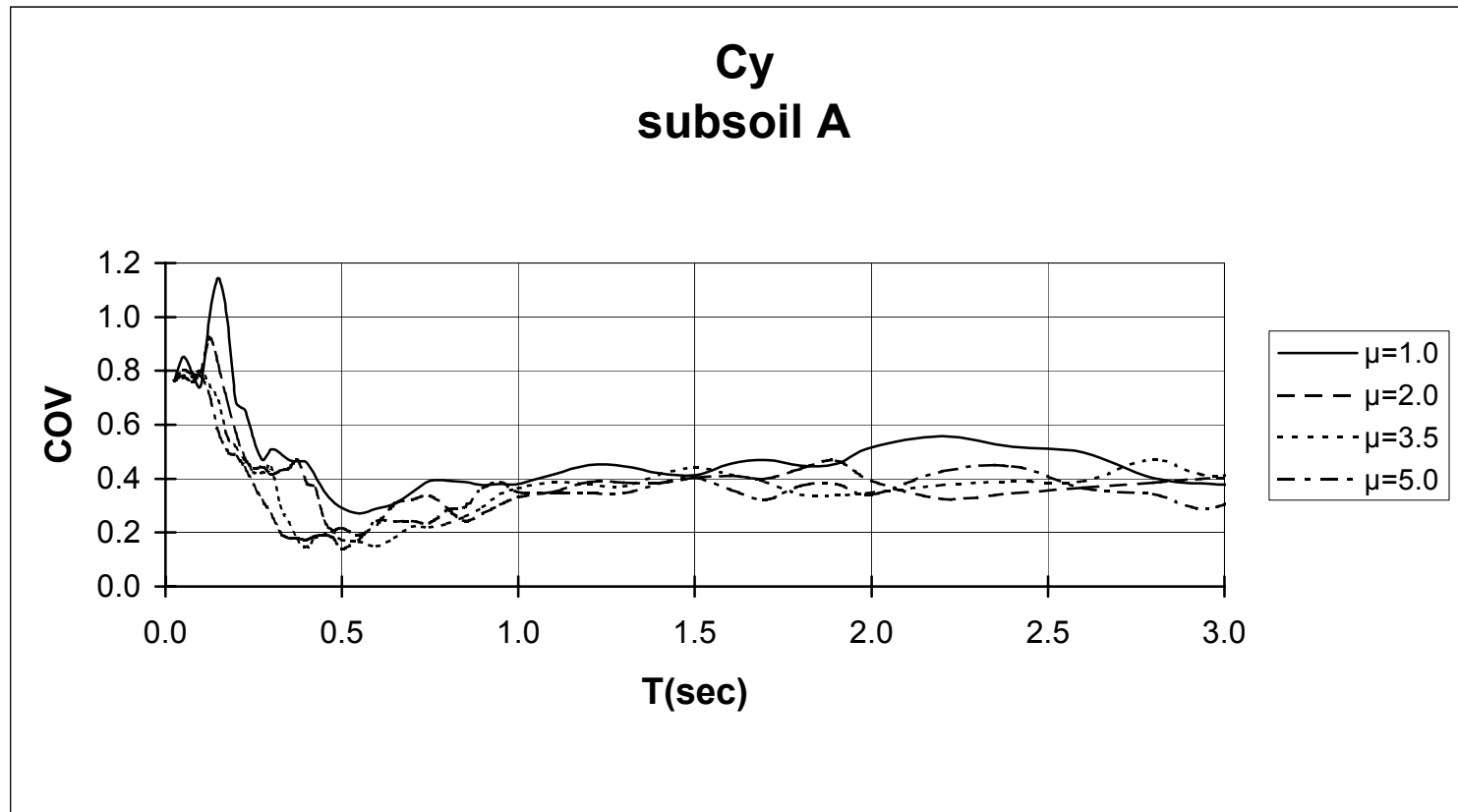
Σχ. 3.6.5 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους B)



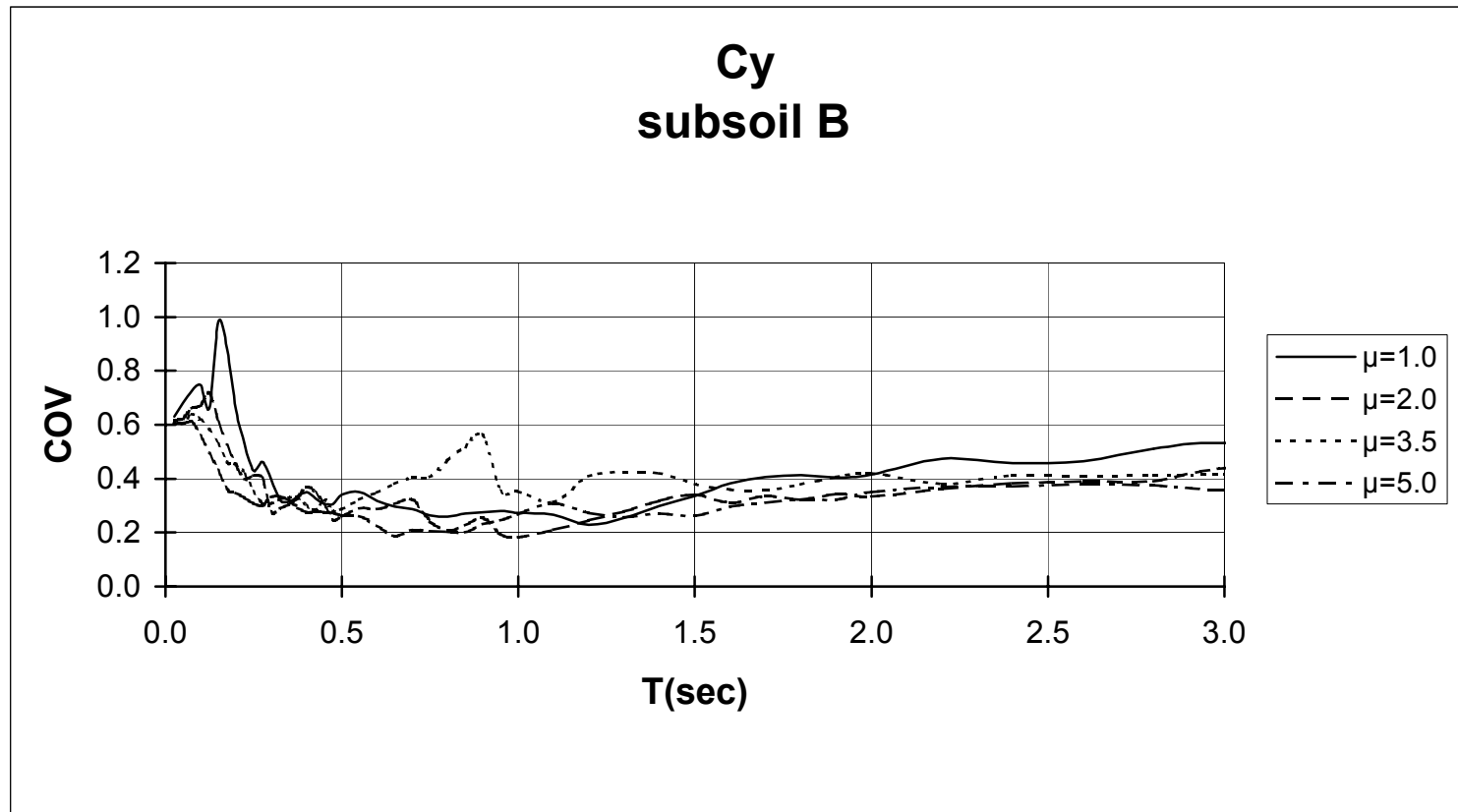
Σχ. 3.6.6 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Γ)



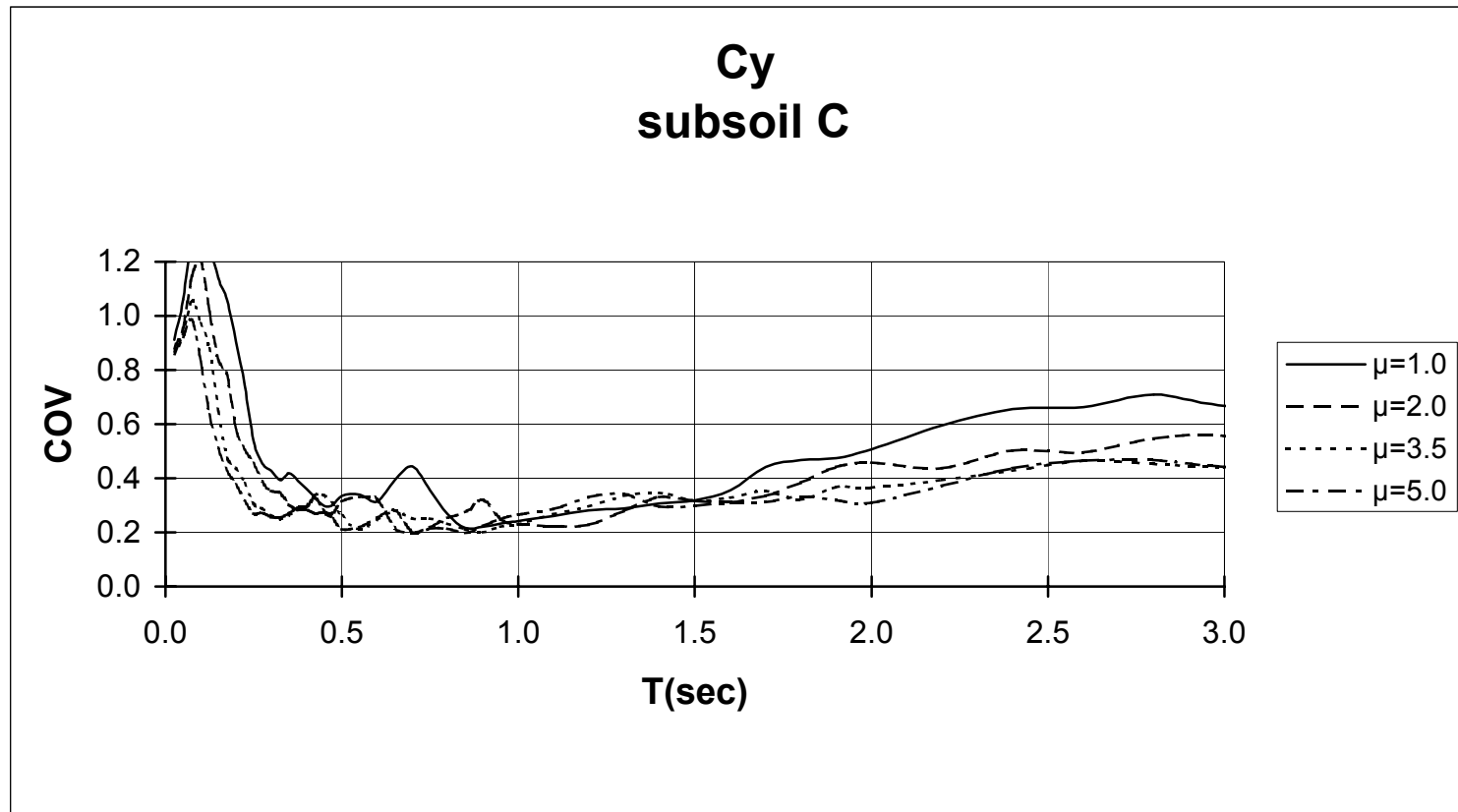
Σχ. 3.6.7 Συντελεστές διασποράς φασμάτων αντοχής (σύνολο καταγραφών)



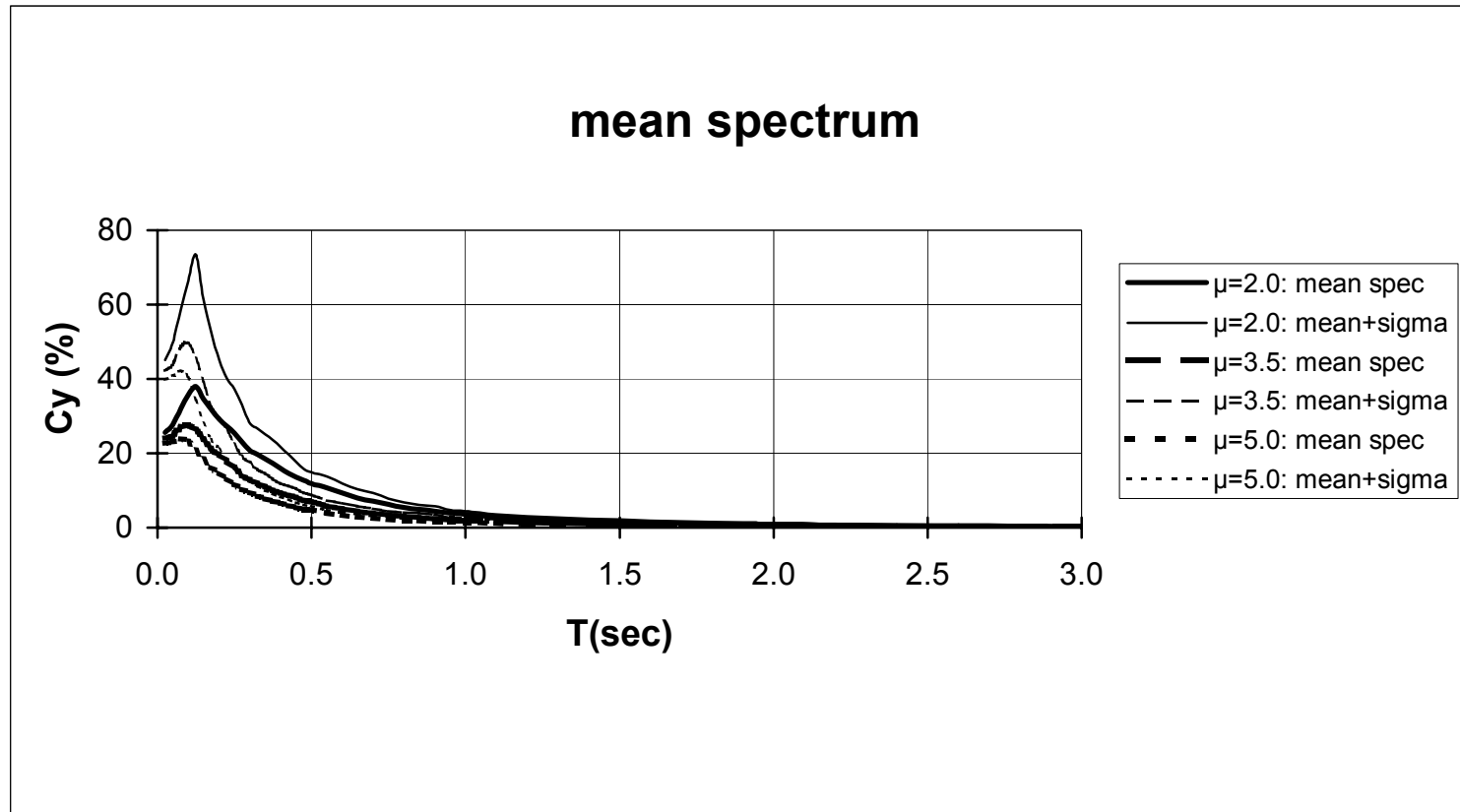
Σχ. 3.6.8 Συντελεστές διασποράς φασμάτων αντοχής (έδαφος Α)



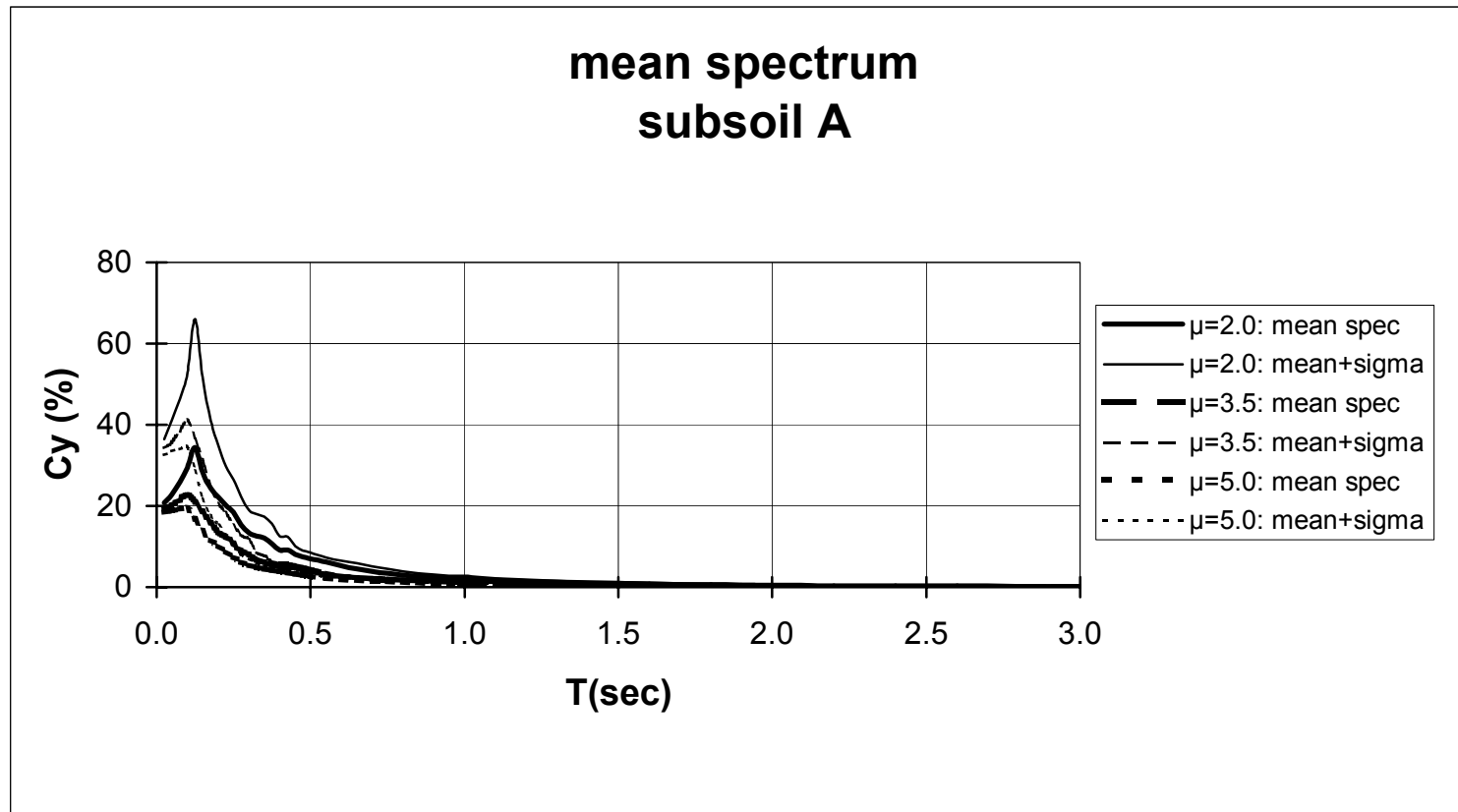
Σχ. 3.6.9 Συντελεστές διασποράς φασμάτων αντοχής (έδαφος B)



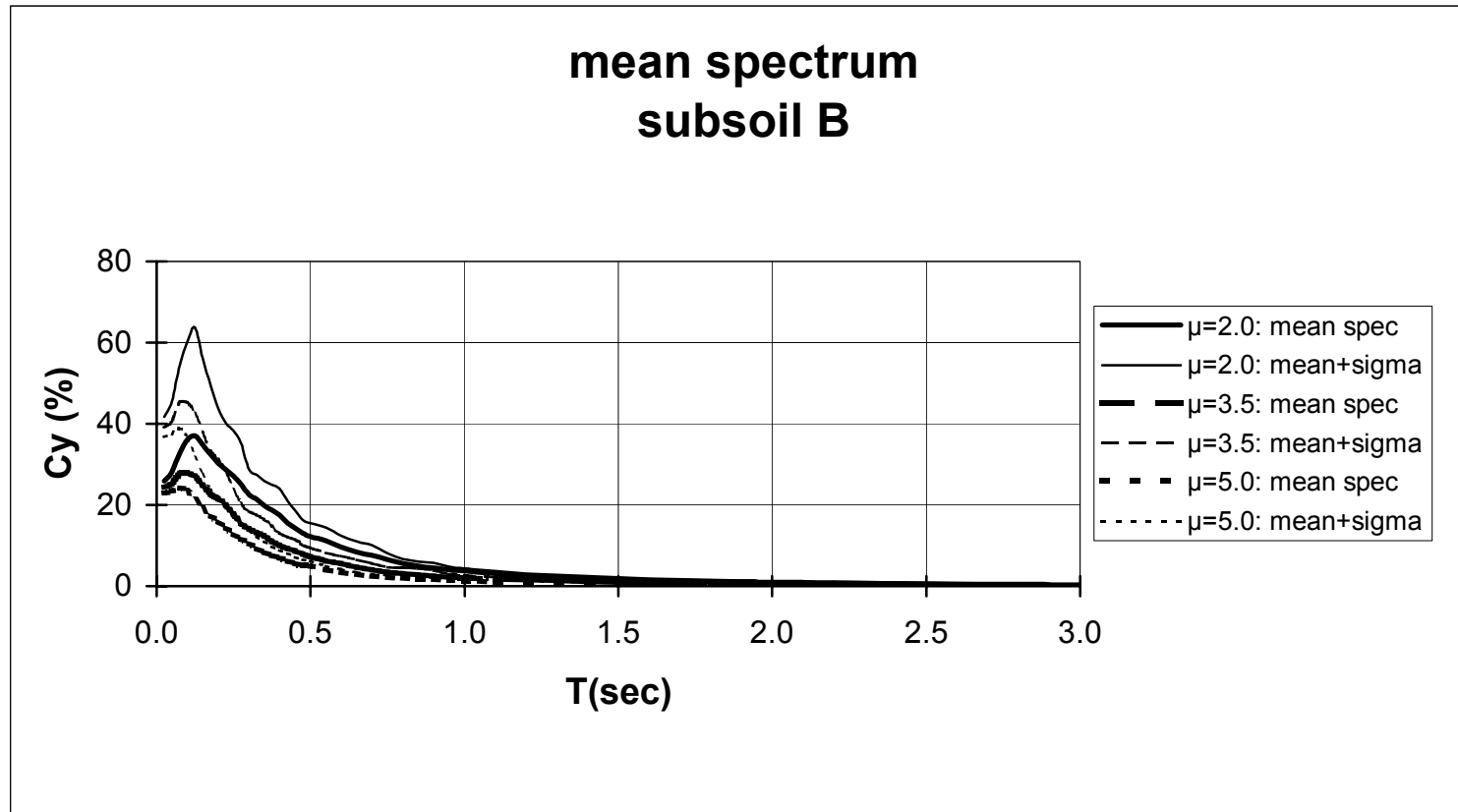
Σχ. 3.6.10 Συντελεστές διασποράς φασμάτων αντοχής (έδαφος Γ)



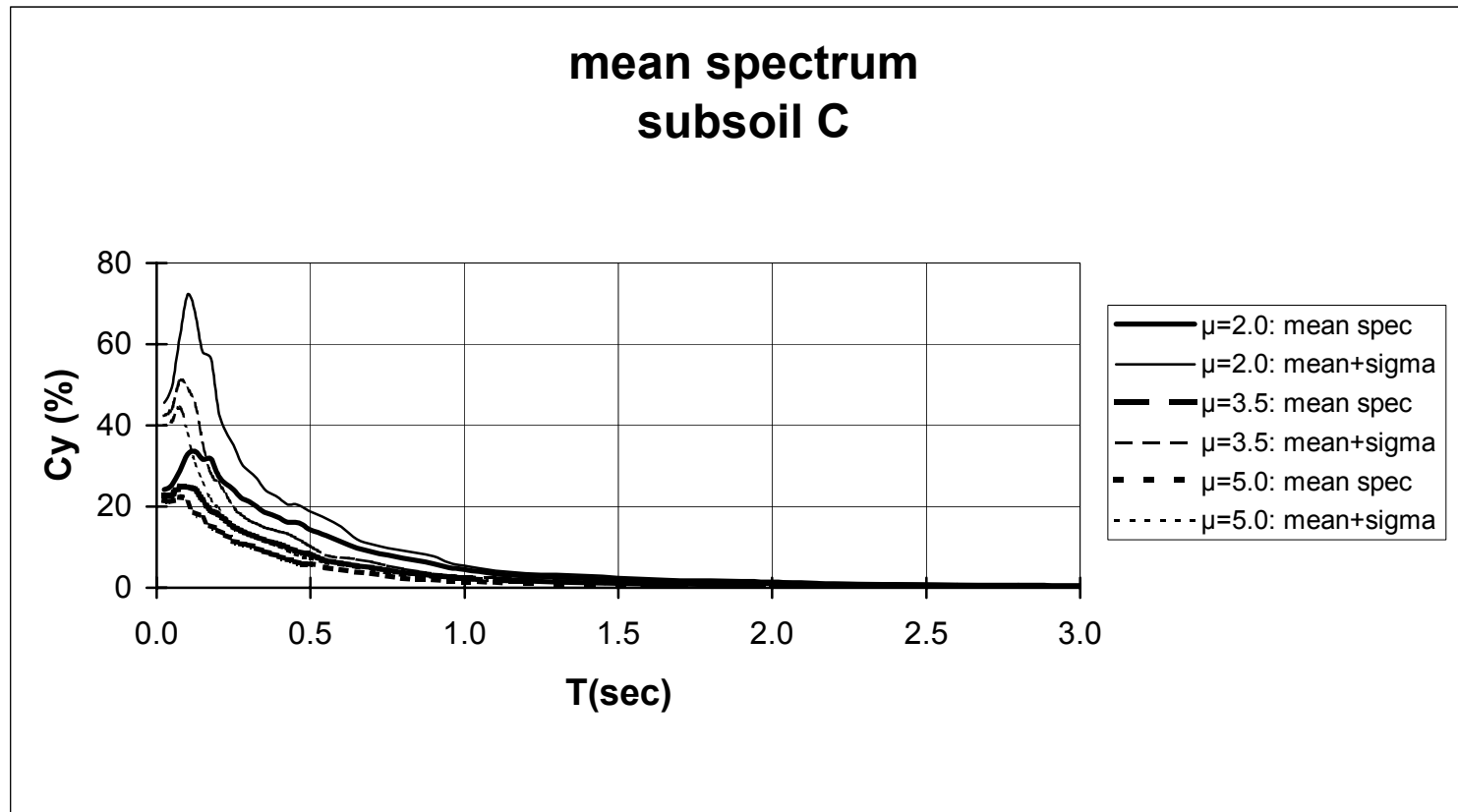
Σχ. 3.6.11 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



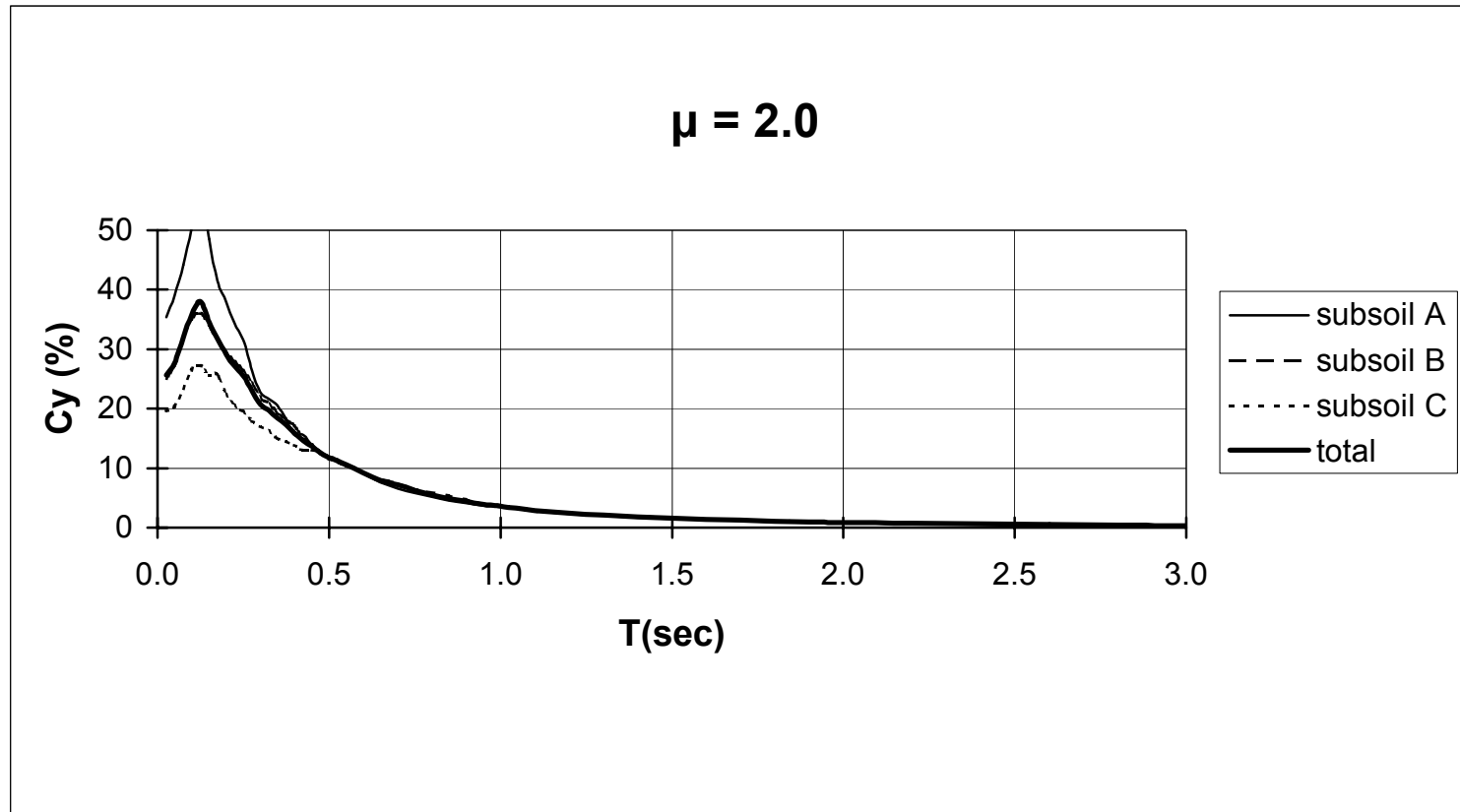
Σχ. 3.6.12 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



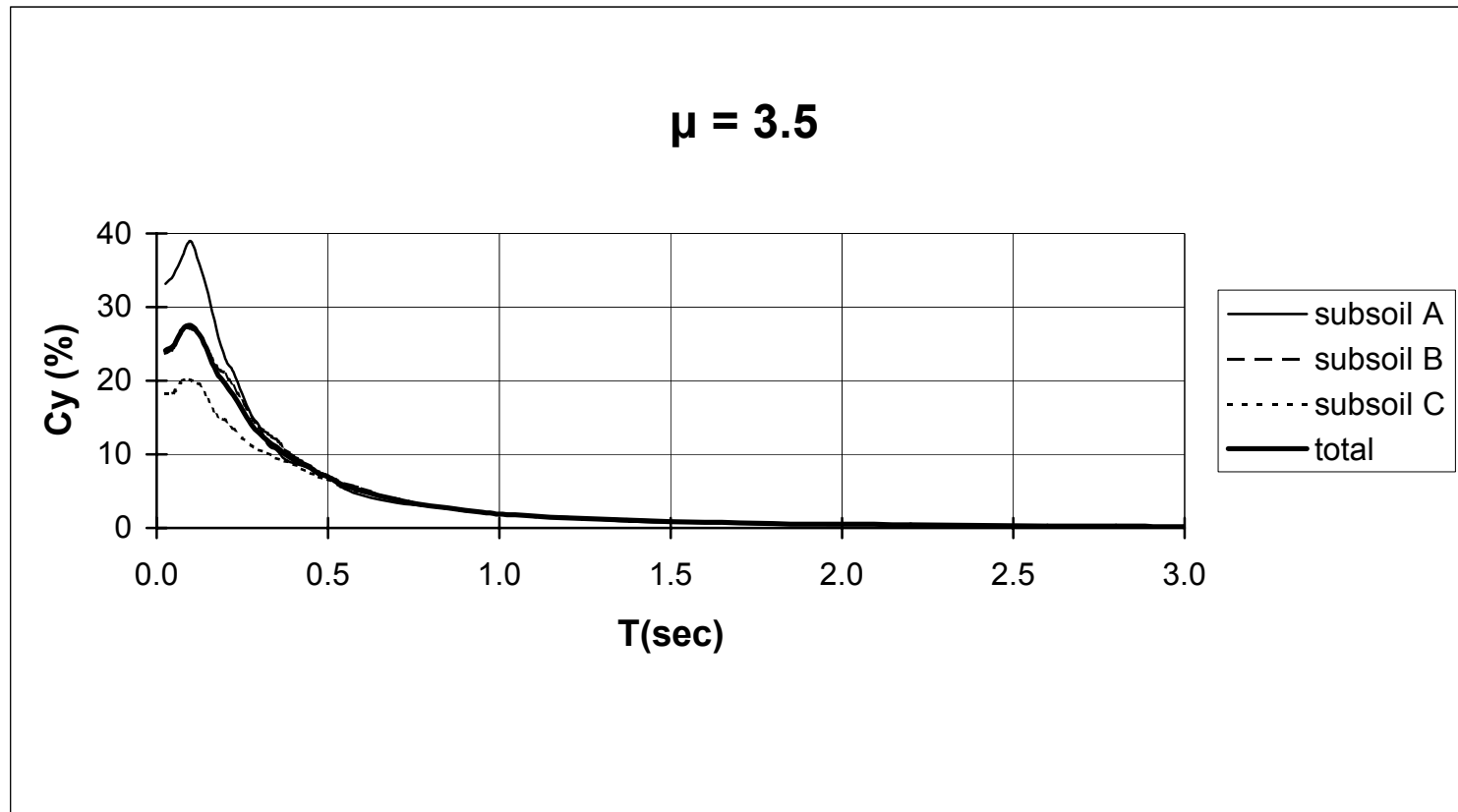
Σχ. 3.6.13 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



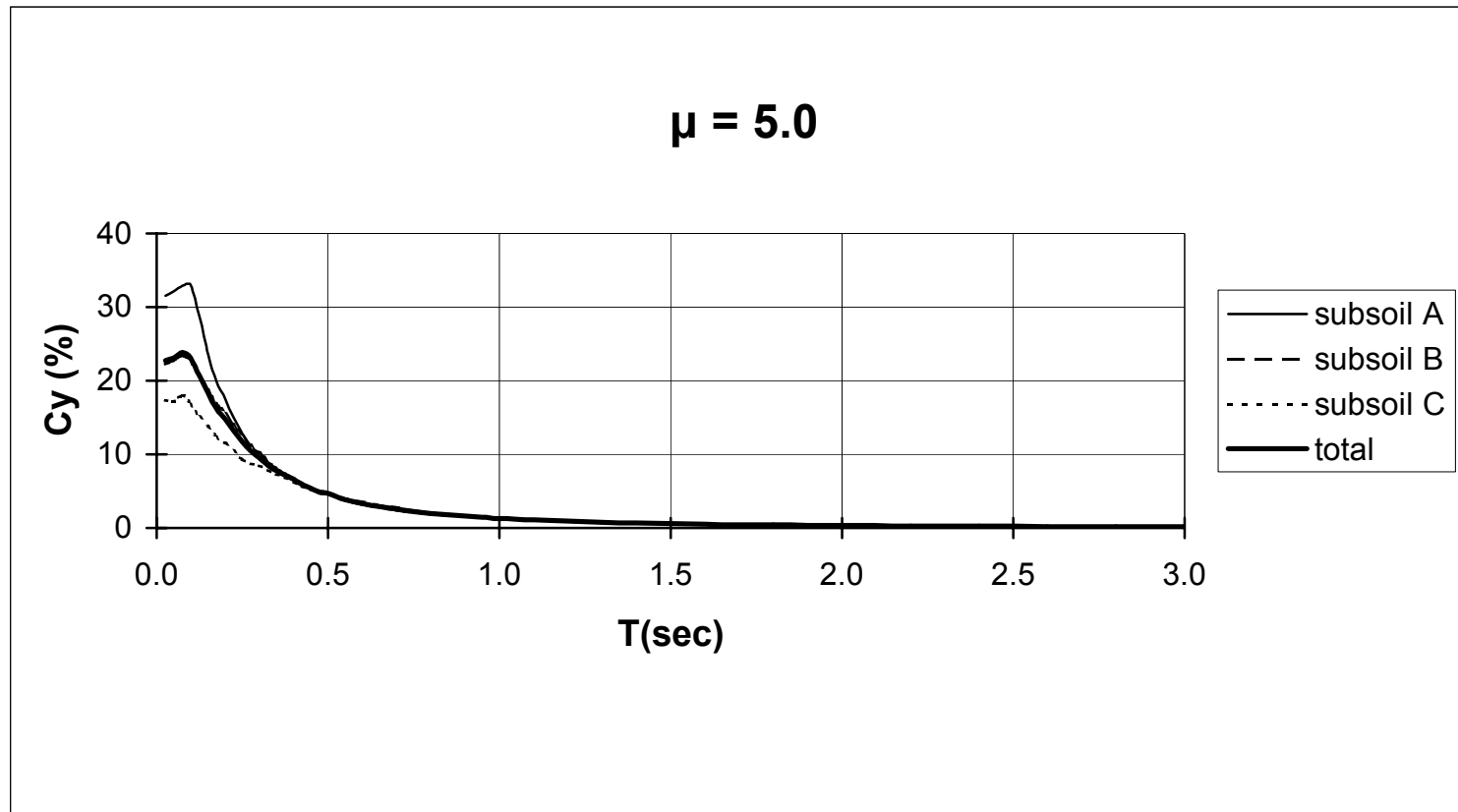
Σχ. 3.6.14 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



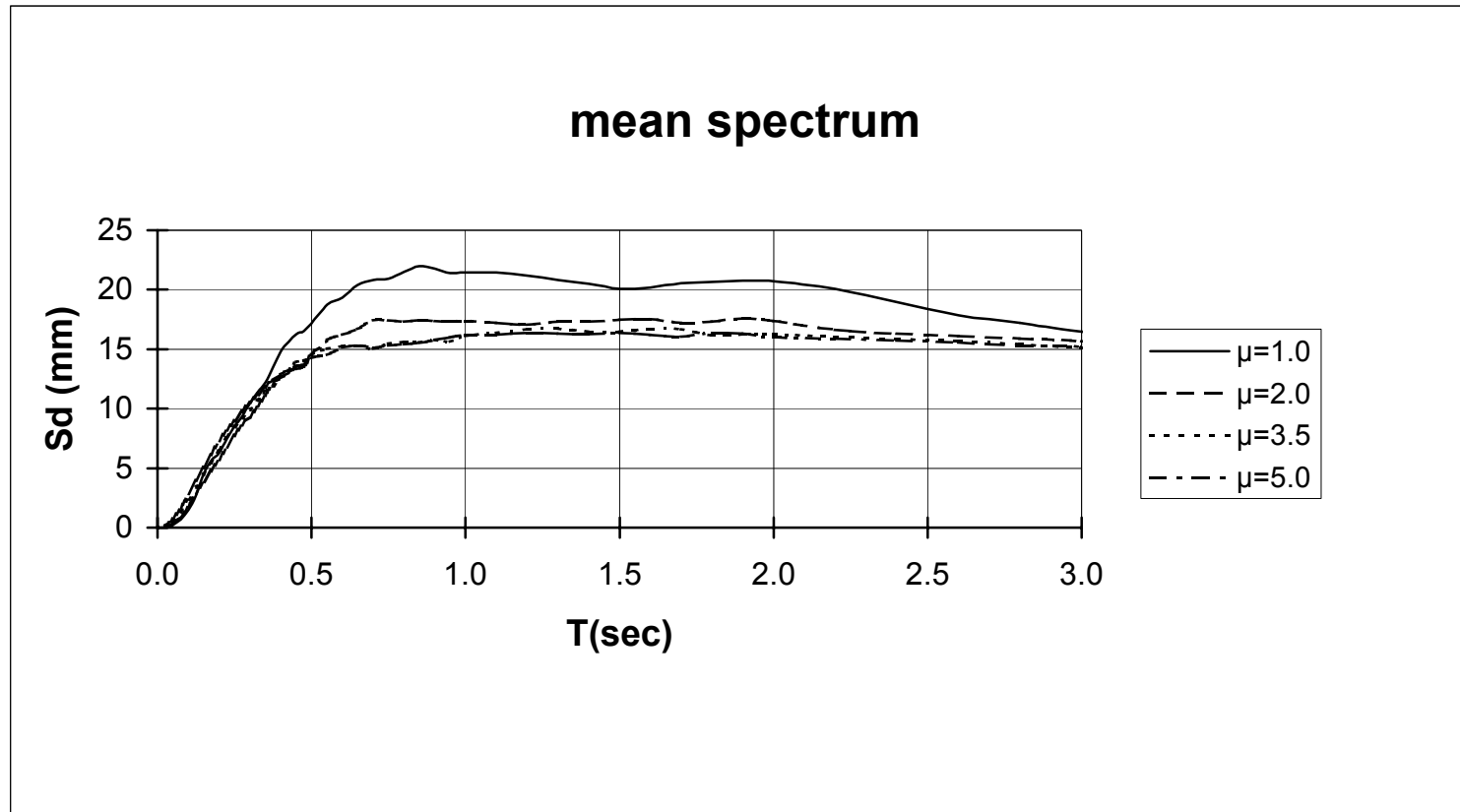
Σχ. 3.6.15 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες κατηγορίες εδάφους



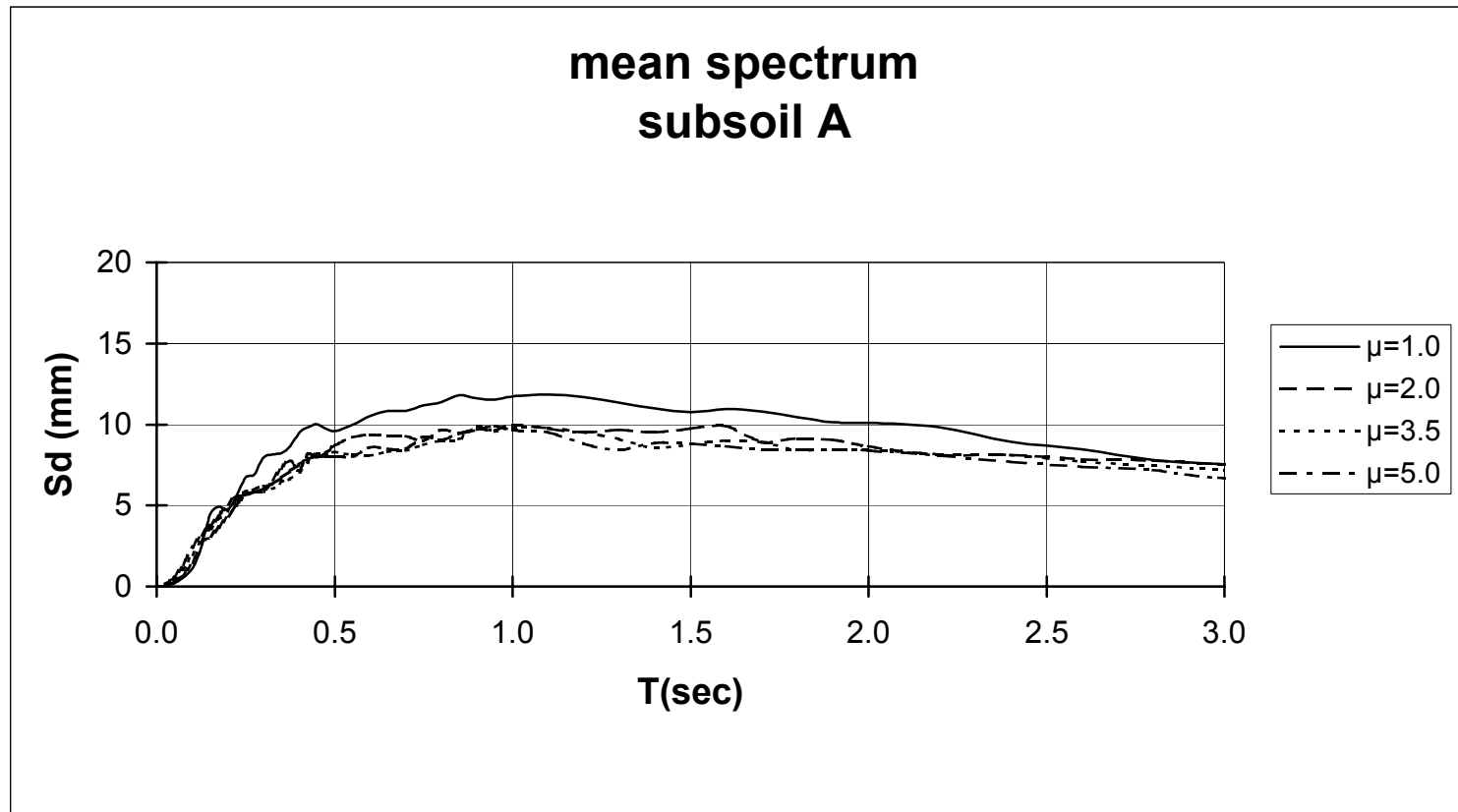
Σχ. 3.6.16 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες κατηγορίες εδάφους



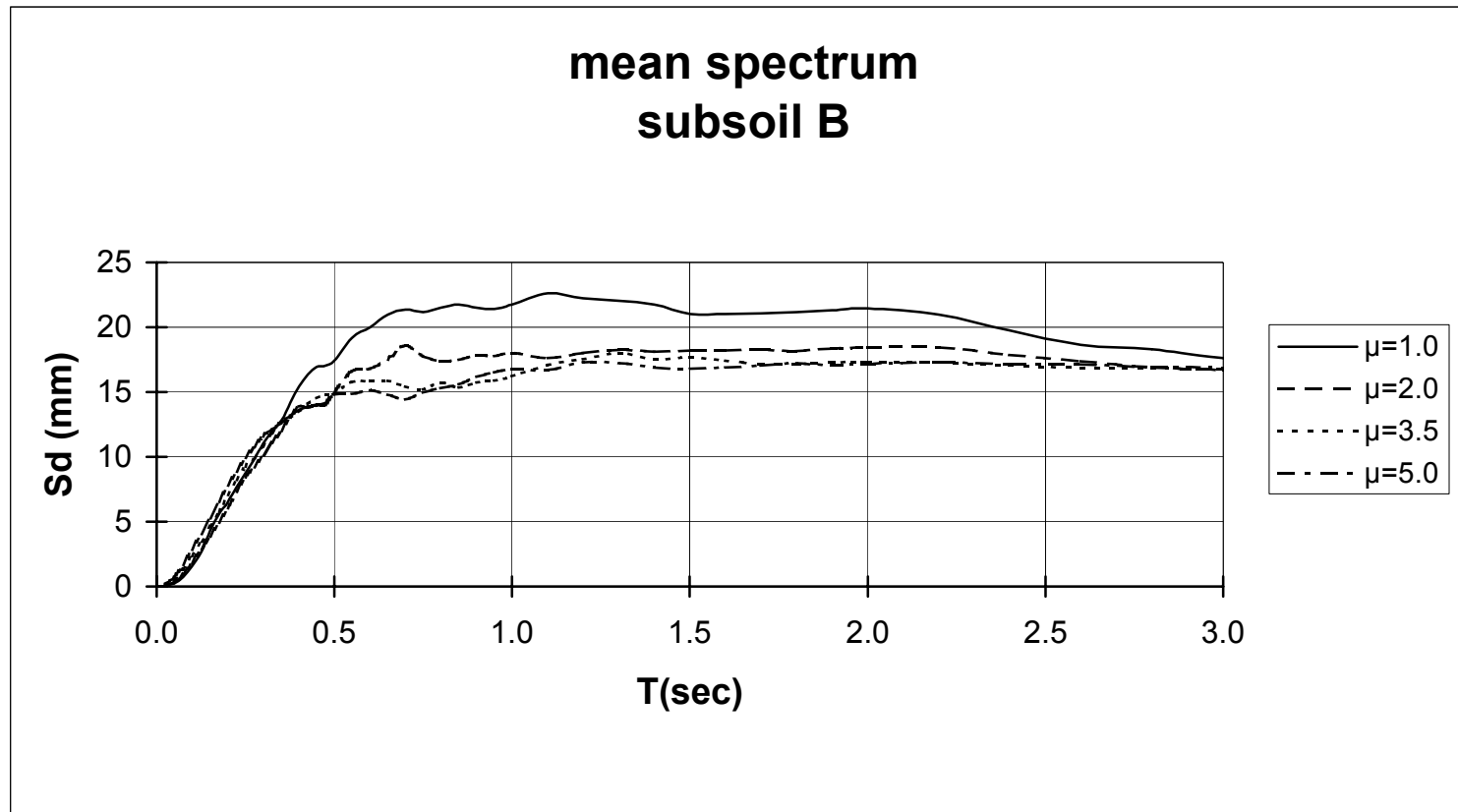
Σχ. 3.6.17 Μέσο ανελαστικό φάσμα αντοχής για διάφορες κατηγορίες εδάφους



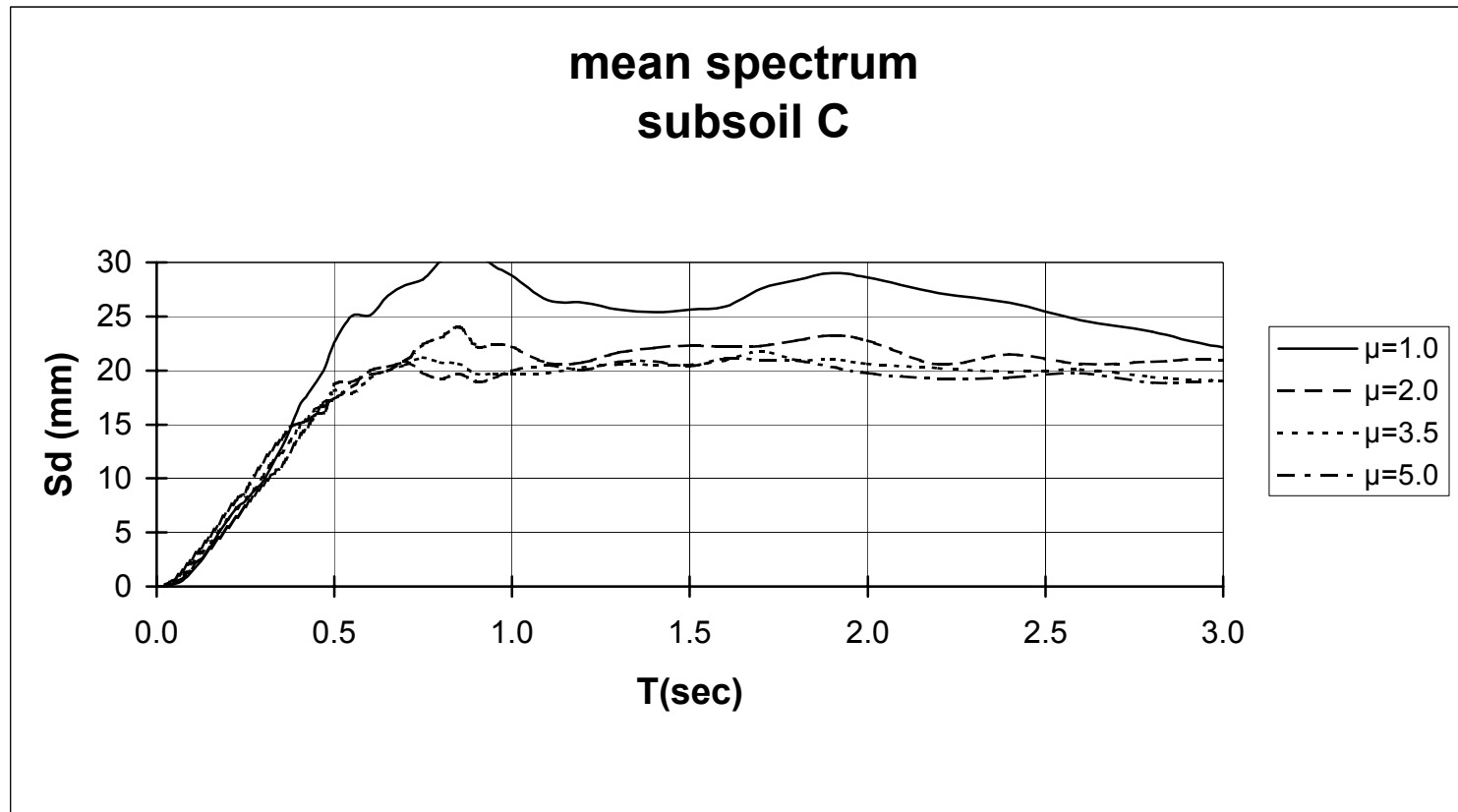
Σχ. 3.6.18 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



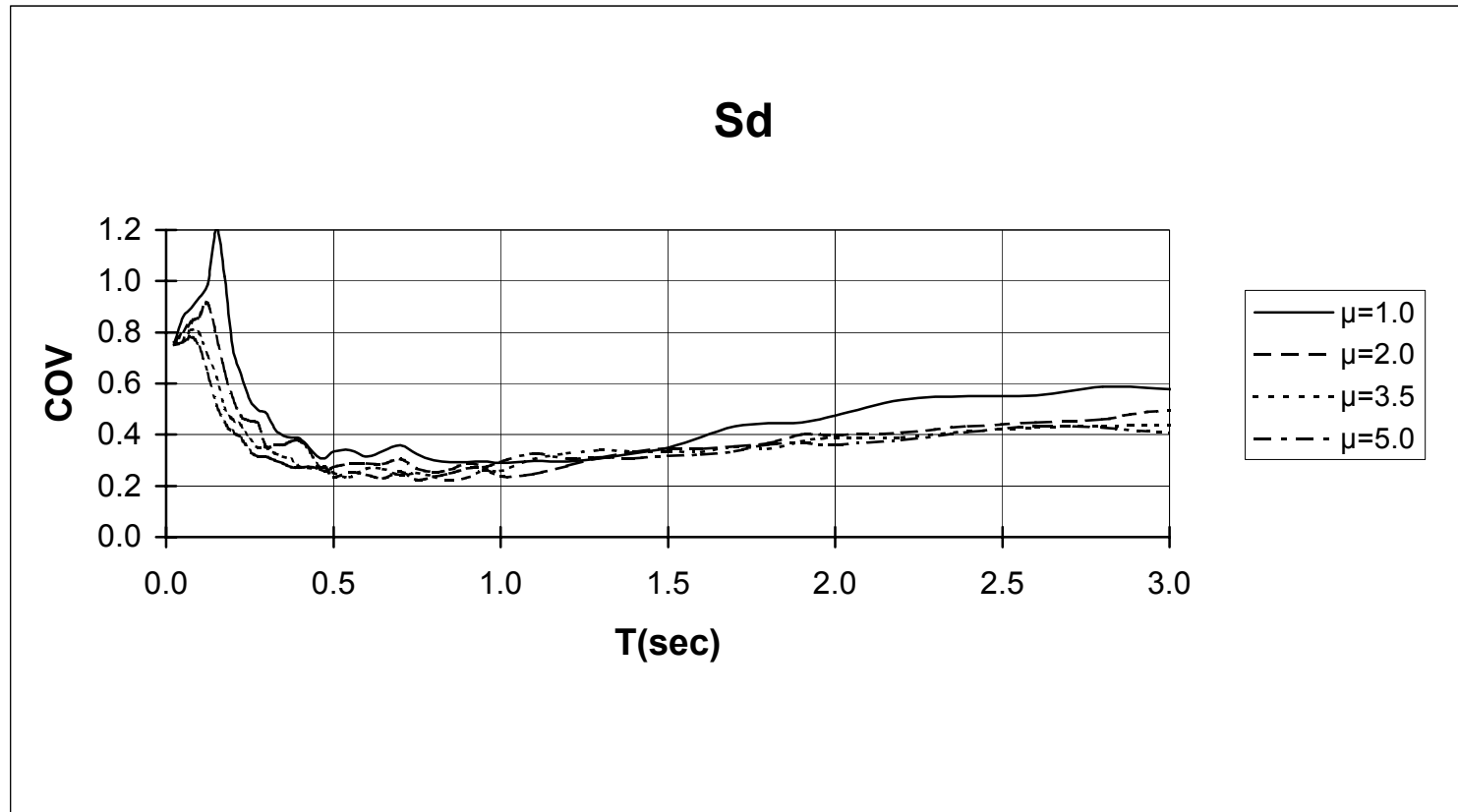
Σχ. 3.6.19 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Α)



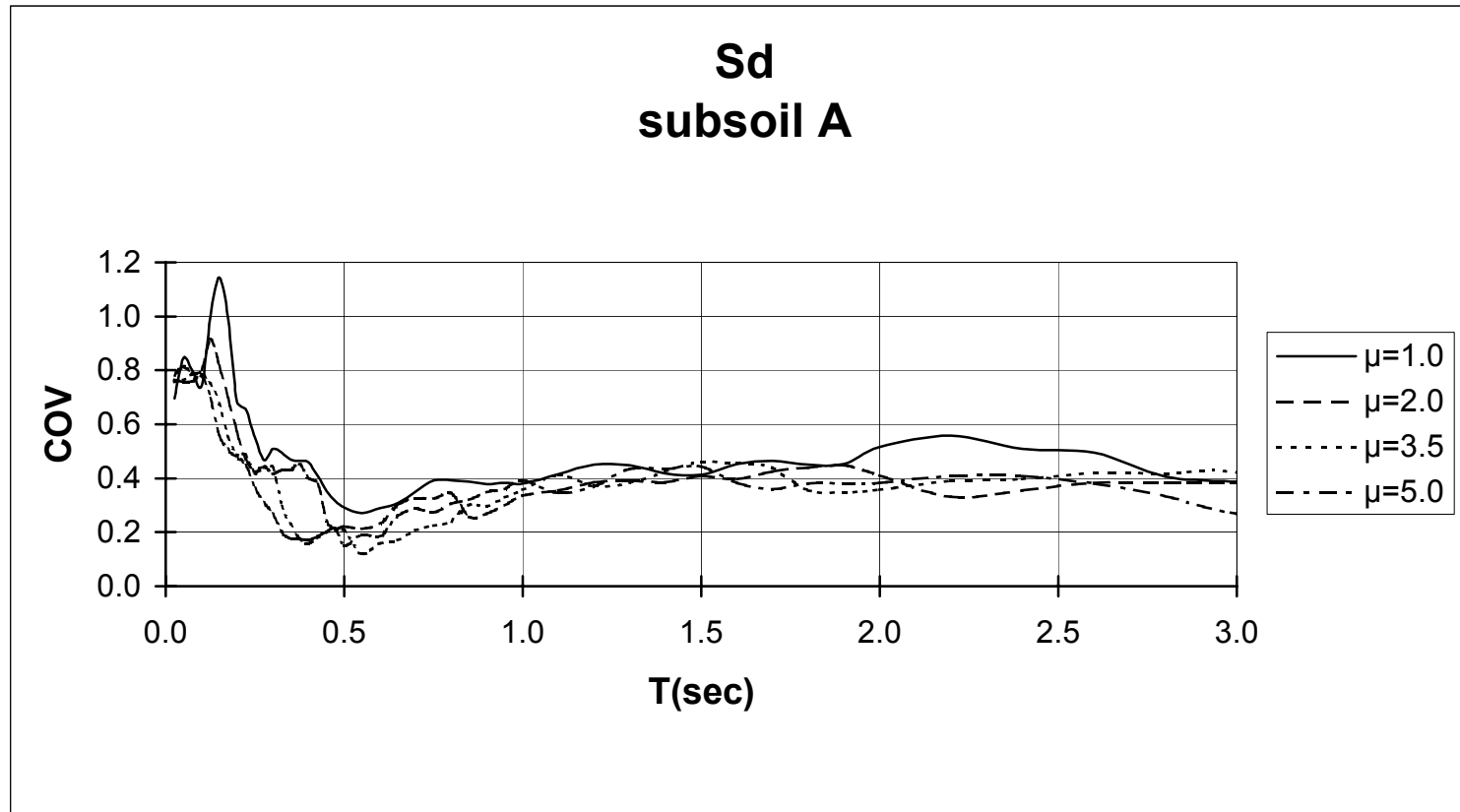
Σχ. 3.6.20 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους B)



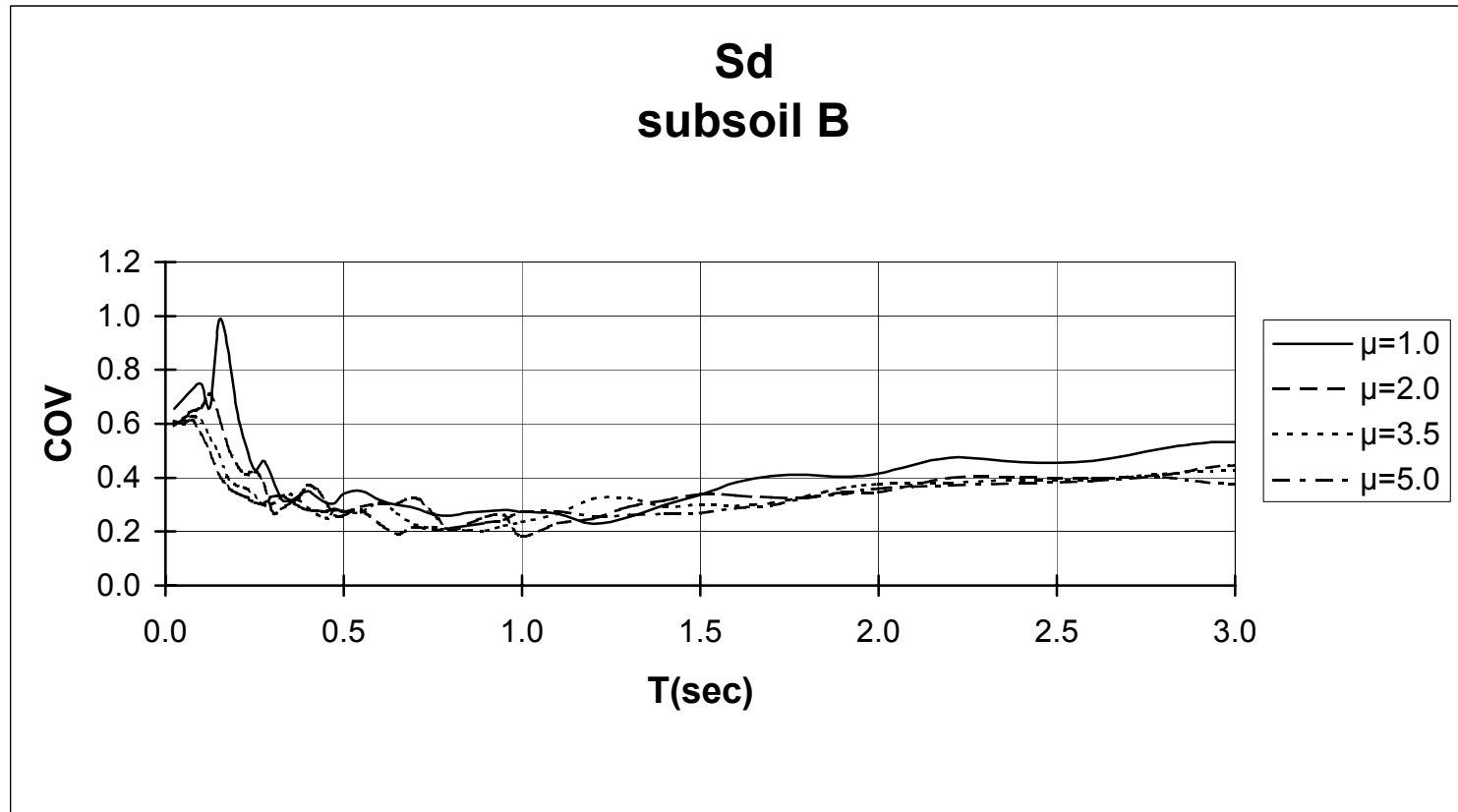
Σχ. 3.6.21 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Γ)



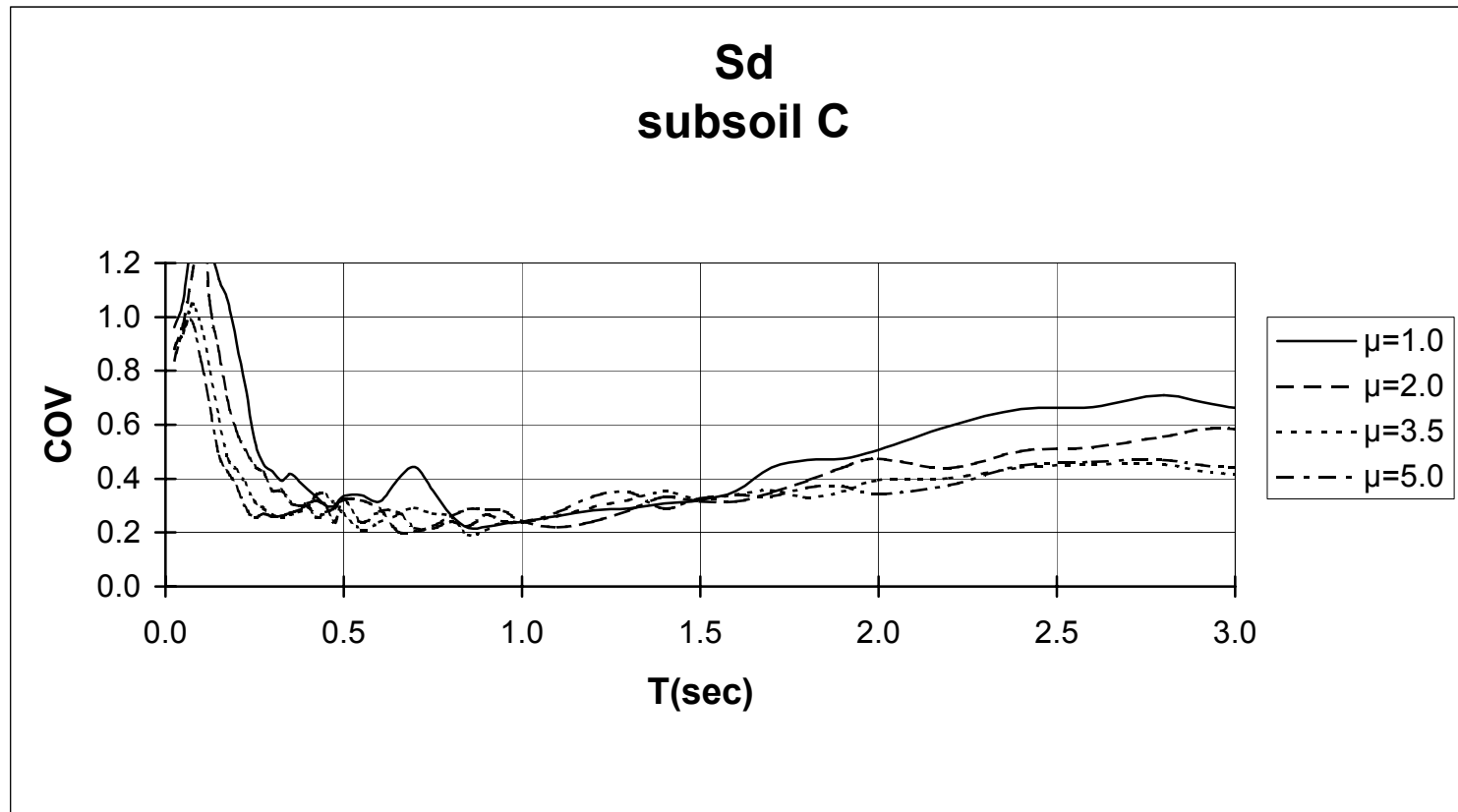
Σχ. 3.6.22 Συντελεστές διασποράς φασμάτων μετακινήσεων



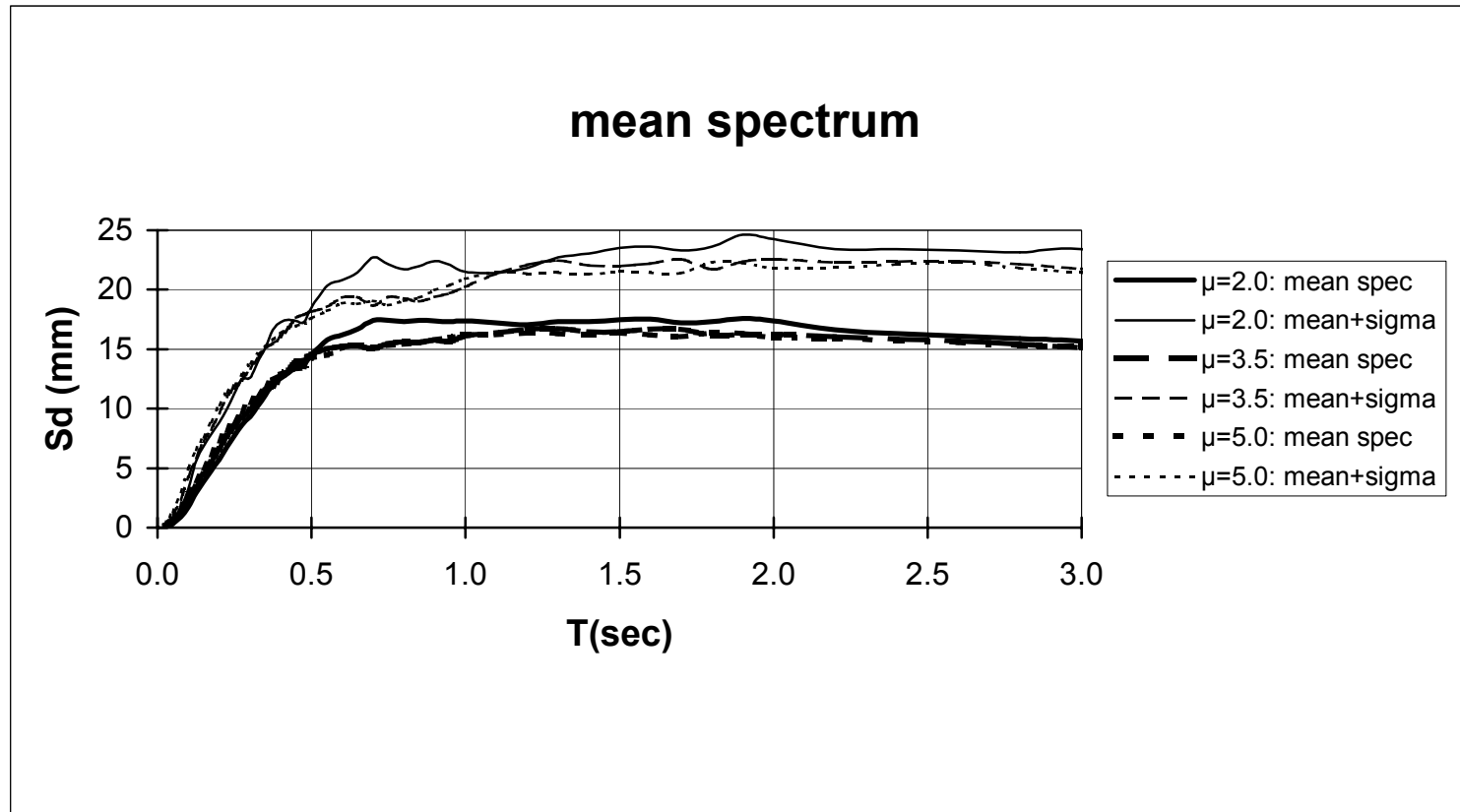
Σχ. 3.6.23 Συντελεστές διασποράς φασμάτων μετακινήσεων



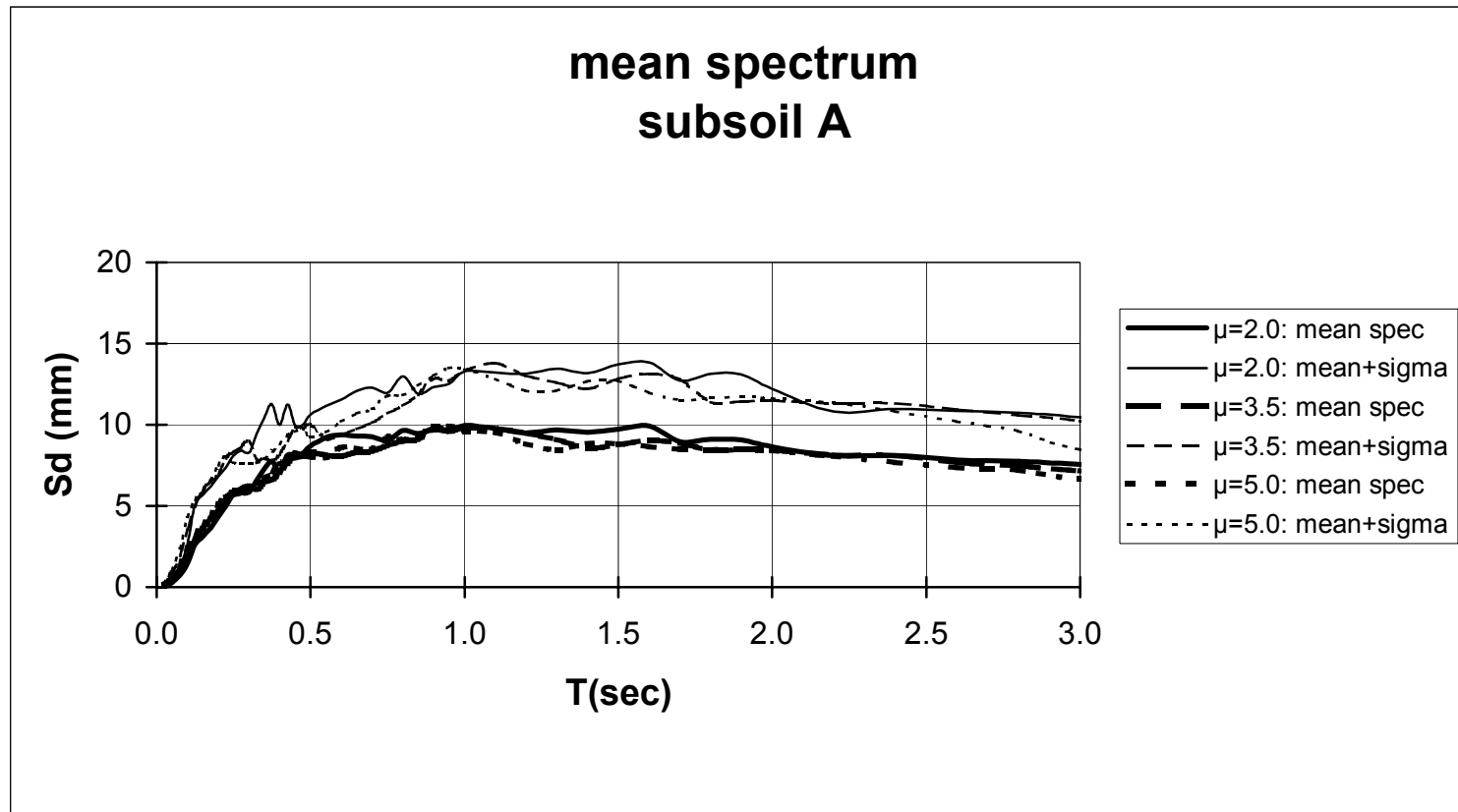
Σχ. 3.6.24 Συντελεστές διασποράς φασμάτων μετακινήσεων



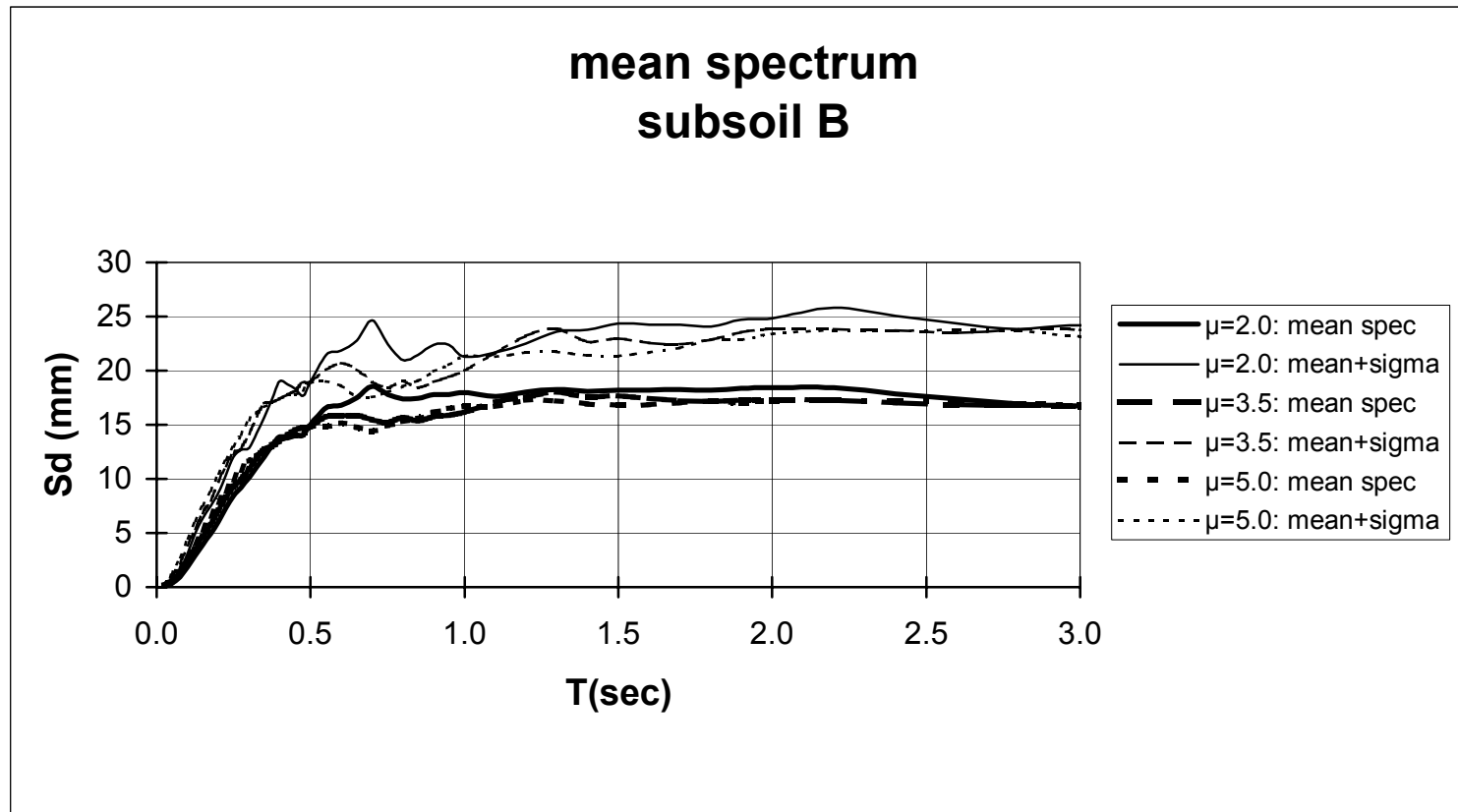
Σχ. 3.6.25 Συντελεστές διασποράς φασμάτων μετακινήσεων



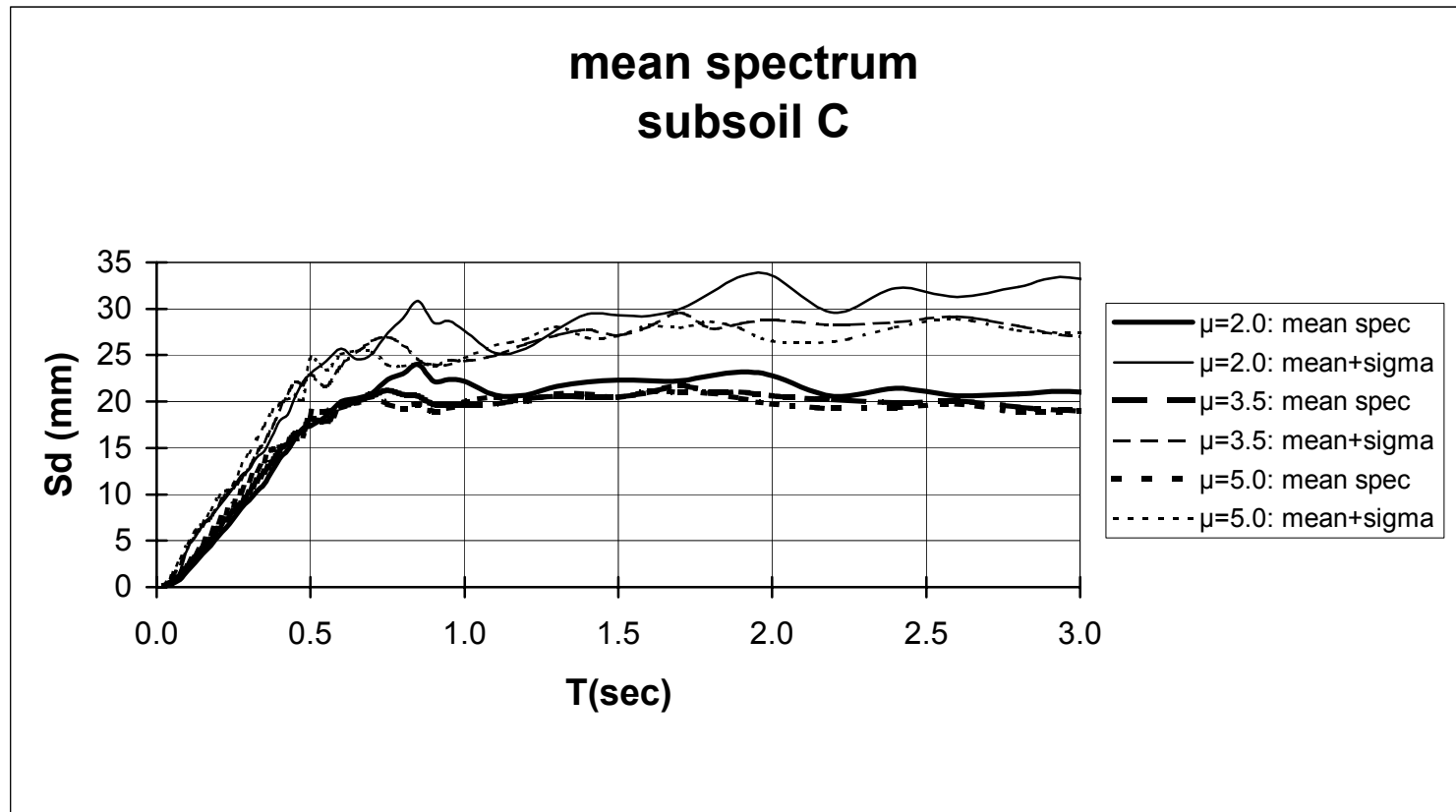
Σχ. 3.6.26 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



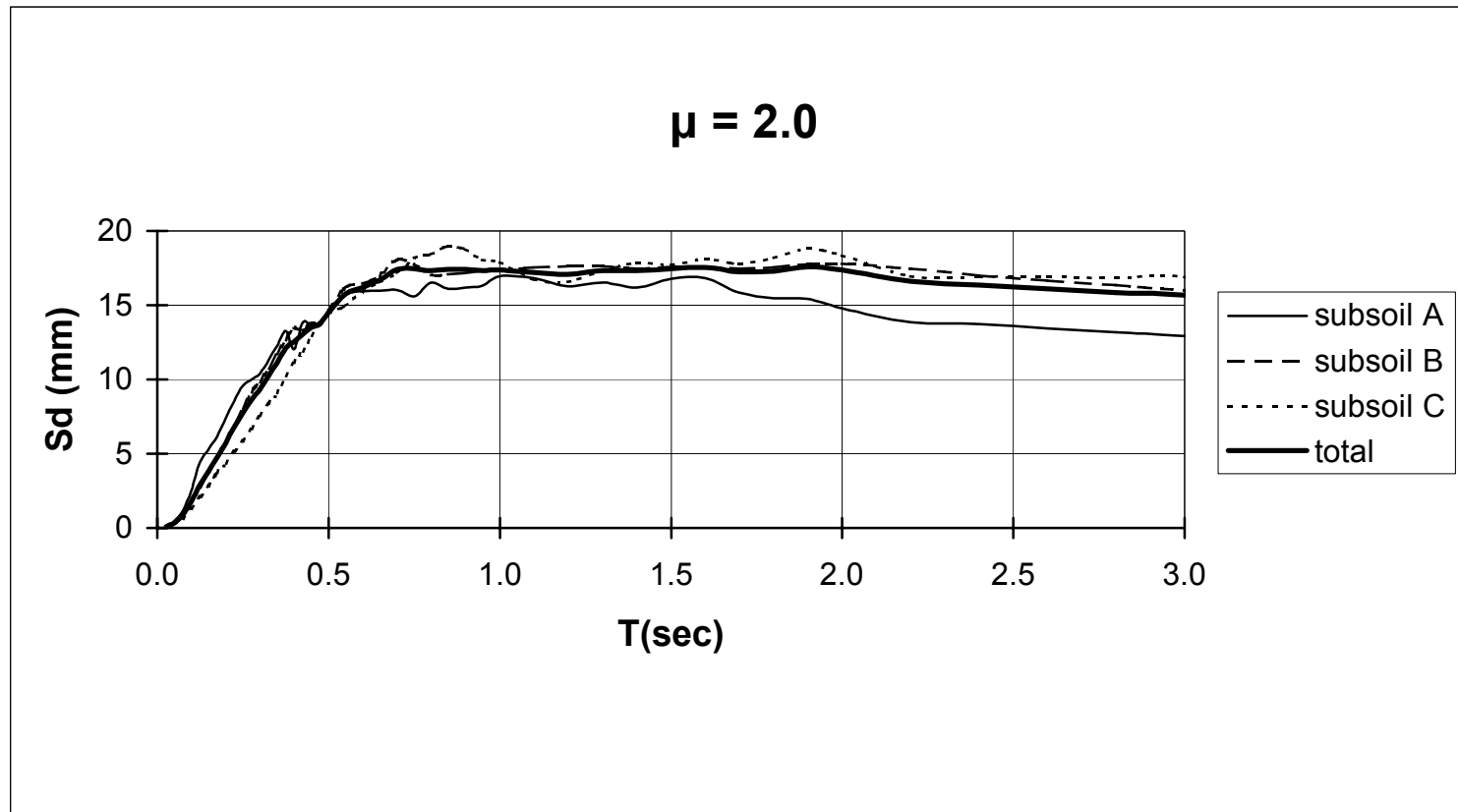
Σχ. 3.6.27 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



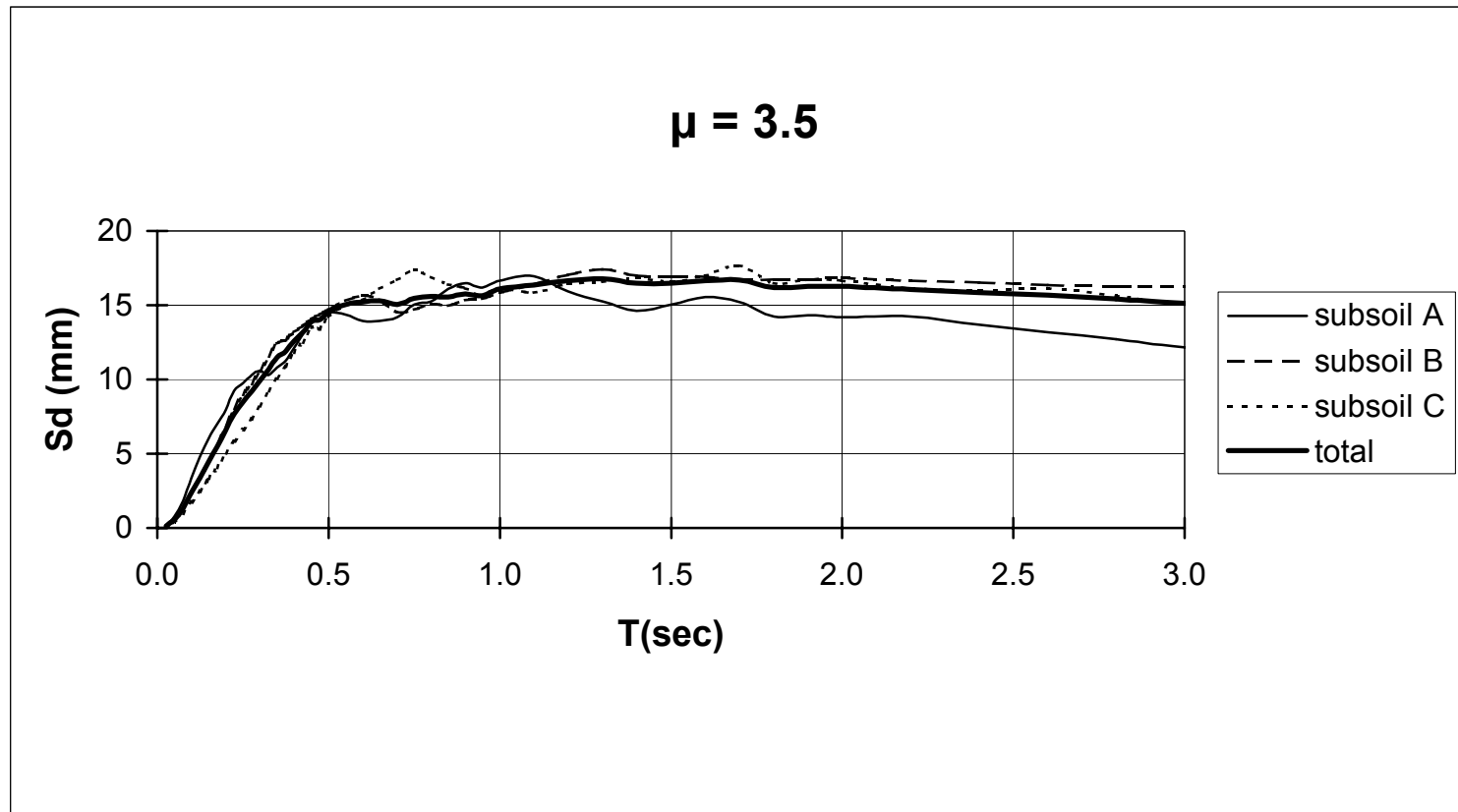
Σχ. 3.6.28 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



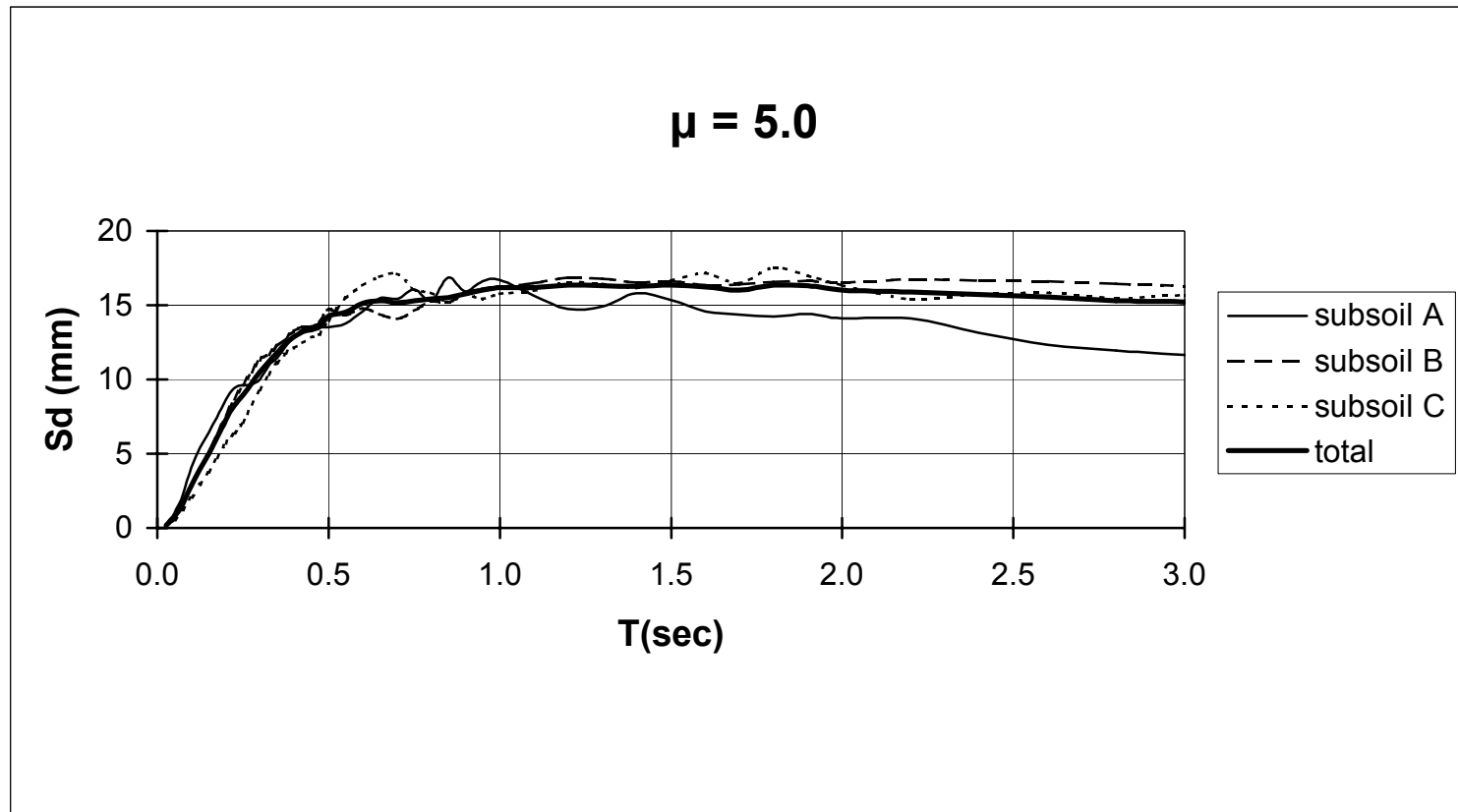
Σχ. 3.6.29 Στατιστική επεξεργασία ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



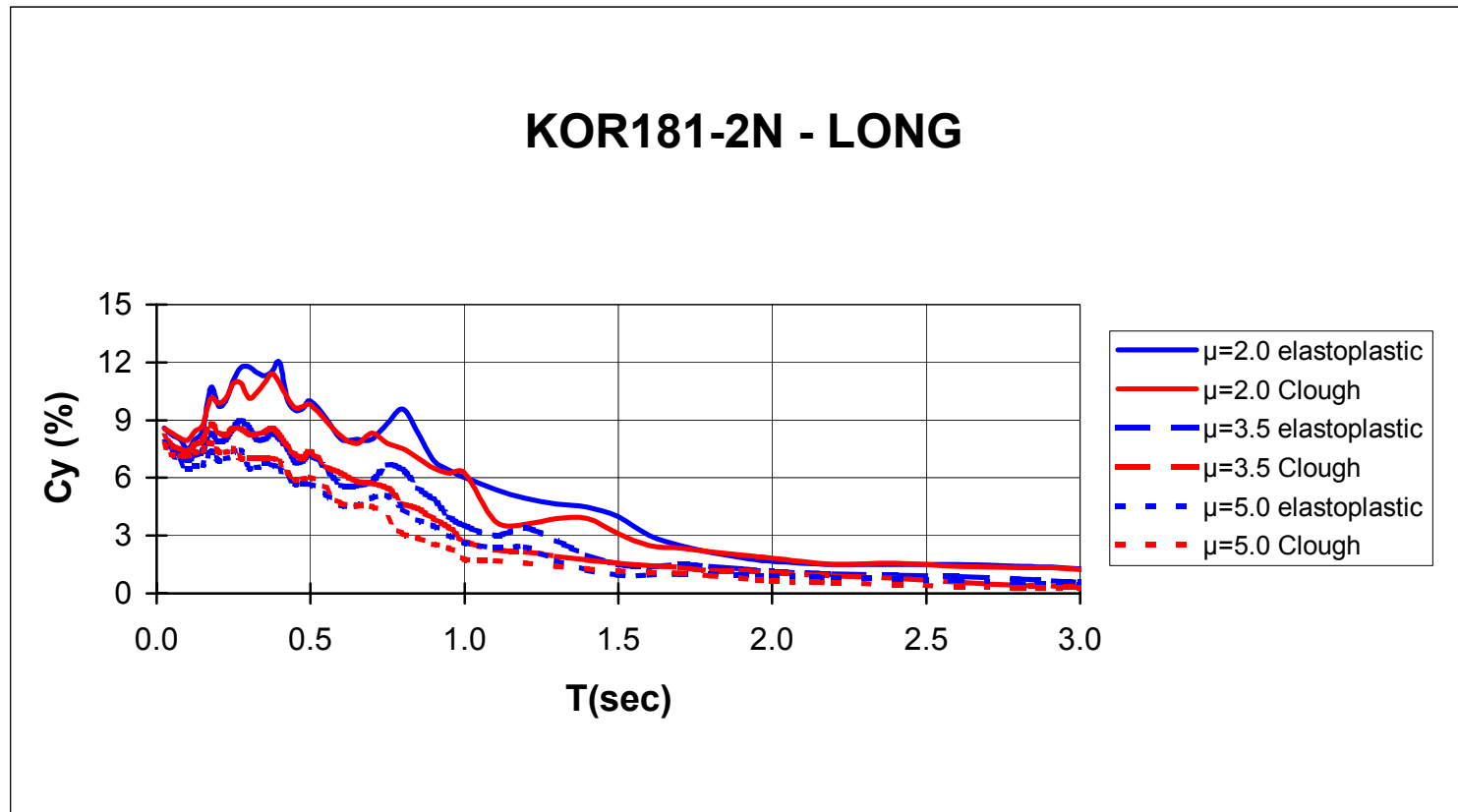
Σχ. 3.6.30 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



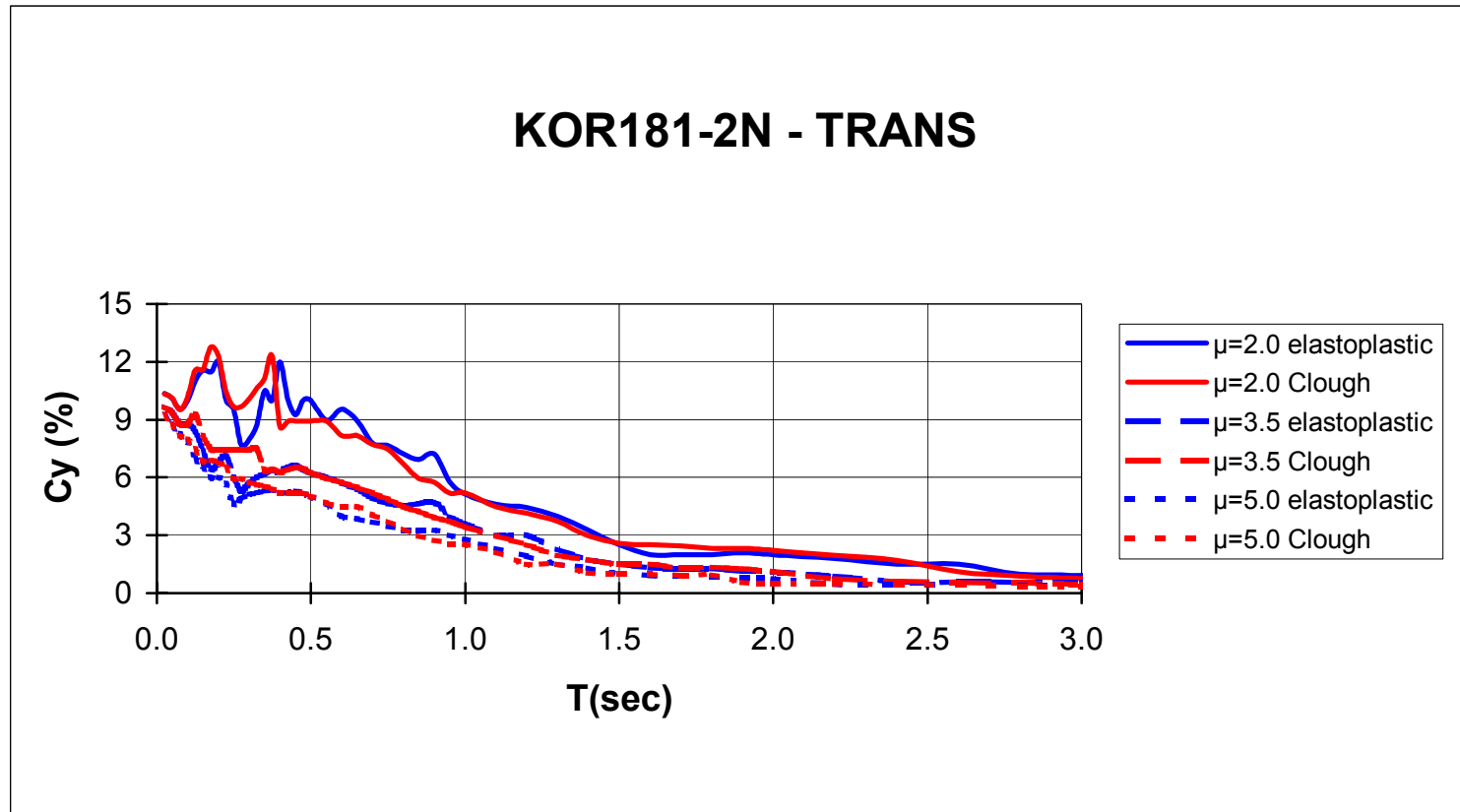
Σχ. 3.6.31 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



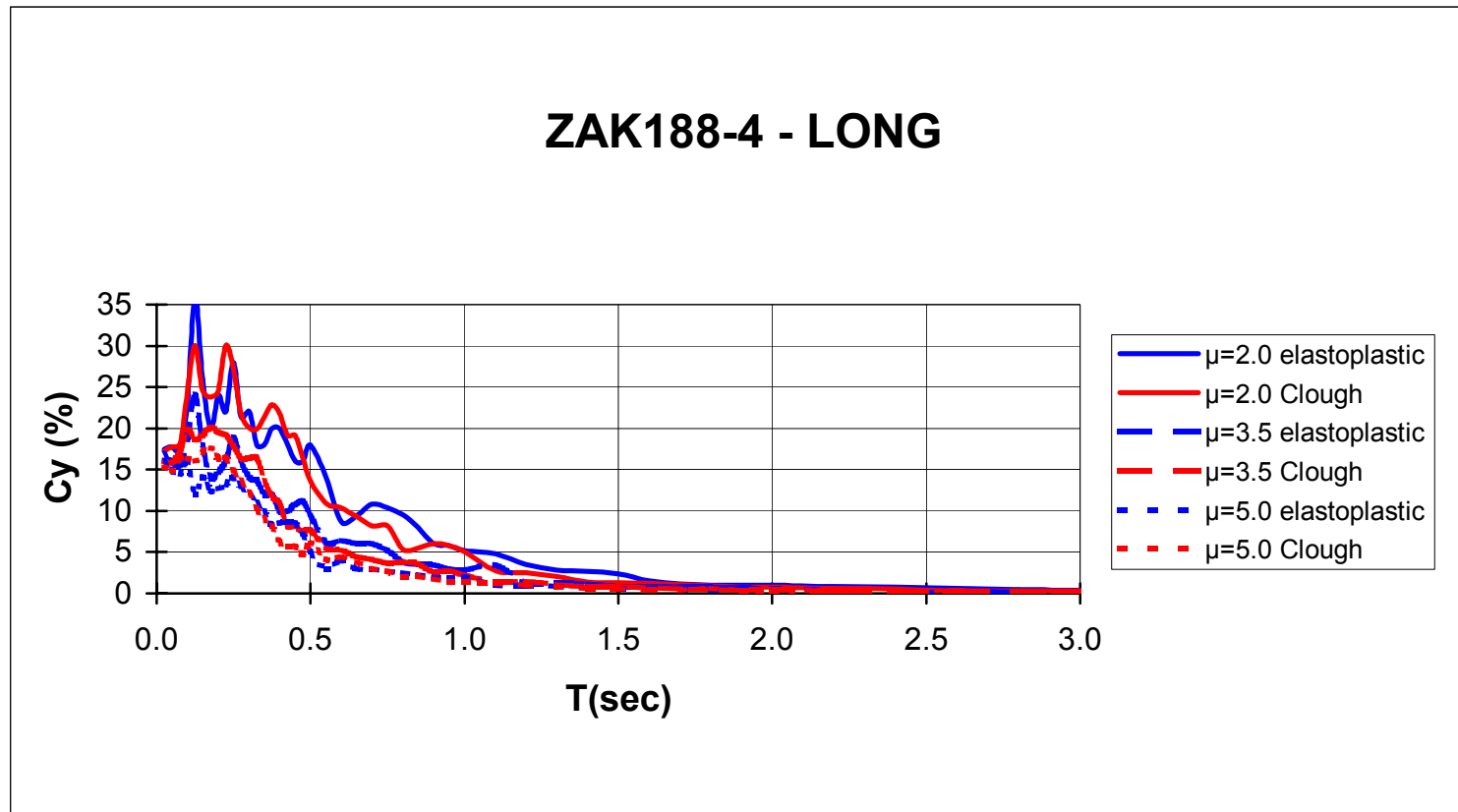
Σχ. 3.6.32 Μέσο ανελαστικό φάσμα μετακινήσεων για διάφορες κατηγορίες εδάφους



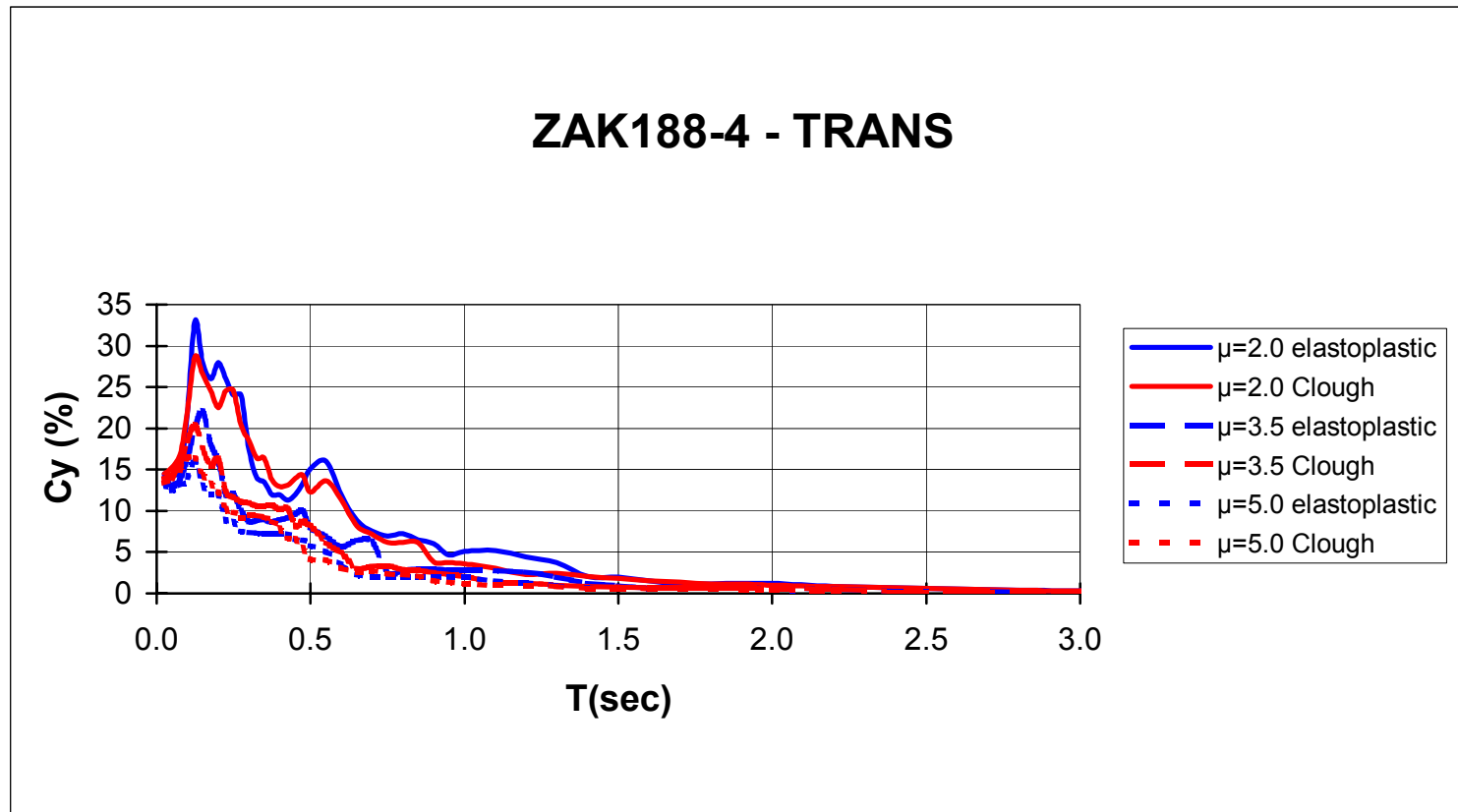
Σχ. 3.6.33(α) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



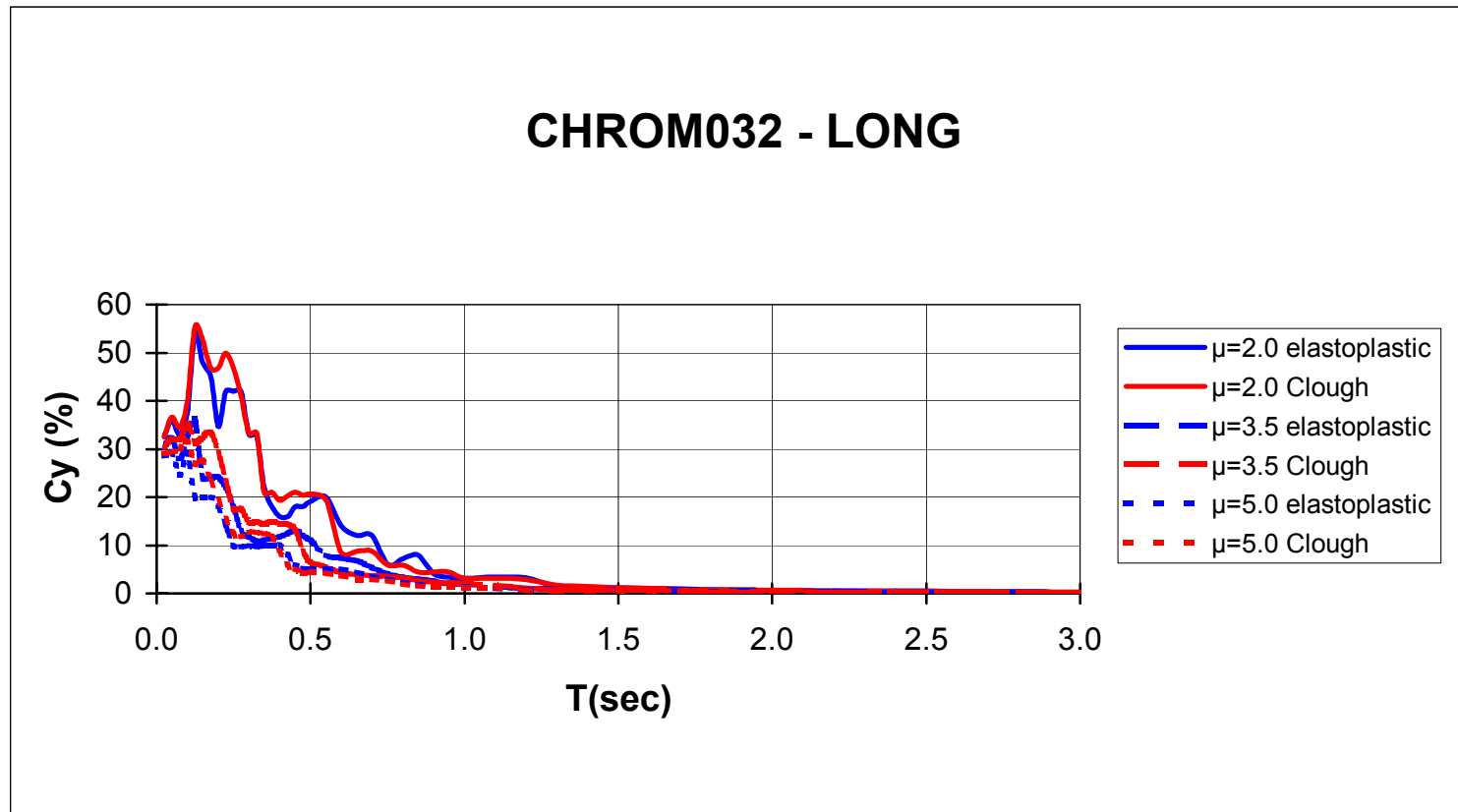
Σχ. 3.6.33(β) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



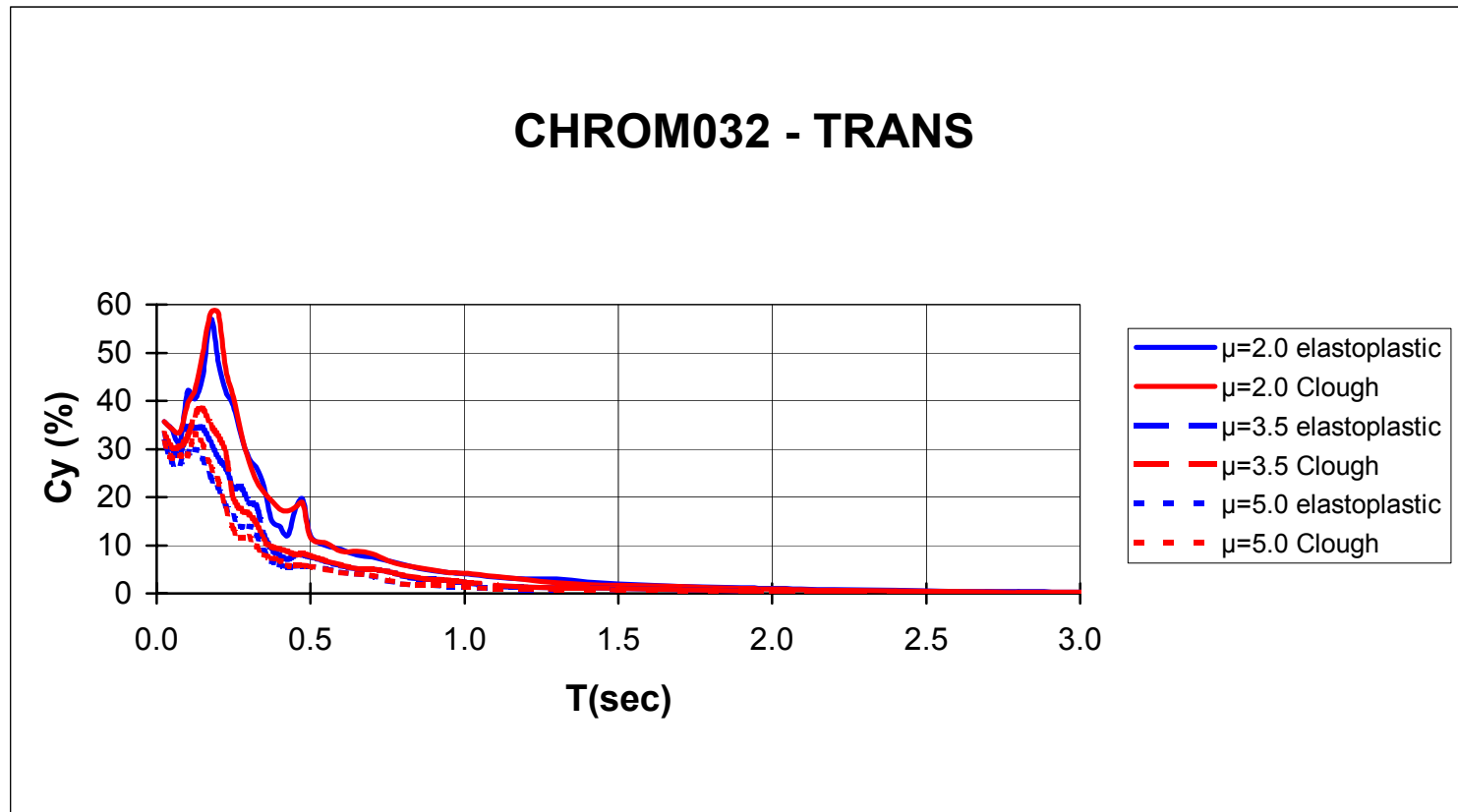
Σχ. 3.6.33(γ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



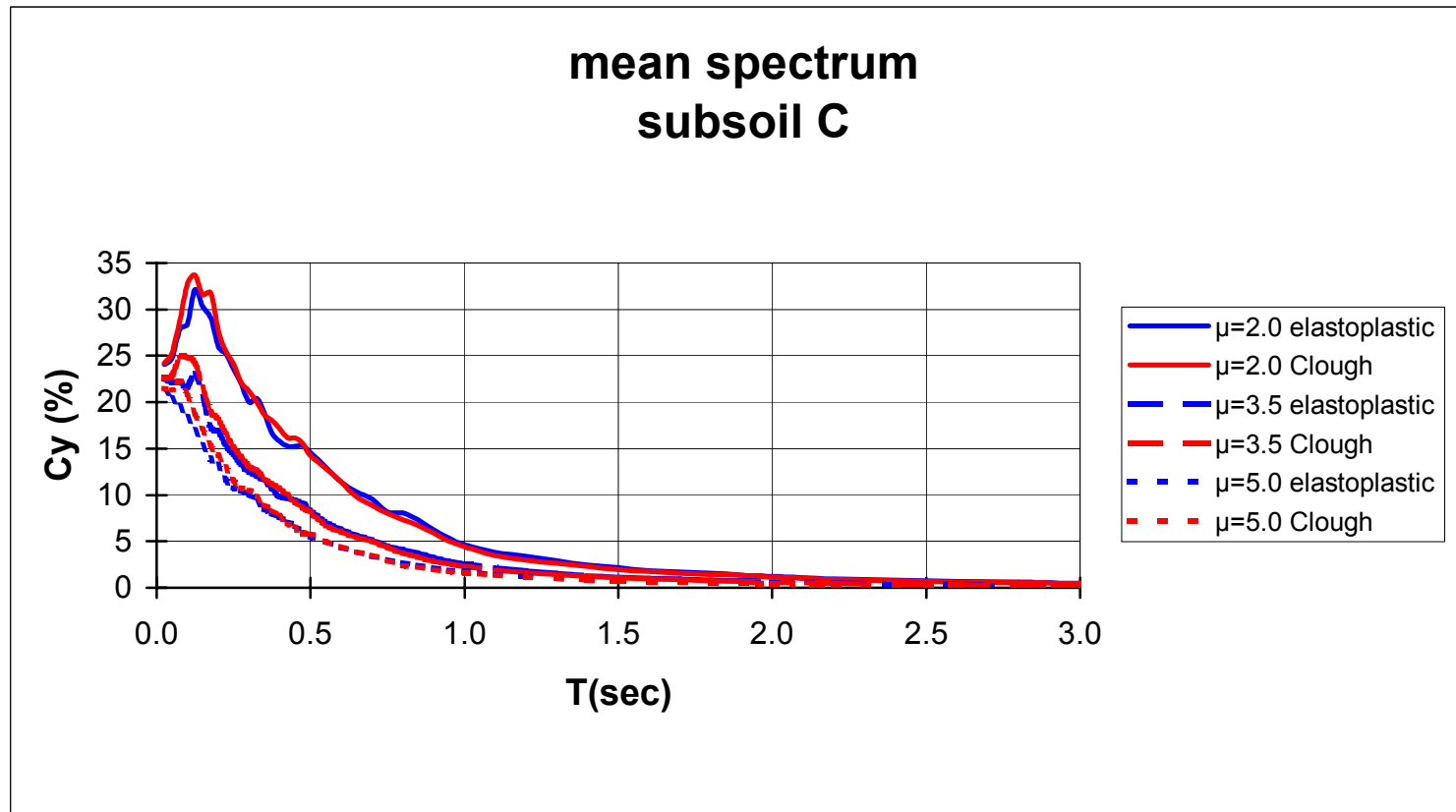
Σχ. 3.6.33(δ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



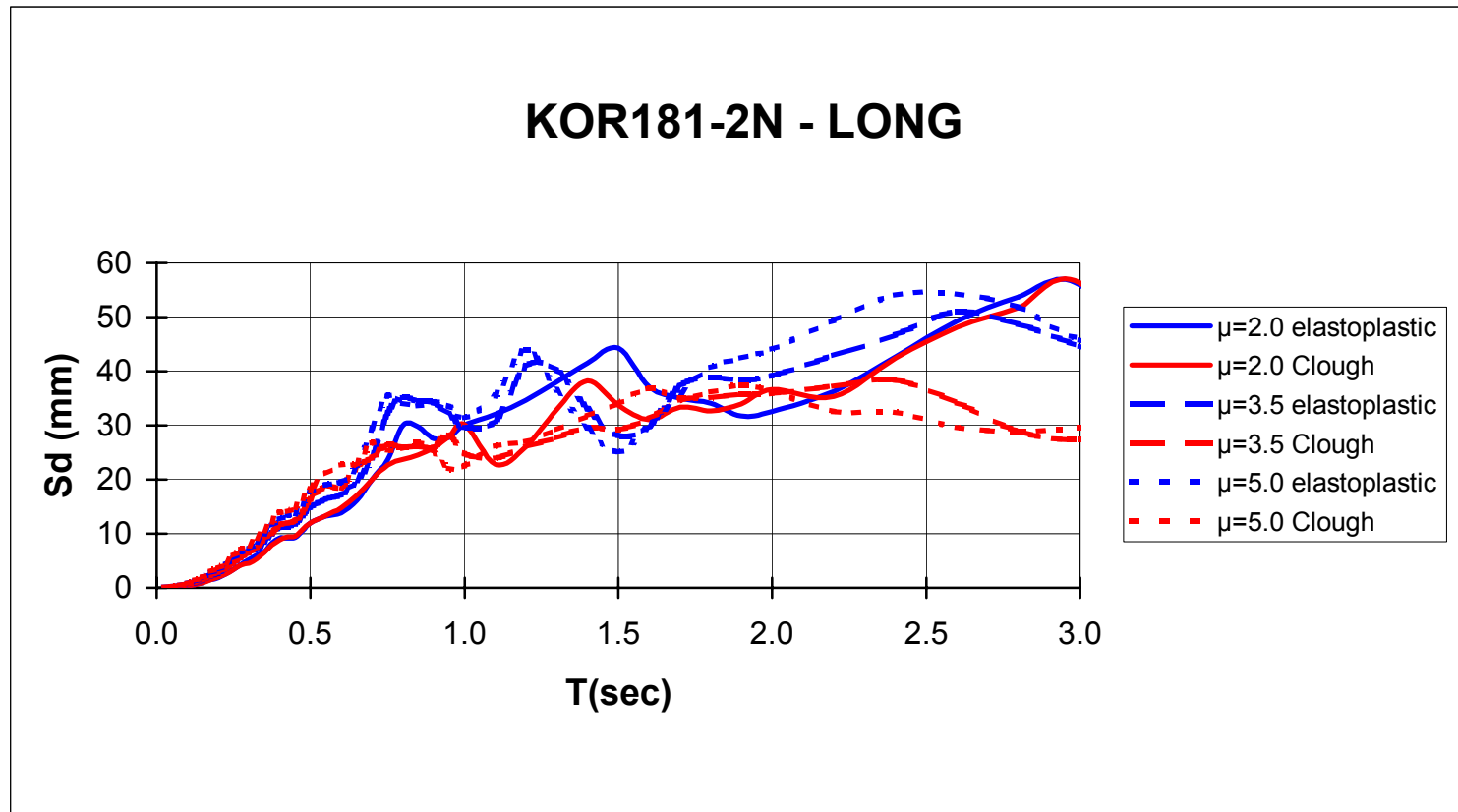
Σχ. 3.6.33(ε) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



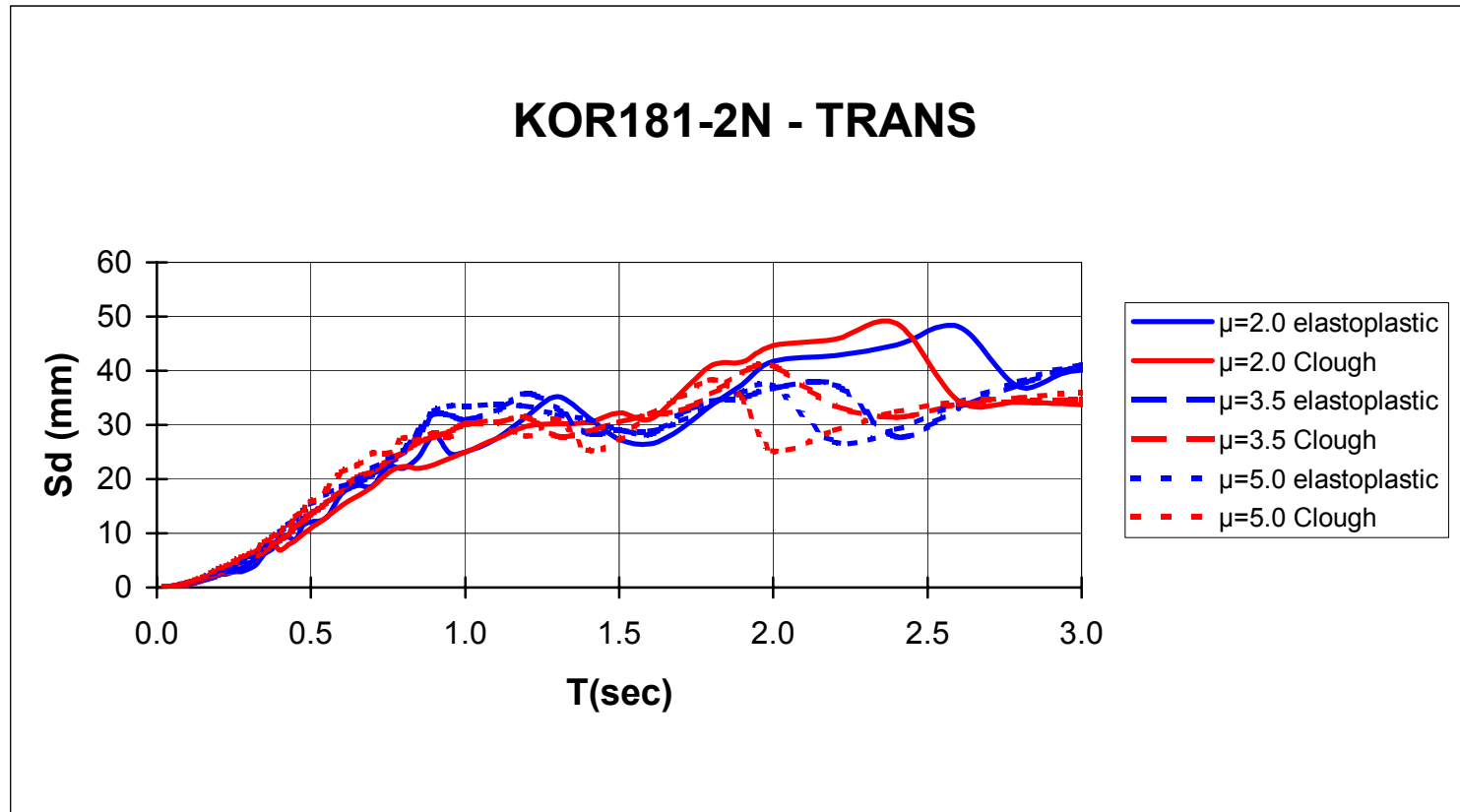
Σχ. 3.6.33(στ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



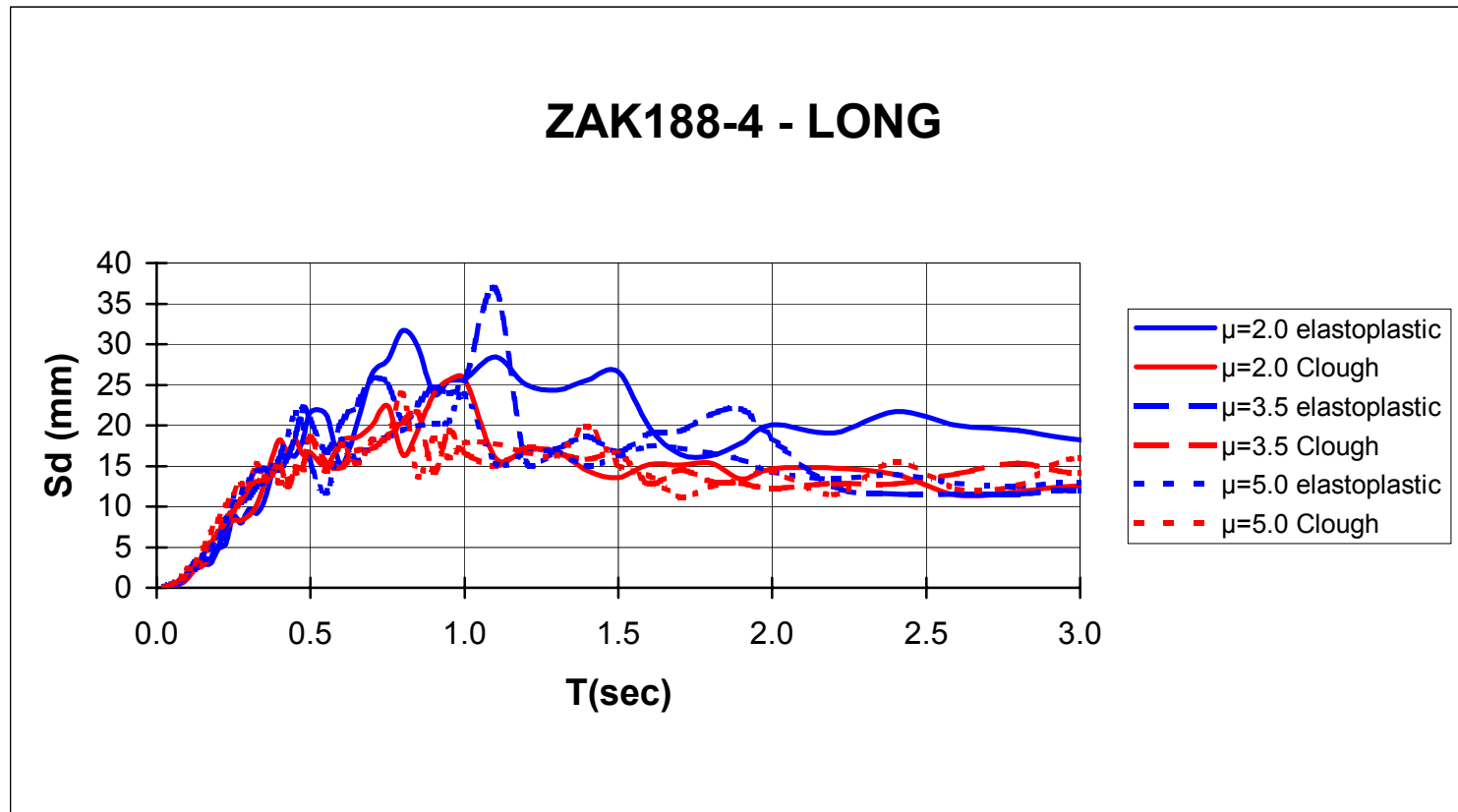
Σχ. 3.6.34 Σύγκριση μέσων ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



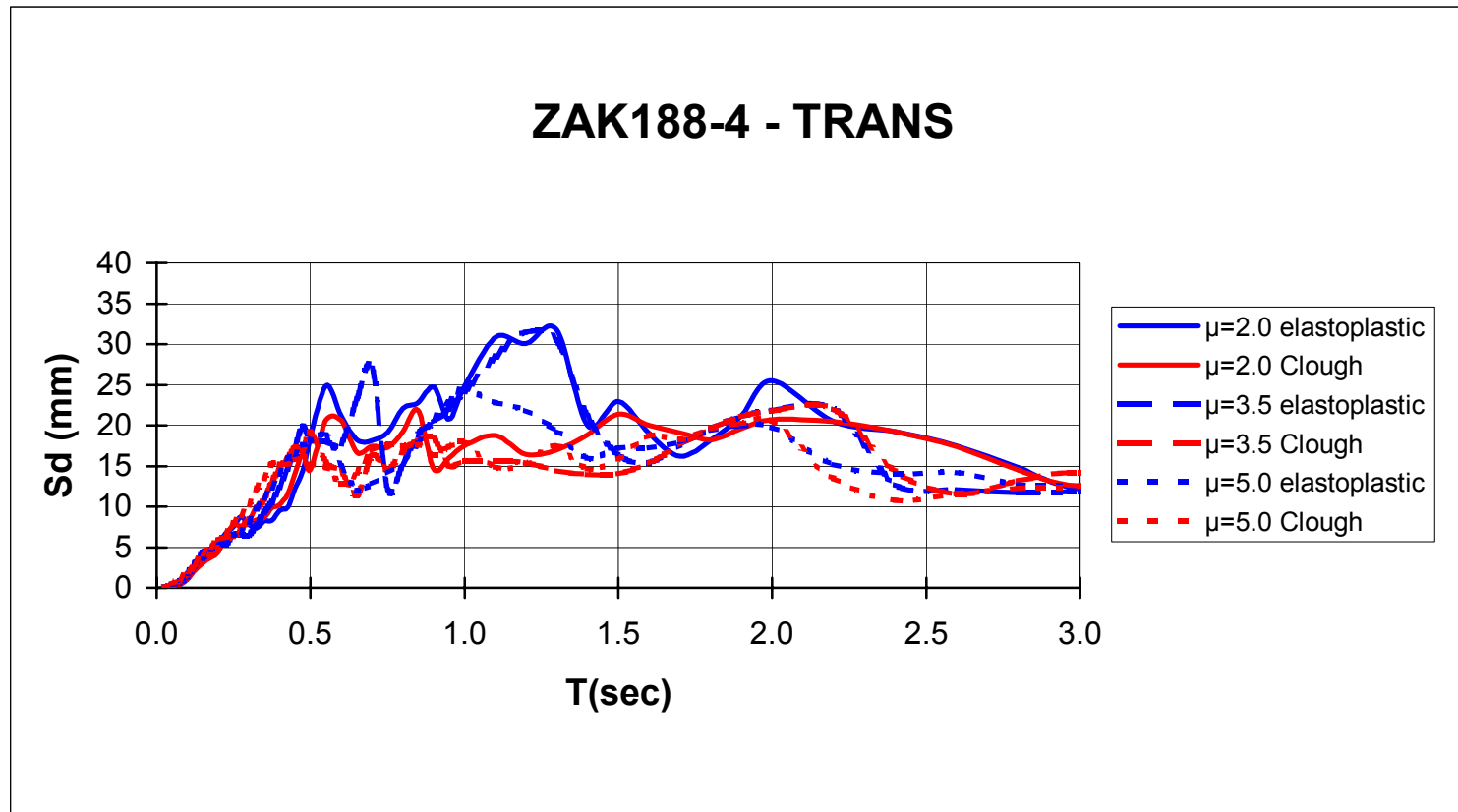
Σχ. 3.6.35(α) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



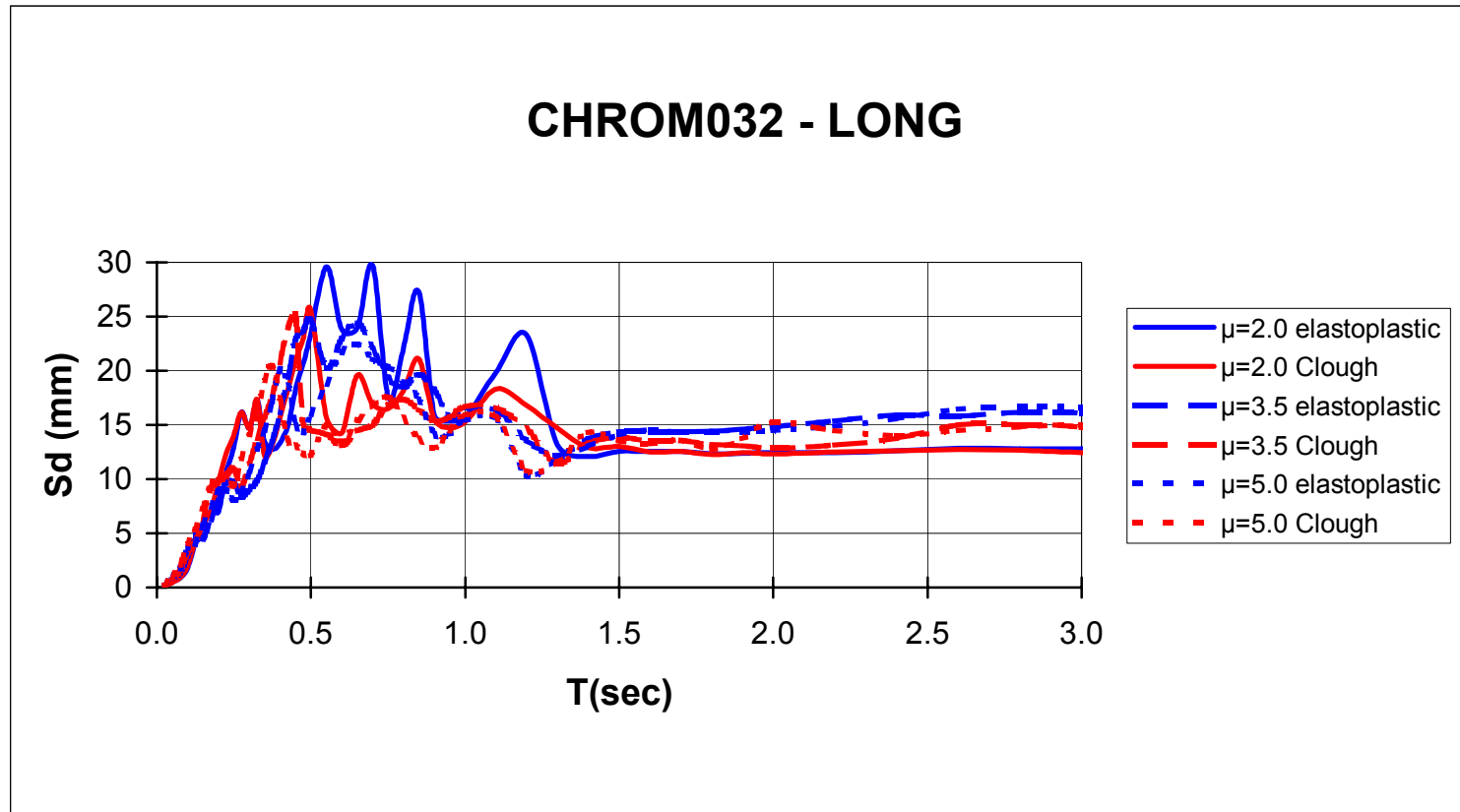
Σχ. 3.6.35(β) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



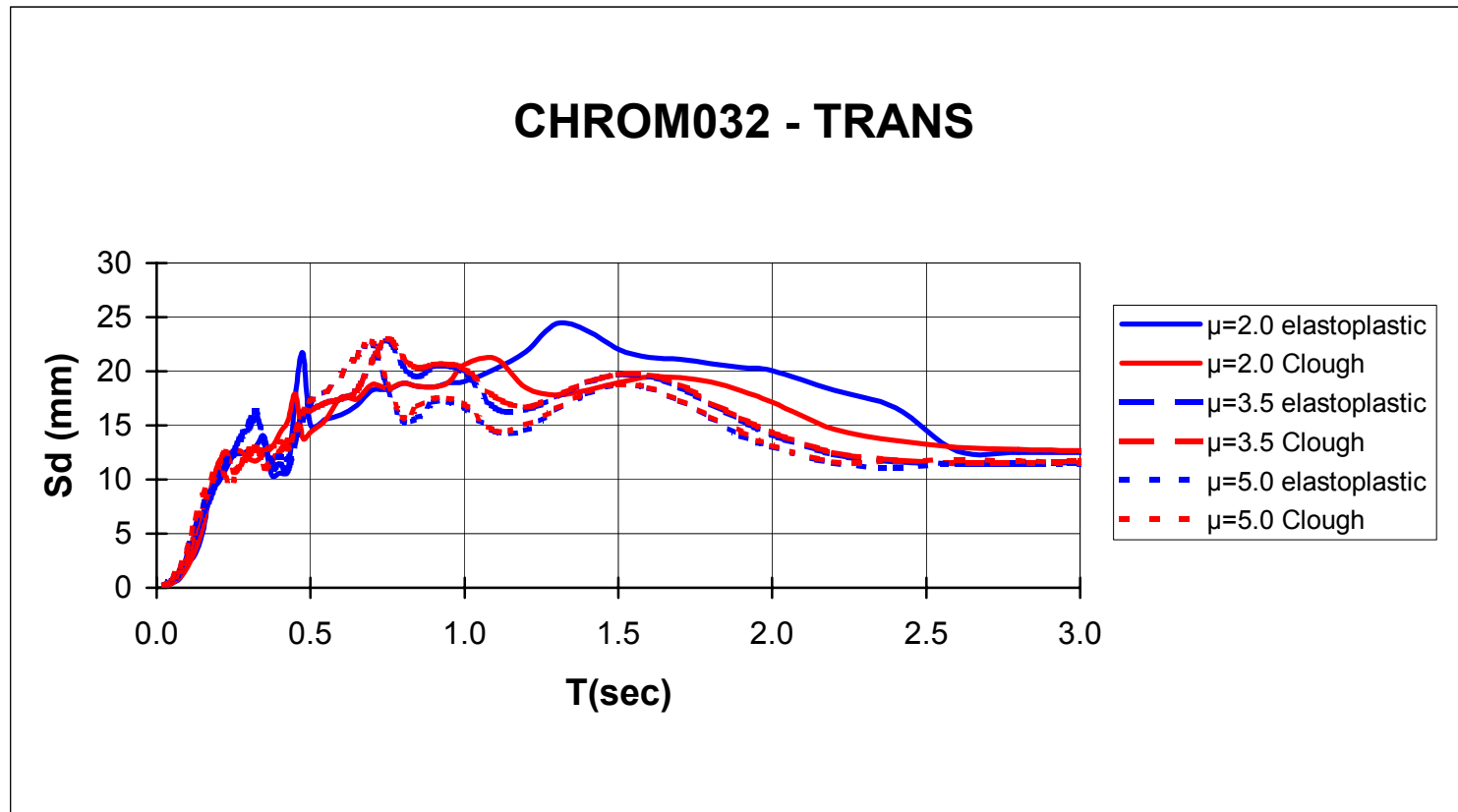
Σχ. 3.6.35(γ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



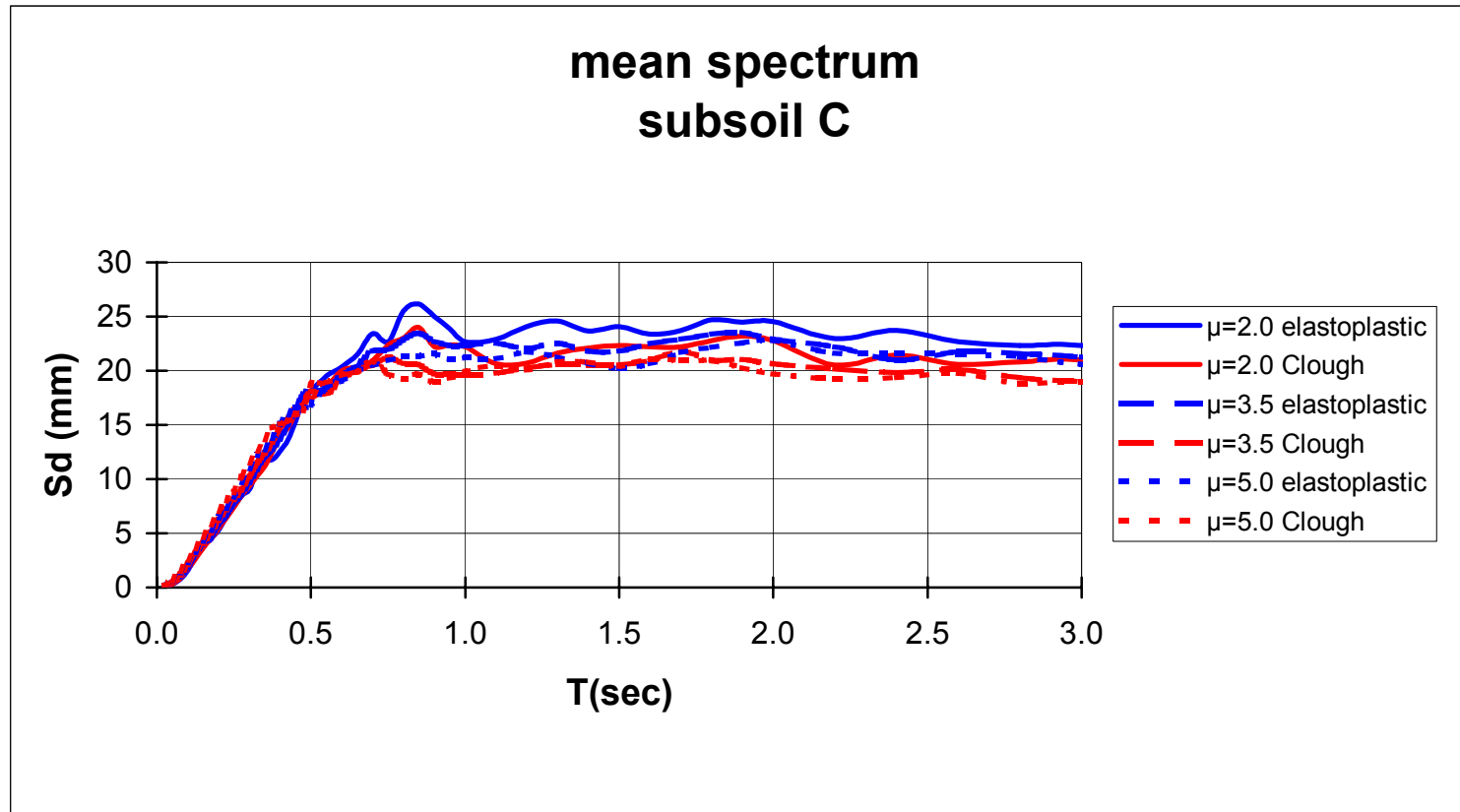
Σχ. 3.6.35(δ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



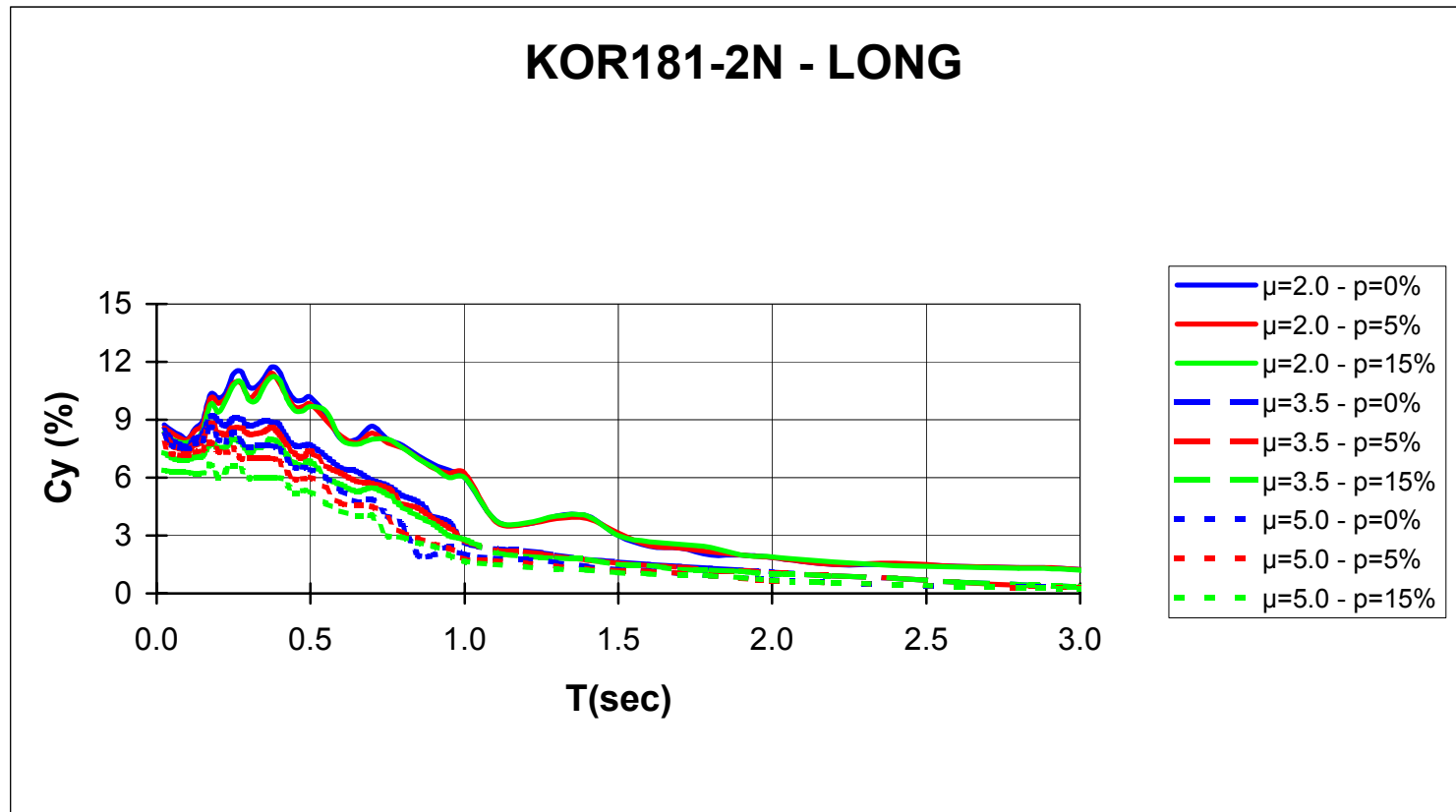
Σχ. 3.6.35(ε) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



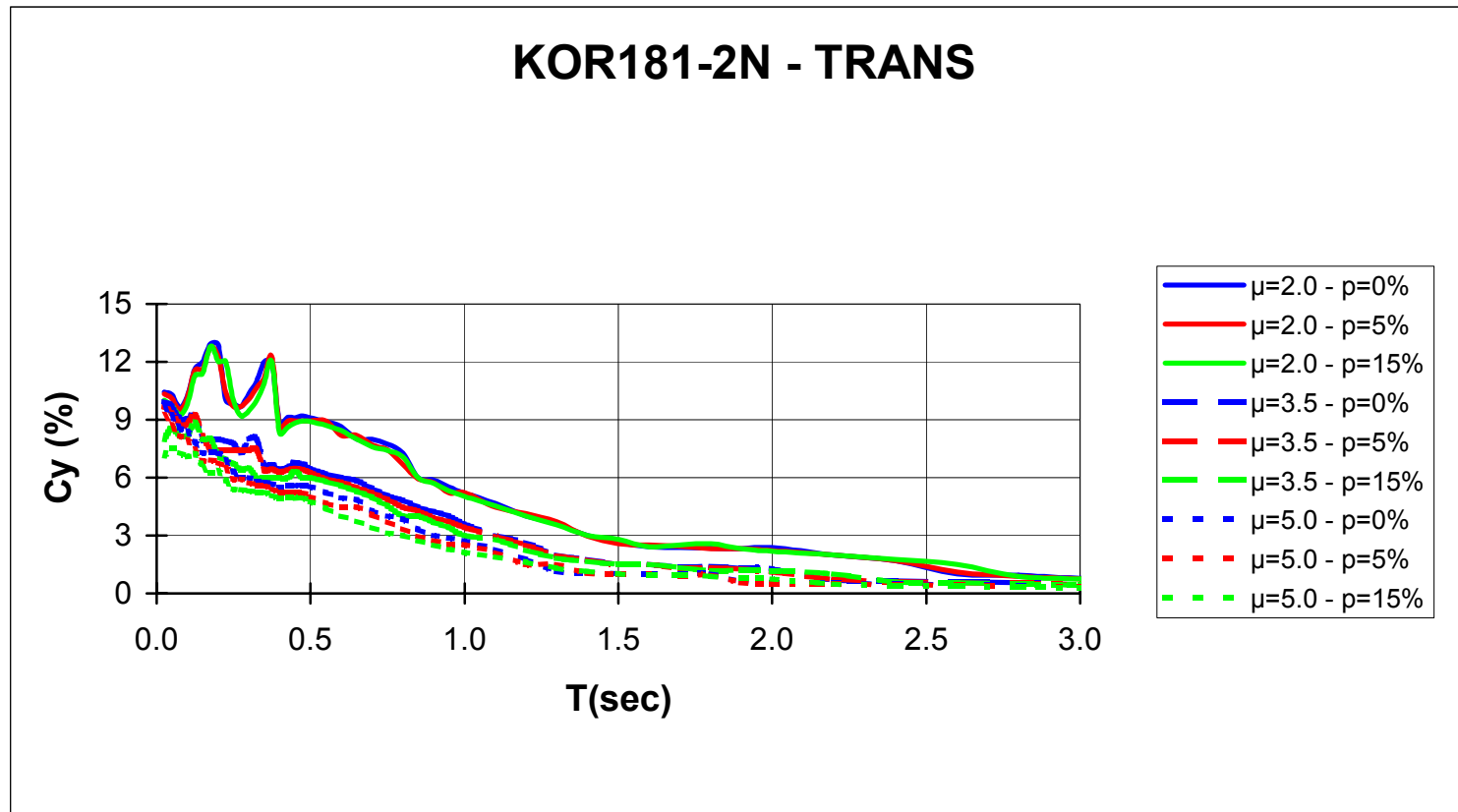
Σχ. 3.6.35(στ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



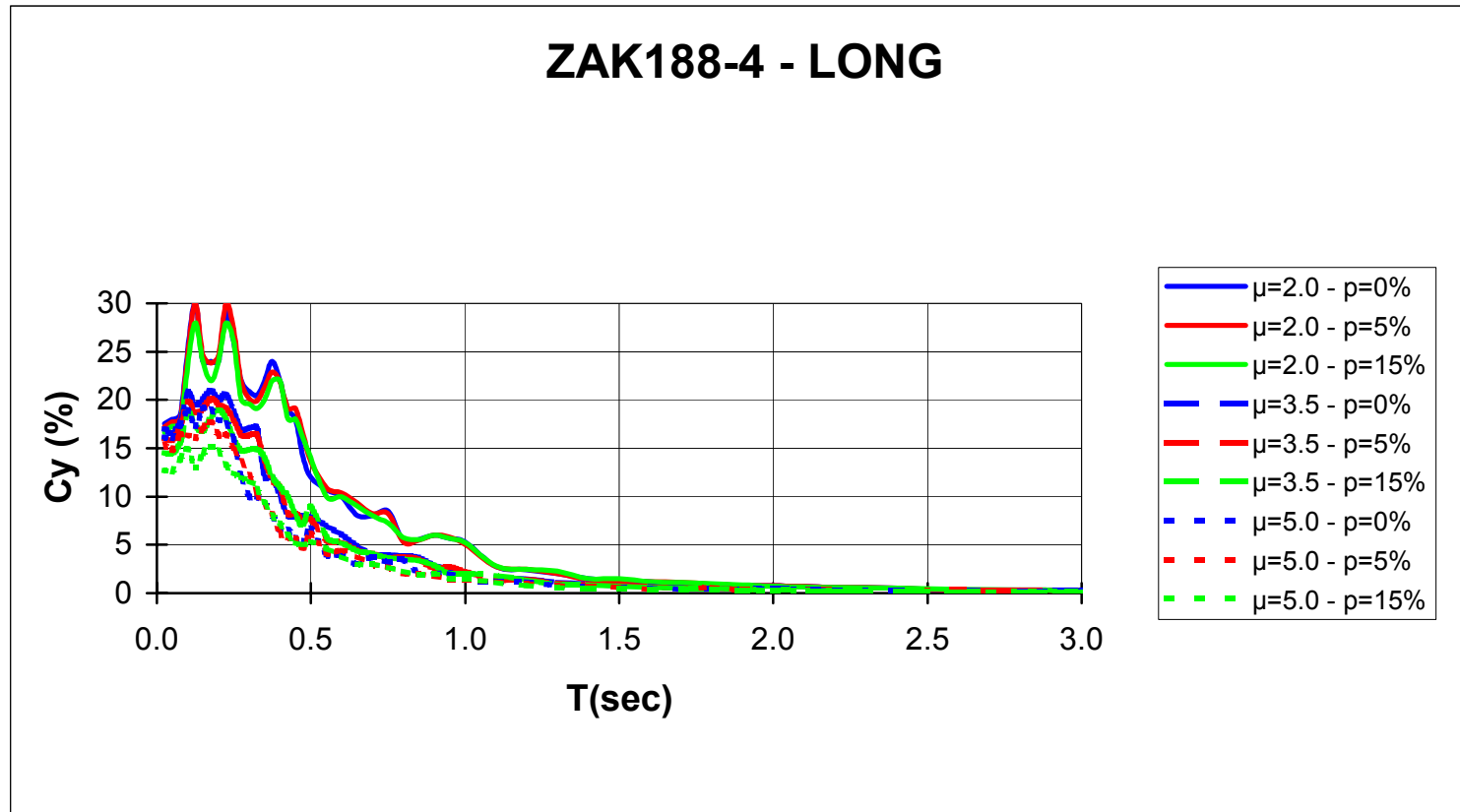
Σχ. 3.6.36 Σύγκριση μέσων ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



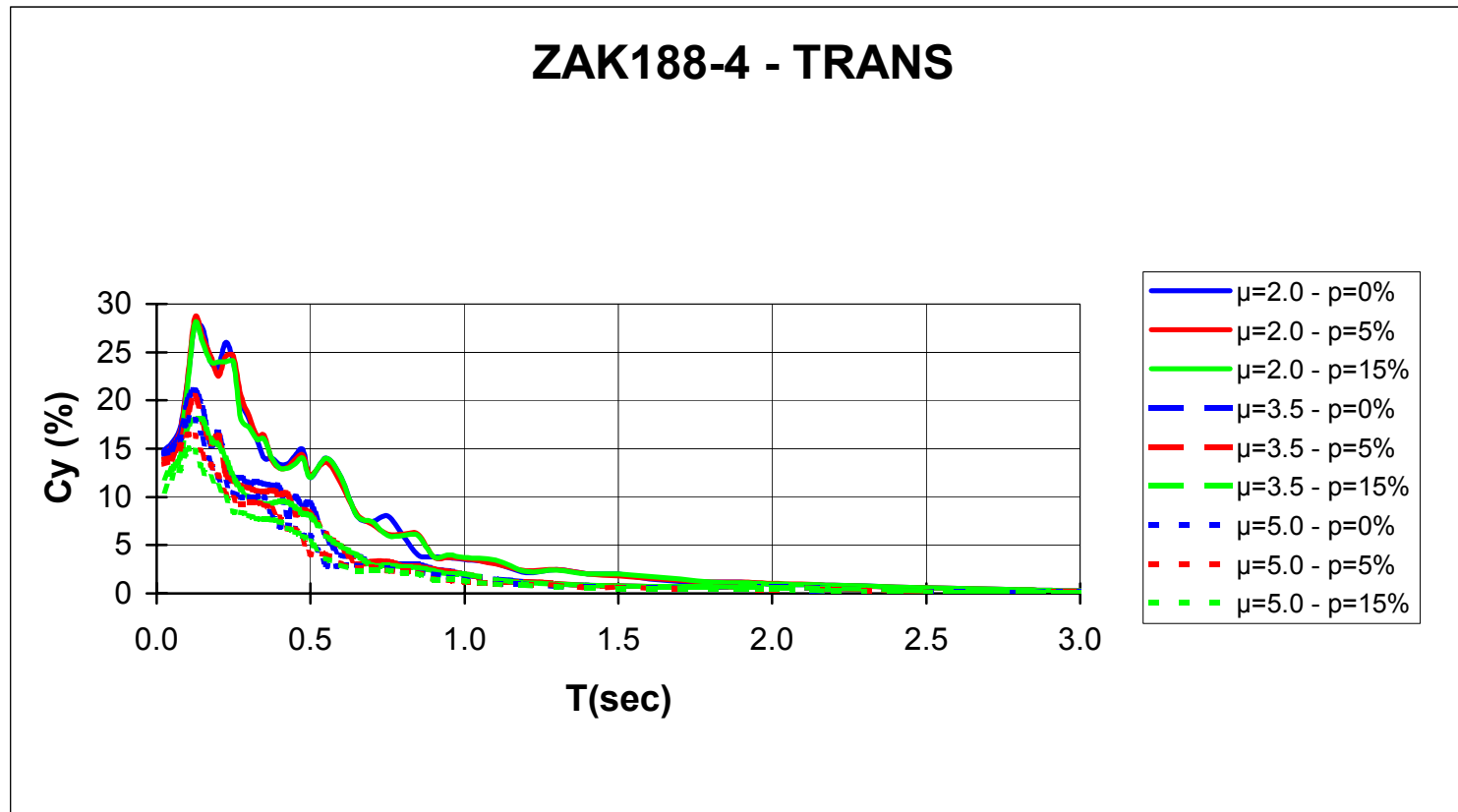
Σχ. 3.6.37(α) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



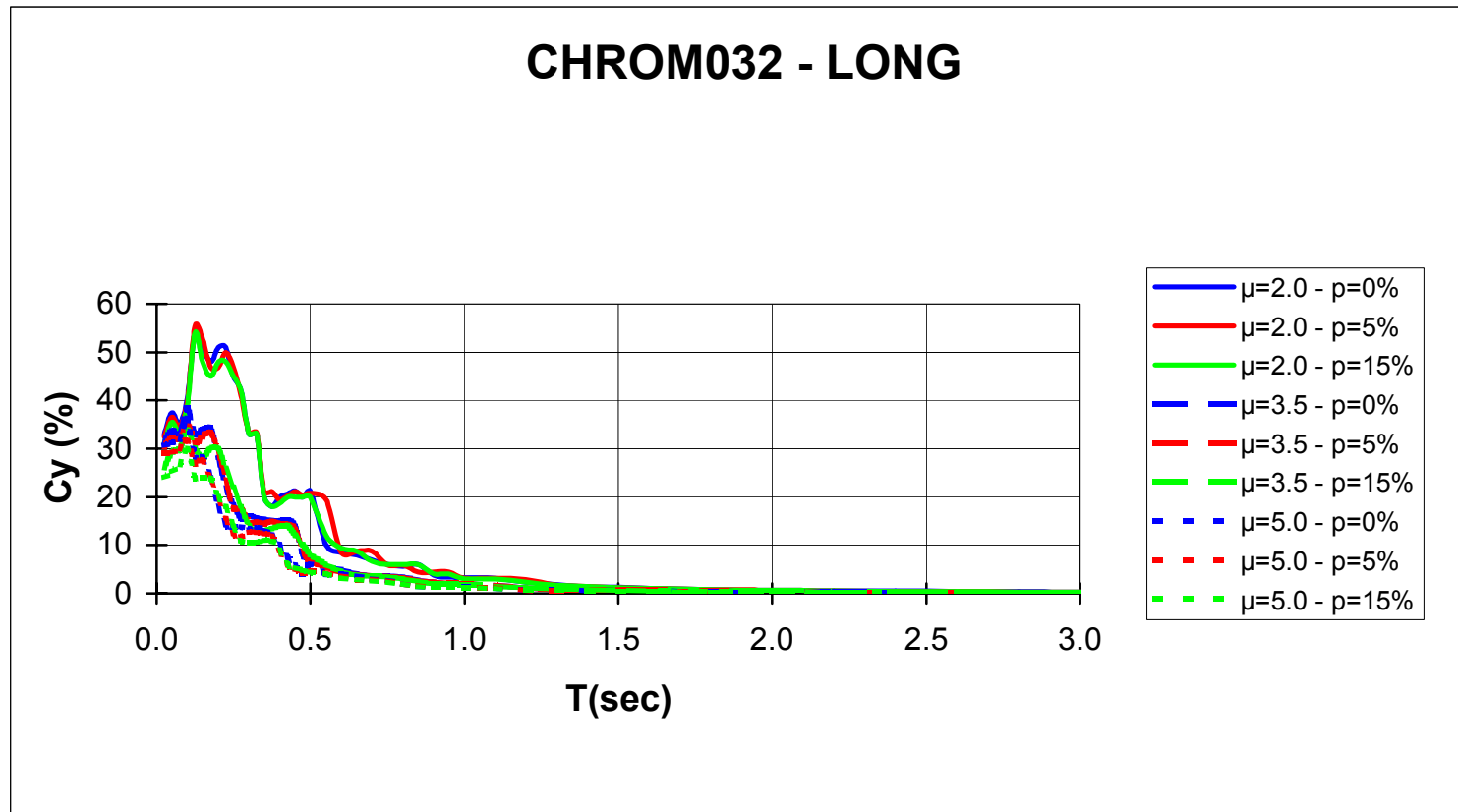
Σχ. 3.6.37(β) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



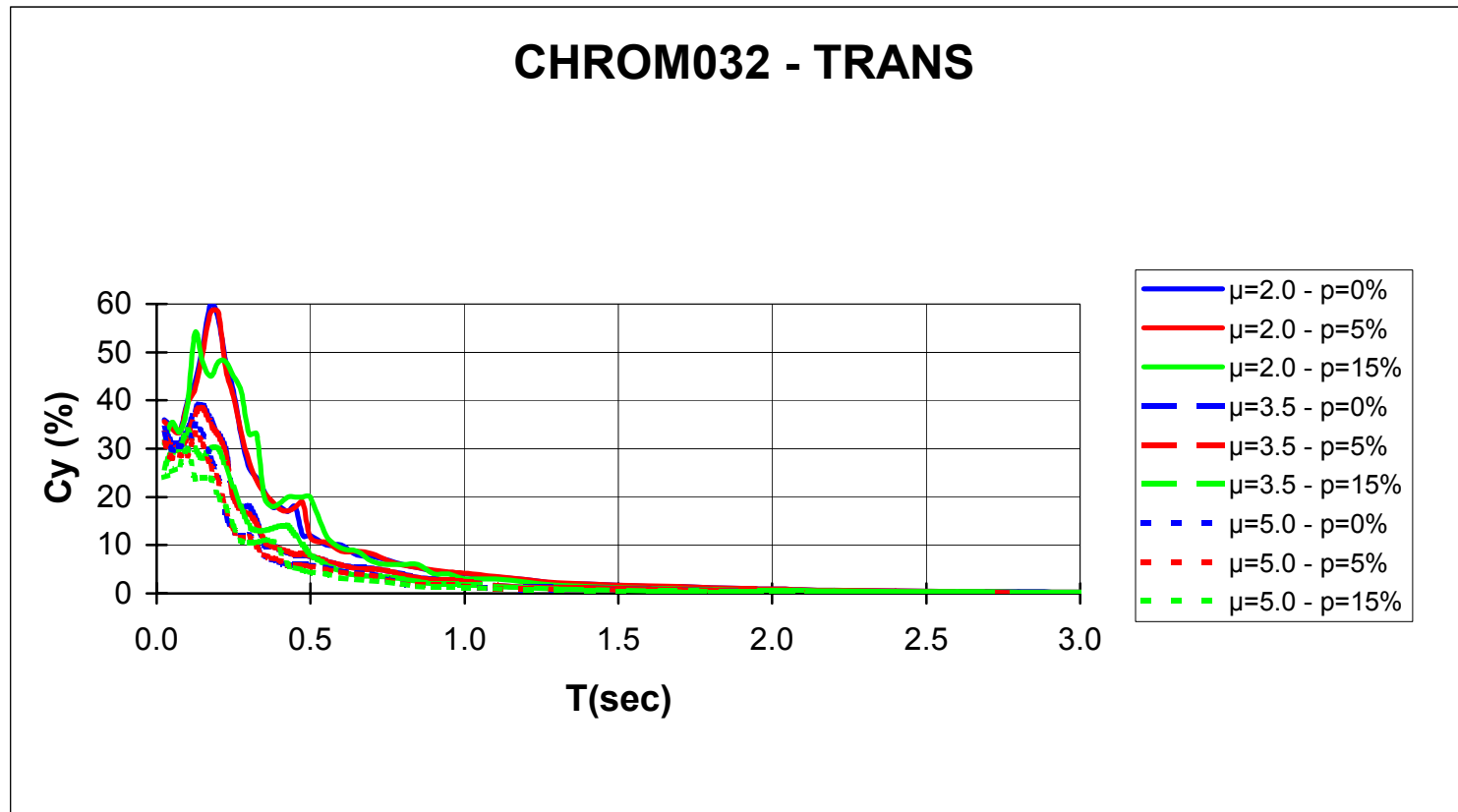
Σχ. 3.6.37(γ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



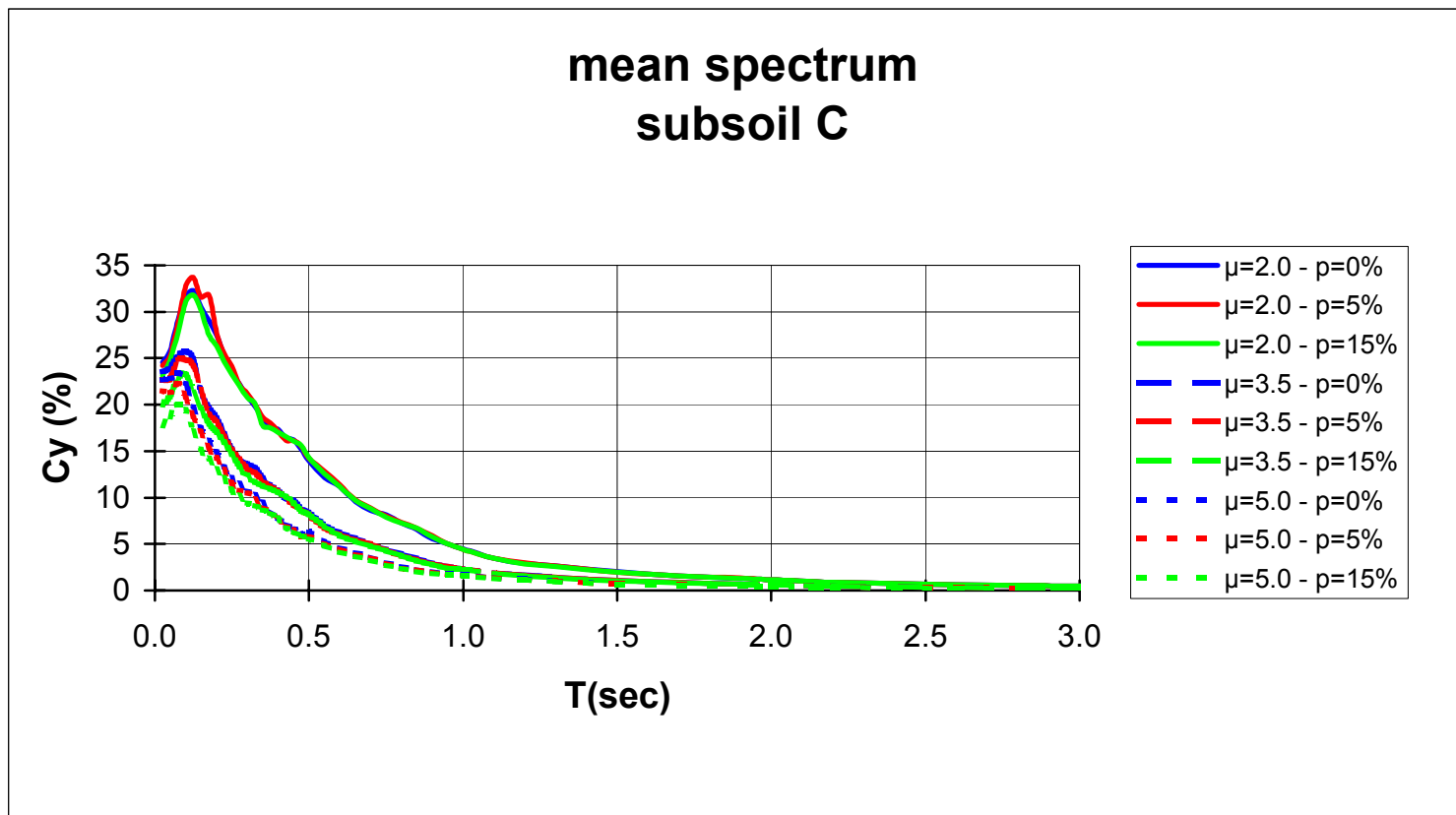
Σχ. 3.6.37(δ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



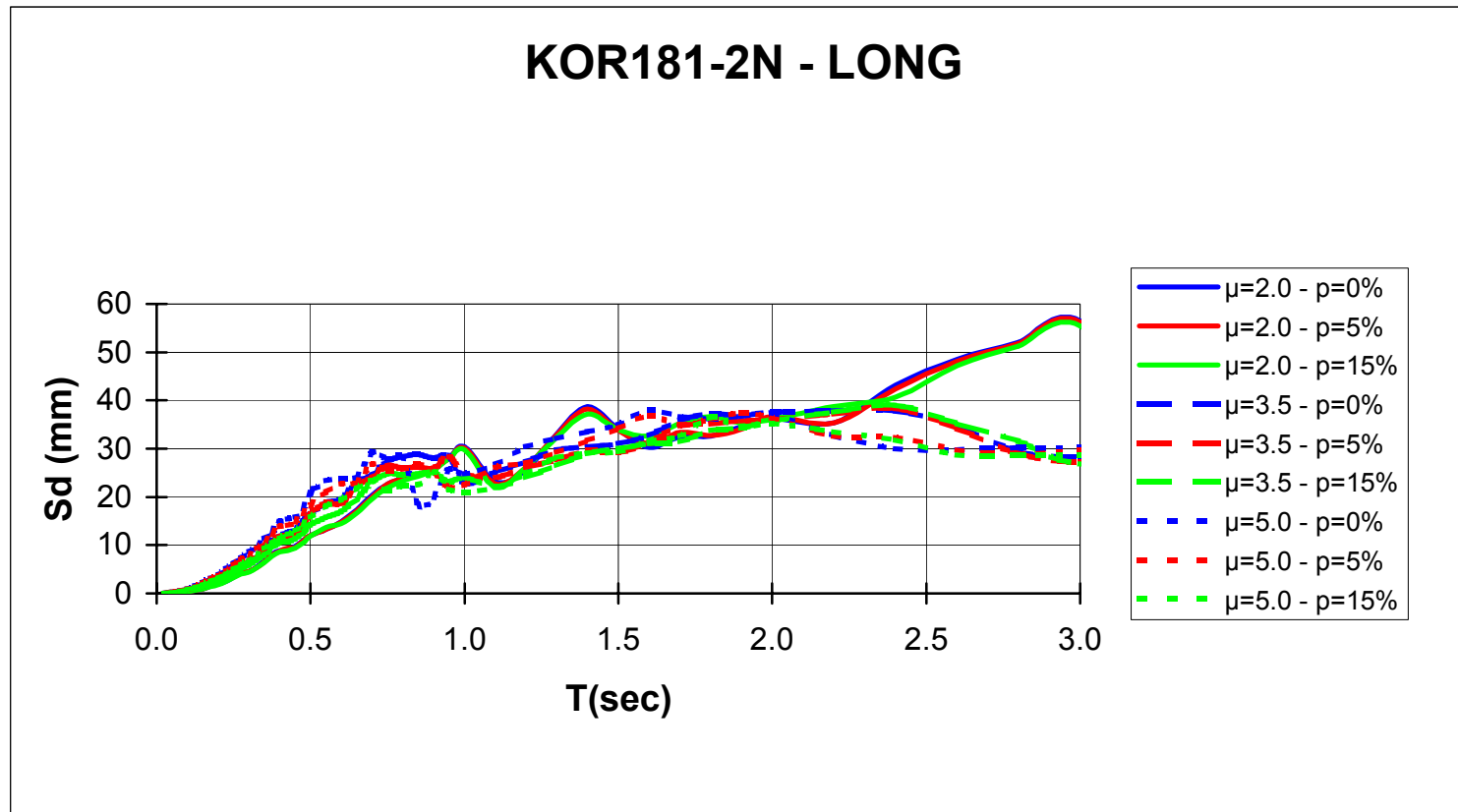
Σχ. 3.6.37(ε) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



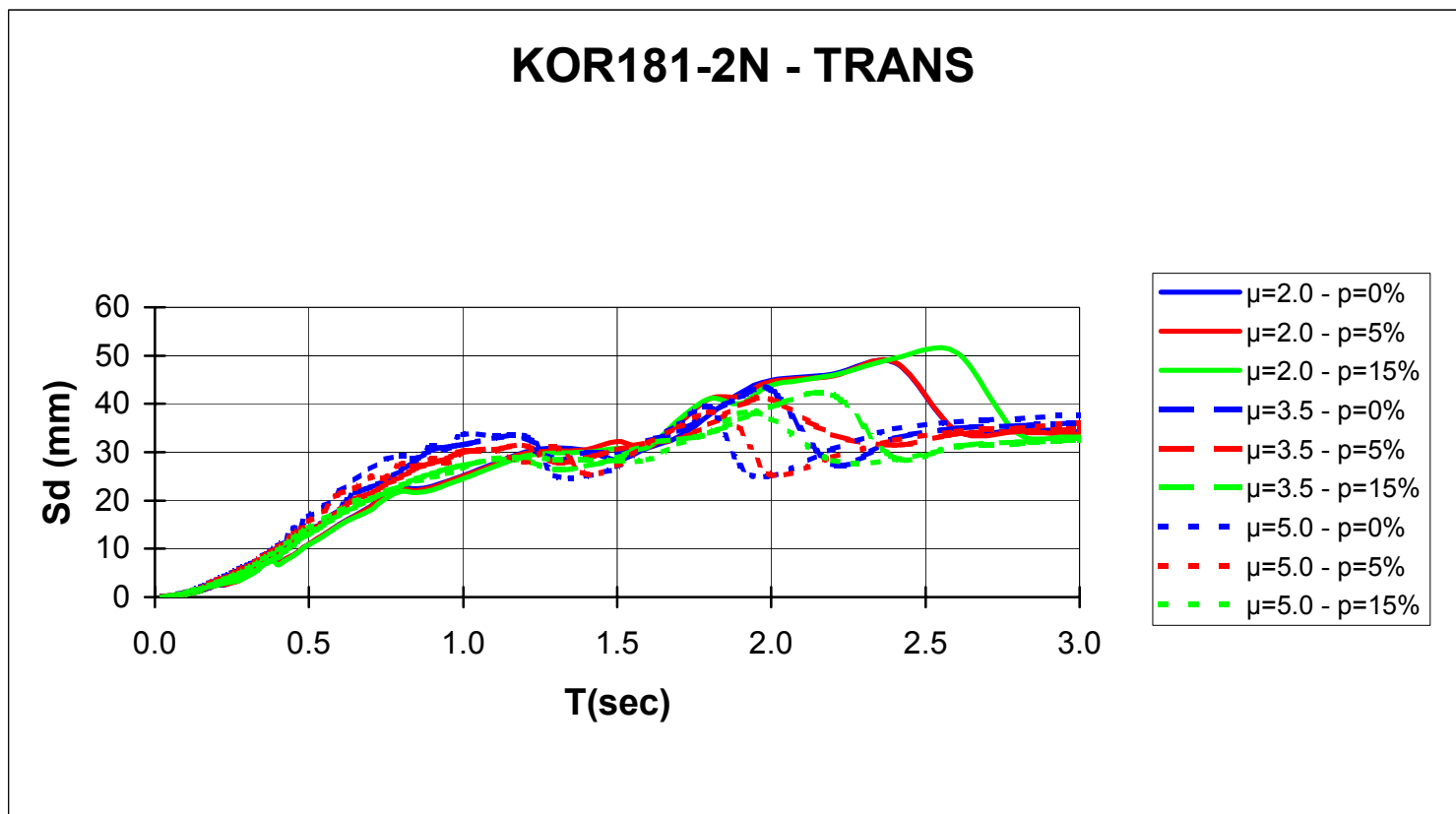
Σχ. 3.6.37(στ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



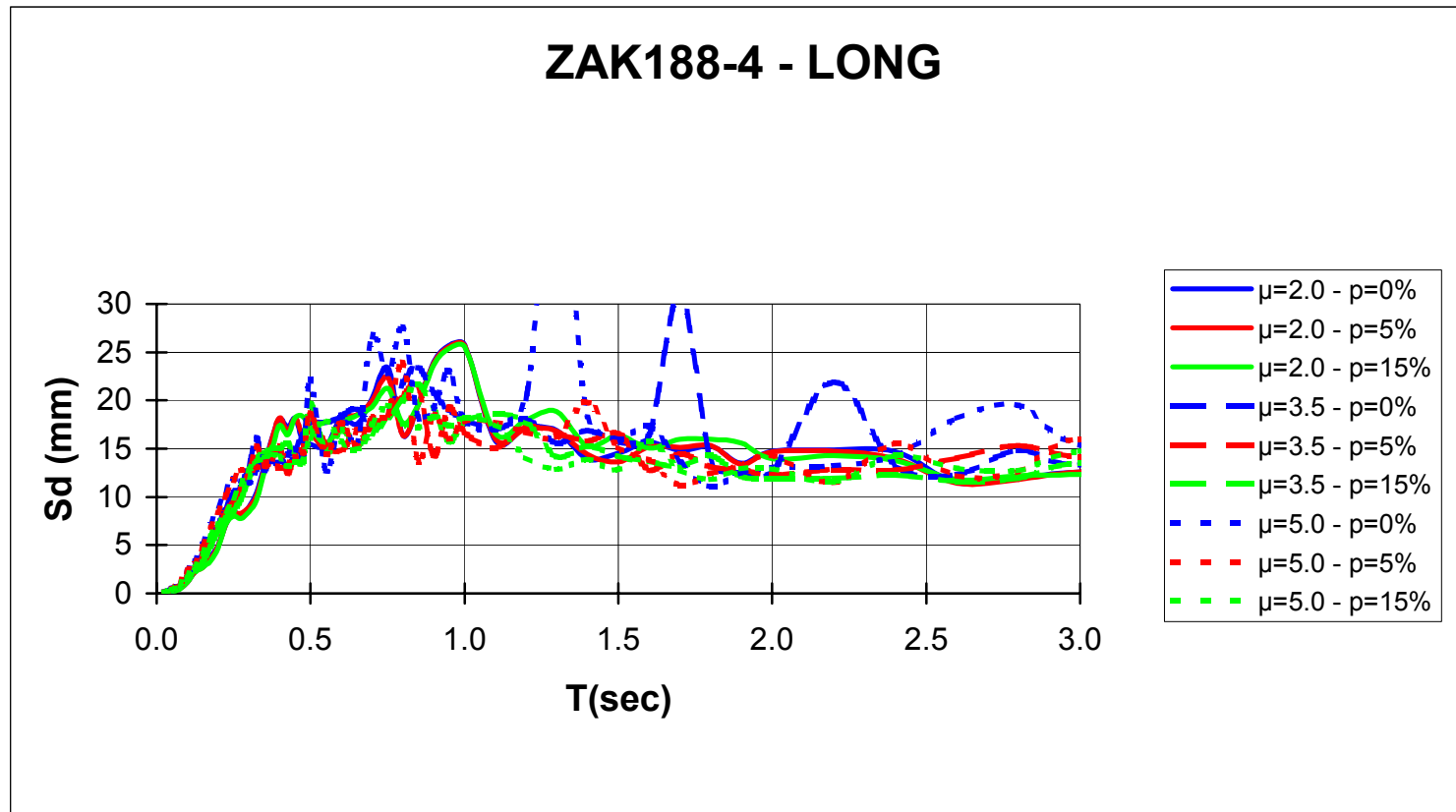
Σχ. 3.6.38 Σύγκριση μέσων ανελαστικών φασμάτων αντοχής για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



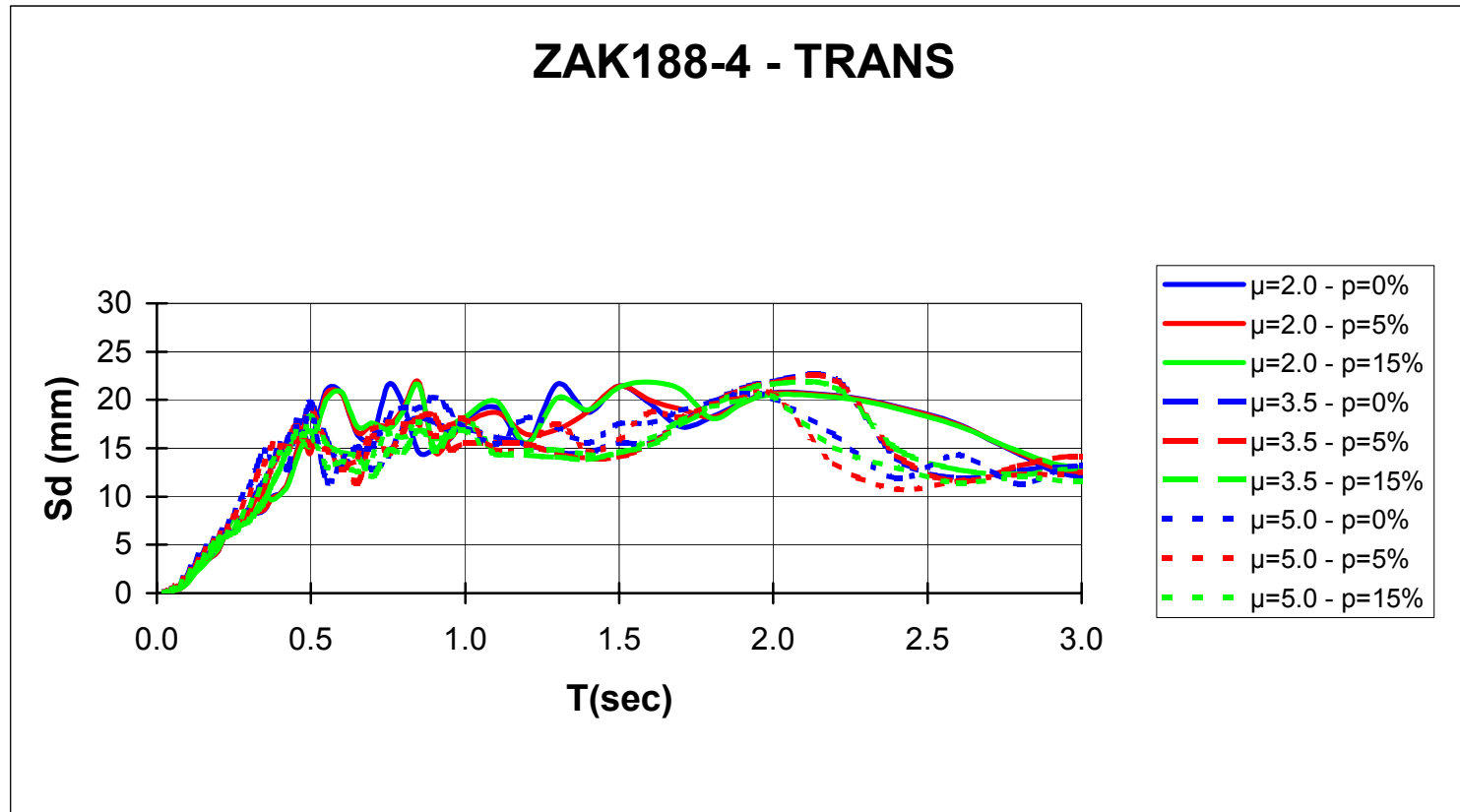
Σχ. 3.6.39(α) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



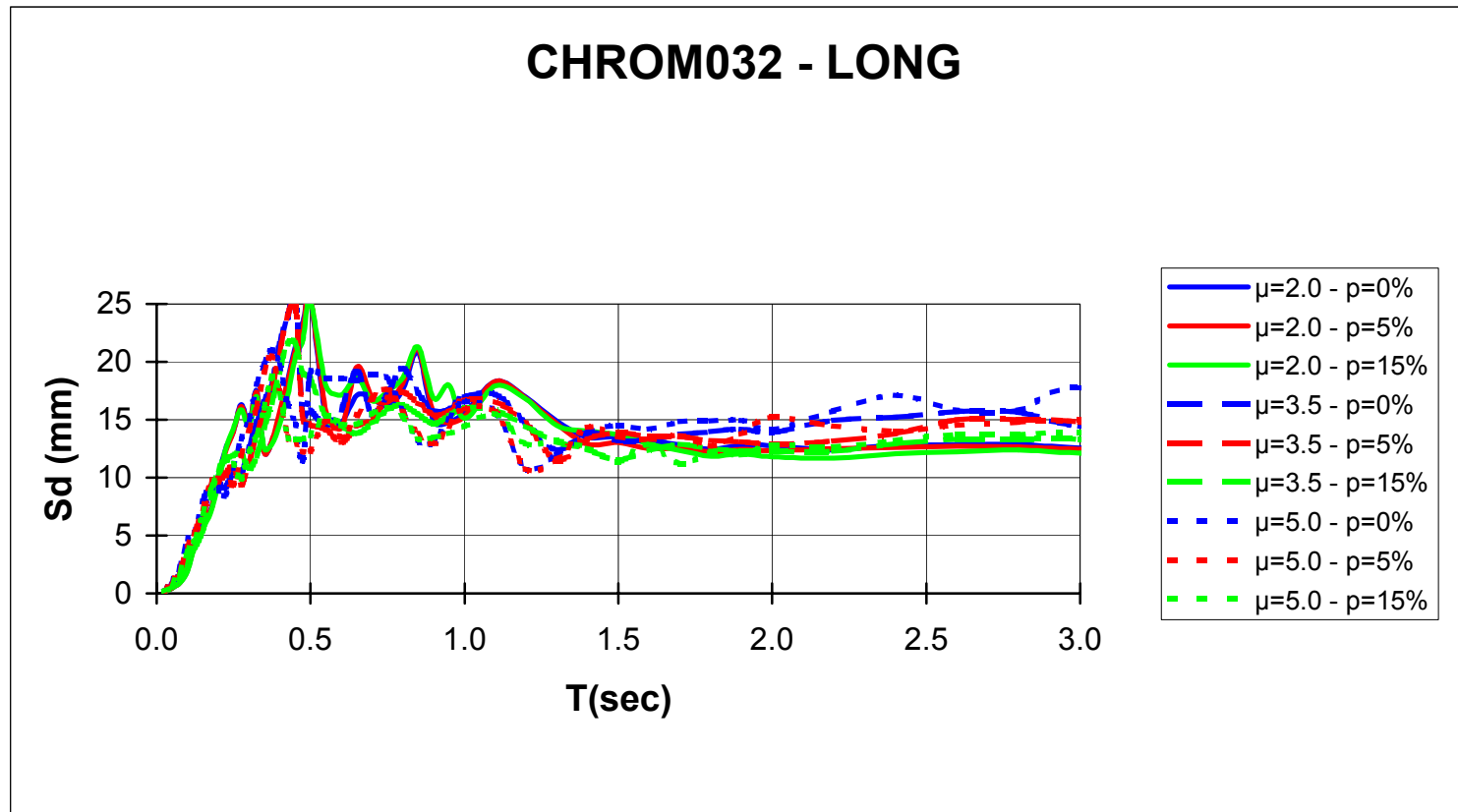
Σχ. 3.6.39(β) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτνσης



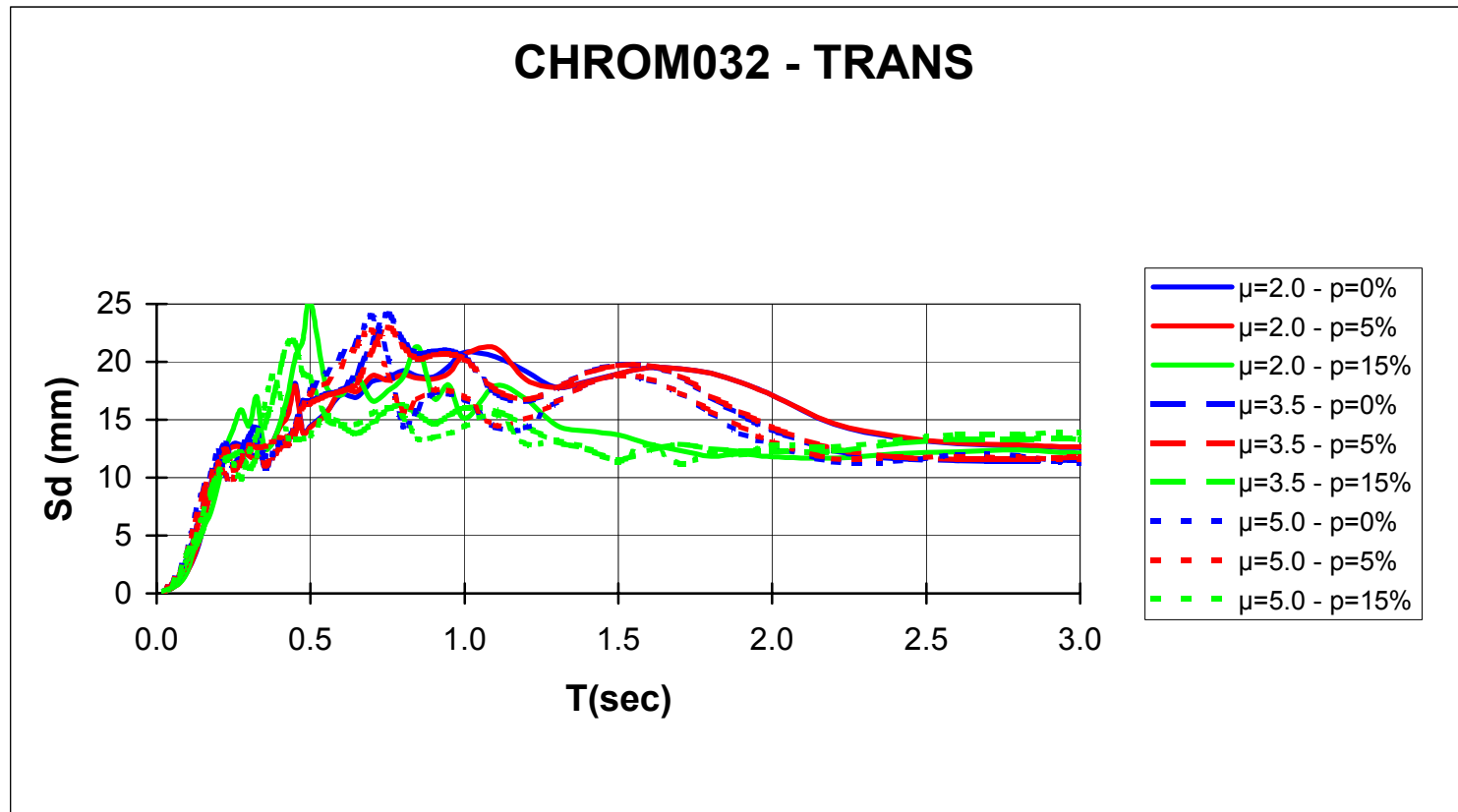
Σχ. 3.6.39(γ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτνυσης



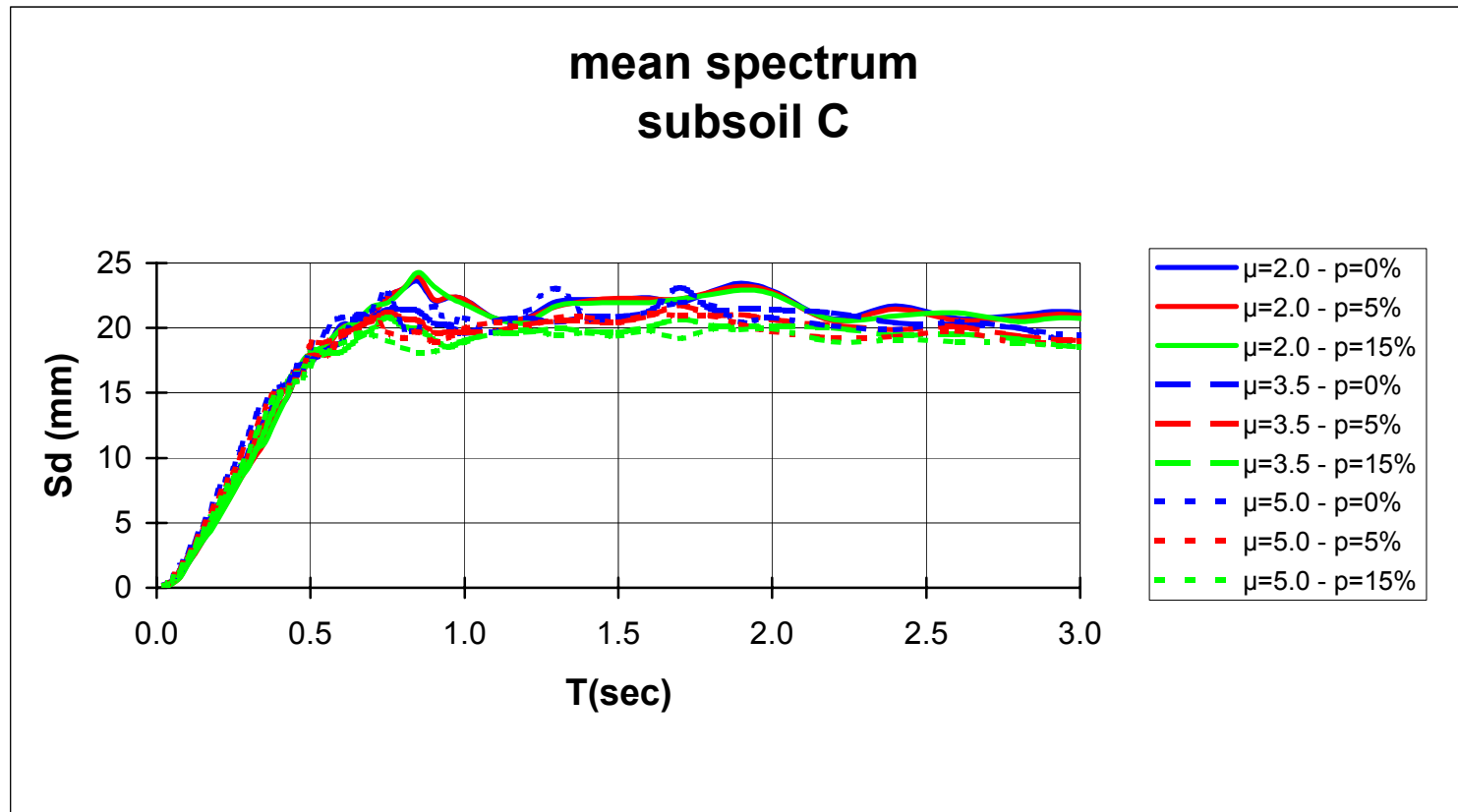
Σχ. 3.6.39(δ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



Σχ. 3.6.39(ε) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



Σχ. 3.6.39(στ) Σύγκριση ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



Σχ. 3.6.40 Σύγκριση μέσων ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων για διάφορα ποσοστά κράτυνσης

3.7 ΦΑΣΗ 6 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑΣ q_μ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας φάσης είναι ο υπολογισμός της συνιστώσας q_μ του δείκτη συμπεριφοράς (q), η οποία εξαρτάται από την πλαστιμότητα (βλ. και Karros 1999) και προκύπτει από τη διαίρεση των τεταγμένων των ελαστικών και ανελαστικών φασμάτων αντοχής

$$q_\mu = \frac{C_{y,el}}{C_{y,in}} \quad (3.7.1)$$

Στα σχήματα 3.7.1 ως 3.7.4 φαίνονται οι συνιστώσες q_μ , συνολικά και ανά κατηγορία εδάφους, που προέκυψαν από τα μέσα φάσματα των σχημάτων 3.6.3 ως 3.6.6 με εφαρμογή της ανωτέρω σχέσης. Όπως φαίνεται από τα σχήματα, η μορφή των διαγραμμάτων είναι παρόμοια, ανεξάρτητα από την τιμή της πλαστιμότητας ή την κατηγορία εδάφους. Συγκεκριμένα, οι τιμές των q_μ αυξάνονται με την αύξηση της ιδιοπεριόδου μέχρι κάποια τιμή T_1 περίπου ίση με 0.35 sec για έδαφος Α και περίπου 0.50 sec για έδαφος Β και Γ, ενώ στη συνέχεια σταθεροποιούνται (σε μια τιμή $q_\mu \approx 1.20\mu$, όπου μ ο δείκτης πλαστιμότητας) μέχρι περίπου την τιμή $T_2 \approx 2.5\text{sec}$, και στη συνέχεια μειώνονται ελαφρά. Από τα σχήματα 3.7.5 ως 3.7.7, στα οποία φαίνεται η εξάρτηση των q_μ από τις εδαφικές συνθήκες, προκύπτει ότι οι συντελεστές q_μ είναι μεγαλύτεροι στα σκληρότερα εδάφη για χαμηλές τιμές ιδιοπεριόδων ($T < 0.5$), ενώ στην περιοχή των μέσων και ψηλών ιδιοπεριόδων συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο.

Από το Σχ. 3.7.8 φαίνεται ότι οι συνιστώσες q_μ προκύπτουν ελαφρά χαμηλότερες με χρήση του ελαστοπλαστικού μοντέλου υστερητικής συμπεριφοράς, με τη διαφορά να αυξάνεται με την αύξηση της πλαστιμότητας. Εξάλλου, από το Σχ. 3.7.9 προκύπτει ότι οι τιμές των q_μ αυξάνονται με την αύξηση του ποσοστού κράτυνσης, με τη διαφορά να αυξάνεται και πάλι με την πλαστιμότητα.

Για πρακτικούς σκοπούς είναι χρήσιμη η εξαγωγή (κατά το δυνατό απλών) σχέσεων για τον υπολογισμό των q_μ συναρτήσει της ιδιοπεριόδου T , του δείκτη πλαστιμότητας μ , και πιθανώς της κατηγορίας εδάφους. Σε προηγούμενη μελέτη μέλους της Ερευν. Ομάδας (Karros 1999), βασισμένη σε περιορισμένο αριθμό ελληνικών επιταχυνσιογραφημάτων, είχε παρατηρηθεί σχετικά καλή σύμπτωση των υπολογισθέντων συνιστωσών q_μ με εκείνες που προέκυπταν από τις αντίστοιχες σχέσεις των Miranda & Bertero (1994).

Στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος έγινε προσπάθεια εύρεσης βελτιωμένων σχέσεων για την εκτίμηση των q_μ . Κατεβλήθη προσπάθεια προσδιορισμού μίας εξίσωσης του τύπου $q_\mu = q_\mu(T, \mu_i)$ σχετικά απλής μορφής που να αποτελεί μία καλή προσέγγιση των υπολογισθέντων δεδομένων. Επίσης η εξίσωση που θα προταθεί θα πρέπει, κατά το δυνατόν, να πληροί ορισμένες οριακές συνθήκες, που περιγράφονται παρακάτω.

Από τον ορισμό του συντελεστή q_μ (εξ. 3.7.1), καθίσταται προφανές ότι για κάθε εδαφική κίνηση, ανεξάρτητα της περιόδου της κατασκευής, για συστήματα που συμπεριφέρονται ελαστικά ($\mu_i = 1$), ο συντελεστής πρέπει να πληροί την ακόλουθη συνθήκη

$$q_\mu = q_\mu(T, \mu_i = 1) = 1 \quad (3.7.2)$$

Για πολύ άκαμπτα συστήματα, των οποίων η μετακίνηση διαρροής τείνει στο μηδέν (δηλ. $u_y \rightarrow 0, T \rightarrow 0$), ακόμη και μία πολύ μικρή μείωση της εγκάρσιας αντοχής που απαιτείται για να διατηρήσει το σύστημα στην ελαστική περιοχή, οδηγεί σε μεγάλες ανελαστικές μετατοπίσεις. Έτσι, για οιοδήποτε εδαφική κίνηση, η ανελαστική απαίτηση αντοχής σε αυτά τα συστήματα είναι ίδια με την ελαστική απαίτηση αντοχής, και επομένως ο συντελεστής q_μ πρέπει να πληροί την ακόλουθη συνθήκη

$$q_\mu = q_\mu(T \rightarrow 0, \mu_i) = 1 \quad (3.7.3)$$

Για ιδιαίτερα εύκαμπτα συστήματα (δηλ. $T \rightarrow \infty$), ανεξάρτητα από την αντοχή του συστήματος, η μέγιστη σχετική μετατόπιση τείνει προς τη μέγιστη εδαφική μετατόπιση. Επομένως, για οιοδήποτε εδαφική κίνηση, η ανελαστική απαίτηση αντοχής ισούται με την ελαστική απαίτηση αντοχής διηρημένη με το συντελεστή πλαστιμότητας μετακινήσεων, και ο συντελεστής q_μ πρέπει να πληροί την ακόλουθη συνθήκη

$$q_\mu = q_\mu(T \rightarrow \infty, \mu_i) = \mu_i \quad (3.7.4)$$

Εκρίθη επίσης, από τα μέλη της ερευνητικής ομάδας, επιθυμητό να προταθεί κοινής μορφής εξίσωση που, με απλή αλλαγή κάποιων συντελεστών, να προσομοιώνει τα υπολογισθέντα δεδομένα, τόσο για τον μέσο όρο όλων των καταγραφών, ανεξάρτητα των εδαφικών συνθηκών, όσο και τον μέσο όρο για κάθε κατηγορία εδάφους ξεχωριστά.

Με βάση τις παραπάνω απαιτήσεις, και κατόπιν σχετικών αναλύσεων με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, προτείνεται για τον συντελεστή q_μ η παρακάτω έκφραση

$$q_\mu = \frac{1}{A + \frac{B}{\mu} + C \ln T + D(\ln T)^2} \quad (3.7.5)$$

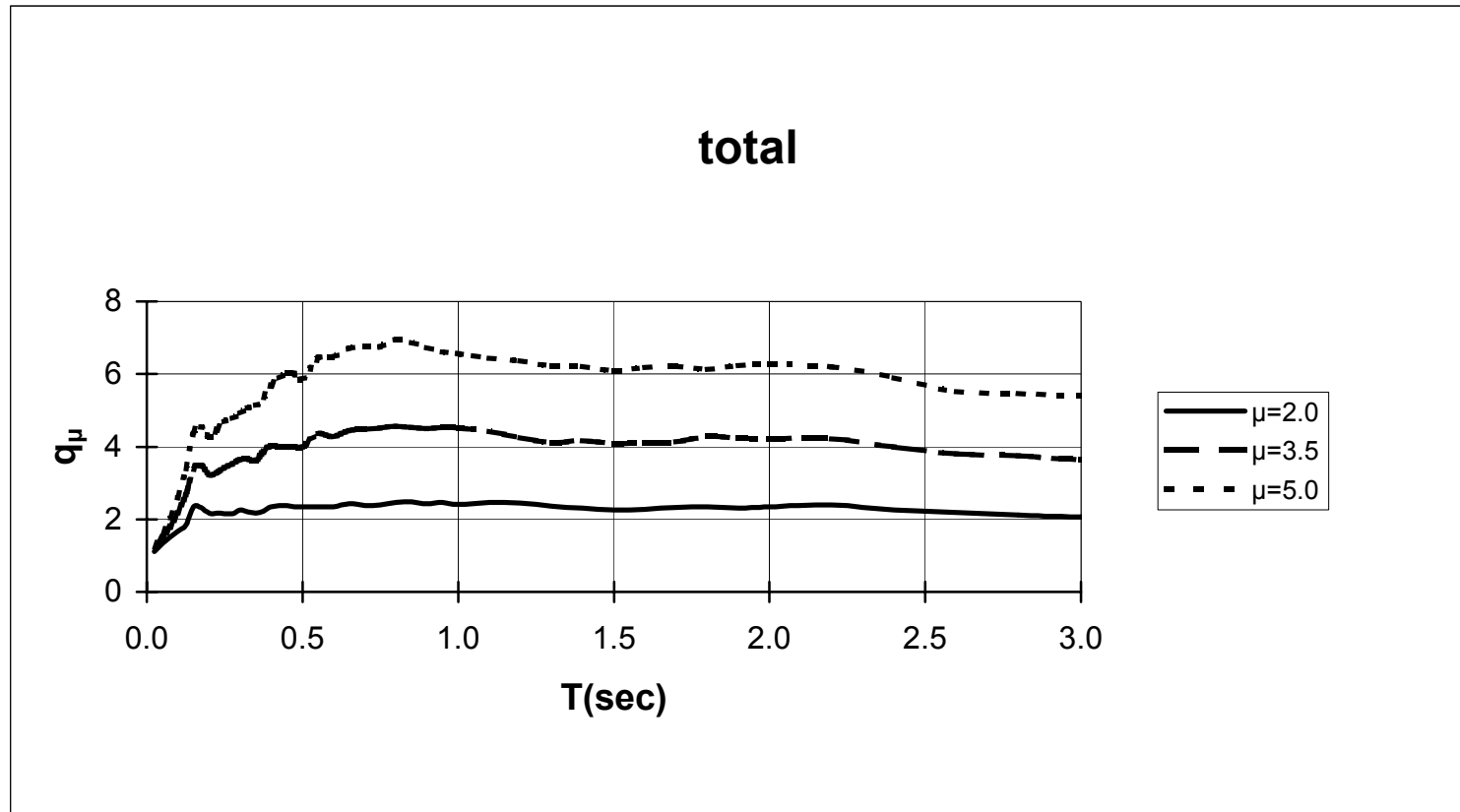
όπου οι συντελεστές A, B, C και D παίρνουν τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 3.7.1 ανάλογα αν η εξίσωση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μέσο όρο όλων των καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν (ανεξάρτητα των εδαφικών συνθηκών), ή για τα αποτελέσματα από το μέσο όρο κάθε εδαφικής κατηγορίας A, B και Γ κατά ΕΑΚ 2000 ξεχωριστά (δες σχετικά § 3.4.3). Στην τελευταία σειρά του πίνακα δίνεται και ο υπολογισθείς συντελεστής συσχέτισης (r^2) μεταξύ της προτεινόμενης εξίσωσης και των εκάστοτε υπολογισθέντων δεδομένων.

Στο σχήμα 3.7.10 παρουσιάζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση, ο συντελεστής q_μ , όπως προκύπτει από την εξ. (3.7.5) για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως των εδαφικών συνθηκών), καθώς και τα αντίστοιχα υπολογισθέντα από τις καταγραφές δεδομένα. Στο Σχήμα 3.7.11 παρουσιάζεται η ίδια πληροφορία, σε δισδιάστατη μορφή, για τις τρεις τιμές της πλαστιμότητας για τις οποίες έγιναν οι υπολογισμοί ($\mu=2, 3.5$ και 5). Από το σχήμα καθίσταται προφανές, ότι η προτεινόμενη έκφραση για τον συντελεστή q_μ πληροί ικανοποιητικά τις συνθήκες (3.7.3) και (3.7.4). Στο ίδιο σχήμα περιλαμβάνεται επίσης και η περίπτωση $\mu=1$, και αυτό απλώς για να καταδειχθεί ότι η προτεινόμενη έκφραση (3.7.5) για τον συντελεστή q_μ πληροί επίσης, σε ικανοποιητικό βαθμό, και τη συνθήκη (3.7.2). Φυσικά στην πράξη, η χρήση της έκφρασης (3.7.5) θα γίνει μόνο για τιμές πλαστιμότητας $\mu > 1$.

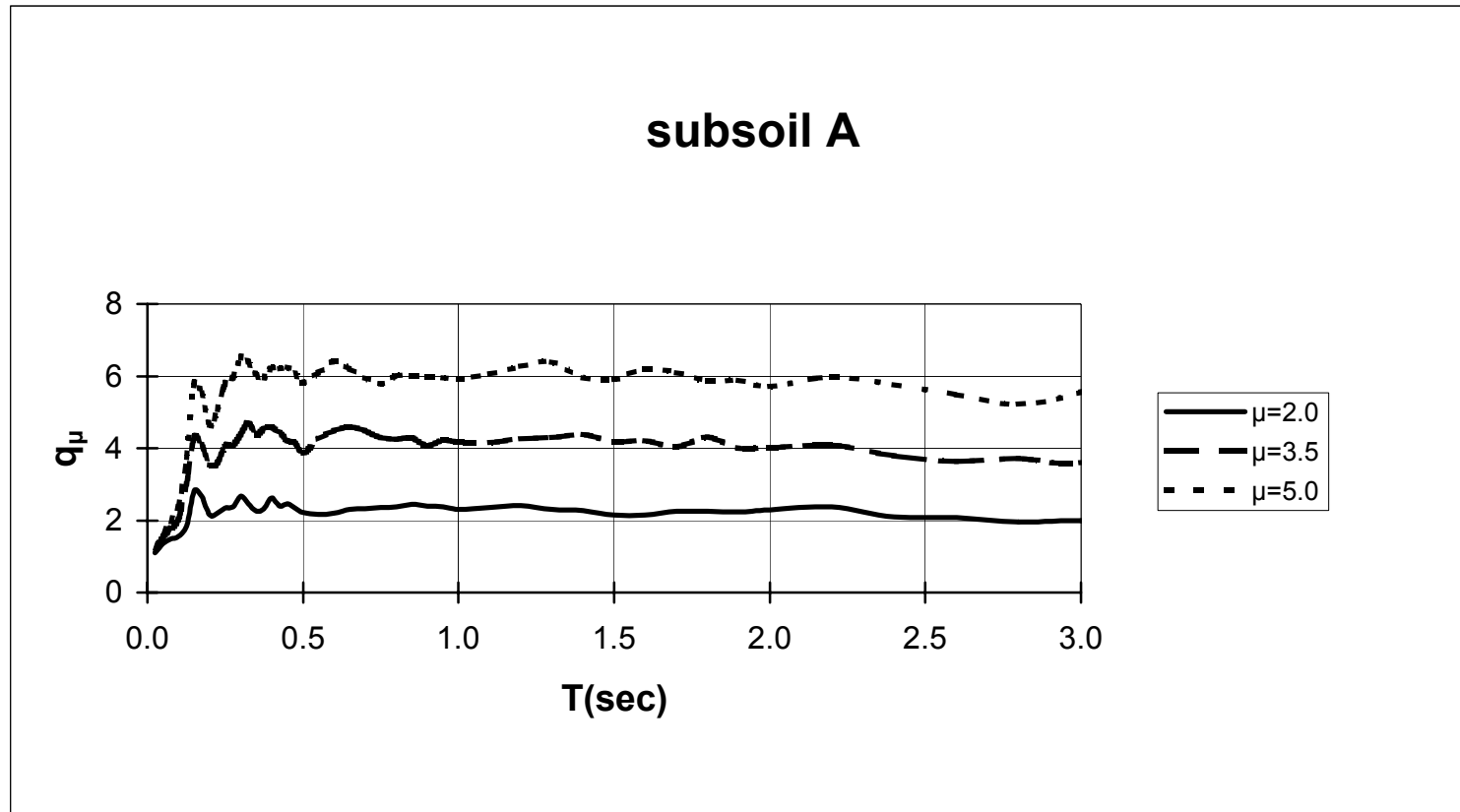
Πίνακας 3.7.1 Συντελεστές της εξίσωσης (3.7.5) (q_μ) ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες και αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης

	Σύνολο καταγραφών	Καταγραφές σε έδαφος Α (ΕΑΚ2000)	Καταγραφές σε έδαφος Β (ΕΑΚ2000)	Καταγραφές σε έδαφος Γ (ΕΑΚ2000)
<i>A</i>	-0.0323905523446867	-0.0236529589983272	-0.0387031465625271	-0.0290629267044825
<i>B</i>	0.905294644703507	0.890020730484904	0.940167720050134	0.849988096620044
<i>C</i>	-0.000171488073420231	0.00145245437958275	0.000384000634642034	-0.00247829623900176
<i>D</i>	0.0347275204870476	0.0222249874005508	0.037940600844307	0.0433404569104767
r^2	0.990049567582401	0.958541323690776	0.990810518361168	0.977792984712303

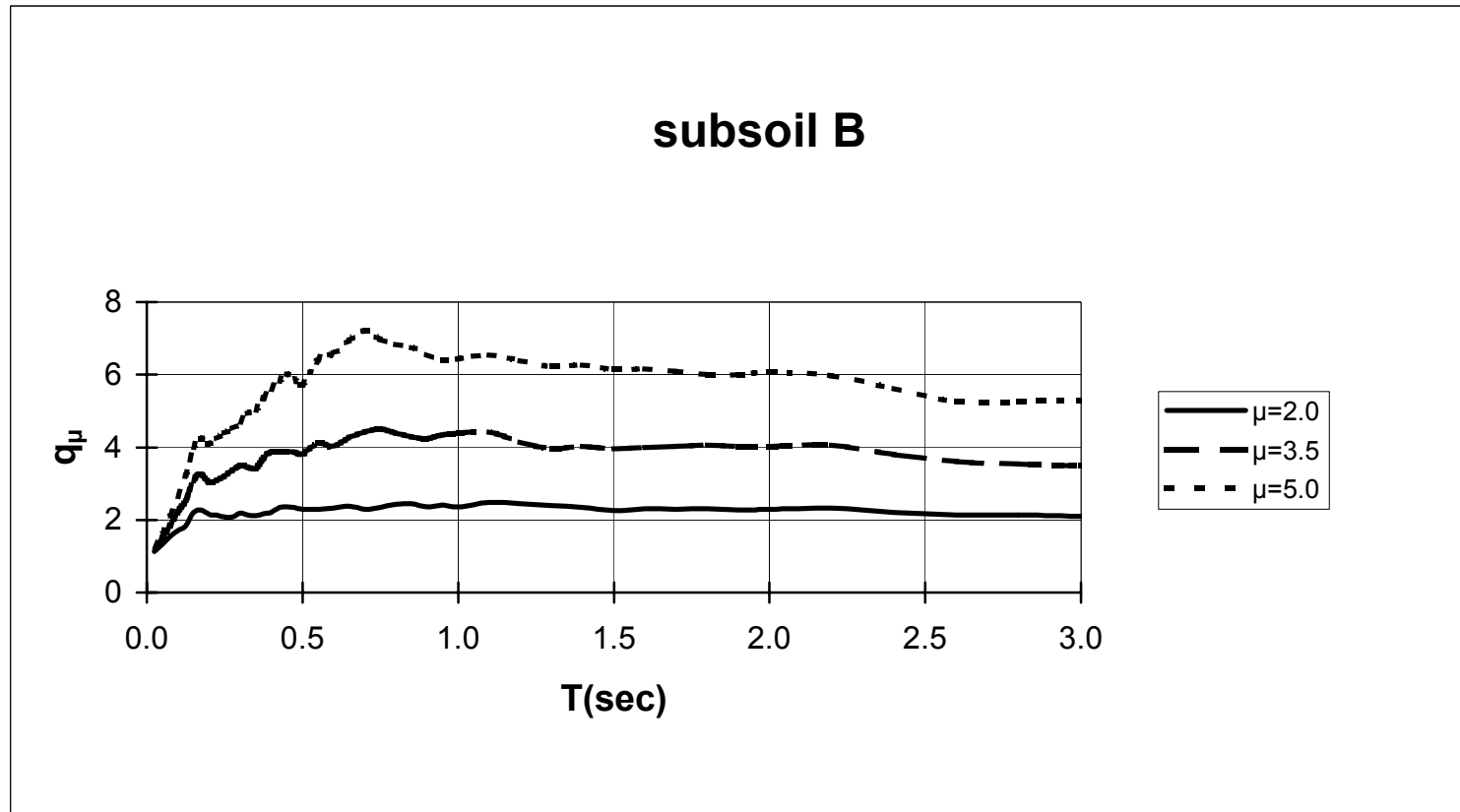
Στα Σχ. 3.7.12 και 3.7.13 παρουσιάζεται κατ' αναλογία η αντίστοιχη πληροφορία με αυτή των Σχ. 3.7.10 και 3.7.11, αλλά για την περίπτωση των αποτελεσμάτων από τις καταγραφές σε σταθμούς με εδαφικές συνθήκες κατηγορίας Α (κατά ΕΑΚ2000). Αντίστοιχα στα Σχ. 3.7.14 και 3.7.15 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση εδαφικών συνθηκών κατηγορίας Β (κατά ΕΑΚ2000). Τα αποτελέσματα για την περίπτωση εδαφικών συνθηκών κατηγορίας Γ (κατά ΕΑΚ2000), παρουσιάζονται τέλος στα Σχ. 3.7.16 και 3.7.17. Όπως προκύπτει από την επισκόπηση όλων των σχημάτων, η προτεινόμενη έκφραση για το q_μ (εξ. 3.7.5 και κατάλληλοι συντελεστές από Πίν. 3.7.1) είναι σε θέση να περιγράψει ικανοποιητικά τα υπολογισθέντα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία εδάφους, ενώ σε κάθε περίπτωση πληροί ικανοποιητικά και τις συνθήκες (3.7.2) ÷ (3.7.4).



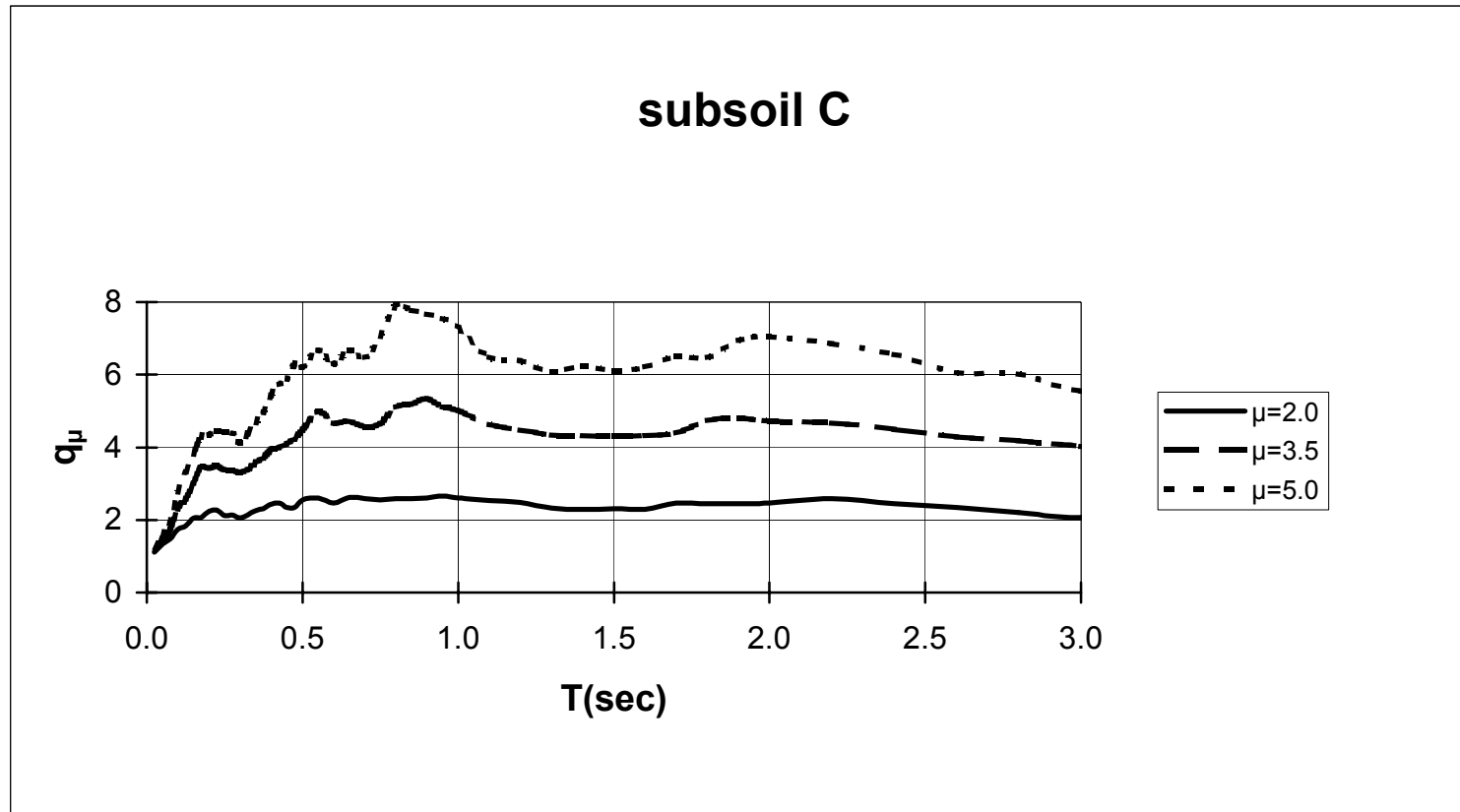
Σχ. 3.7.1 Συνιστώσα q_{μ} του δείκτη συμπεριφοράς για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας



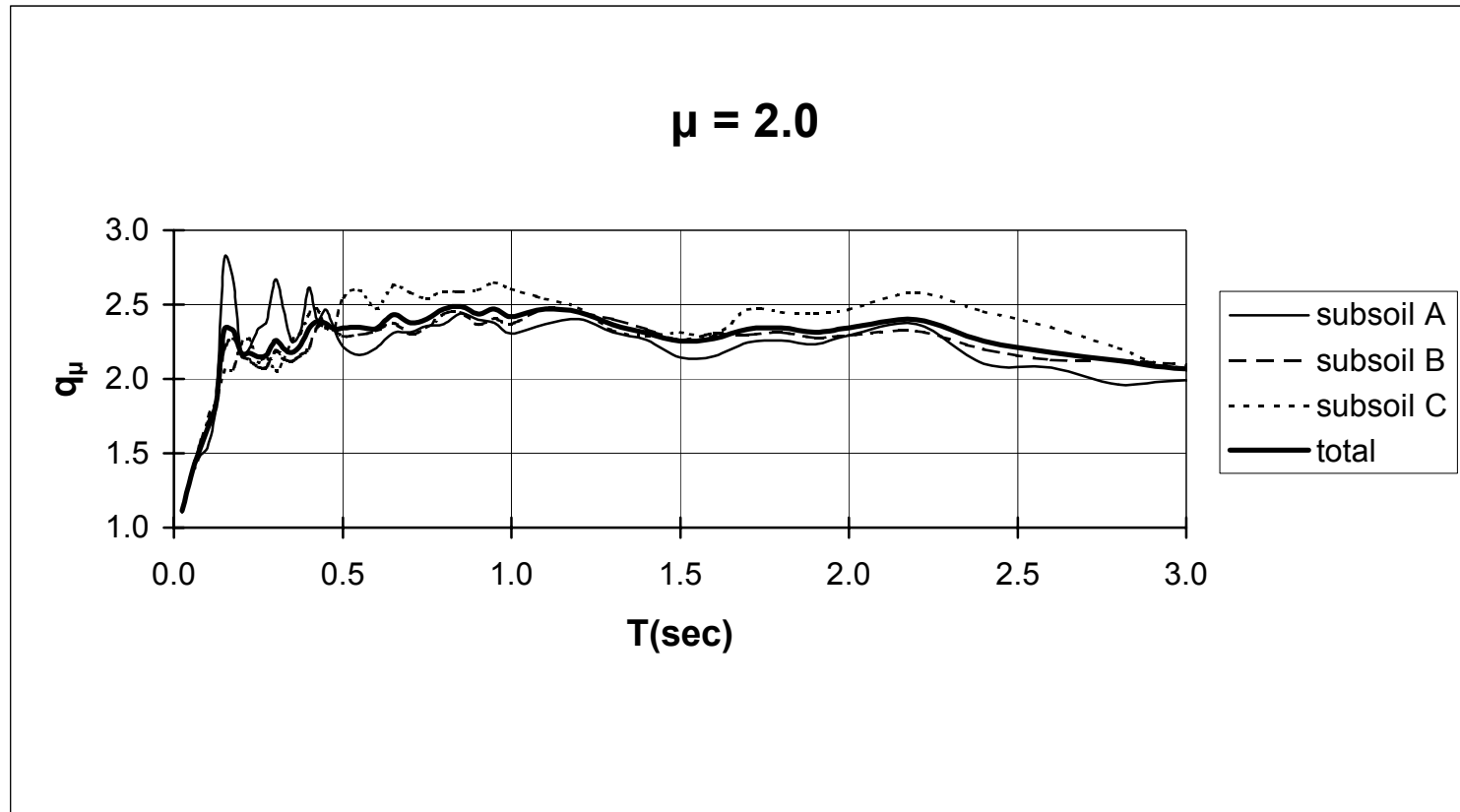
Σχ. 3.7.2 Συνιστώσα q_μ του δείκτη συμπεριφοράς για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους A)



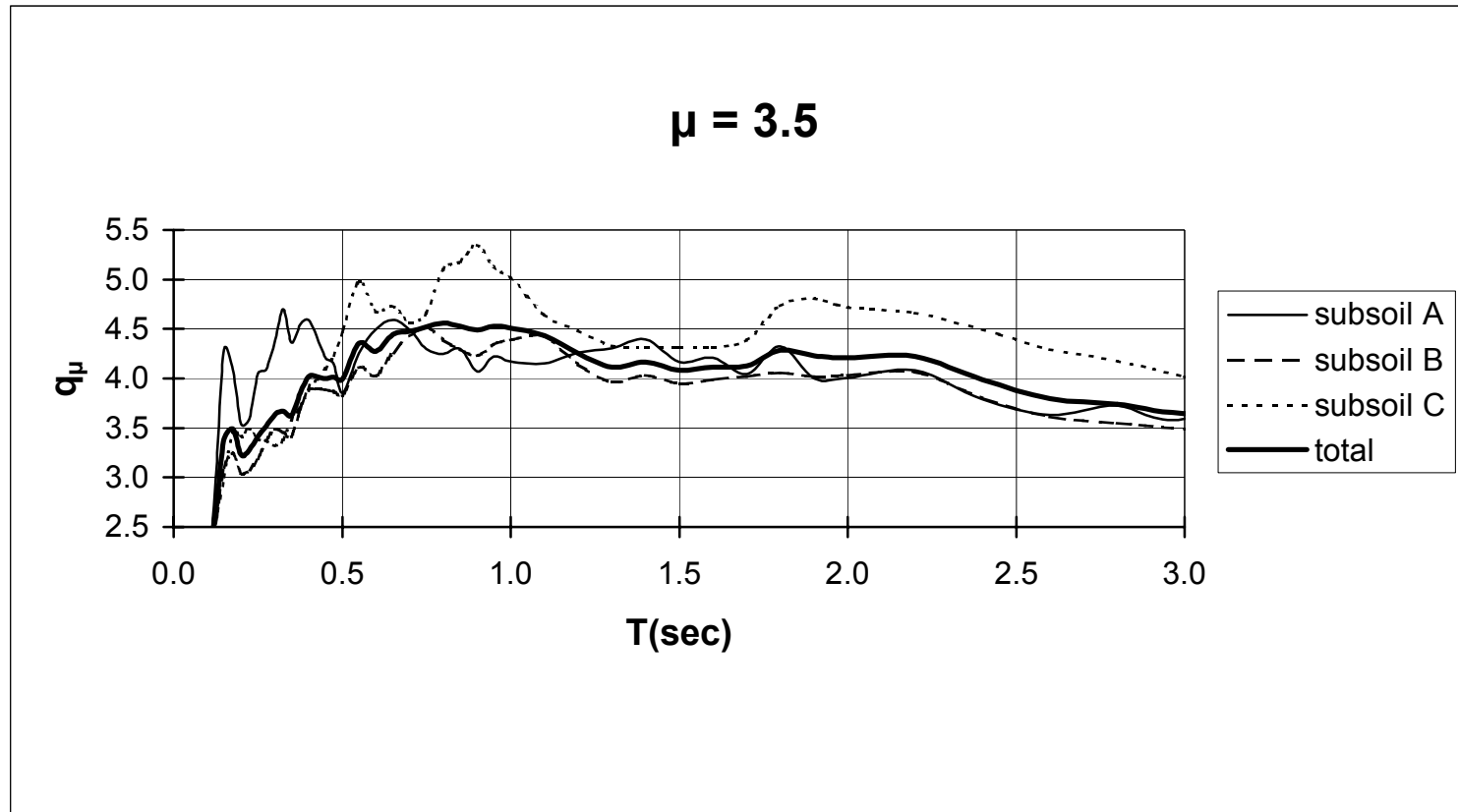
Σχ. 3.7.3 Συνιστώσα q_{μ} του δείκτη συμπεριφοράς για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους B)



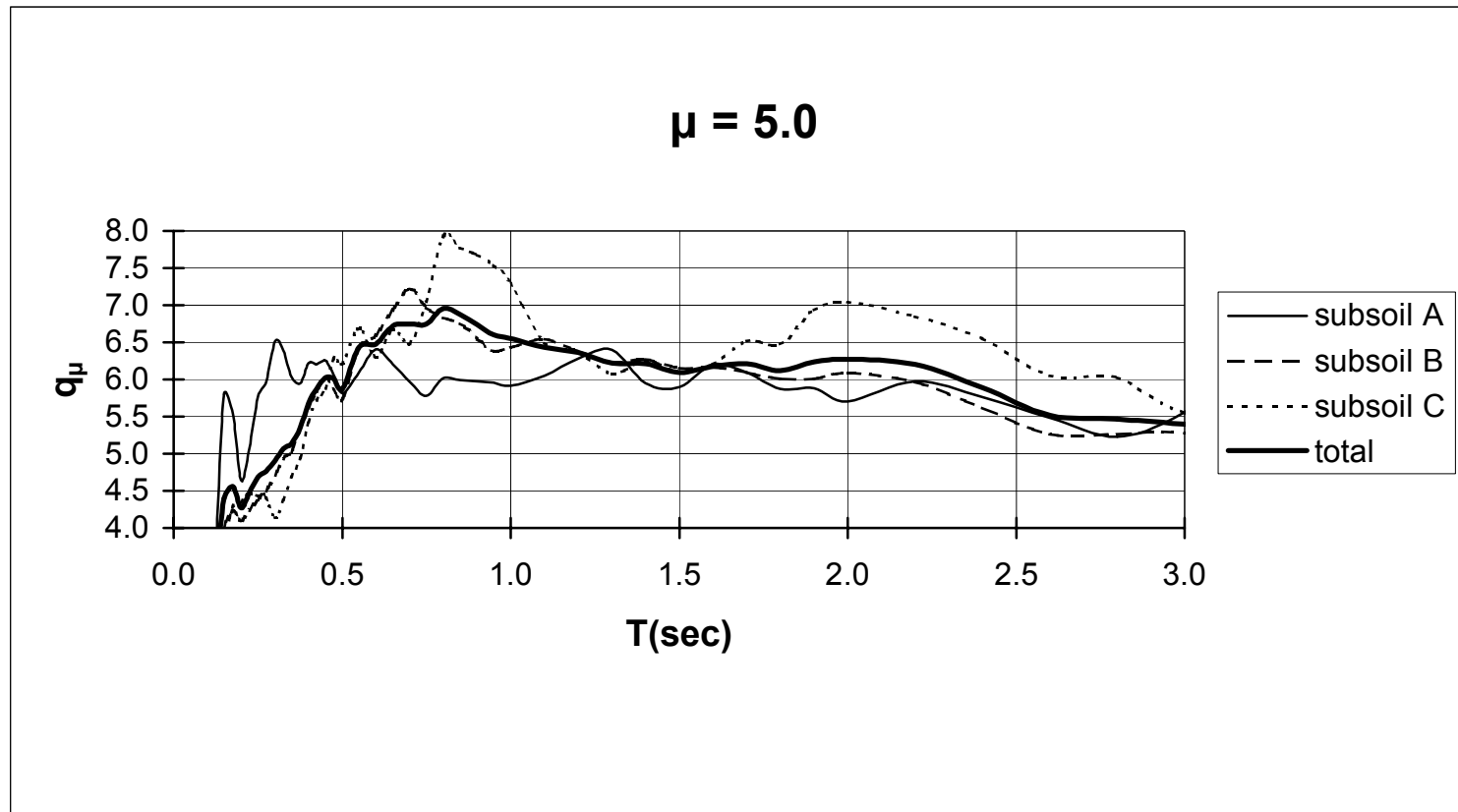
Σχ. 3.7.4 Συνιστώσα q_μ του δείκτη συμπεριφοράς για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Γ)



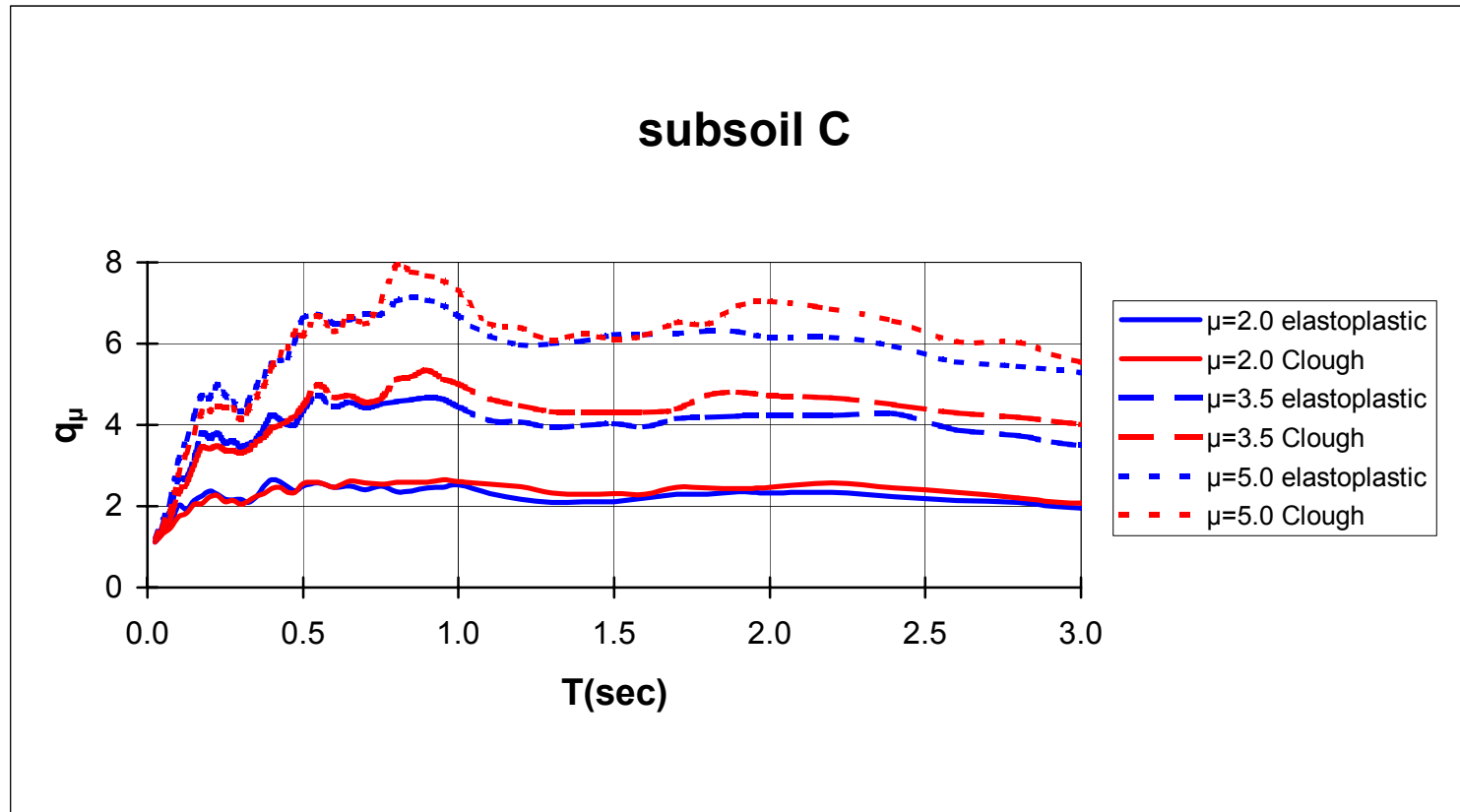
Σχ. 3.7.5 Συνιστώσα q_μ του δείκτη συμπεριφοράς για δείκτη πλαστιμότητας $\mu=2$, για διάφορες κατηγορίες εδάφους



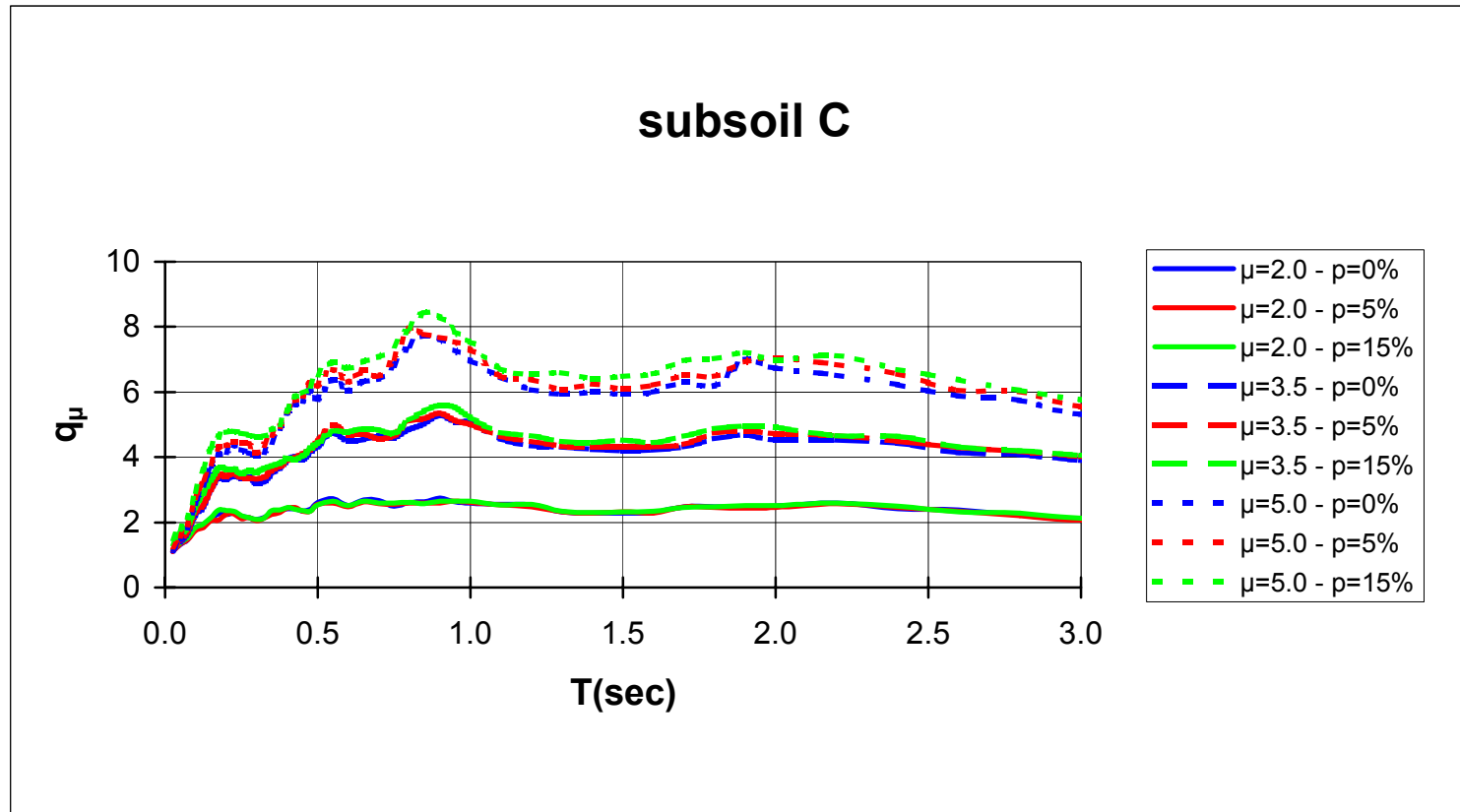
Σχ. 3.7.6 Συνιστώσα q_μ του δείκτη συμπεριφοράς για δείκτη πλαστιμότητας $\mu=3.5$, για διάφορες κατηγορίες εδάφους



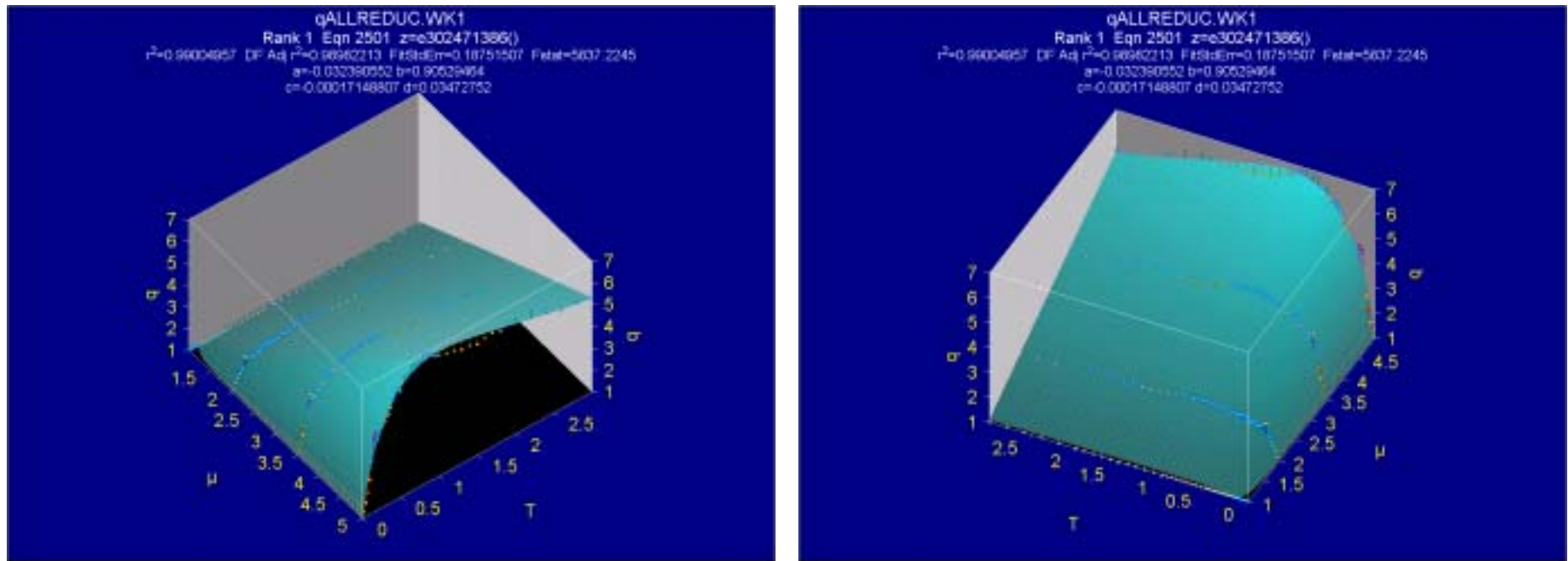
Σχ. 3.7.7 Συνιστώσα q_μ του δείκτη συμπεριφοράς για δείκτη πλαστιμότητας $\mu=5$, για διάφορες κατηγορίες εδάφους



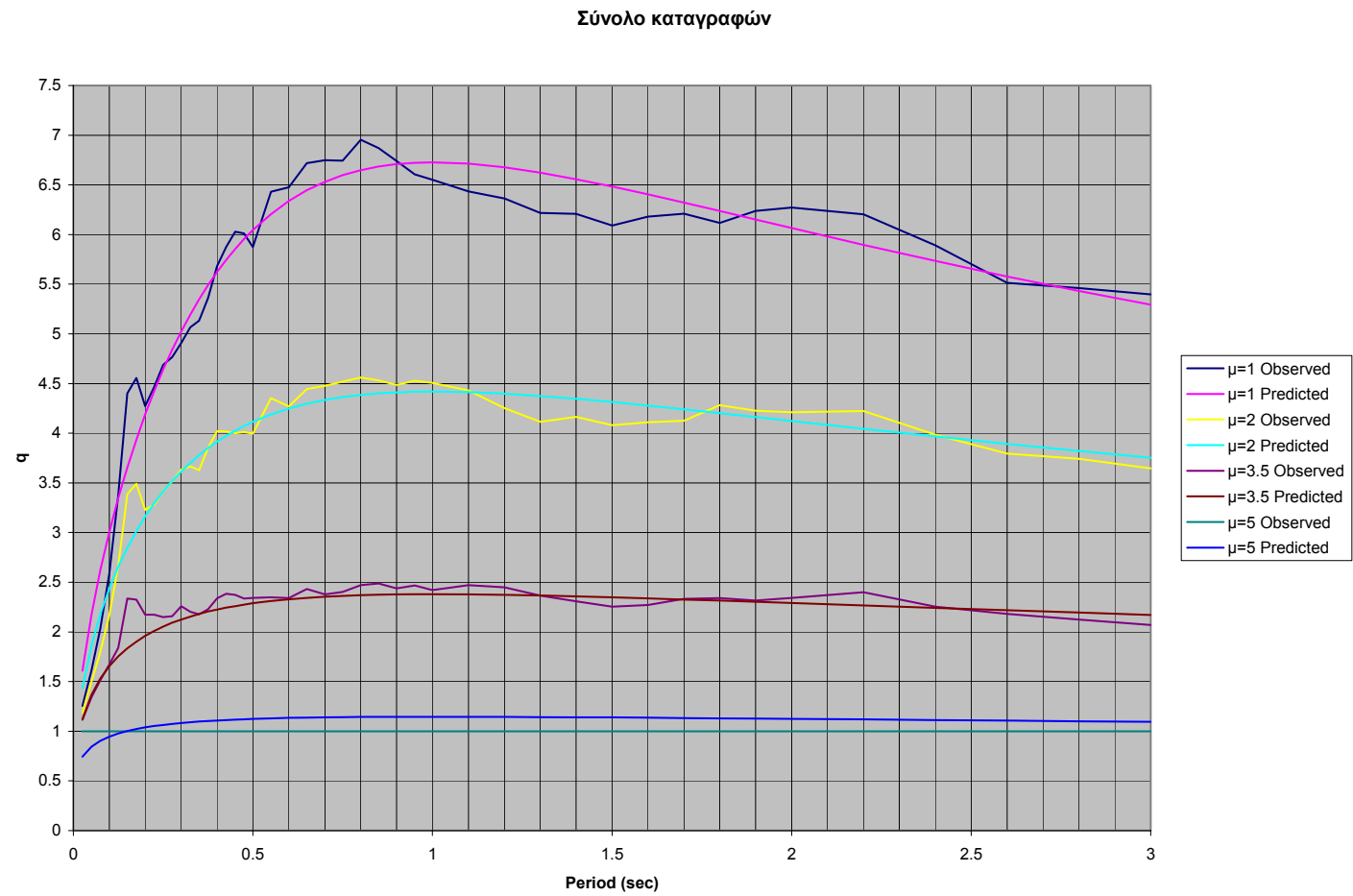
Σχ. 3.7.8 Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς q_μ για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



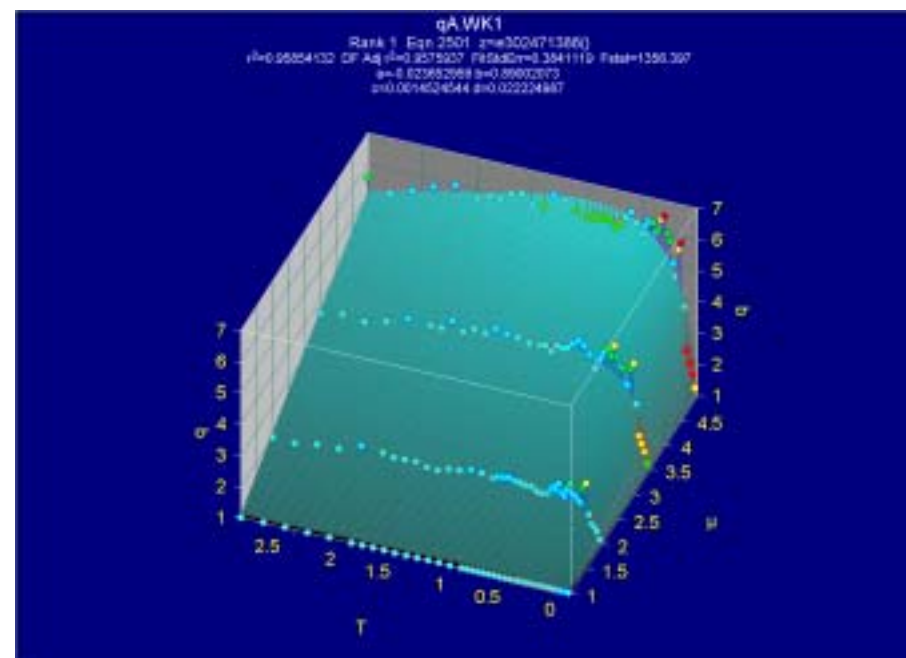
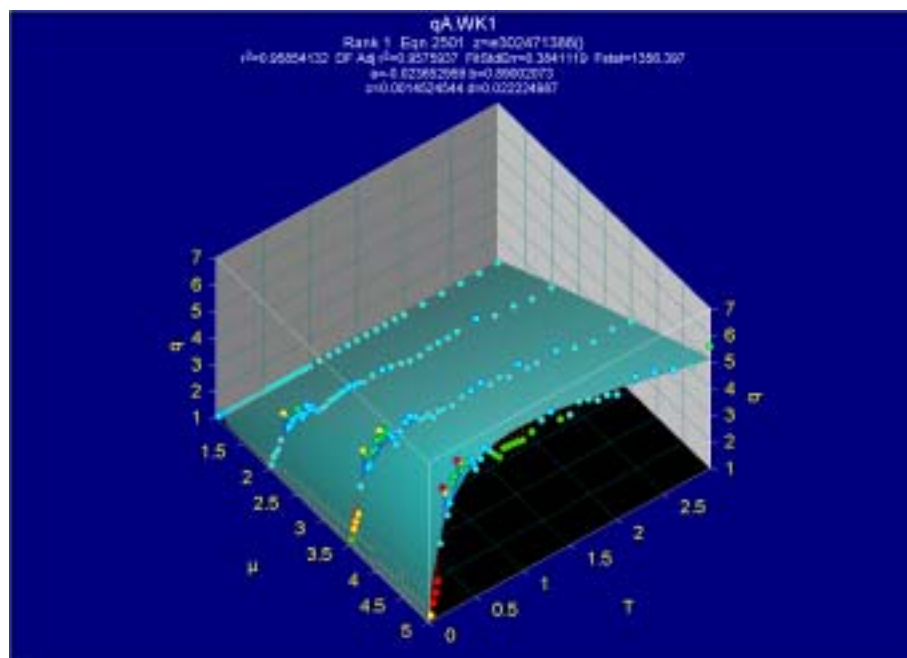
Σχ. 3.7.9 Σύγκριση συντελεστών συμπεριφοράς q_μ για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



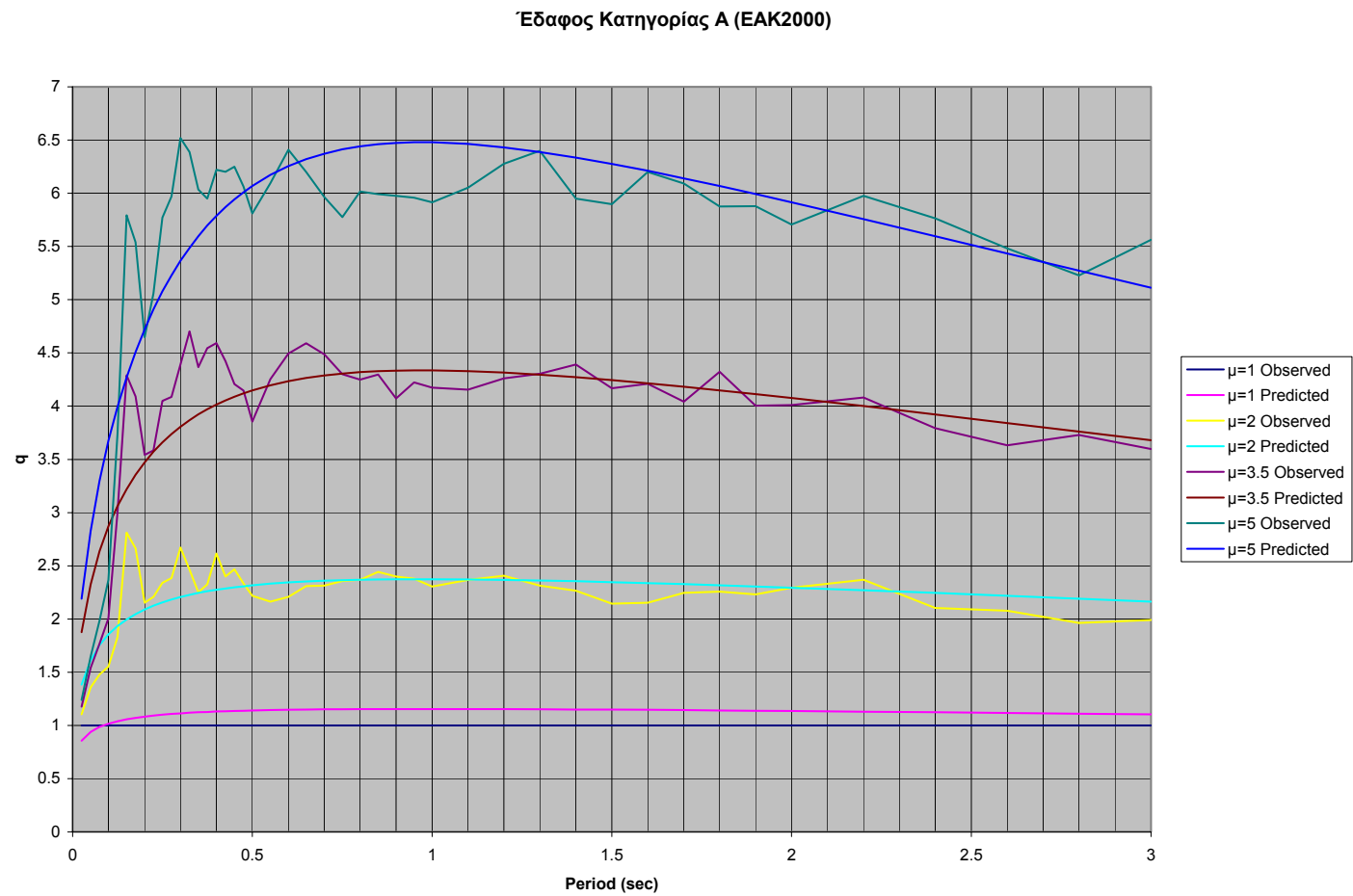
Σχ. 3.7.10 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_μ για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών)



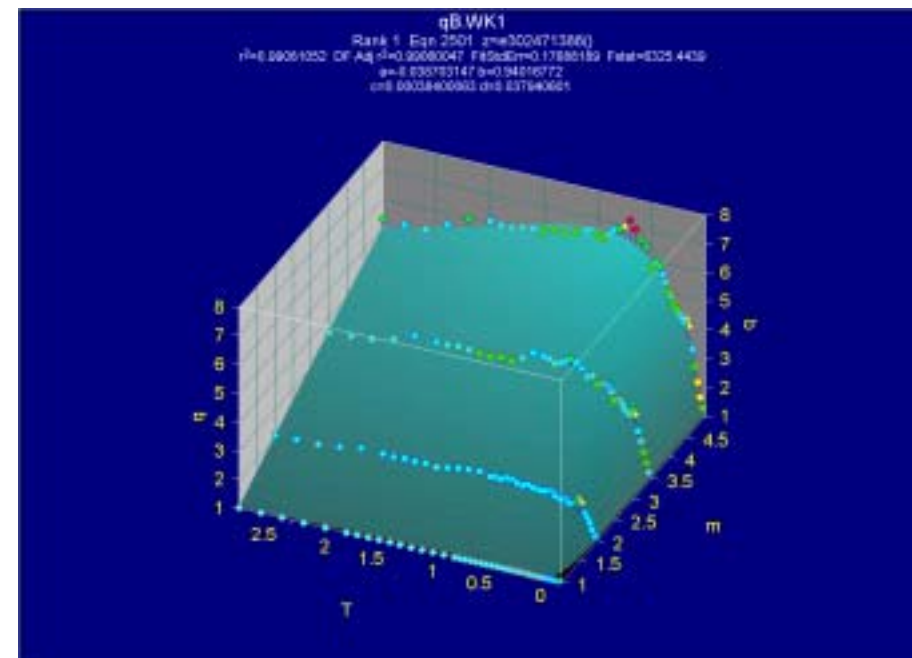
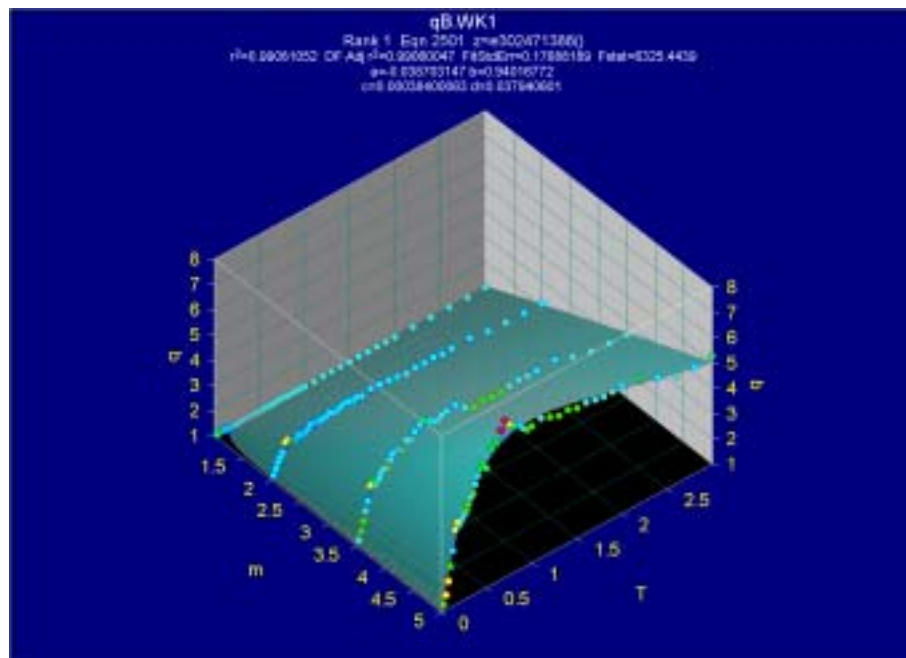
Σχ. 3.7.11 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_{μ} για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών)



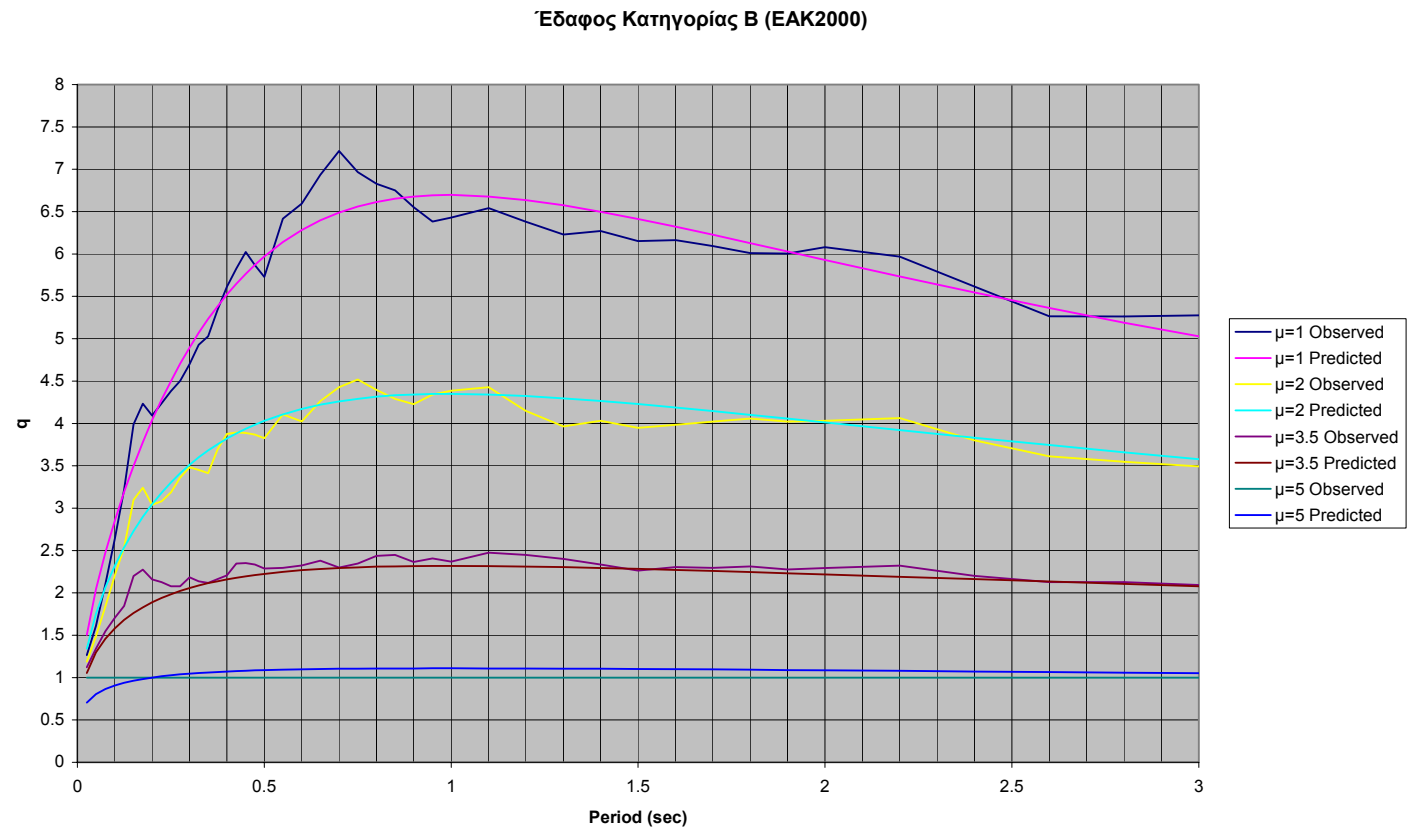
Σχ. 3.7.12 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_μ για έδαφος κατηγορίας Α (ΕΑΚ2000)



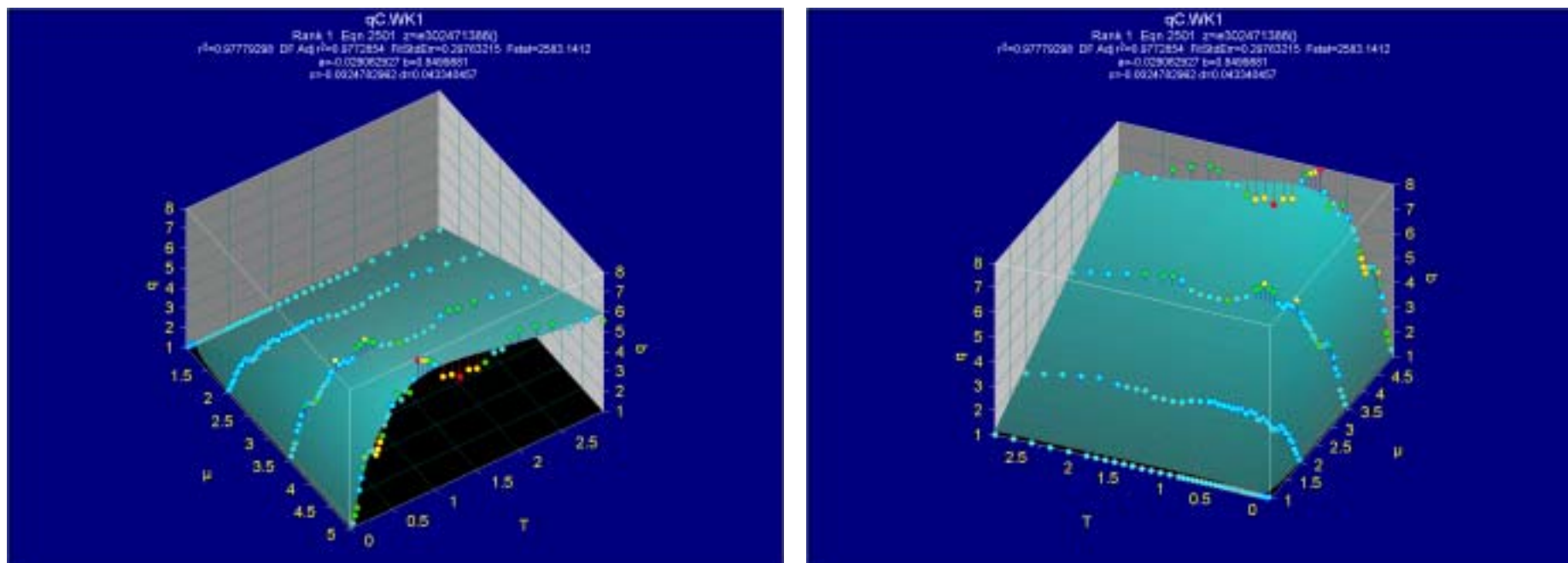
Σχ. 3.7.13 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_{μ} για έδαφος κατηγορίας Α (ΕΑΚ2000)



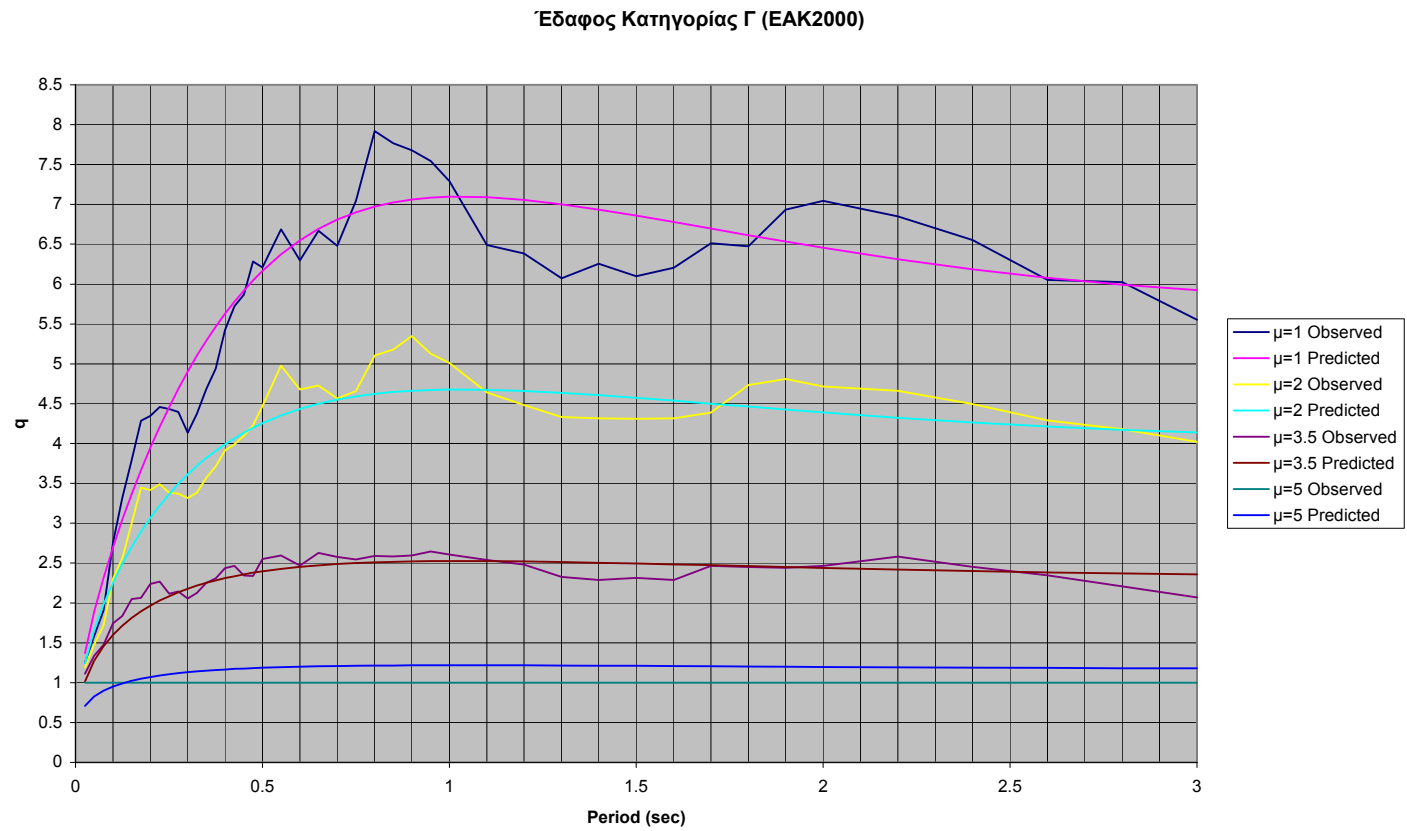
Σχ. 3.7.14 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_B για έδαφος κατηγορίας Β (ΕΑΚ2000)



Σχ. 3.7.15 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_μ για έδαφος κατηγορίας Β (ΕΑΚ2000)



Σχ. 3.7.16 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_μ για έδαφος κατηγορίας Γ (ΕΑΚ2000)



Σχ. 3.7.17 Προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς q_μ για έδαφος κατηγορίας Γ (ΕΑΚ2000)

3.8 ΦΑΣΗ 7 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ η

Αντικείμενο της παρούσας φάσης είναι ο υπολογισμός του συντελεστή αναγωγής της μετακίνησης η (ή Δ_μ ή C_μ) που προκύπτει από τη διαίρεση των τεταγμένων των ανελαστικών προς τις αντίστοιχες των ελαστικών φασμάτων μετακινήσεων

$$\eta = \frac{S_{d,in}}{S_{d,el}} \quad (3.8.1)$$

Στα σχήματα 3.8.1 ως 3.8.4 φαίνονται οι συντελεστές η , συνολικά και ανά κατηγορία εδάφους, που προέκυψαν από τα μέσα φάσματα των σχημάτων 3.6.18 ως 3.6.21 με εφαρμογή της ανωτέρω σχέσης, ενώ στα σχήματα 3.8.5 ως 3.8.7 φαίνεται η επιρροή του η από τις εδαφικές συνθήκες. Όπως φαίνεται από τα σχήματα, η τιμή του η είναι σημαντικά μεγαλύτερη της μονάδας (ανελαστική μετακίνηση μεγαλύτερη της ελαστικής) για τις πολύ χαμηλές ιδιοπεριόδους και μειώνεται συνεχώς με την αύξηση του T μέχρι μια τιμή $T \approx 0.15 \div 0.20 \text{ sec}$, ενώ στη συνέχεια σταθεροποιείται σε τιμές ελαφρά χαμηλότερες από τη μονάδα. Η εικόνα αυτή είναι σταθερή και επηρεάζεται μόνο ελαφρά από την επιθυμητή πλαστιμότητα και την κατηγορία εδάφους (Σχ. 3.8.1÷3.8.7). Όπως αναμενόταν, οι τιμές του η στην περιοχή των χαμηλών T είναι αυξημένες, ισχύει μάλιστα με καλή προσέγγιση η παρατήρηση άλλων ερευνητών (Miranda 2000) ότι για $T \rightarrow 0$, $\eta \rightarrow \mu$. Η εικόνα αυτή επηρεάζεται μόνο ελαφρά και από το μοντέλο υστερητικής συμπεριφοράς (Σχ. 3.8.8) ή το ποσοστό κράτυνσης (Σχ. 3.8.9), σημειώνεται, πάντως, ότι για την ενδιάμεση κατηγορία εδάφους (B), η τιμή του η για υψηλές T είναι κοντύτερα στη μονάδα στην περίπτωση του ελαστοπλαστικού συστήματος.

Για πρακτικούς σκοπούς είναι χρήσιμη η εξαγωγή (κατά το δυνατό απλών) σχέσεων για τον υπολογισμό των η συναρτήσει της ιδιοπεριόδου T , του δείκτη πλαστιμότητας μ , και πιθανώς της κατηγορίας εδάφους, αν και η πρόσφατη δουλειά του Miranda (2000) που συνοψίζεται στο Σχ. 3.8.10 δείχνει ότι για συνήθη (δηλ. όχι πολύ μαλακά) εδάφη ($V_s > 180 \text{ m/s}$), η επιρροή του εδάφους μπορεί να αγνοηθεί για τις ανάγκες του σχεδιασμού. Η προτεινόμενη από τον Miranda σχέση είναι

$$\eta = \left[1 + \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right) \exp(-12T\mu^{-0.8}) \right]^{-1} \quad (3.8.2)$$

Στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος έγινε προσπάθεια εύρεσης βελτιωμένων σχέσεων για την εκτίμηση του η . Κατ' αναλογία με τον προσδιορισμό του δείκτη συμπεριφοράς q_μ (δες σχετικά § 3.7), έγινε και για το συντελεστή αναγωγής της μετακίνησης η η προσπάθεια εύρεσης μιας εξίσωσης, η οποία να περιγράφει ικανοποιητικά τα υπολογισθέντα αποτελέσματα, τόσο για το σύνολο των καταγραφών, όσο και για την περίπτωση θεώρησης ξεχωριστά των εδαφικών συνθηκών A, B και Γ (κατά ΕΑΚ 2000).

Από τον ορισμό του συντελεστή η (εξ. 3.8.1), καθίσταται προφανές ότι για κάθε εδαφική κίνηση, ανεξάρτητα της περιόδου της κατασκευής, για συστήματα που συμπεριφέρονται ελαστικά ($\mu_i = 1$), ο συντελεστής πρέπει να πληροί την ακόλουθη συνθήκη

$$\eta = \eta(T, \mu_i = 1) = 1 \quad (3.8.2)$$

Παράλληλα, από τις πρώτες ήδη προσπάθειες υπολογισμού ανελαστικών φασμάτων μετακινήσεων (πχ. Veletsos & Newmark 1960 και Veletsos et al. 1965), παρατηρήθηκε ότι για μονοβάθμιους φορείς με μεγάλη περίοδο (πχ. με $T > 1 \div 2$ sec), οι μέγιστες παραμορφώσεις των ανελαστικών και των αντίστοιχων ελαστικών συστημάτων προκύπτουν πρακτικά ίδιες. Αντίθετα, στις περιοχές των μέσων και μικρών περιόδων, οι ανελαστικές μετακινήσεις εξαρτώνται σημαντικά από την ιδιοπερίοδο του συστήματος, και ιδιαίτερα στην περιοχή των μικρών περιόδων, οι ανελαστικές μετατοπίσεις προκύπτουν σημαντικά μεγαλύτερες των ελαστικών. Επομένως, ο συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης η πρέπει να πληροί την ακόλουθη συνθήκη

$$\eta = \eta(T \rightarrow \infty, \mu_i) = 1 \quad (3.8.3)$$

Με βάση τις παραπάνω απαιτήσεις, και κατόπιν σχετικών αναλύσεων με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, προτείνεται για τον συντελεστή η η παρακάτω έκφραση

$$\eta = A + B\mu^2 \ln \mu + C\mu^{2.5} + D \frac{\ln \mu}{\mu^2} + E(\ln T)^2 + F \frac{\ln T}{T} + \frac{G}{T} + \frac{H}{T^{1.5}} + \frac{I}{T^2} \quad (3.8.4)$$

όπου οι συντελεστές A, B, C, D, E, F, G, H και I παίρνουν τις τιμές που φαίνονται στον πίνακα 3.8.1, ανάλογα αν η εξίσωση πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μέσο όρο όλων των καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν (ανεξάρτητα των εδαφικών συνθηκών), ή για τα αποτελέσματα από το μέσο όρο κάθε εδαφικής κατηγορίας Α, Β και Γ κατά ΕΑΚ 2000 ξεχωριστά (δες σχετικά § 3.4.3). Στην τελευταία σειρά του πίνακα δίνεται και ο υπολογισθείς συντελεστής συσχέτισης (r^2) μεταξύ της προτεινόμενης εξίσωσης και των εκάστοτε υπολογισθέντων δεδομένων.

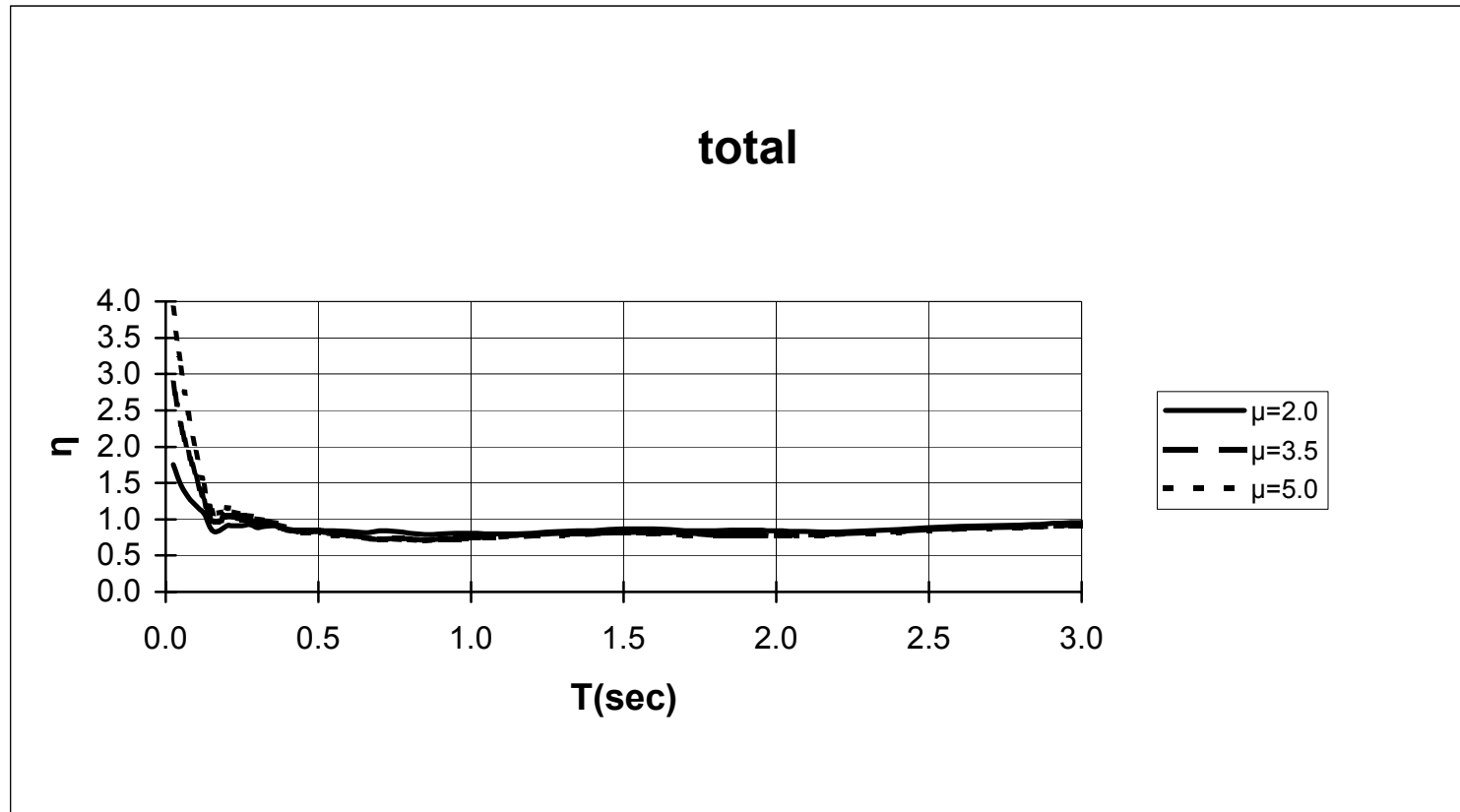
Στο σχήμα 3.8.11 παρουσιάζεται σε τρισδιάστατη απεικόνιση, ο συντελεστής η , όπως προκύπτει από την εξ. (3.8.4) για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως των εδαφικών συνθηκών), καθώς και τα αντίστοιχα υπολογισθέντα από τις καταγραφές δεδομένα. Στο σχήμα 3.8.12 παρουσιάζεται η ίδια πληροφορία, σε δισδιάστατη μορφή, για τις τρεις τιμές της πλαστιμότητας για τις οποίες έγιναν οι υπολογισμοί ($\mu=2, 3.5$ και 5). Από το σχήμα καθίσταται προφανές, ότι η προτεινόμενη έκφραση για τον συντελεστή η πληροί ικανοποιητικά τη συνθήκη (3.8.3). Στο ίδιο σχήμα περιλαμβάνεται επίσης και η περίπτωση $\mu=1$, και αυτό απλώς για να καταδειχθεί ότι η προτεινόμενη έκφραση (3.8.4) για τον συντελεστή η πληροί επίσης, ως ένα βαθμό, και τη συνθήκη (3.8.2). Φυσικά στην πράξη, η χρήση της έκφρασης (3.8.4) θα γίνει μόνο για τιμές πλαστιμότητας $\mu > 1$.

Στα Σχ. 3.8.13 και 3.8.14 παρουσιάζεται κατ' αναλογία η αντίστοιχη πληροφορία με αυτή των Σχ. 3.8.11 και 3.8.12, αλλά για την περίπτωση των αποτελεσμάτων από τις καταγραφές σε σταθμούς με εδαφικές συνθήκες κατηγορίας Α (κατά ΕΑΚ2000). Αντίστοιχα στα Σχ. 3.8.15 και 3.8.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την περίπτωση εδαφικών συνθηκών κατηγορίας Β (κατά ΕΑΚ2000). Τα αποτελέσματα για την περίπτωση εδαφικών συνθηκών κατηγορίας Γ (κατά ΕΑΚ2000), παρουσιάζονται τέλος στα Σχ. 3.8.17 και 3.8.18. Όπως

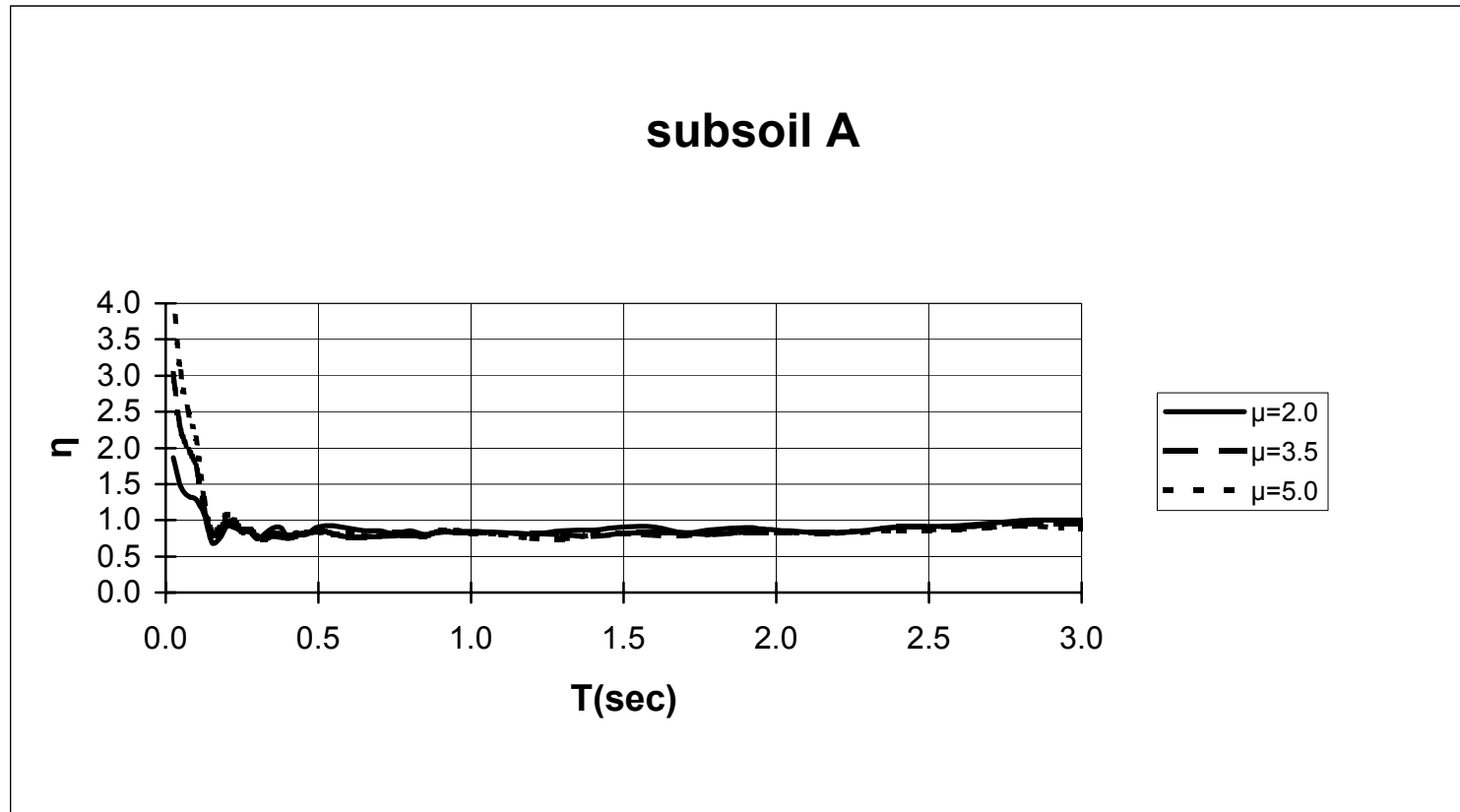
προκύπτει από την επισκόπηση όλων των σχημάτων, η προτεινόμενη έκφραση για το η (εξ. 3.8.4 και κατάλληλοι συντελεστές από Πίν. 3.8.1) είναι σε θέση να περιγράψει ικανοποιητικά τα υπολογισθέντα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία εδάφους, ενώ σε κάθε περίπτωση πληροί ικανοποιητικά και τις συνθήκες (3.8.2) και (3.8.3).

Πίνακας 3.8.1 Συντελεστές της εξίσωσης (3.8.4) (η) ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες και αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης

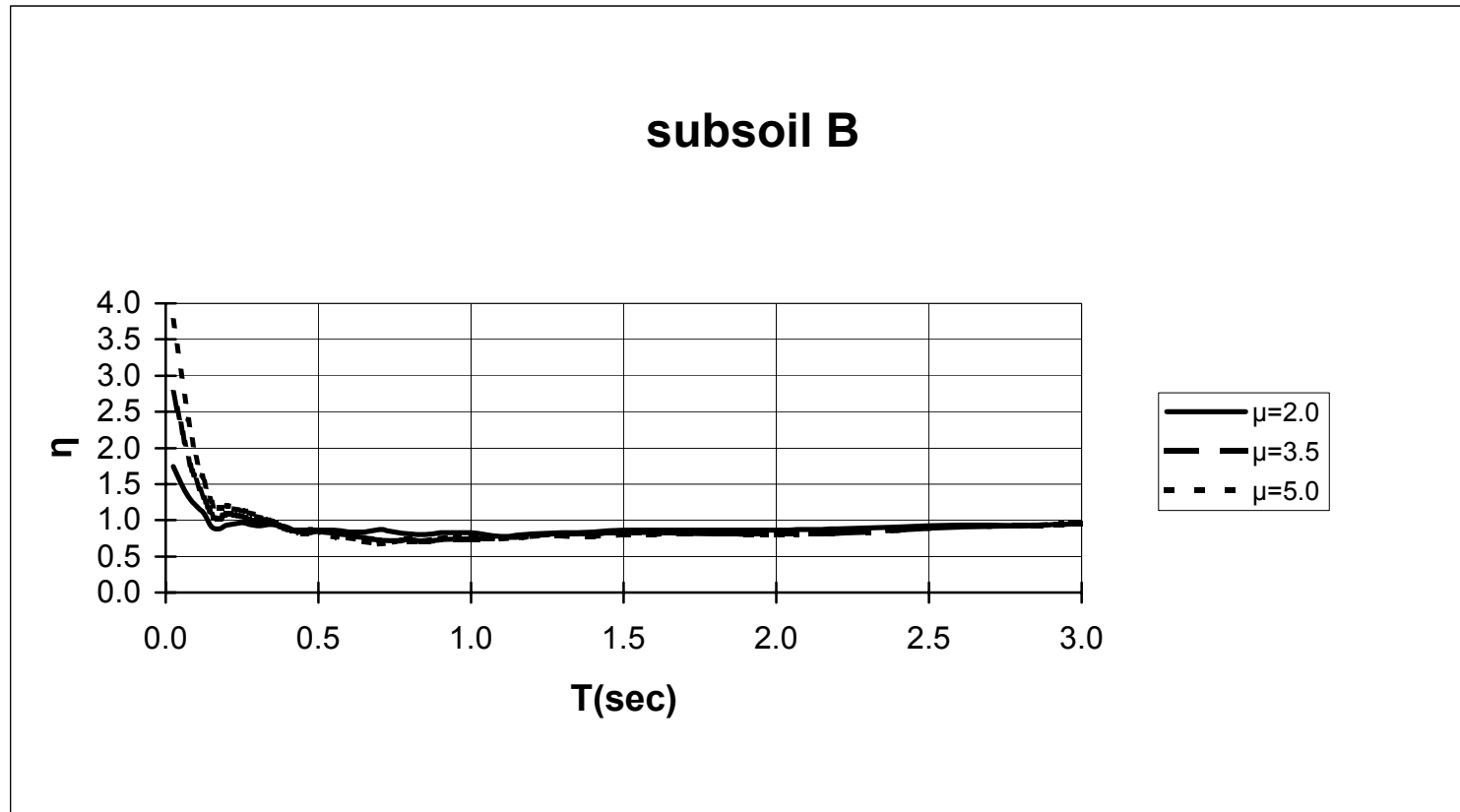
	Σύνολο καταγραφών	Καταγραφές σε έδαφος Α (ΕΑΚ2000)	Καταγραφές σε έδαφος Β (ΕΑΚ2000)	Καταγραφές σε έδαφος Γ (ΕΑΚ2000)
A	0.886475483219092	1.10364259300389	0.876471568523934	0.793261400193657
B	0.0111825404962595	0.0259681443364504	0.00789736504527452	0.0159090258916445
C	-0.00699534059805816	-0.0182813707524627	-0.00450045426474056	-0.0102703211522016
D	-0.446473630140542	-0.341019782451899	-0.359320859141365	-0.523791049937249
E	0.0505819171089905	0.00127335951482468	0.0531187126301659	0.0744611390331934
F	0.0138832140481573	-0.177256166195119	0.00767720718607898	0.0850279207276441
G	-0.0740109076244823	-0.115249930806372	-0.0581197496724985	-0.0483219314427601
H	0.0586144472077048	-0.0889281056191546	0.0465203029298851	0.109709084988123
I	-0.00561808682537384	0.00147569316497941	-0.00473973703117914	-0.00786876340110634
r^2	0.618388304067471	0.606968559410627	0.622553811419431	0.624302948541078



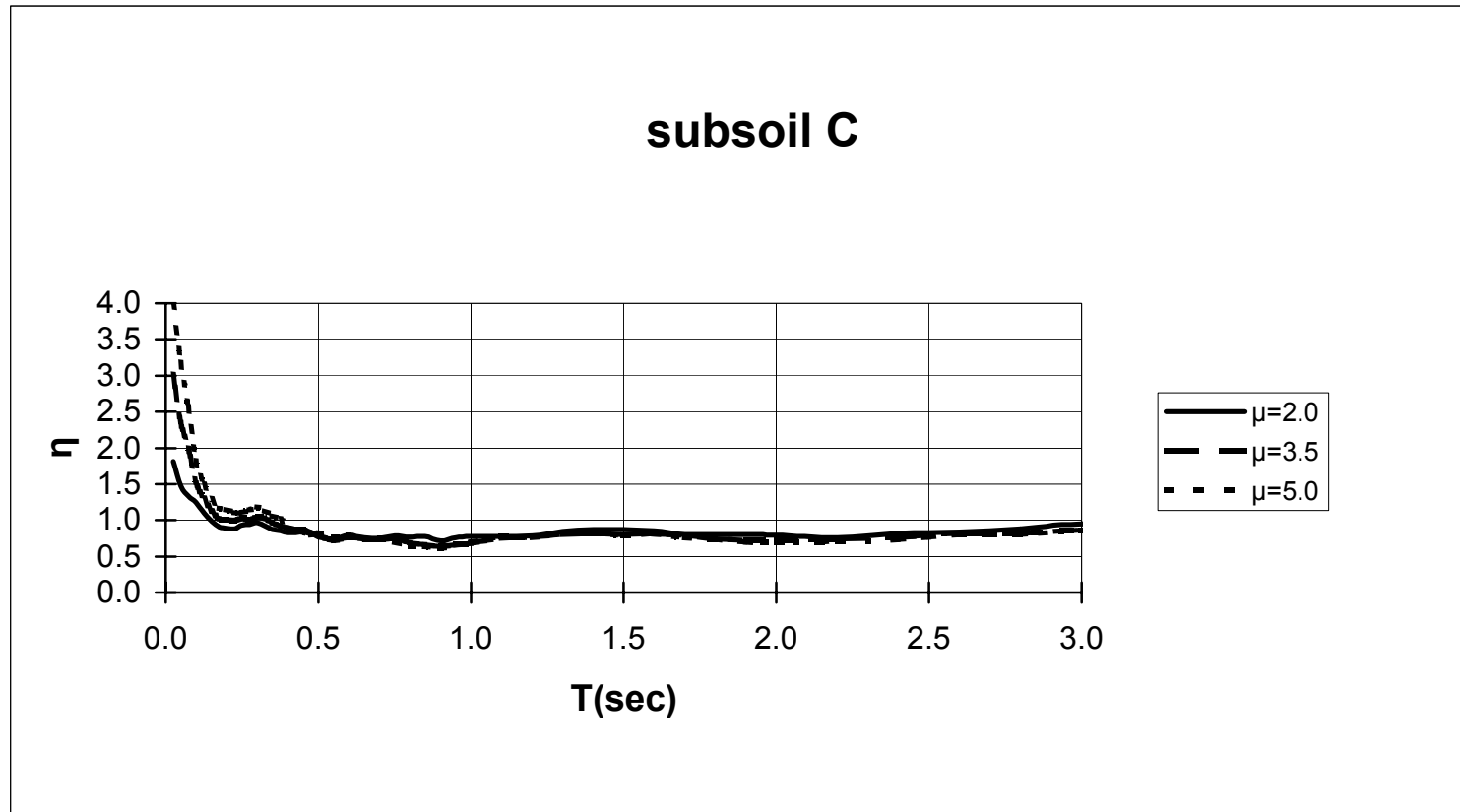
Σχ. 3.8.1 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας



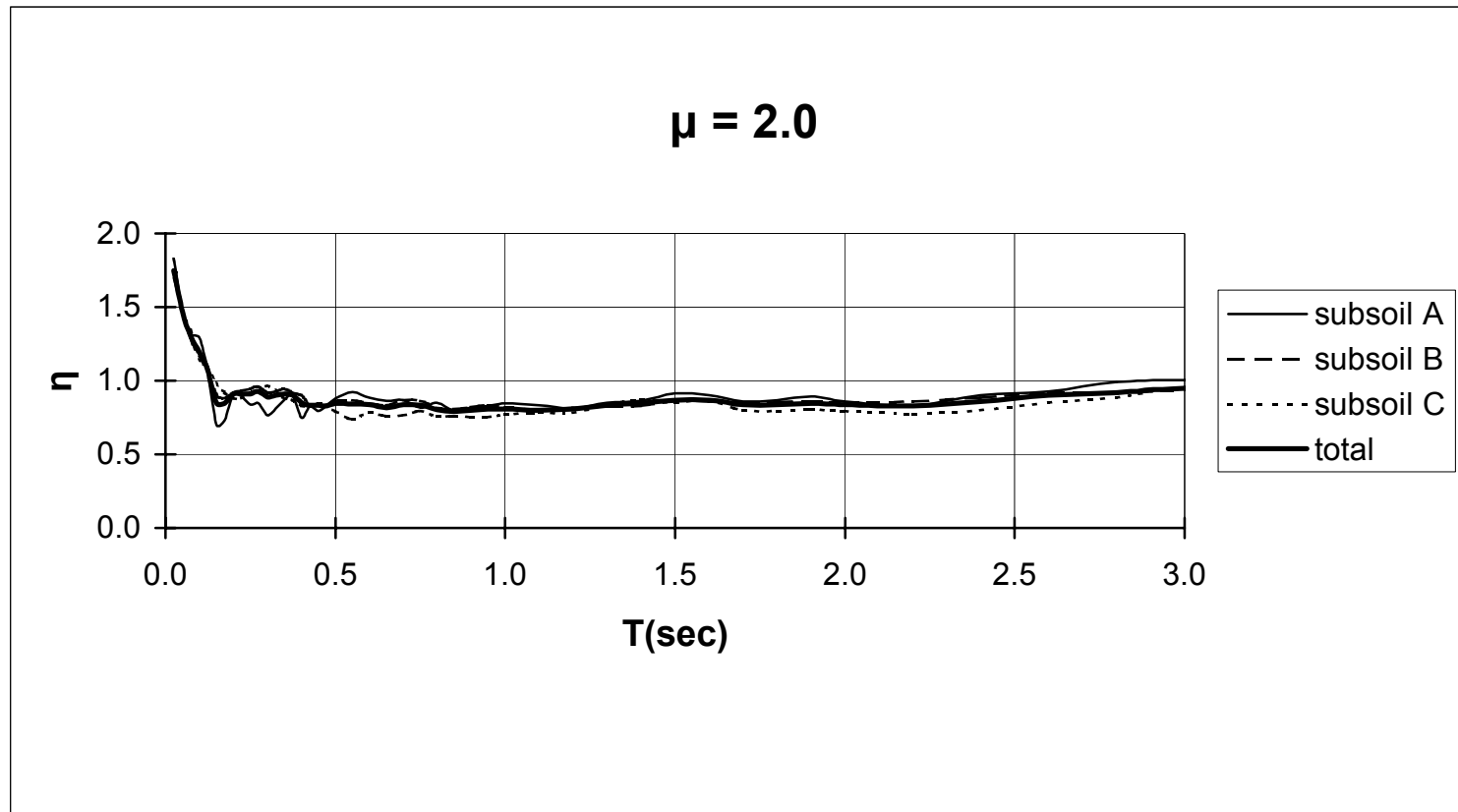
Σχ. 3.8.2 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Α)



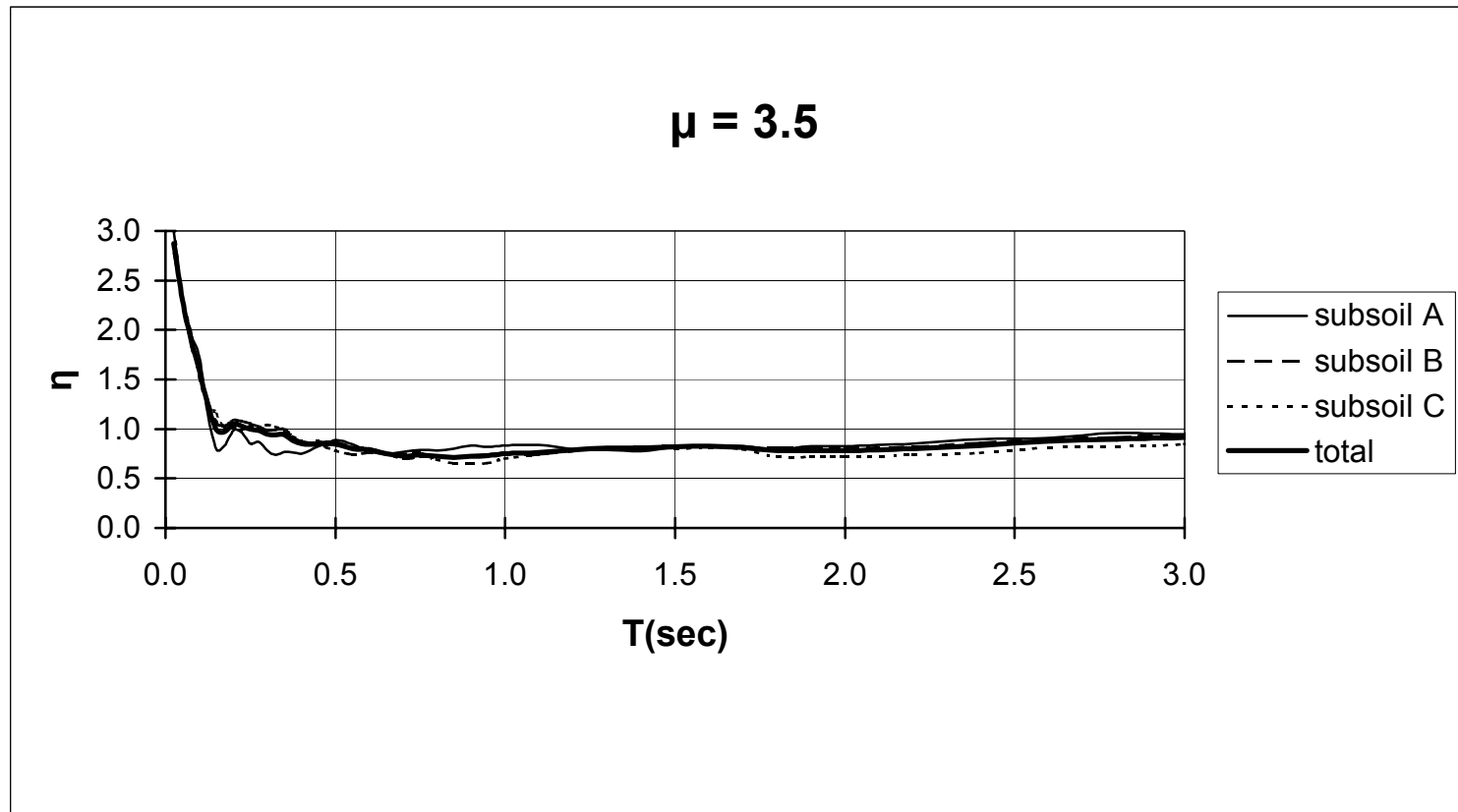
Σχ. 3.8.3 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους B)



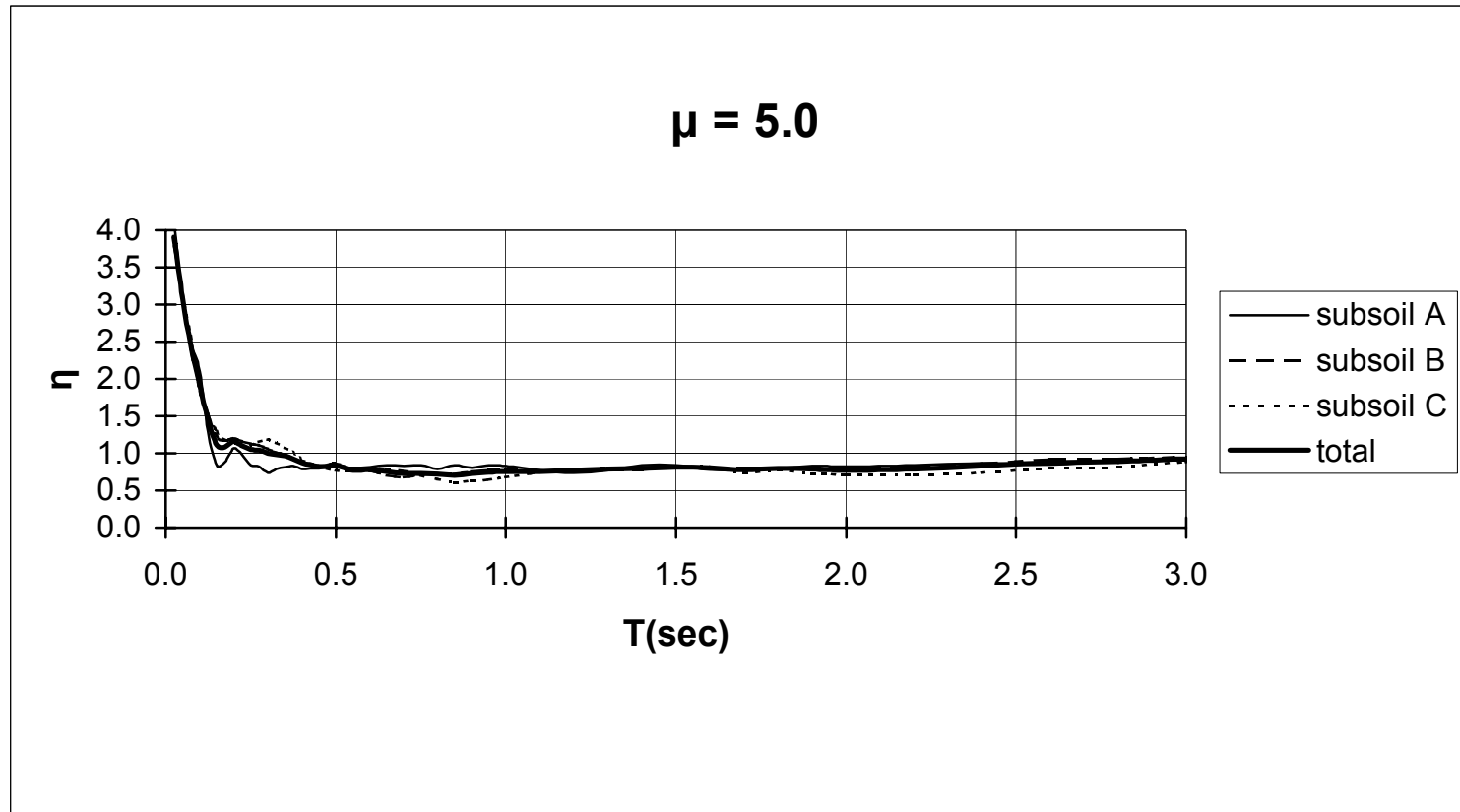
Σχ. 3.8.4 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες τιμές δείκτη πλαστιμότητας (κατηγορία εδάφους Γ)



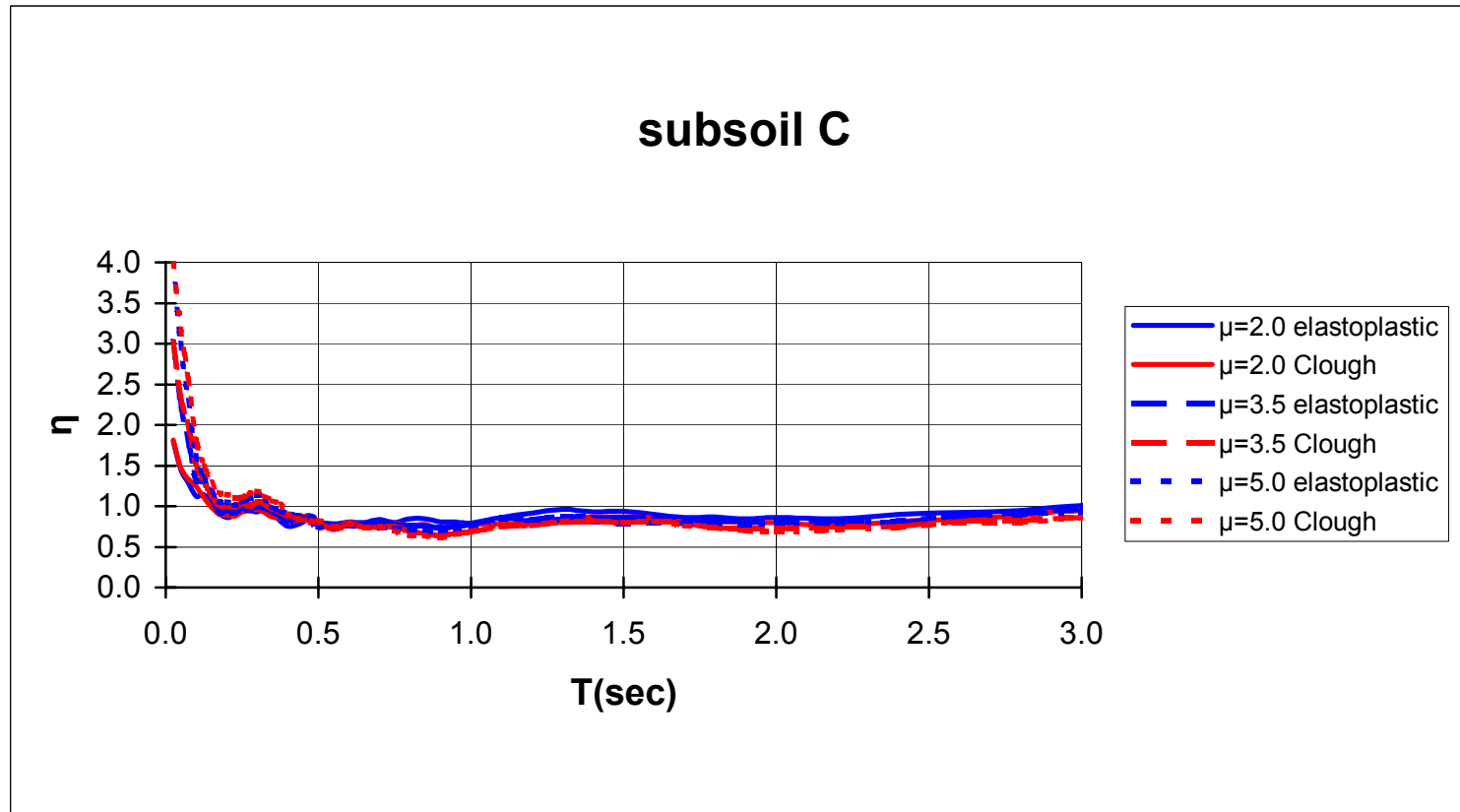
Σχ. 3.8.5 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες κατηγορίες εδάφους



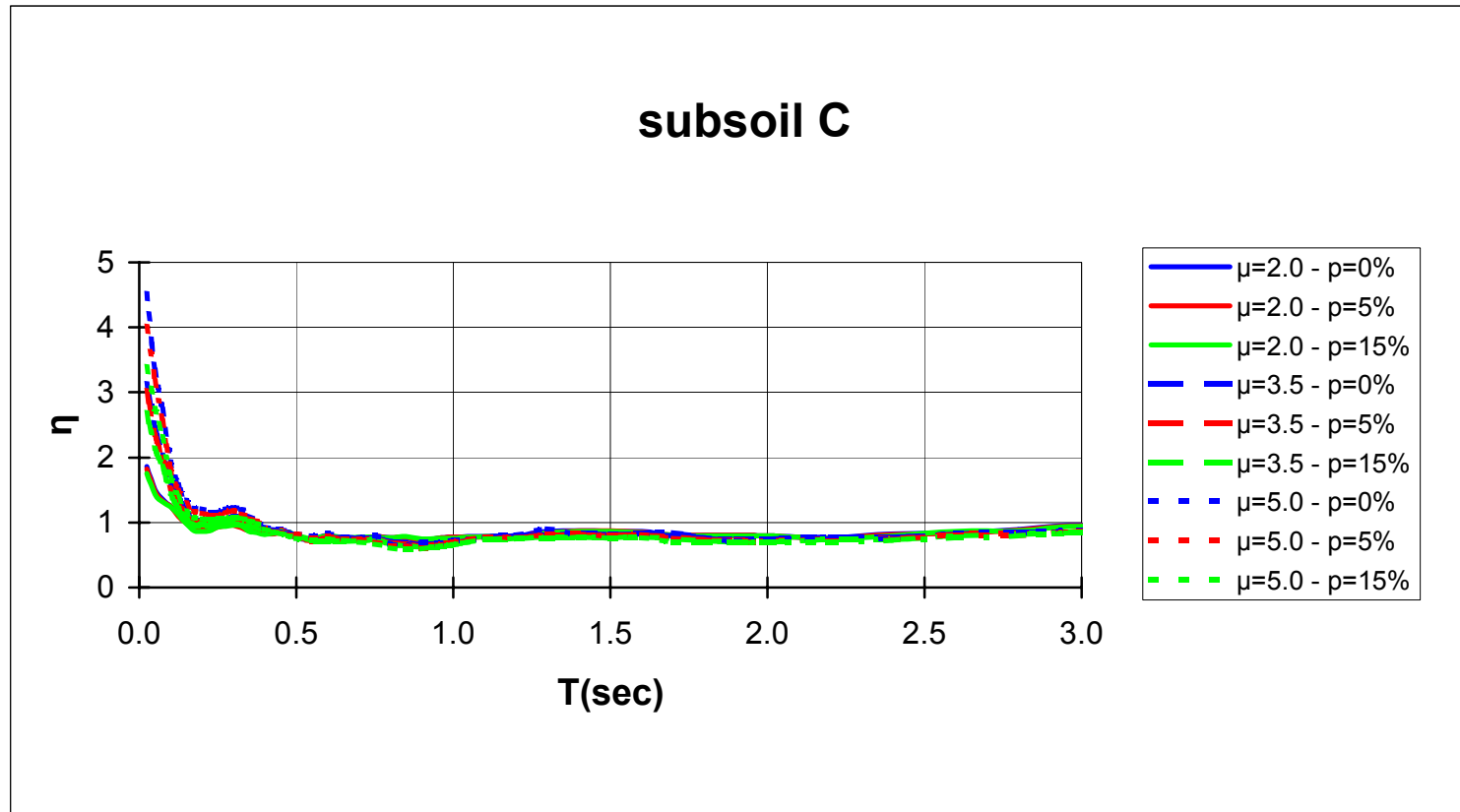
Σχ. 3.8.6 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες κατηγορίες εδάφους



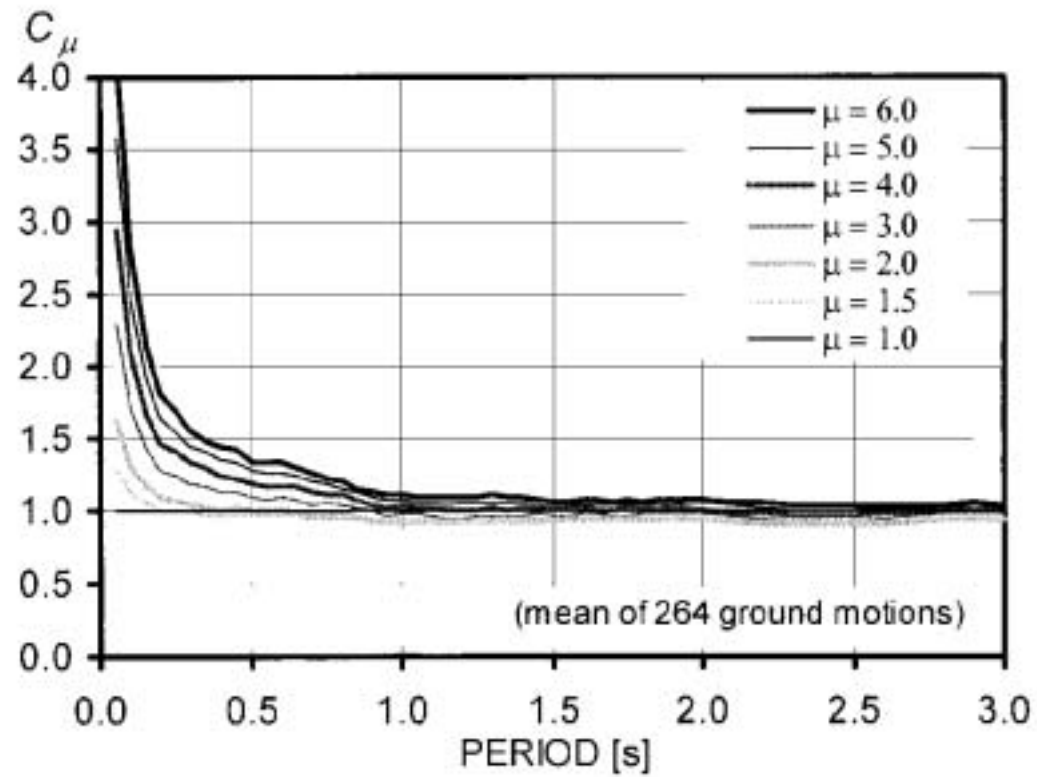
Σχ. 3.8.7 Συντελεστές αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορες κατηγορίες εδάφους



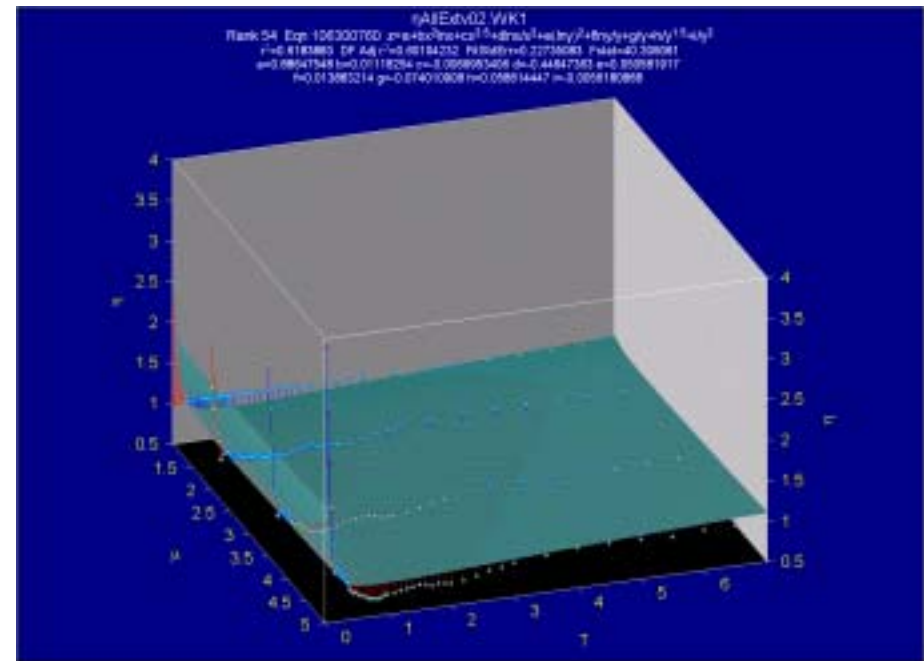
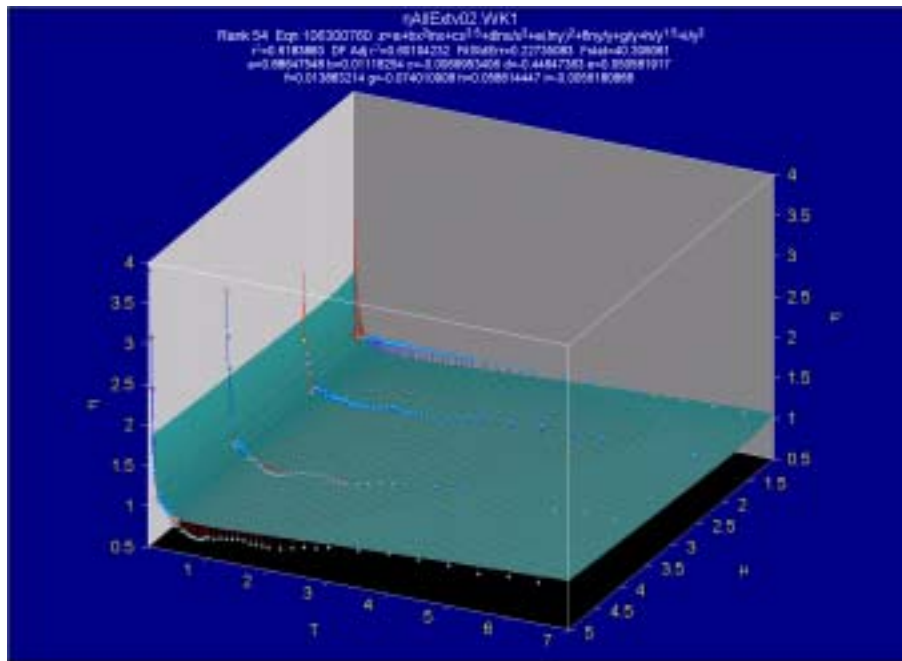
Σχ. 3.8.8 Σύγκριση συντελεστών αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορους νόμους υστερητικής συμπεριφοράς



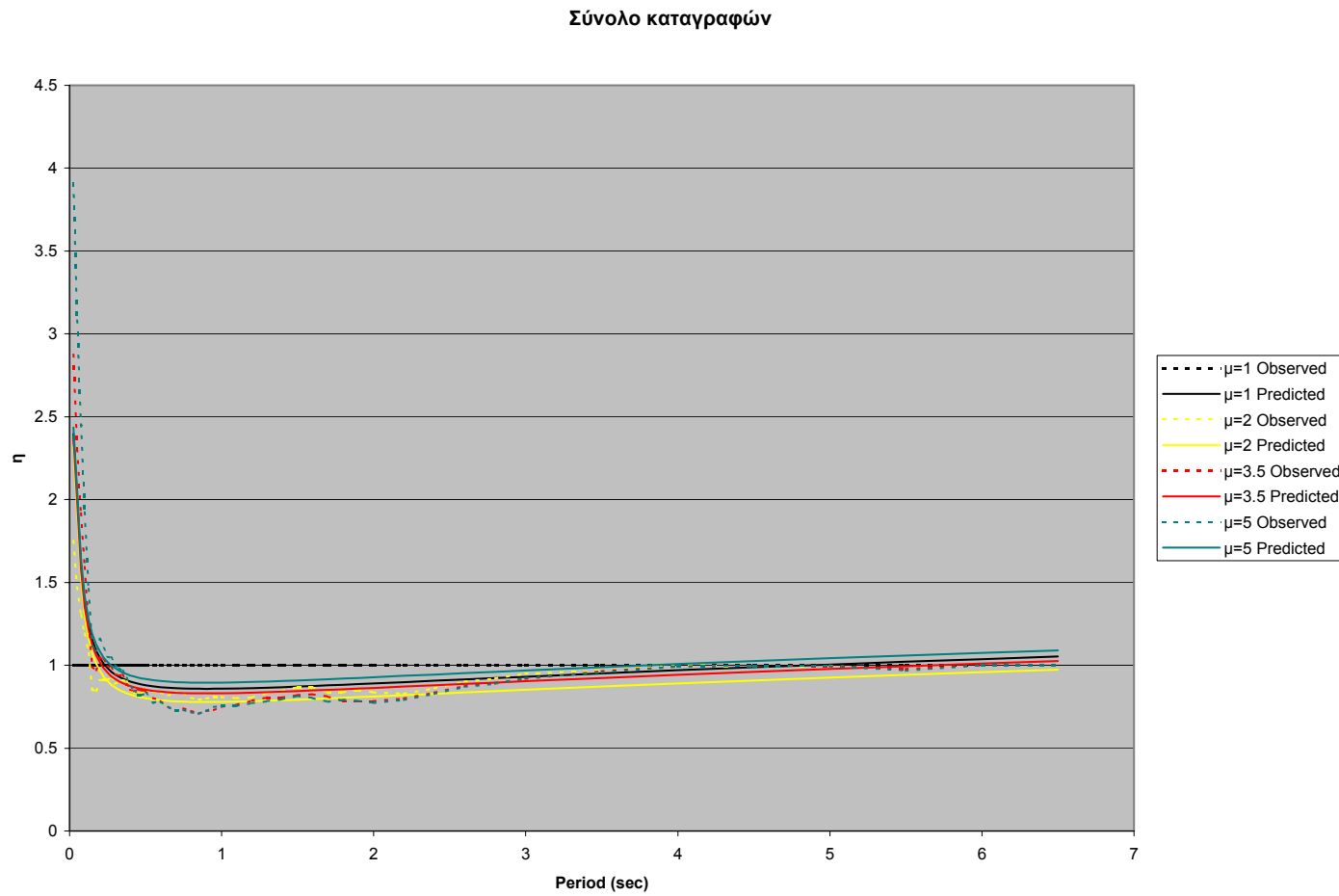
Σχ. 3.8.9 Σύγκριση συντελεστών αναγωγής της μετακίνησης (η) για διάφορα ποσοστά κράτυνσης



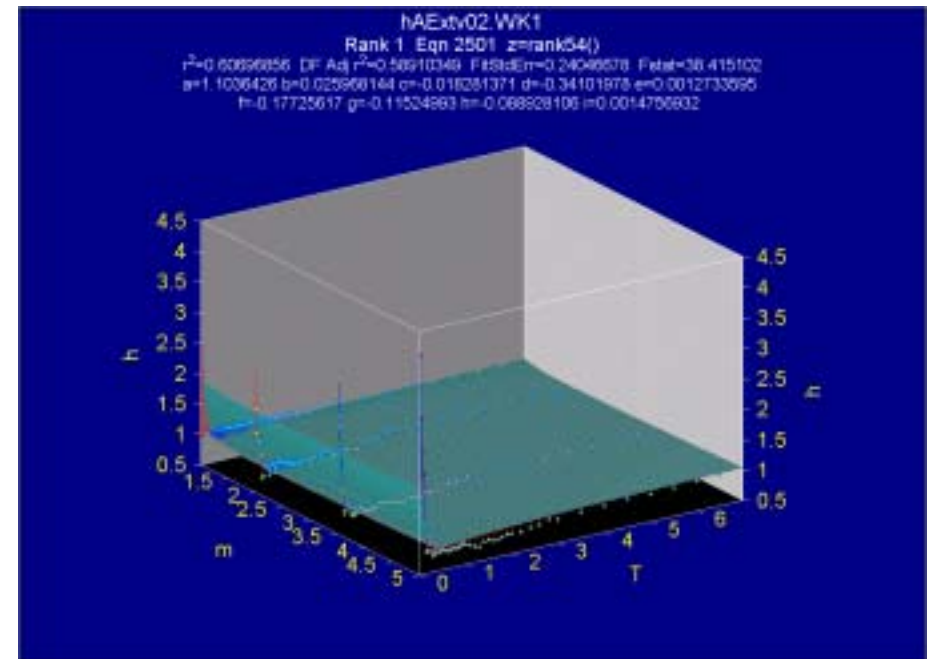
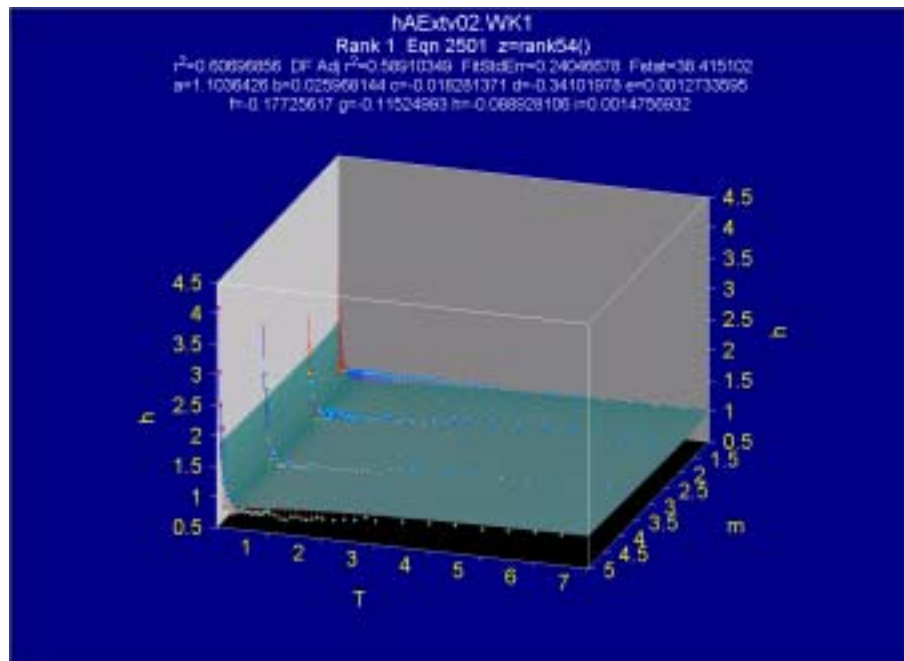
Σχ. 3.8.10 Λόγοι ανελαστικών προς ελαστικές μετακινήσεις για 264 επιταχυνσιογραφήματα από καταγραφές σε εδάφη Α ως D του UBC (περίπου Α και Β ΕΑΚ) (Miranda 2000)



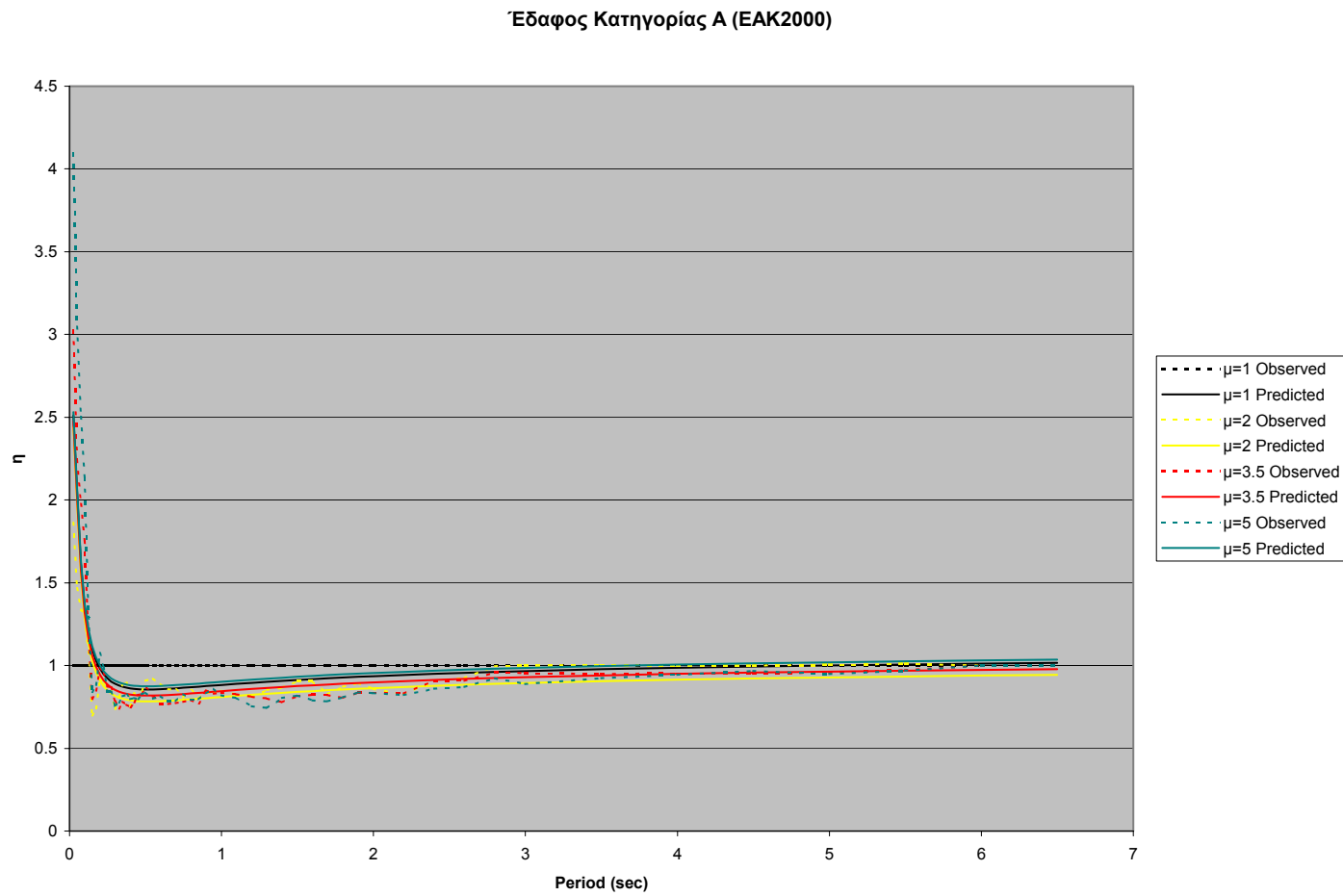
Σχ. 3.8.11 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών)



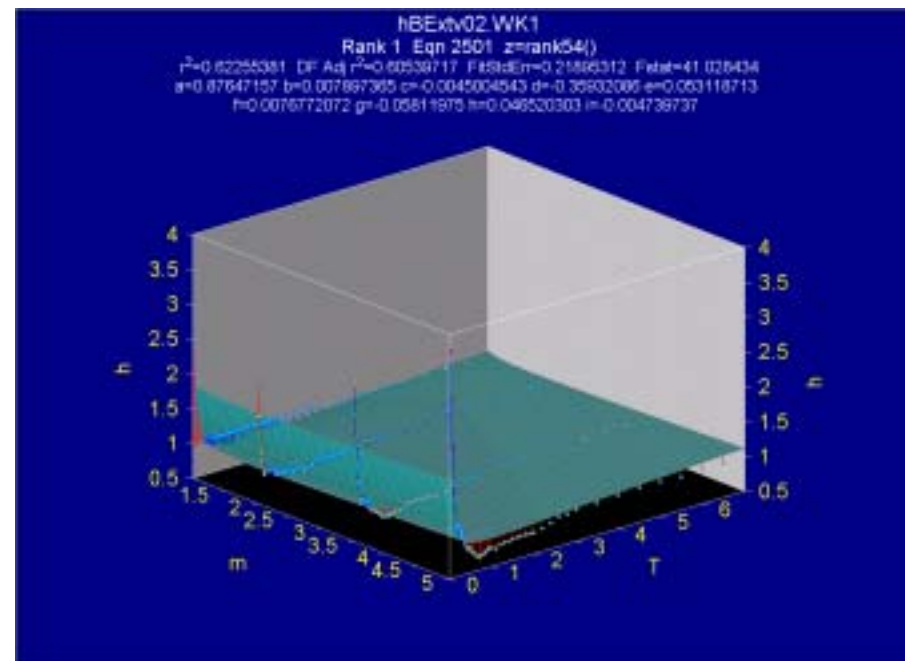
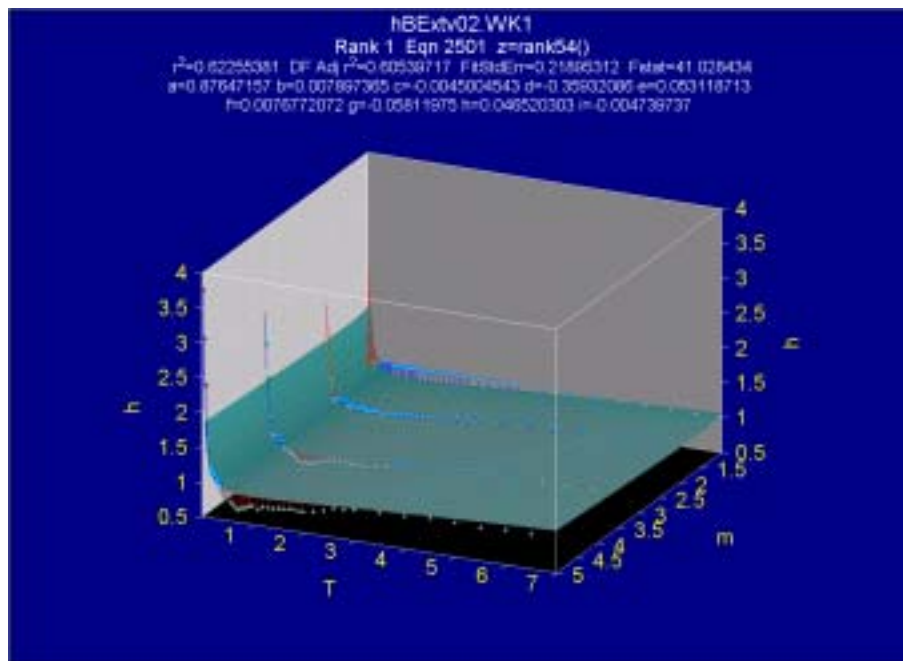
Σχ. 3.8.12 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για το σύνολο των καταγραφών (ανεξαρτήτως εδαφικών συνθηκών)



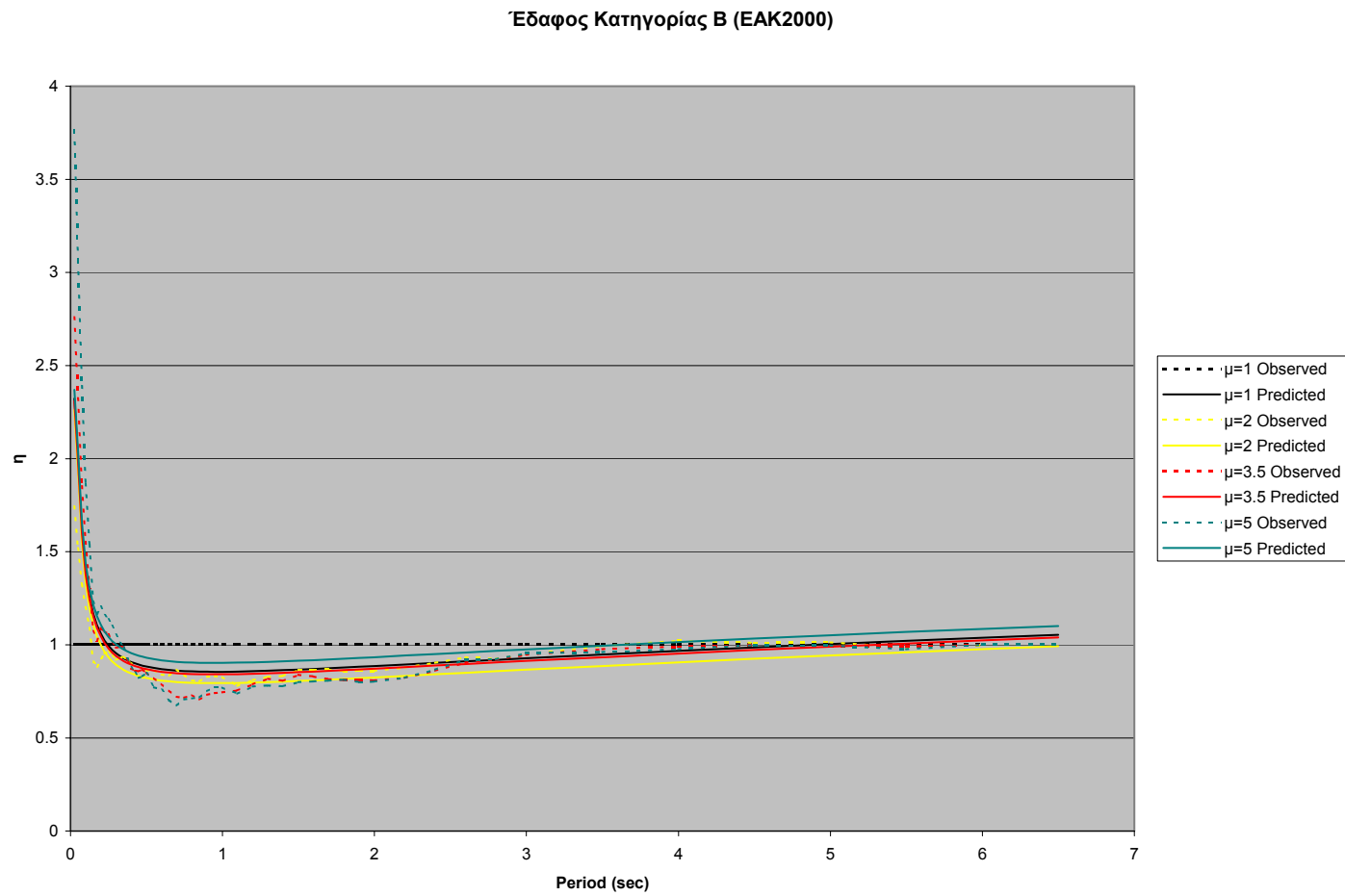
Σχ. 3.8.13 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για έδαφος κατηγορίας Α (ΕΑΚ2000)



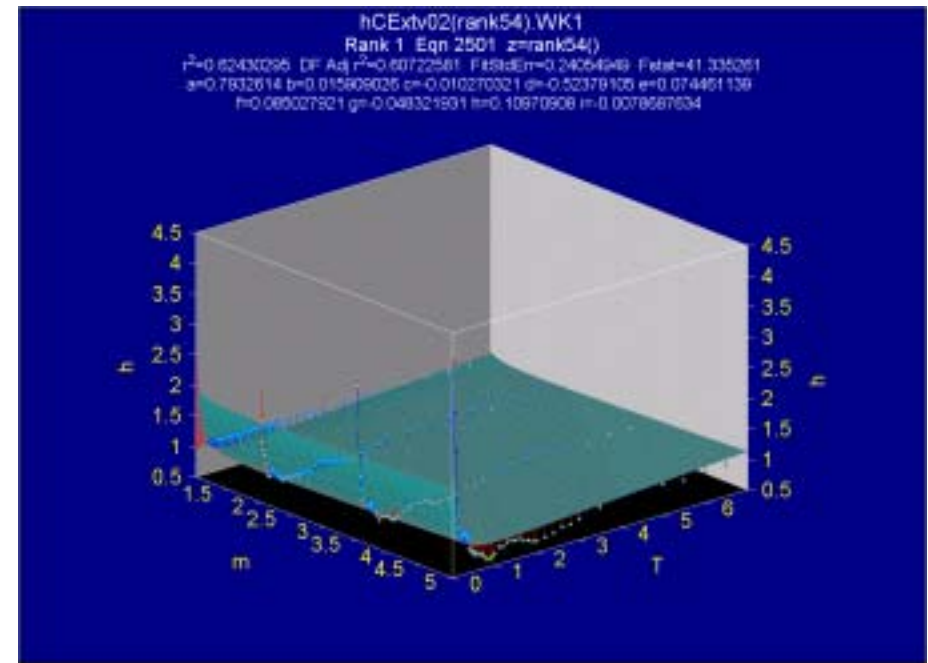
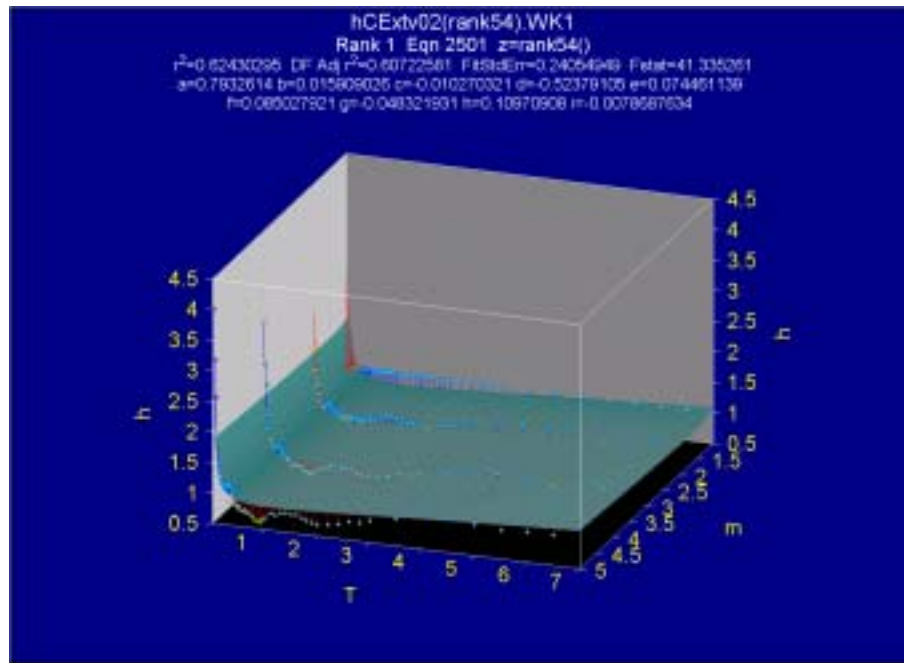
Σχ. 3.8.14 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για έδαφος κατηγορίας Α (ΕΑΚ2000)



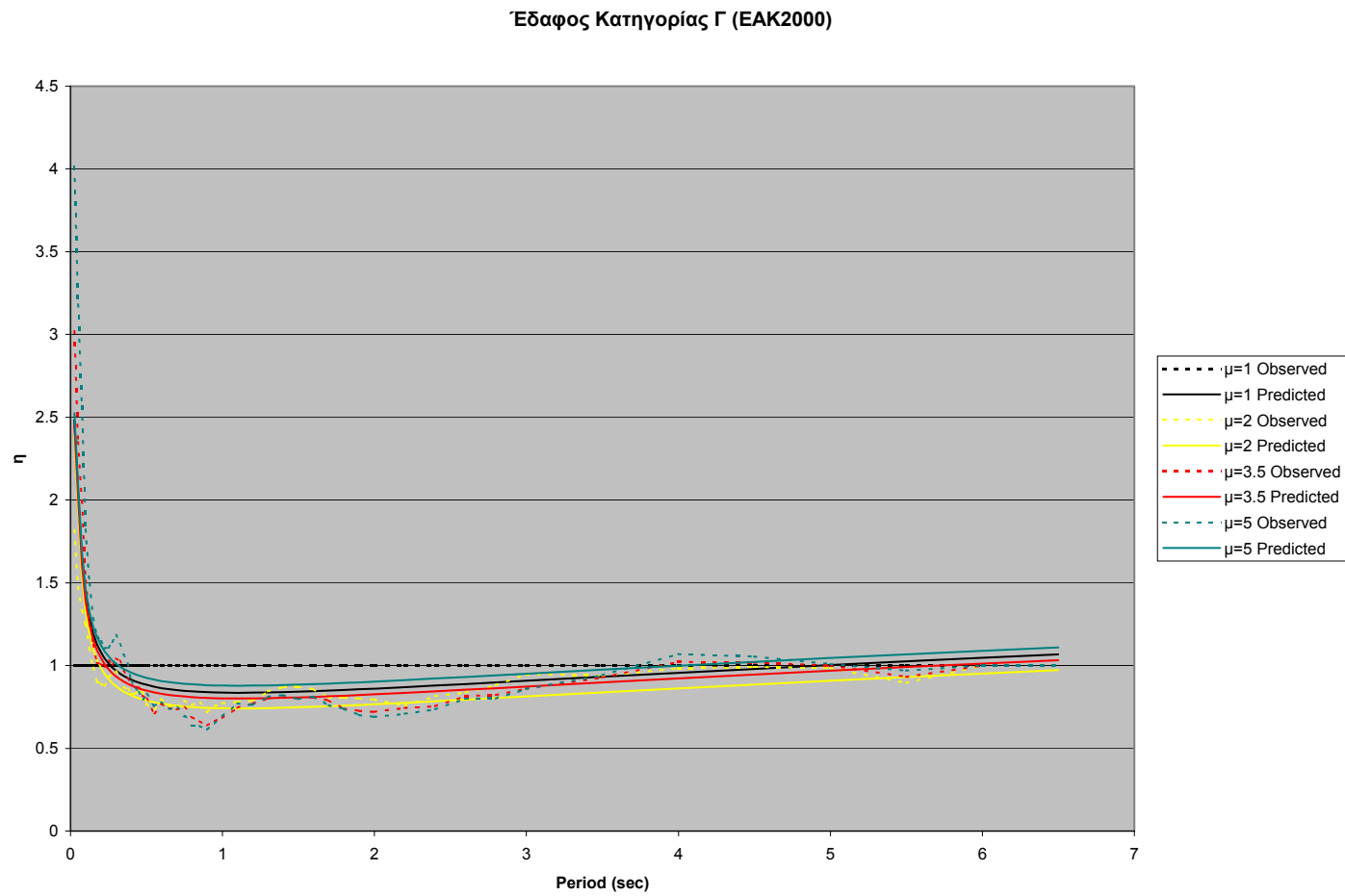
Σχ. 3.8.15 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για έδαφος κατηγορίας Β (ΕΑΚ2000)



Σχ. 3.8.16 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για έδαφος κατηγορίας Β (ΕΑΚ2000)



Σχ. 3.8.17 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για έδαφος κατηγορίας Γ (ΕΑΚ2000)



Σχ. 3.8.18 Προτεινόμενος συντελεστής αναγωγής της μετακίνησης (η) για έδαφος κατηγορίας Γ (ΕΑΚ2000)

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Αθανασόπουλος Γ. (1989) “Η μέθοδος Cross – Hole για τον προσδιορισμό της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στο έδαφος”, *1^ο Εθνικό Συνέδριο Γεωφυσικής*, 19-21 Απριλίου 1989, 10 σελ.
- AFPS’90 (1990) “Recommendations pour la redaction des regles relatives aux ouvrages et installations a realiser dans les regions sujettes aux seismes”, *Association Francaise du Genie Parassismique*, pp. 1-183.
- Ambraseys N.N. (2001) Personal Communication (strong motion data base).
- Amini, A., M.D. Trifunac, and R.L. Nigbor (1987). A note of the noise amplitudes in some strong motion accelerographs, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **6**, 180-185.
- Anastasiadis A.J., Raptakis D.G., Pitilakis K.D. (2001). “Thessaloniki’s Detailed Microzoning: Subsurface Structure as basis for Site Response Analysis “, *Pure and Applied Geophysics – PAGEOPH* (in press).
- Bommer, J.J. and Elnashai, A.S. (1999) Displacement spectra for seismic design, *J. of Earthquake Engineering*, **3** (1), 1-32.
- Borcherdt, R.D. (1994) “Estimates of site-dependent response spectra for design (Methodology and Justification), *Earthquake Spectra* **10** (4), pp. 617-653.
- Bouckovalas G.D., Kouretzis G.P. and Kalogeras I.S. (2001) “Site – specific analysis of strong motion data from the September 7, 1999 Athens, Greece earthquake”, *Natural Hazards* (in press).
- Γκαζέτας Γ., Πρωτόπαπα Ε. και Γερόλυμος Ν. (2001) “Η απόκριση δύο σταθμών του μετρό Αθηνών στον σεισμό της Πάρνηθας: καταγραφές και ανάλυση”, *4^ο Παν. Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής*, 30/5 – 1/6/2001, Αθήνα, σελ. 131 – 138.
- Chopra, A. K. (1995) *The Dynamics of Structures: Theory and applications to Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, N. Jersey.
- Crouse, C.B. and McGuire, J.W. (1996) “Site response studies for purpose of revising NEHRP seismic provisions”, *Earthquake Spectra* **12** (3), pp. 407-439.
- Dickenson, S.E. and Seed, R.B. (1996) “Nonlinear dynamic response of soft and deep cohesive soil deposits” *Proc. of the International Workshop on Site Response subjected to Strong Earthquake Motions*, Vol. 2, Yokoshuka, Japan, pp. 67-81.
- Dobry R., Borcherdt R.D., Crouse C.B., Idriss I.M., Joyner W.B., Martin G.R., Power M.S., Rinne E.E. and Seed R.B. (2000). “New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions”. *Earthquake Spectra* **16** (1), February, pp. 41-67.
- EAK /2000. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός
- Ερευνητικό Πρόγραμμα (8048 Ε.Ε. ΑΠΘ), ΟΑΣΠ, (1996): “Μελέτη της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών, της γεωμορφολογίας και της δυναμικής αλληλεπίδρασης εδάφους – θεμελίωσης – ανωδομής στις ενόργανες καταγραφές του Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων”, Επ. Υπεύθ. Κ. Πιτιλάκης, Καθ. Τμ. Πολ. Μηχ/κών ΑΠΘ.
- Ερευνητικό Πρόγραμμα, Νομαρχίες Κοζάνης και Γρεβενών, (1996) : “Μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, Γεωτεχνικές μελέτες και μελέτες εδαφικής απόκρισης για τον καθορισμό

- της οικιστικής καταλληλότητας των πληγέντων κοινοτήτων και οικισμών της πλειόσειστης περιοχής των νομών Κοζάνης και Γρεβενών”. Εργ. Εδαφ/κής & Θεμελιώσεων ΑΠΘ, Εργ. Γεωλ. & Παλαιον/γίας ΑΠΘ, ΙΓΜΕ. Επ. Υπεύθ. Ερευν. Προγρ.: Κ. Πιτιλάκης, Καθ. Τμήμ. Πολ. Μηχ/κών ΑΠΘ.
- EC8 (2000), *Design provisions for Earthquake Resistance of Structures, Part 1-1: General Rules-Seismic Actions and General Requirements for Structures* (Draft), prEN 1998-5, European Committee for Standardization, Brussels.
- Fajfar, P. (1999) Capacity spectrum method based on inelastic demand spectra, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **28** (9), Sept. 1999, 979-993.
- Hung-Chie Ch. (1997). Stable baseline correction of digital strong motion data, *Bull. Seism. Soc. Am.* **87**, 932-944.
- ΚΕΔΕ (1969, 1971, 1982): Γεωτεχνικές έρευνες στην ΓΥΣ, στη θέση του ΚΕΔΕ και στην περιοχή Χαλανδρίου (προσωπική επικοινωνία).
- Kappos, A.J. (1999) Evaluation of behaviour factors on the basis of ductility and overstrength studies, *Engineering Structures*, **21** (9), 823-835.
- Kappos, A.J., editor (2001), *Dynamic Loading and Design of Structures*, SPON Press (Taylor & Francis Group), London.
- Kappos A.J. and Kyriakakis, P. (2000) A reevaluation of scaling techniques for natural records, *Soil Dynamics & Earthquake Engineering*, **20** (1-4), 111-123.
- Kappos A.J., Kyriakakis, P. and Athanassiadou, C.J. (1998) Site-dependent inelastic spectra and ductility-based behaviour factors for Greece, *11th European Conference on Earthquake Engineering*, Paris, CD ROM Proceedings, Balkema.
- Klimis N.S., Margaris B.N. and Koliopoulos P.K. (1998) “Response spectra estimation according to the EC8 and NEHRP soil classification provisions: a comparison study based on Hellenic data”, 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, CD-Rom Proceedings, Balkema.
- Klimis, N.S., B.N. Margaris, P.K. Koliopoulos (1999). Site-dependent amplification functions and response spectra in Greece, *J. of Earthquake Engineering*, **3**, 237-270.
- Lee, V.W. (1989). Recent developments on data processing of strong-motion accelerograms: Interpolation of uniform and non-uniform sampling from digitized acceleration data, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **8**.
- Lee, V.W. and M.D. Trifunac (1990). Automatic digitization and processing of accelerograms using PC, Civil Engineering Department, University of Southern California, Los Angeles., Rept, 90-02.
- Mahin, S.A. and Lin, J. (1983) Construction of inelastic response spectra for single-degree-of-freedom systems, EERC Rep. No. 83/17, Univ. of California, Berkeley.
- Margaris, B.N. (1994). New fast digitization and correction procedures of the Greek strong motion records, *Proc. XXIV Gen. Ass. E.S.C.* Athens, Sept. 19-24 1994, **II**, 779-786.
- Margaris, B.N. and Boore D.M. (1998) “Determination of $\Delta\sigma$ and κ_0 from response spectra of large earthquakes in Greece”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88**, p. 170 –182.
- Miranda, E. (1993) Evaluation of site-dependent inelastic seismic design spectra, *J. Struct. Engineering*, ASCE, **119** (5), 1319-1338.

- Miranda, E. (2000) Inelastic displacement ratios for structures on firm sites, *J. Struct. Engineering*, ASCE, 126 (10), 1150-59.
- Miranda, E. and Bertero, V.V. (1994) Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design, *Earthquake Spectra*, 10 (2), 357-79.
- Nau, J.M. and Hall, W.F. (1984) Scaling methods for earthquake response spectra, *J. Struct. Engineering*, ASCE, 110 (7), 1533-1548.
- NEHRP (1997), "Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings", FEMA 222A/223A, May, Vol.1 (Provisions) and Vol. 2 (Commentary).
- ΟΑΣΠ "Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Έκδοση 2000)", Αθήνα, 1999, (ΦΕΚ Β'2184/20-12-99).
- Raptakis D., Anastasiadis A. and Pitilakis K. (1998) "Preliminary instrumental and theoretical approach of site effects in Thessaloniki", 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, CD-Rom Proceedings, Balkema.
- Rodriguez-Marek A., Bray J.D. and Abrahamson N. (1999) "Task 3: Characterization of Site Response General Site Categories", PEERC Report 1999/03, Berkeley, Febr. 1999.
- Σαμπατακάκης Ν., Τσιαμπάος Γ. και Κωνσταντινίδης Χ.Β. (1987) "Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της Καλαμάτας", Ειδική Έκδοση ΚΕΔΕ, Ν° 4, σελ. 245-254.
- Σέξτος Α., Μάκρα Κ. και Πιτλάκης Κ. (1999) "Αποτίμηση των σεισμών σχεδιασμού των ΝΕΑΚ, EC8 και UBC/97 μέσα από πραγματικές καταγραφές και αναλύσεις", 13^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Οκτ. 1999, Ρέθυμνο, Κρήτη.
- Σκαρλατούσης Ανδρέας (1999). Καθορισμός φασματικού θορύβου από διορθωμένες καταγραφές ισχυρής κίνησης του Ελληνικού χώρου. *Διπλωματική εργασία*, Τμήμα Γεωλογίας – Τομέας Γεωφυσικής, ΑΠΘ.
- Sunder S.S. and J.J. Connor (1982). A new procedure for processing strong-motion earthquake signals, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **72**, 643-661.
- Shoha-Taheri, J.(1980). A new assessment of errors from digitization and baseline corrections of strong-motion accelerograms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **70**, 293-303.
- Tolis, S.V. and Faccioli, E. (1999) Displacement Design Spectra, *J. of Earthquake Engineering*, **3** (1), 107-125.
- Trifunac, M.D. (1971). Zero-baseline correction of strong-motion accelerograms, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **61**, 1201-1211.
- Trifunac, M.D. (1972). A note on correction of strong-motion accelerograms for instrument response, *Bull. Seism. Soc. Am.*, **62**, 401-409.
- UBC (1997), Unified Building Code (USA) – Structural Engineering Design Provisions.
- Whittaker, A.S.; Constantinou, M; Tsopelas, P. (1999) Nonlinear procedures for seismic evaluation of buildings, *Struct. Design of Tall Buildings*, 8 (1), 1-13.