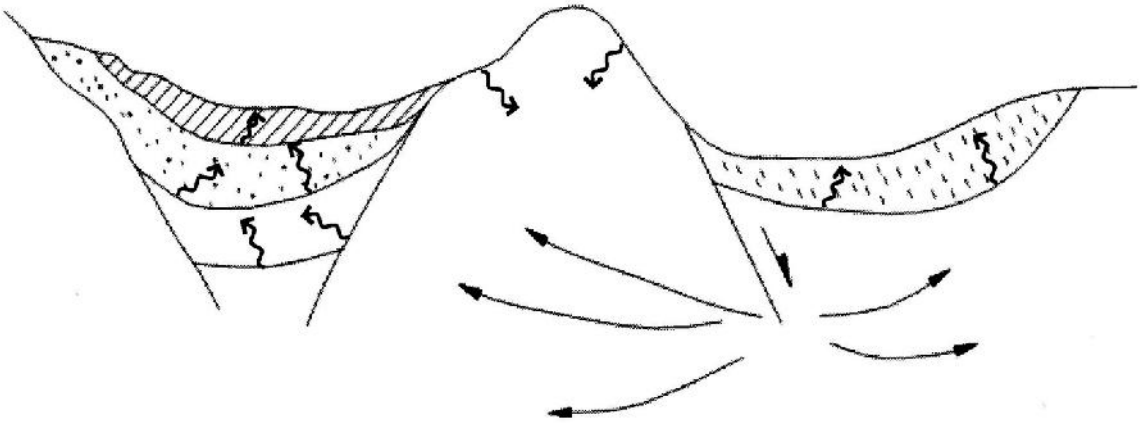
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

Διπλωματική Εργασία

Ευσταθία Μπαμπινιώτη

Επιβλέπων: Χάρης Μουζάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015

~ ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ~

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή και επιβλέποντα κ. Χάρη Μουζάκη για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας ήταν πάντα πρόθυμος να προσφέρει την επιστημονική του καθοδήγηση με ουσιαστικές παρατηρήσεις και συμβουλές πάνω στο πραγματευόμενο αντικείμενο.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ευαγγελία Κορρέ για την συμβολή της στην εκμάθηση των προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, για την ουσιαστική βοήθεια της στην απόκτηση δεδομένων όσον αφορά τις σεισμικές διεγέρσεις με παλμό κατευθυντικότητας καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές στα προβλήματα που προέκυψαν στην διάρκεια της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τους φίλους, τους συμφοιτητές μου και ιδιαίτερα την οικογένειά μου για τον έμπρακτο τρόπο που όλο αυτό το διάστημα προσέφεραν την στήριξή τους και την ενθάρρυνσή τους, με πολλή αγάπη και υπομονή.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τοπικές εδαφικές συνθήκες είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην διαμόρφωση την σεισμικής απόκρισης σε μία μελετώμενη θέση στην επιφάνεια της γης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία λοιπόν διερευνάται η επιρροή του εδάφους με σεισμικές διεγέρσεις με και χωρίς παλμό κατευθυντικότητας. Απώτερος σκοπός είναι η σύγκριση των μελετώμενων φασμάτων στην επιφάνεια του εδάφους με το προτεινόμενο φάσμα του Ευρωκώδικα 8 (EC8), ούτως ώστε να προβούμε στην αξιολόγησή του.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού συλλέχθηκαν καταγραφές από διάφορες βάσεις δεδομένων, από σταθμούς με γνωστές γεωτεχνικές συνθήκες. Οι περισσότεροι εκ των σταθμών κείτονταν σε θέσεις επιφανειακής εκδήλωσης του βραχώδους υποβάθρου και κάποιοι άλλοι σε θέσεις με λίγα μέτρα εδαφικής απόθεσης. Με αυτό το τρόπο κατέστη δυνατή η εξαγωγή των παραπάνω καταγραφών στο βραχώδες υπόβαθρο, ούτως ώστε να χρησιμοποιηθούν σαν διεγέρσεις για τις μονοδιάστατες ισοδύναμες γραμμικές αναλύσεις (πρόγραμμα SHAKE2000) στα εδαφικά προφίλ που δημιουργήθηκαν με σκοπό να αναπαραστήσουν τις διάφορες εδαφικές κατηγορίες που προδιαγράφονται στον EC8. Οι καταγραφές αυτές χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες με κριτήριο κατάταξης την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση τους ($PGA_{outcrop\ rock}$) στην επιφάνεια του βράχου ακολουθώντας τις σεισμικές ζώνες της Ελλάδας.

Για να ελεχθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των αναλύσεων, συλλέχθησαν και καταγραφές σε θέσεις εδαφικής κατηγορίας B έως D, η διάκριση των οποίων στις κατηγορίες του EC8 έγινε με κριτήριο την $V_{s,30}$. Οι καταγραφές ανά εδαφική κατηγορία χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες επιταχύνσεων βάσει της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης τους (PGA).

Τα εξαγόμενα φάσματα στην επιφάνεια τόσο των αναλύσεων όσο και των φυσικών καταγραφών μελετήθηκαν ξεχωριστά για την κάθε ομάδα, και χρησιμοποιήθηκαν για την σύγκριση της μορφής τους με τα αντίστοιχα φασμάτα του κανονισμού. Ο υπολογισμός του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης S, προέκυψε από τα εξαγόμενα αποτελέσματα των πραγματοποιηθέντων αναλύσεων.

Τέλος πραγματοποιήθηκε προσεγγιστικός έλεγχος με σκοπό την διερεύνηση για το αν το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού του κανονισμού οδηγεί σε ασφαλή σχεδιασμό για τις καταγραφές που σημείωναν μεγάλες υπερβάσεις από το σχήμα του EC8.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ABSTRACT

Site effects is one of the major factors that influence the seismic responce of a surface's location. In this thesis the influence of the site effects is investigated with pulselike and no-pulselike ground motions. The aim is to compare the relevant responce spectra with those proposed by Eurocode 8 (EC8), in orded to evaluate them.

To achieve this goal, we collected recordings at various locations with known geotechnical conditions from various databases. Most of them were recorded on rock outcrop locations and some others on shallow soil layers. In this way it was possible to estimate the bedrock motions of these recordings and used them as input motions for the one-dimensional equivalent linear analyzes (SHAKE 2000 software) in soil profiles which were created in order to represent the soil classes specified in EC8. These recordings were divided into three groups according to their peak ground acceleration on the surface of the rock (PGAoutcrop rock), following the seismic zones of Greece.

To check the reliability of the results of the one-dimensional analyses, recordings corresponding to soil classes B to D were collected too. These recordings were classified in the relevant soil category of EC8 taking into consideration the value of $V_{s,30}$. The total of the collected recordings within a soil class were divided into three groups according to their peak ground acceleration (PGA).

The surface spectra of both the physical recordings and the predicted analytically, were studied separately for each acceleration group and were used to evaluate the shape of the relevant response spectra of EC8. The computation of the soil factor S derived from the results of the analyses.

Moreover, an approximate control process was adopted in order to investigate whether the inelastic response spectra leads to safe design for specific recordings which maked great excesses of the shape of the relevant response spectra of EC8.

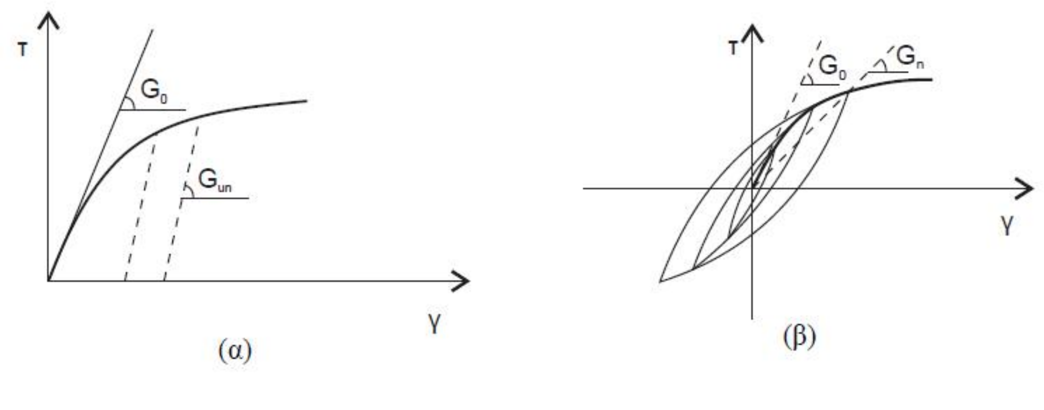
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1.1 Εισαγωγή

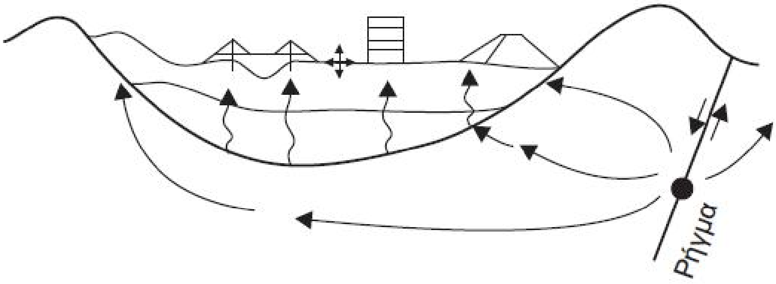
Ο σεισμός είναι ένα φαινόμενο που απασχολεί αμέσα το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού καθώς η επίδραση του στην ασφάλεια και ευστάθεια των διάφορων δομημάτων και κατασκευών είναι πολύ έντονη. Η μελέτη του φαινομένου του σεισμού πραγματοποιείται κυρίως από τους κλάδους της Τεχνικής Σεισμολογίας και της Εδαφοδυναμικής, οι οποίοι μέσω της μελέτης της σεισμικής απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών, στοχεύουν αφενός στην εκτίμηση των παραμέτρων σχεδιασμού των κατασκευών, και αφετέρου στην εκτίμηση της διατμητικής συμπεριφοράς του εδάφους σε ισχυρές σεισμικές φορτίσεις.

Το σεισμικό πρόβλημα δημιουργεί την ιδιαιτερότητα ότι εκτός από τα στατικά φορτία, στις δρώσες δυνάμεις πρέπει να ληφθούν υπόψιν και οι αδρανειακές καθώς και ο δυναμικός χαρακτήρας των επιβαλλόμενων τάσεων και παραμορφώσεων. Το τελευταίο συνιστά τον ανακυκλικό χαρακτήρα της φόρτισης που επιβάλλεται μέσα από τον σεισμικό κραδασμό, κατά τον οποίο δημιουργούνται επαναλαμβανόμενοι κύκλοι φόρτισης- αποφόρτισης και επαναφόρτισης με αλλαγή προσήμου, σε αντίθεση με την φόρτιση που επιβάλλουν τα στατικά φορτία η οποία είναι σταθερή και μόνιμη (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 : (α) Στατικές και (β) ανακυκλικές φορτίσεις εδαφών (Πηγή: Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Πιτιλάκης)

Η ανακυκλική ιδιότητα της σεισμικής κίνησης είναι ιδιαίτερα σημαντική ειδικά σε υλικά με υστερητική συμπεριφορά όπως το έδαφος, επειδή έχει έντονη επιρροή σε φαινόμενα όπως η απομείωση του μέτρου διάτμησης, η αύξηση της απόσβεσης, η αύξηση των υδατικών υπερπιέσεων καθώς και σε εδαφικής συμπύκνωσης, ρευστοποίησης και κατολισθήσεων.



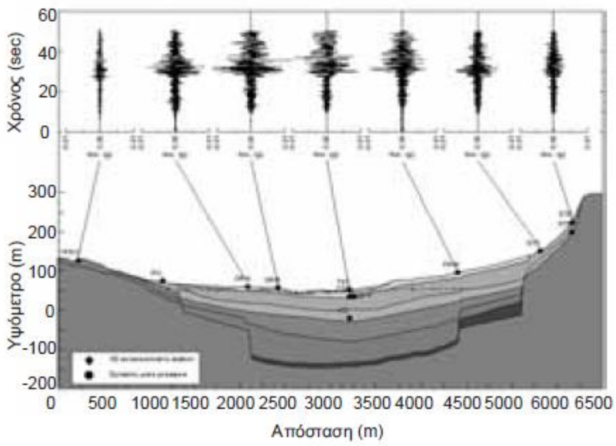
Σχήμα 1.2 : Σχηματική διάδοση της σεισμικής ενέργειας με τη μορφή σεισμικών ελαστικών κυμάτων από την πηγή (ρήγμα) έως την υπό μελέτη θέση (Πηγή: Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Πιτιλάκης)

Κατά την διάρκεια του σεισμού απελευθερώνεται ένα ποσό ενέργειας που διαχέεται στη γη με την μορφή ενός συνόλου σεισμικών κυμάτων τα οποία ταξιδεύουν προς την επιφάνεια υποκείμενα σε αλλεπάλληλες διαθλάσεις και ανακλάσεις στις διεπιφάνειες που συναντούν, όπου τελικώς καταγράφονται σαν σεισμικές δονήσεις από τα καταγραφικά όργανα που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης και που ονομάζονται επιταχυνσιογράφοι. Το σύνολο των σεισμικών κυμάτων αποτελείται από τα κύματα χώρου και από τα επιφανειακά κύματα. Τα κύματα χώρου διακρίνονται στα διαμήκη, που ονομάζονται κύματα P (Primary) διότι καταγράφονται πρώτα στις χρονοϊστορίες δεδομένου ότι διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα, και στα κύματα διάτμησης ή αλλιώς εγκάρσια κύματα, που ονομάζονται και κύματα S (Secondary) διότι καταγράφονται μετά τα κύματα P αφού διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα. Τα κύματα P διαδίδονται σε στερεά και ρευστά και επιβάλλουν παραμορφώσεις κατά την διεύθυνση διάδοσης τους. Τα κύματα S διαδίδονται μόνο στα στερεά σώματα καθώς επιβάλλουν διατμητικές παραμορφώσεις και επομένως απαιτείται το μέσο διάδοσης να διαθέτει αντοχή σε διάτμηση, ενώ η κίνηση των σωματιδίων του εδάφους που προκαλούν είναι κάθετη στην διεύθυνση της διάδοσης που θεωρείται ότι είναι κατακόρυφη. Η ταχύτητα με την οποία διαδίδονται τα κύματα χώρου εξαρτάται από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών και εξαιτίας της αυξημένης αντοχής των γεωλογικών υλικών σε συμπίεση σε σύγκριση με την αντοχή σε διάτμηση, η ταχύτητα των κυμάτων P είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα των κυμάτων S. Τα επιφανειακά κύματα δημιουργούνται στις διεπιφάνειες των εδαφικών στρώσεων και ιδιαίτερα στην επιφάνεια της γης, ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των κυμάτων χώρου. Οι σπουδαιότεροι τύποι επιφανειακών κυμάτων είναι τα κύματα Rayleigh και τα κύματα Love.

Η σειμική απόκριση των εδαφικών σχηματισμών, δηλαδή η εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλεται η σεσμική δόνηση (ένταση, πλάτος, συχνοτικό περιεχόμενο και διάρκεια) από το βραχώδες υπόβαθρο στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι είναι μείζων θέμα για τα έργα πολιτικού μηχανικού, και αποτελεί ουσιαστικά και το αντικείμενο διερεύνησης της παρούσας εργασίας. Η εδαφική κίνηση σε οποιοδήποτε σημείο του εδάφους κατά την διάρκεια ενός σεισμικού γεγονότος επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- ❖ τον μηχανισμό διάρρηξης του ρήγματος, δηλαδή τα χαρακτηριστικά του ίδιου του σεισμού καθώς και του σεισμογόνου χώρου.
- ❖ τη διαδρομή των σεισμικών κυμάτων, δηλαδή από την απόσταση από την πηγή, τον προσανατολισμό της περιοχής ως προς το ρήγμα, καθώς και από θέματα μη ισότροπης μετάδοσης της σεισμικής ενέργειας στο χώρο.
- ❖ τις τοπικές εδαφικές συνθήκες, δηλαδή το είδος και την γεωμετρία των εδαφικών στρωμάτων, τις δυναμικές και μηχανικές ιδιότητες τους καθώς και την τοπική γεωλογία και τοπογραφία.

Το έδαφος διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια καθώς επιδρά ως ένα κυματικό ''φίλτρο", το οποίο ενισχύει τις συνιστώσες του σεισμικού κύματος με συχνότητες παραπλήσιες με τις δικές του ιδιοσυχνότητες (φαινόμενο συντονισμού) ή απομειώνει-αποσβένει τις διαφορετικές.



Σχήμα 1.3 : Καταγραφές από τον σεισμό της Κοζάνης (13/05/1996). Ενδεικτική η σημαντική διαφοροποίηση του σεισμικού κραδασμού στονβράχο και στις αλλουβιακές αποθέσεις στο εσωτερικό της κοιλάδας. (Πηγή: Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Πιτιλάκης)

Ένας ακόμα παράγοντας που φάινεται να επιδρά στην εδαφική κίνηση είναι το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Στις περιπτώσεις που η μελετώμενη θέση είναι πολύ κοντά στην πηγή διάρρηξης ή αλλιώς στο ''εγγύς πεδίο'', οι παρατηρήσεις που γίνονται τόσο στις καταγραφές όσο και στις αστοχίες που έχουν προκληθεί σε διάφορες κατασκευές, φαίνεται ότι διαφέρουν σημαντικά από αντίστοιχες που θα σημειωνόντουσαν σε θέσεις μακριά από το σεισμογόνο ρήγμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην κατεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης, η οποία όταν είναι κάθετη προς τη ρηξιγενή ζώνη, περιέχει πιθανότατα έναν παλμό μορφής πλήγματος, όπως θα δούμε λίγο πιο αναλυτικά στο Παράγραφο 1.4.

1.2 Δυναμική απόκριση εδάφους

1.2.1 Δυναμική απόκριση εδαφικού στοιχείου

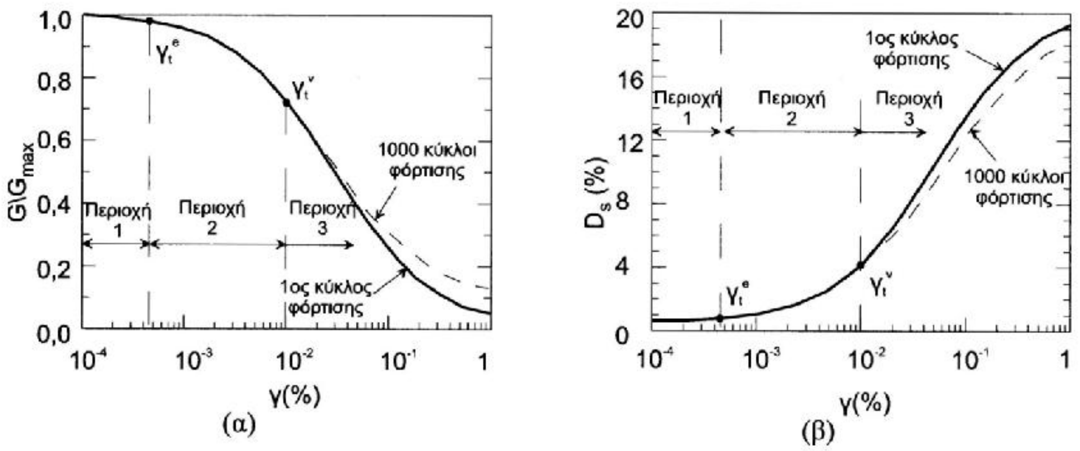
Η συμπεριφορά του εδάφους εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το επίπεδο των διατμητικών παραμορφώσεων που επιβάλλονται, γι' αυτό το λόγο η διατμητική καταπόνηση θεωρείται πολύ σημαντική για το έδαφος. Κατά την διάρκεια της ισχυρής εδαφικής κίνησης το έδαφος υποβάλλεται σε διατμητικές παραμορφώσεις μεταβαλλόμενου πλάτους, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την μεταβολή της δυστμησίας του εδάφους και των παραμέτρων που την περιγράφουν, όπως το μέτρο διάτμησης G, το ποσοστό της απόσβεσης D (%) και το δείκτη Poison ν. Στα κορεσμένα εδάφη η αύξηση της διατμητικής παραμόρφωσης, οδηγεί σε μείωση της δυστμησίας και ταυτόχρονα σε αύξηση της απόσβεσης. Στα μερικώς κορεσμένα ή στα ξηρά εδάφη μπορεί να παρατηρηθεί και αύξηση της δυστμησίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυναμικές ιδιότητες σε σχέση με τις επιβαλλόμενες διατμητικές παραμορφώσεις, δηλαδή η ανελαστική συμπεριφορά του εδάφους.

Στις περιπτώσεις όπου οι επιβαλλόμενες σεισμικές ταλαντώσεις οδηγούν σε πολύ μικρά αναπτυσσόμενα πλάτη παραμόρφωσης ($\gamma<10^{-5}\div10^{-6}$), το έδαφος συμπεριφέρεται ως ''ημελαστικό'' γραμμικό υλικό. Γι' αυτά τα πλάτη παραμόρφωσης η συμπεριφορά του εδάφους είναι ανεξάρτητη από τη συχνότητα και τον αριθμό των κύκλων κι έχει σταθερή υστερητική απόσβεση, η τιμή της οποίας εξαρτάται από τη φύση του υλικού (π.χ. συνοχή, σχήμα κόκκων κτλ) και κυμαίνεται από $D_o=0{,}02\div0{,}04$. Σ' αυτή την περίπτωση ο εδαφικός σχηματισμός χαρακτηρίζεται από το μέγιστο μέτρο διατμήσεως G_0 ή G_{max}, το μέτρο διάτμησης δηλαδή που ουσιατικά συνδέεται με την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων Vs ($G_o=\rho\cdot V_s^2$).

Στις περιπτώσεις όπου οι επιβαλλόμενες σεισμικές ταλαντώσεις οδηγούν σε μεσσαία αναπτυσσόμενα πλάτη παραμόρφωσης ($10^{-5}<\gamma<10^{-3}$), το έδαφος παρουσιάζει σημαντική υστερητική συμπεριφορά, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του μέτρου διάτμησης G και την αύξηση της απόσβεσης D καθώς οι διατμητικές παραμορφώσεις μεγαλώνουν. Το μέτρο διάτμησης G και το ποσοστό απόσβεσης D εξαρτώνται λοιπόν από την διατμητική παραμόρφωση γ και πειραματικά έχουν δημιουργηθεί καμπύλες για τα διάφορα εδαφικά υλικά της μορφής G/Gmax-γ και D(%)-γ. Η συμπεριφορά του εδάφους εξακολουθεί να είναι ανεξάρτητη της συχνότητας, αλλά ο αριθμός των κύκλων φόρτισης μπορεί να έχει έντονη επίδραση ιδιαίτερα στις μαλακές αργίλους και στις κορεσμένες άμμους. Ειδικά για τα πλάτη παραμόρφωσης $10^{-4}<\gamma<10^{-5}$, λόγω της πιο έντονης ανελαστικής συμπεριφοράς, στα πλήρως κορεσμένα κοκκώδη υλικά είναι δυνατό να ανάπτυχθούν υδατικές υπερπιέσεις με σοβαρή πιθανότητα να οδηγήσουν σε ρευστοποίηση του εδάφους. Τα μη κορεσμένα υλικά που υποβάλλονται σ' αυτής της τάξης μεγέθους τις παραμορφώσεις, συμπυκνώνονται δημιουργώντας προβλήματα καθιζήσεων. Πάντως, ενώ εν γένει τα αργιλικά εδάφη είναι λιγότερο ευαίσθητα στη συσσώρευση των υδατικών πιέσεων, στο διάστημα $10^{-4}<\gamma<10^{-3}$, συνεκτικά και μη συνεκτικά υλικά ενδέχεται προοδευτικά να χάσουν μέχρι και τα 3/4 της αρχικής τους δυστμησίας.

Στις περιπτώσεις που αναπτύσσονται πολύ μεγάλα πλάτη παραμορφώσεων $\gamma>10^{-3}$, δεσπόζει πλέον η μη γραμμική - ανελαστική συμπεριφορά για το έδαφος. Για αυτά τα πλάτη ο αριθμός των κύκλων φόρτισης μπορεί να έχει πολύ μεγάλη σημασία καθώς συμβάλλει καθοριστικά στην μείωση της αρχικής δυστμησίας και στην συσσώρευση υδατικών πιέσεων πόρων. Η συχνότητα της επιβαλλόμενης φόρτισης σε κάποιες περιπτώσεις αρχίζει να έχει σημασία, κυρίως για τις μαλακές αργίλους. Οι μονοδιάστατες μη γραμμικές σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων (''Ramner-Osgood'', ''Iwan", κτλ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της εδαφικής συμπεριφοράς σε αυτή την περιοχή των διατμητικών παραμορφώσεων.

Το Σχήμα 1.4 που ακολουθεί συνοψίζεται η συμπεριφορά του εδάφους συναρτήσει της διατμητικής παραμόρφωσης, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η περιοχή 1 αντιστοιχεί στις πολύ μικρές παραμορφώσεις όπου το έδαφος συμπεριφέρεται γραμμικά ελαστικά. Ακολουθεί η περιοχή 2 όπου η αύξηση των διατμητικών παραμορφώσεων οδηγεί το έδαφος σε μη γραμμική ελαστική συμπεριφορά, και τέλος η περιοχή 3 περιγράφει την μη γραμμική ανελαστική συμπεριφορά του εδάφους στην περιοχή των πολύ μεγάλων παραμορφώσεων.



Σχήμα 1.4 : Τυπικές καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου μέτρου διάτμησης, G/Gmax και της αντίστοιχης απόσβεσης D, με την διατμητική παραμόρφωση γ για ξηρά και μέσης πυκνότητας κοκκώδη εδάφη. (Menq, 2003)

1.2.2 Δυναμική απόκριση εδαφικού σχηματισμού

Στην προηγούμενη παράγραφο αναφερθήκαμε στη δυναμική συμπεριφορά του εδαφικού στοιχείου. Οι σεισμικοί κραδασμοί είναι φαινόμενα μεγάλης κλίμακας τα οποία απαιτούν η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του εδάφους να γίνεται σε επίπεδο εδαφικού σχηματισμού. Έχουμε ήδη αναφέρει ότι το έδαφος λειτουργεί σαν ''φίλτρο'' το οποίο συντελεί στην ενίσχυση των συχνοτήτων που είναι παραπλήσιες με τις δικές του ή και σε κάποιες περιπτώσεις στην απομείωσή τους. Έτσι λοιπόν το φαινόμενο του συντονισμού διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο για την εδαφική ενίσχυση που θα σημειωθεί. Ο συντονισμός εξαρτάται από τη συχνότητα και σχετίζεται με γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η πυκνότητα, οι ταχύτητες των P κυμάτων και των S κυμάτων και η πυκνότητα. Το φαινόμενο αυτό παρότι είναι σχετικά απλό στην περίπτωση μίας απλής μονοδιάστατης δομής, αφού πραγματοποιείται κατακόρυφος συντονισμός των κυμάτων χώρου, γίνεται πολύ πιο σύνθετο όταν πρόκειται για σύνθετες γεωλογικές δομές σε δύο και τρεις διαστάσεις. Στις τελευταίες οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι εξαρτώνται επίσης και από την γεωμετρία της δομής.

Στις περιπτώσεις θέσεων όπου το έδαφος αποτελείται πρακτικά από μία εδαφική στρώση υπερκείμενη του βραχώδους υποβάθρου και η συμπεριφορά του εδάφους μπορεί να θεωρηθεί γραμμική ελαστική με σταθερή εσωτερική απόσβεση, υπάρχει η δυνατότητα εύκολου υπολογισμού της θεμελειώδους ιδιοπεριόδου του εδάφους T_o. Ο υπολογισμός αυτός προϋποθέτει την γνώση της ταχύτητας των διατμητικών κυμάτων V_s, το πάχος H και την απόσβεση του εδάφους καθώς και την ταχύτητα V_s του βραχώδους υποβάθρου και δίνεται από την σχέση που ακολουθεί:

$$T_o = \frac{4 \cdot H}{V_s} \quad \text{(Σχέση 1.1)}$$

Στην περίπτωση που ο εδαφικός σχηματισμός αποτελείται από πολλά στρώματα είναι δυνατή η ικανοποιητική προσέγγιση μόνο της θεμελειώδους ιδιοπεριόδου του σχηματισμού, ο υπολογισμός της οποίας βασίζεται στην σχέση 1.2 που ακολουθεί, όπου h_i τα πάχη των n στρώσεων με ταχύτητες V_i.

$$T_o = 4 \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{h_i}{V_i} \quad \text{(Σχέση 1.2)}$$

Η θεμελιώδης συχνότητα συντονισμού f_o ($f_o=1/T_o$) μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0.2Hz (για αποθέσεις πολύ μεγάλου πάχους ή για υπερβολικά μαλακά εδαφικά υλικά) έως 10Hz ή και παραπάνω (για αποθέσεις πολύ μικρού πάχους ή για αποσαθρωμένους βράχους).Κατά κύριο λόγο στη σεισμική απόκριση μίας εδαφικής στρώσης συμμετέχει η πρώτη ιδιομορφή της, αυτή που αντιστοιχεί δηλαδή στην θεμελειώδη ιδιοσυχνότητα της. Η σχέση μεταξύ της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων V_s και του μέτρου διάτμησης G δίνεται από την σχέση 1.3, όπου ρ η πυκνότητα του υλικού:

$$Vs = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{(Σχέση 1.3)}$$

Εφόσον για μεσαία και μεγάλα πλάτη διατμητικών παραμορφώσεων η συμπεριφορά της εδαφικής στρώσης είναι ανελαστική, όπως εξηγήθηκε προηγουμένως προκύπτει ότι το μέτρο διάτμησης G και η απόσβεση D, και κατ' επέκταση βάσει των παραπάνω σχέσεων, η ταχύτητα V_S και η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος της στρώσης μεταβάλλονται συναρτήσει των επιβαλλομένων διατμητικών παραμορφώσεων γ στην ίδια την στρώση. Η εξάρτηση των μεγεθών αυτών από τη διατμητική παραμόρφωση περιγράφεται μέσω των καμπυλών G–γ και D(%)–γ, οι οποίες προκύπτουν από εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές δειγμάτων του υλικού.

1.3 Μέθοδοι ανάλυσης της εδαφικής απόκρισης

Έχει ήδη αναφερθεί ότι κατά τον σεισμό εκλείεται ένα ποσό ενέργειας το οποίο διαχέεται προς την επιφάνεια με την μορφή κυρίως κυμάτων χώρου. Τα κύματα αυτά κατά την διάδοσή τους, λόγω ότι έρχονται σε επαφή με τις διεπιφάνειες των γεωλογικών σχηματισμών, υφίστανται συνεχείς ανακλάσεις και διαθλάσεις. Οι εδαφικοί σχηματισμοί αποτελούνται από στρώσεις υλικών που ως επί των πλείστων χαρακτηρίζονται από σταδιακή βελτίωση των μηχανικών και δυναμικών τους χαρακτηριστικών με την αύξηση του βάθους, λόγω του φαινομένου του εγκιβωτισμού. Αυτό συνεπάγεται ότι οι βαθύτερες εδαφικές στρώσεις διαθέτουν μεγαλύτερη δυστμησία από τις πιο επιφανειακές και έτσι από την σχέση 1.3 γίνεται εύκολα κατανοητό ότι η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων αυξάνονται με το βάθος.

Όπως είναι γνωστό από την κυματική θεωρία κατά την πρόσπτωση ενός κύματος σε μία διαχωριστική επιφάνεια, στην περίπτωση που η ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο νέο υλικό είναι μικρότερη από αυτή που είχε στο προηγούμενο υλικό, η γωνία διάθλασης είναι μικρότερη από την γωνία πρόσπτωσης. Έτσι λοιπόν οι συνεχείς διαθλάσεις που θα υφίσταται το σεισμικό κύμα καθώς θα έρχεται σε επαφή με τις διεπιφάνειες των υλικών σε συνδυασμό με την θεώρηση της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους, θα οδηγεί σε ολοένα και μικρότερη γωνία διάθλασης και επομένως η διεύθυνση διάδοσης του κύματος θα τείνει να γίνει όλο και πιο κατακόρυφη.

Ειδικά στην περίπτωση όπου γίνεται θεώρηση οριζόντιων εδαφικών στρωμάτων, η κυματική θεωρία έτσι όπως περιγράφηκε παραπάνω, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κοντά στην επιφάνεια της γης η διέυθυνση διάδοσης των κυμάτων καταλήγει να είναι κατακόρυφη. Το τελευταίο μας δίνει την δυνατότητα να κάνουμε την παραδοχή μονοδιάστατης ανάλυσης για την μελέτη της απόκρισης των εδαφικών σχηματισμών οριζόντιας στρωματογραφίας, όπου η κατακόρυφη διάδοση των διατμητικών κυμάτων S είναι αυτή που συμβάλλει κυρίως στην απόκριση. Η μονοδιάστατη ανάλυση της απόκρισης του εδάφους μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με ισοδύναμη γραμμική ανάλυση είτε με μη γραμμική ανάλυση.

Στην ισοδύναμη γραμμική ανάλυση χρησιμοποιείται μία επαναληπτική διαδικασία για να προσαρμόσει βήμα προς βήμα τις εδαφικές παραμέτρους, δυσκαμψία και απόσβεση, στο επίπεδο διατμητικής παραμόρφωσης που υφίσταται κάθε εδαφική στρώση, κατά την διάρκεια μιας συγκεκριμένης σεισμικής διέγερσης. Η καλή εφαρμογή της μεθόδου αυτής βασίζεται στην ορθή επιλογή των καμπυλών G-γ και D(%)-γ. Οι καμπύλες αυτές, οι οποίες περιγράφουν την δυναμική συμπεριφορά του εδάφους, προκύπτουν από πειραματικές δοκιμές για τα διάφορα εδάφη. Στην βιβλιογραφία προτείνονται μέσες καμπύλες για τα διάφορα υλικά όπως την άργιλο για διάφορες τιμές του δείκτη πλαστιμότητας PI, την άμμο για μεταβαλλόμενες τιμές της μέσης ενεργού τάσης, κλπ. Το βασικό πλεονέκτημα της ισοδύναμης-γραμμικής ολοκλήρωσης έγκειται στην απλότητα των υπολογισμών, οι οποίοι δεν απαιτούν πολύπλοκο λογισμικό και ιδιαίτερη εξοικείωση του χρήστη με υπολογιστικούς κώδικες για μη-γραμμική ανάλυση και ταυτόχρονα οδηγεί σε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα υπό την προϋπόθεση επιτυχούς προσομοίωσης των δυναμικών ιδιοτήτων του εδάφους, δηλαδή σωστή επιλογή καμπυλών απομείωσης. Από την άλλη πλευρά, η μέθοδος αυτή παραβιάζει ένα θεμελειώδη νόμο της Μηχανικής, αφού εφαρμόζει επαλληλία των δυναμικών φορτίσεων, δηλαδή θεωρεί ότι κάθε φόρτιση συμμετέχει εξίσου στην απομείωση του G και την αύξηση του D, παρόλο που η μηχανική συμπεριφορά του εδάφους σε ανακυκλική φόρτιση είναι μη γραμμική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να υποεκτιμάται η συμβολή των υψηλόσυχνων συνιστωσών της δόνησης και να υπερεκτιμάται η συμβολή των χαμηλόσυχνων συνιστωσών. Οι γνωστότεροι κώδικες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης είναι το SHAKE (Schnabel et al.,1972) και το EERA (Bardet et al.,2000). Στο Κεφάλαιο 4 δίνονται αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικά με την μέθοδο αυτή, καθώς περιγράφεται η λειτουργία του προγράμματος SHAKE που χρησιμοποιείται στις αναλύσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στη μη γραμμική ανάλυση ισχύει και πάλι η παραδοχή της μονοδιάστατης κατά την κατακόρυφη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων με μόνη διαφορά ότι λαμβάνεται πλέον υπόψη η ανελαστική συμπεριφορά του εδάφους, δηλαδή η μη γραμμική σχέση μεταξύ τάσεων και παραμορφώσεων. Η επίλυση κατά την μέθοδο αυτή πραγματοποιείται με διαδοχικές ολοκληρώσεις των εξισώσεων κίνησης σε μικρά χρονικά βήματα για δεδομένες αρχικές συνθήκες και για δεδομένη χρονική μεταβολή της διέγερσης. Για να περιγραφεί η μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους σε ανακυκλική φόρτιση είναι απαραίτητο να ορισθεί η σχέση διατμητικών τάσεων-παραμορφώσεων (τ-γ) που διέπει την δυναμική απόκριση των διάφορων εδαφικών στρώσεων, δηλαδή να ορισθεί το υστερητικό προσομοιώμα. Στη μη γραμμική ανάλυση χρησιμοποιούνται αριθμητικές μέθοδοι όπου ο εδαφικός σχηματισμός προσομοιώνεται είτε με ένα σύστημα συγκεντρωμένων μαζών και ιξωδο-ελαστικών ελατηρίων ή με μία μέθοδο διακριτοποίησης του εδάφους ή με πεπερασμένα στοιχεία. Το βασικό μειονέκτημα της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης, η επαλληλία των φορτίσεων, δεν αντιμετωπίζεται στην περίπτωση της μη γραμμικής ανάλυσης και έτσι θεωρητικά επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια. Παρόλ' αυτά στην πράξη η μέθοδος αυτή αντιμετωπίζει αρκετούς περιορισμούς αφού αφενός πρέπει να βεβαιώνεται ότι υπάρχει το κατάλληλο υστερητικό προσομοίωμα για την περιγραφή του υπό μελέτη εδάφους και αφετέρου η προσομοίωση της απόσβεσης της ενέργειας σε πολύ μικρές παραμορφώσεις χρήζει ιδιαίτερης προσοχής αφού η απόσβεση αυτή είναι συχνοτικά εξαρτημένη και μπορεί να πάρει παράλογα υψηλές τιμές αν δεν προσομοιωθεί σωστά. Η μέθοδος της μη γραμμικής ανάλυσης είναι η μόνη που ενδείκνυται σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών σεισμικών δονήσεων ή σε πολύ μαλακά εδάφη, όπου η συμπεριφορά του εδάφους αναμένεται να είναι έντονα μη γραμμική και ο κίνδυνος αστοχίας του αντίστοιχα μεγάλος (π.χ. ρευστοποίηση).

Η μονοδιάστατη ανάλυση αποτελεί καλή προσέγγιση για την προσομοίωση επίπεδης ή ελαφρώς κεκλιμένης εδαφικής θέσης, η στρωματογραφία της οποίας όμως είναι οριζόντια. Στις περιπτώσεις όμως λεκανών, πρανών, τοπογραφικών εξάρσεων και βυθίσεων όπου δηλαδή το ανάγλυφο είναι πολύ έντονο, προκαλούνται ανακλάσεις και διαθλάσεις των σεισμικών κυμάτων στις πλευρικές ασυνέχειες και ταυτόχρονα η επίδραση των επιφανειακών κυμάτων γίνεται πιο σημαντική και δεν γίνεται να αγνοηθεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις λοιπόν η χρήση της μονοδιάστατης ανάλυσης δεν αποτελεί αξιόπιστη επιλογή για την μελέτη της εδαφικής απόκρισης, αλλά αντίθετα η ανάλυση πρέπει να γίνει αποκλειστικά σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

1.4 Εγγύς πεδίο & Κατευθυντικότητα

Όπως αναφέραμε οι εδαφικές κινήσεις που σημειώνονται στην περιοχή που βρίσκεται κόντα σ' ένα ρήγμα διαφέρουν σημαντικά από αυτές που σημειώνονται μακρία από αυτό. Η περιοχή γύρω από το ρήγμα είναι επίσης κι η περιοχή στην οποία συγκεντρώνονται συνήθως οι περισσότερες βλάβες κατά την διάρκεια ενός σεισμού. Η περιοχή αυτή, της οποίας οι διαστάσεις είναι ανάλογες της επιφάνειας ρηγμάτωσης, ονομάζεται εγγύς ή κοντινό πεδίο, συνήθως εκτείνεται σε απόσταση μικρότερη των 20-60km από την περιοχή του ρήγματος (10-15km κατά Rodriguez-Marek, 2000) και χαρακτηρίζεται από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας. Τα στοιχεία της εδαφικής κίνησης στην περιοχή αυτή καθορίζονται από το μηχανισμό διάρρηξης, την κατεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης ως προς την εκάστοτε θέση και τις πιθανές μόνιμες εδαφικές μετατοπίσεις που οφείλονται στην ολίσθηση του ρήγματος.

Στην περιοχή του κοντινού πεδίου καθώς η ρηγμάτωση κατευθύνεται από το επίκεντρο του σεισμού προς μία θέση, παρουσιάζεται ένα φαινόμενο αντίστοιχο του φαινομένου Doppler. Η διάρρηξη γίνεται σταδιακά σε επιμέρους περιοχές του ρήγματος, και κατά την διάρκεια κάθε διάρρηξης παράγεται ένας παλμός ταχύτητας ο οποίος διαδίδεται ως κύμα S με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας διάρρηξης.

Στην περίπτωση όπου η διάδοση της διάρρηξης και η κατεύθυνση ολίσθησης του ρήγματος γίνονται ως προς την ίδια περιοχή, δημιουργούνται οι συνθήκες για την εμφάνιση του φαινομένου της πρόσω κατευθυντικότητας (forward directivity). Επειδή η ταχύτητα διάδοσης του κύματος, δηλαδή του παλμού που δημιουργείται σε κάθε επιμέρους διάρρηξη, και η ταχύτητα διάδοσης της διάρρηξης είναι σχεδόν παρόμοιες, στην περίπτωση που η διάρρηξη πλησιάζει σε μία θέση οι παλμοί των επιμέρους διαρρήξεων προστίθενται, προκαλώντας ενισχυτική συμβολή η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ισχυρού παλμού κίνησης μεγάλου εύρους και μικρής διάρκειας, ο οποίος σημειώνεται στην αρχή της καταγραφής (Somerville et al, 1997). Οι συνθήκες της πρόσω κατευθυντικότητας δημιουργούνται άμεσα στην περίπτωση μηχανισμού διάρρηξης οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip), όπου τα μέτωπα της διάρρηξης από κάθε διαδοχική ζώνη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος, συμπιέζονται κατά την διεύθυνση διάδοσης της διάρρηξης μακρία από το υπόκεντρο και προς μία περιοχή, με αποτέλεσμα την συσσώρευση ενέργειας κοντά στο μέτωπο διάρρηξης που δημιουργεί τον ισχυρό παλμό που προαναφέρθηκε. Παρόλ' αυτά το φαινόμενο της πρόσω κατευθυντικότητας δεν δημιουργείται κατ' ανάγκη σε όλες τις περιοχές που βρίσκονται κόντα σε ένα ρήγμα κτά την διάρκεια ενός σεισμικού συμβάντος.

Στην περίπτωση που η διάδοση της διάρρηξης γίνεται σε αντίθετη κατεύθυνση από την εξεταζόμενη θέση, τότε οι παλμοί ακολουθούν ο ένας τον άλλο με αποτέλεσμα να έχουμε μία σειρά παλμών μικρότερου εύρους και συνολικά μεγάλης διάρκειας. Οι συνθήκες αυτές χαρακτηρίζουν το φαινόμενο της όπισθεν κατευθυντικότητας (backward directivity).

Ο ισχυρός αυτός παλμός που δημιουργείται λόγω του φαινομένου της κατευθυντικότητας, συναντάται στις οριζόντιες συνιστώσες και γίνεται πιο ευδιάκριτος σε εκείνη την συνιστώσα που είναι κάθετη προς την ρηξιγενή ζώνη (strike-normal), με αποτέλεσμα η συγκεκριμένη συνιστώσα να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από την οριζόντια συνιστώσα που κείτεται παράλληλα στην διεύθυνση της ρηξιγενούς ζώνης (strike-parallel), ειδικά στις περιόδους τις μεγαλύτερες από περίπου 0.5sec (Somerville et al, 1997). Οι παλμοί της κατευθυντικότητας είναι πιο εμφανείς στις χρονοϊστορίες της ταχύτητας και της μετακίνησης. Οι απατούμενες συνθήκες για την δημιουργία πρόσω κατευθυντικότητας συναντώνται τόσο τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης (strike-slip) όσο και τα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης (dip-slip), και για τις δύο περιπτώσεις κανονικού και ανάστροφου ρήγματος (Somerville et al,1997). Τα ρήγματα οριζόντιας ολίσθησης αναμένεται να συγκεντρώσουν τα αποτελέσματα της πρόσω κατευθυντικότητας μακριά από το υπόκεντρο, ενώ αντίθετα τα ρήγματα κατακόρυφης βύθισης συγκεντρώνουν τα αποτελέσματα επίδρασης της κατευθυντικότητας σε μία πολύ μικρή επιφάνεια του εδάφους πάνω από το υπόκεντρο.

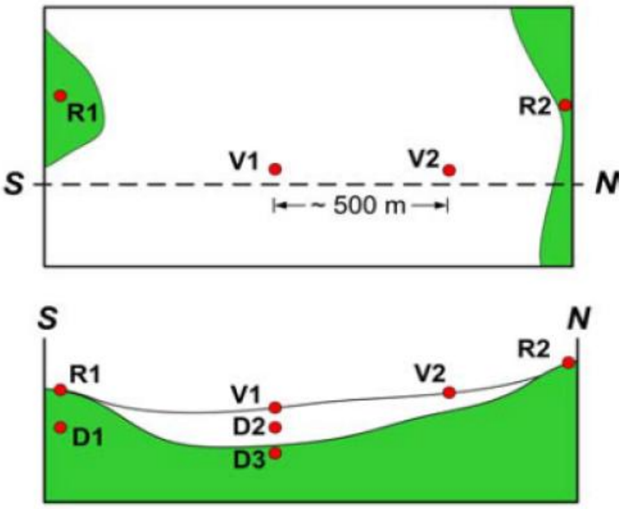
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

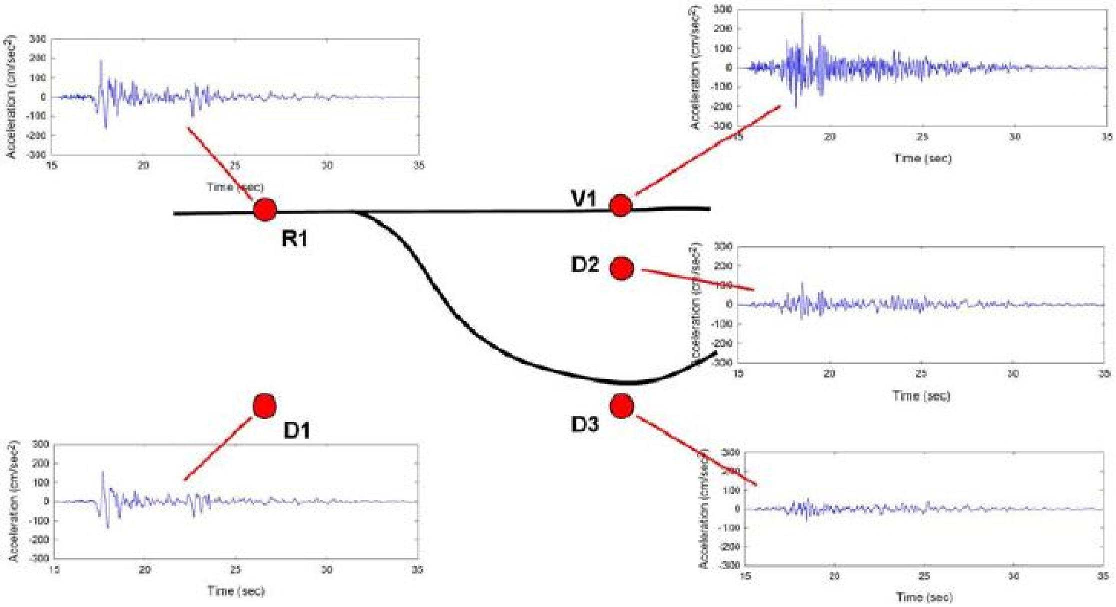
Το θέμα της εδαφικής απόκρισης εξαιτίας της μεγάλης του σημασίας για τα έργα του πολιτικού μηχανικού έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης και διερεύνησης για πολλούς ερευνητές. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποιες δημοσιεύσεις και ερευνητικές εργασίες στις οποίες μελετήθηκαν θέματα που σχετίζονται με την σεισμική απόκριση.

2.2 Πείραμα πρόβλεψης εδαφικής απόκρισης στην κοιλάδα Tyrkey Flat- Steven L. Kramer

Το 2006 διοργανώθηκε ένα μεγάλο ερευνητικό συνέδριο, στο οποίο μελετήθηκαν οι διεγέρσεις που καταγράφηκαν στην δοκιμαστική περιοχή στην κοιλάδα Turkey Flat, που βρίσκεται 8km νοτιότερα της πόλης Parkfield και 5km ανατολικά του ρήγματος San Andreas στην Κεντρική Καλιφόρνια. Στην κοιλάδα αυτή υπάρχουν επιταχυνσιογραφικοί σταθμοί σε τέσσερις θέσεις, οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 2.1 και είναι οι Rock South (R1), Valley Center (V1), Valley North (V2) και Rock South (R2). Όλες οι θέσεις διαθέτουν επιταχυνσιογράφο στην επιφάνεια, ενώ στις θέσεις Rock South (R1) και Valley Center (V1), υπάρχουν και επιταχυνσιογράφοι σε μεγαλύτερα βάθη. Συγκεκριμένα στην θέση R1 υπάρχει όργανο καταγραφής σε βάθος περίπου 24m (D1), ενώ στη θέση V1 υπάρχουν δύο όργανα καταγραφής σε βάθη 10m (D2) και 24m (D3) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1. Το συνέδριο αυτό περιελάμβανε δύο φάσεις πειραμάτων πρόβλεψης των καταγεγραμμένων διεγέρσεων και προσέλκυσε πολλούς ερευνητές οι οποίοι χρησιμοποίησαν διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης της σεισμικής απόκρισης και προσομοίωσης των γεωλογικών χαρακτηριστικών. Οι διεγέρσεις που προβλέφθηκαν στην πρώτη φάση του συνεδρίου παρουσίασαν έντονη συσχέτιση μεταξύ τους αλλά σημαντικές διαφοροποιήσεις σχετικά με τις πραγματικά καταγεγραμμένες διεγέρσεις. Οι διεγέρσεις που προβλέφθηκαν στην δεύτερη φάση του συνεδρίου παρουσίαζαν επίσης έντονη συσχέτιση μεταξύ τους, αλλά ήταν και αρκετά ακριβείς σε σχέση με τις πραγματικά καταγεγραμμένες. Στο συνέδριο εξετάστηκαν τα πιθανά αίτια για τις διαφορές που προέκυψαν μεταξύ των σεισμικών κινήσεων που προβλέφθηκαν και που καταγράφηκαν, και προέκυψαν σημαντικές παρατηρήσεις και συστάσεις σχετικά με την εδαφική απόκριση του εδάφους.



Σχήμα 2.1 : Απεικόνιση θέσεων επιταχυνσιογράφων στην κοιλάδα Turkey Flat (Πηγή: Analysis of Turkey Flat ground motion predisction experiment-Lessons learned and implifications for practice, Steven L. Kramer)



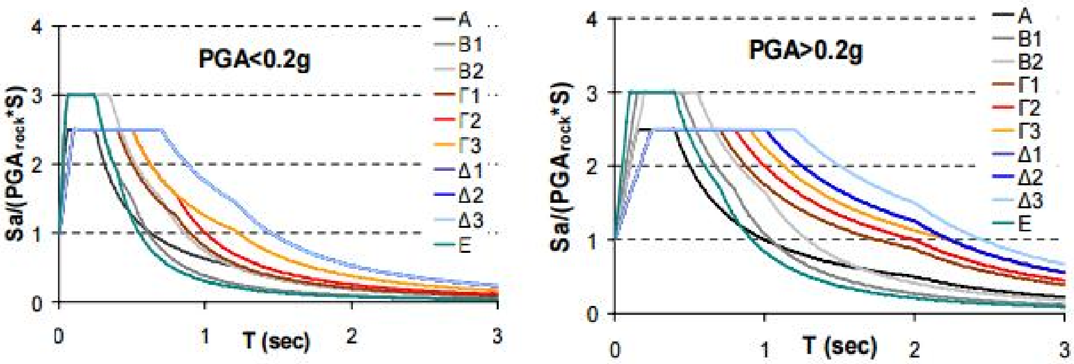
Σχήμα 2.2 : Χρονοϊστορίες που καταγράφηκαν στην διέυθυνση NS στις θέσεις Rock South και Valley Center κατά το σεισμό της 28ης Σεπτεμβρίου 2004 στο Parkfield

2.3 Πιτιλάκης και συνεργάτες- Βελτιωμένο φάσμα σχεδιασμού και κατηγοριοποίησης εδαφών

Οι Πιτιλάκης και συνεργάτες, πραγματοποίησαν ένα εκτεταμένο προγράμμα θεωρητικής και πειραματικής μελέτης των τοπικών εδαφικών συνθηκών, που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων του Α.Π.Θ., και το οποίο στοχεύε στην αξιολόγηση και αποτίμηση των διατάξεων των σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών (ΕΑΚ2000, EC8/Draft No4-2001, UBC/97), οι οποίοι αφορούν στην εκτίμηση των σεισμικών δράσεων σχεδιασμού και κατ' επέκταση στον αντισειμικό σχεδιασμό κατασκευών από Ω.Σ.. Το πρόγραμμα αυτό πραγματοποιήθηκε με την επεξεργασία επιλεγμένων καταγραφών ισχυρής εδαφικής κίνησης και με θεωρητικές αναλύσεις μεγάλου αριθμού εδαφικών προσομοιωμάτων, που κατέστησαν δυνατή την εκτενή μελέτη των χαρακτηριστικών της σεισμικής απόκρισης. Τα αποτελέσματα του προγράμματος δεν περιορίστηκαν στην ανάδειξη των παραμέτρων που επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της σεισμικής δόνησης, αλλά και χρησιμοποιήθηκαν για την σύσταση της βελτιωμένης πρότασης κατηγοριοποίησης του υπεδάφους (Πίνακας 2.2) και των αντίστοιχων φασμάτων απόκρισης στα πλαίσια αναμόρφωσης του Αντισεισμικού Κανονισμού (Πίνακας 2.1 & Σχήμα 2.3).

Κατηγορία Εδάφους	Προτεινόμενα Φάσματα Απόκρισης Επιτάχυνσης									
	$PGA_{rock}<0.2g$					$PGA_{rock}>0.2g$				
	T_B(sec)	T_C(sec)	T_D(sec)	S	β	T_B(sec)	T_C(sec)	T_D(sec)	S	β
	0,05	0,25	1,2	1,0	2,5	0,15	0,4	2,0	1,0	2,5
B_1	0,05	0,25	0,5	2,0	3,0	0,15	0,45	0,8	1,6	3,0
B_2	0,05	0,35	0,7	2,0	3,0	0,2	0,55	1,0	1,3	3,0
$Γ_1$	0,1	0,4	0,8	1,7	2,5	0,25	0,7	2,0	1,15	2,5
$Γ_2$	0,1	0,5	0,8	2,0	2,5	0,25	0,8	2,0	1,1	2,5
$Γ_3$	0,1	0,5	1,2	1,4	2,5	0,25	0,9	2,2	1,0	2,5
$Δ_1$	0,1	0,7	1,2	1,8	2,5	0,25	1,0	2,0	1,2	2,5
$Δ_2$	0,1	0,7	1,2	1,1	2,5	0,25	1,0	2,0	0,85	2,5
$Δ_3$	0,1	0,7	1,2	1,1	2,5	0,25	1,2	2,0	1,0	2,5
E	0,05	0,25	0,4	3,0	3,0	0,1	0,4	0,7	2,0	3,0

Πίνακας 2.1 : Προτεινόμενες τιμές για τα φάσματα απόκρισης, Πιτιλάκης και συνεργάτες



Σχήμα 2.3 : Προτεινόμενα φάσματα απόκρισης για κάθε κατηγορία κανονικοποιημένα ως προς την μέγιστη επιτάχυνση του βραχώδους υποβάθρου (PGA_{rock} · s) (Πιτιλάκης και συνεργάτες, 2004)

Κατηγορία		Περιγραφή	T_0(sec)	Παρατηρήσεις
A	A_1	Υγιείς βραχώδεις σχηματισμοί		$V_s \geq 1500$ m/sec
	A_2	Ελαφρά αποσαθρωμένοι / κερματισμένοι βραχώδεις σχηματισμοί με την προϋπόθεση ότι το πάχος της ασθενούς, έντονα αποσαθρωμένης επιφανειακής ζώνης είναι μικρότερο των 5m	≤ 0.2	Επιφαν. ζώνη αποσάθρωσης: $V_s \geq$ 300 m/sec, βραχώδεις σχηματισμοί: $V_s \geq$ 800m/sec
		Γεωλογικοί σχηματισμοί που προσομοιάζουν βραχωδών σχηματισμών από απόψεως μηχανικών ιδιοτήτων και σύστασης (π.χ. κροκαλοπαγή)		$V_s \geq$ 800m/sec
B	B_1	Εντόνως αποσαθρωμένοι βραχώδεις σχηματισμοί με τη ζώνη αποσάθρωσης να εκτείνεται σε σημαντικό βάθος $5 - 30$m	≤ 0.4	ζώνη αποσάθρωσης: $V_s^{(2)} \geq$ 300m/s
		Μαλακοί βραχώδεις σχηματισμοί μεγάλου πάχους ή σχηματισμοί που προσομοιάζουν αυτών από απόψεως μηχανικών ιδιοτήτων (π.χ. σκληρές μάργες)		$V_s = 400 - 800$m/s, $N_{SPT}^{(3)} >$ 50, $S_u^{(4)} >$ 200kPa
		Εδαφικοί σχηματισμοί πολύ πυκνής άμμου – αμμοχάλικου ή/και πολύ στιφρής αργίλου, ομοιογενούς γενικά σύστασης και μικρού πάχους (έως 30m)		$V_s = 400 - 800$m/s, $N_{SPT} >$ 50, $S_u >$ 200kPa
	B_2	Εδαφικοί σχηματισμοί πολύ πυκνής άμμου – αμμοχάλικου ή/και πολύ στιφρής αργίλου, ομοιογενούς γενικά σύστασης και ενδιάμεσου πάχους ($30 - 60$m), με μηχανικές ιδιότητες αντοχής αυξανόμενες με το βάθος	≤ 0.8	$V_s = 400 - 800$m/s, $N_{SPT} >$ 50, $S_u >$ 200kPa
Γ	Γ_1	Εδαφικοί σχηματισμοί πυκνής έως κατά στρώσεις πολύ πυκνής άμμου – αμμοχάλικου ή/και στιφρής έως πολύ στιφρής αργίλου, μεγάλου πάχους ($>$ 60m), με μηχανικές ιδιότητες αντοχής σταθερές ή/και αυξανόμενες με το βάθος	≤ 1.2	$V_s = 400 - 800$m/s, $N_{SPT} >$ 50, $S_u >$ 200kPa
	Γ_2	Εδαφικοί σχηματισμοί μέσης πυκνότητας άμμου – αμμοχάλικου ή/και μετρίως στιφρής αργίλου ($PI > 15$, περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα $>$ 30%), ενδιάμεσου πάχους (20–60m)	≤ 1.2	$V_s = 200 - 400$m/s, $N_{SPT} >$ 20, $S_u >$ 70kPa
	Γ_3	Εδαφικοί σχηματισμοί της κατηγορίας Γ_2, μεγάλου πάχους ($>$ 60m), ομοιογενείς ή σε αλληλουχία, χωρίς να διακόπτονται από εδαφικούς σχηματισμούς μεγάλου πάχους ($>$ 5m) και εμφανώς μικρότερης αντοχής και ταχύτητας V_s	≤ 1.4	$V_s = 200 - 400$m/s, $N_{SPT} >$ 20, $S_u >$ 70kPa
Δ	Δ_1	Πρόσφατες εδαφικές αποθέσεις ικανού πάχους (έως 60m), όπου επικρατεί ο σχηματισμός της μαλακής αργίλου με υψηλό δείκτη πλαστικότητας ($PI > 40$), υψηλό ποσοστό υγρασίας και χαμηλές τιμές παραμέτρων αντοχής	≤ 2.0	$V_s <$ 200m/s, $N_{SPT} <$ 20, $S_u <$ 70kPa
	Δ_2	Πρόσφατες εδαφικές αποθέσεις ικανού πάχους (έως 60m), όπου επικρατούν σχετικά χαλαροί αμμώδεις έως αμμοϊλυώδεις σχηματισμοί με ικανό ποσοστό λεπτόκοκκων (ώστε να μην ανήκουν στα εν δυνάμει ρευστοποιήσιμα εδάφη)	≤ 2.0	$V_s \leq$ 200m/s, $N_{SPT} <$ 20
	Δ_3	Εδαφικοί σχηματισμοί μεγάλου συνολικού πάχους ($>$ 60m), οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενστρώσεων εδαφών κατηγορίας Δ_1 ή Δ_2 μικρού πάχους (5 – 15m), μέχρι βάθους 40m περίπου, εντός εδαφών (αμμωδών ή/και αργιλικών κατηγορίας Γ) εμφανώς μεγάλης αντοχής, με $V_s \geq$ 300m/s	≤ 1.2	
	E	Επιφανειακές εδαφικές στρώσεις μικρού πάχους ($5 - 20$m), μικρής αντοχής και ακαμψίας, δυνάμενες να ενταχθούν από απόψεως γεωτεχνικών ιδιοτήτων στις κατηγορίες Γ και Δ, υπερκείμενοι σχηματισμών της κατηγορίας A ($V_s \geq$ 800 m/s)	≤ 0.5	Επιφαν. εδαφικές στρώσεις: $V_s =$ 150 $-$ 300m/s
	X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλυώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων). Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. Απότομες κλιτείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπυκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Εδάφη με πολύ υψηλό ποσοστό οργανικού υλικού		

(1) Ιδιοπερίοδος εδαφικής στήλης έως το βάθος του βραχώδους υποβάθρου (σχηματισμός με $V_s \geq$800m/sec)

(2) Μέση τιμή, σταθμισμένη με το πάχος των επί μέρους εδαφικών στρώσεων

(3),(4) Μέση τιμή

Πίνακας 2.2 : Εδαφική κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τους Πιτιλάκη και συνεργάτες

3. ΑΡΧΕΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 - ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1 Εισαγωγή

Ο Ευρωκώδικας 8 περιέχει 6 μέρη εκ των οποίων στο πρώτο μέρος περιγράφονται οι γενικές απαιτήσεις σεισμικής συμπεριφοράς και οι κανόνες προσομοίωσης των σεισμικών δράσεων για τον σχεδιασμό οποιουδήποτε τύπου έργου.

3.2 Εδαφικές συνθήκες και ταξινόμηση εδαφών κατά EC8

Ο EC8 διακρίνει πέντε κατηγορίες εδάφους A, B, C, D, και E, που καθορίζονται από την στρωματογραφία και τις παραμέτρους και την περιγραφή που δίνονται στον Πίνακα 3.1 και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποτιμήσουν την επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη σεισμική δράση. Αυτό μπορεί επίσης να γίνει λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη την επιρροή της γεωλογίας των βαθύτερων στρωμάτων στη σεισμική δράση. Ο τρόπος εδαφικής ταξινόμησης όσον αφορά την γεωλογία των βαθύτερων στρωμάτων για χρήση σε μια χώρα μπορεί να καθοριστεί στο Εθνικό Προσάρτημα, συμπεριλαμβανομένων των τιμών των παραμέτρων S, T_B, T_C και T_D που καθορίζουν τα φάσματα οριζόντιας και κατακόρυφης ελαστικής απόκρισης. Η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων, $V_{s,30}$, εάν είναι διαθέσιμη, αλλίως χρησιμοποιείται η τιμή N_{SPT} (αριθμός κρούσεων για πρότυπη διείσδυση 30cm). Η ταχύτητα $V_{s,30}$ αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα των διατμητικών κυμάτων στα ανώτερα 30m εδάφους και υπολογίζεται από την σχέση:

$$v_{s,3} = \frac{30}{\sum_{i=1 \div N} \frac{h_i}{v_i}} \quad \text{(Σχέση 3.1 EC8)}$$

όπου:

h_i = πάχος στρώματος (m)

v_i = ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στρώματος i (για $\gamma<10^{-5}$), δηλαδή για πρακτικά ελαστική συμπεριφορά)

N = πλήθος στρωμάτων στα ανώτερα 30 m εδάφους

Για περιοχές με εδαφικές συνθήκες που εμπίπτουν σε οιανδήποτε από τις δύο ειδικές εδαφικές κατηγορίες S_1 ή S_2, απαιτείται ειδική μελέτη για τον καθορισμό της σεισμικής δράσης. Για τις κατηγορίες αυτές, και ειδικότερα για την S_2, θα λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα αστοχίας του εδάφους υπό την σεισμική δράση. Σημειώνεται ότι πρέπει να δίνεται ειδική προσοχή εάν η εδαφική απόθεση είναι κατηγορίας S_1. Αυτά τα εδάφη έχουν πολύ χαμηλές τιμές της V_s, χαμηλή εσωτερική απόσβεση και ένα ασυνήθιστα μεγάλο εύρος γραμμικής συμπεριφοράς και επομένως μπορεί να προκαλέσουν ανώμαλα αποτελέσματα τοπικής σεισμικής ενίσχυσης καθώς και φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους- φορέα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να εκπονείται ειδική μελέτη, προκειμένου να καθοριστεί η εξάρτηση του φάσματος απόκρισης από το πάχος και την τιμή V_s του στρώματος μαλακής αργίλου/ιλύος καθώς και από την έντονη διαφορά δυσκαμψίας μεταξύ του στρώματος αυτού και των υποκείμενων υλικών.

Πίνακας 3.1 : Κατάταξη εδαφών σύμφωνα με EC-8

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$ (m/s)	NSPT	cu (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού.	>800	-	-
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360-800	>50	>250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180-360	15-50	70-250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών), ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	<180	<15	<70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές V_S κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλε μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με V_S > 800 m/s.			
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλύων με υψηλό δείκτη πλαστικότητας (PI > 40) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό.	<100 (ενδεικτικό)	-	10-20
S_2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S1 στους τύπους A – E ή S1			

3.3 Σεισμική δράση

Σύμφωνα με τον EC8, για τον προσδιορισμό της σεμικής δράσης οι εθνικές περιοχές υποδιαιρούνται από τις εθνικές αρχές σε σεισμικές ζώνες, ανάλογα με την τοπική επικινδυνότητα. Εξ ορισμού υποτίθεται ότι μέσα σε κάθε ζώνη η επικινδυνότητα είναι σταθερή. Η επικινδυνότητα περιγράφεται από μια μοναδική παράμετρο, την τιμή της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης αναφοράς a_{gR} σε έδαφος κατηγορίας Α. Σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα υιοθετούνται τρεις ζώνες Ζ1, Ζ2, Ζ3 των οποίων οι τιμές φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Ζώνη	a_{gR}/g
Z1	0.16
Z2	0.24
Z3	0.36

Πίνακας 3.2 : Σεισμικές Ζώνες

Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αναφοράς που επιλέγεται από τις Εθνικές Αρχές για κάθε σεισμική ζώνη, αντιστοιχεί στην τιμή αναφοράς της περιόδου επαναφοράς T_{NCR} της σεισμικής δράσης για την απαίτηση μη κατάρρευσης (ή αντίστοιχα, την τιμή αναφοράς της πιθανότητας υπέρβασης σε 50 έτη, P_{NCR}) που επιλέγεται από τις Εθνικές Αρχές. Οι συνιστώμενες τιμές είναι P_{NCR}=10% και T_{NCR}=475 έτη. Γι' αυτήν την τιμή αναφοράς της περιόδου επαναφοράς ορίζεται συντελεστής σπουδαιότητας $γ_I$ ίσος με 1.0. Για τιμή της περιόδου επαναφοράς διαφορετική από την τιμή αναφοράς, η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού σε έδαφος τύπου Α, a_g , είναι ίση με a_{gR} επί τον συντελεστή σπουδαιότητας $γ_I$ ($a_g = γ_I.a_{gR}$).

Στο πλαίσιο του EC8, η σεισμική κίνηση σε ένα δεδομένο σημείο στην επιφάνεια προσομοιώνονται με ένα ελαστικό φάσμα απόκρισης εδαφικής επιτάχυνσης. Η οριζόντια σεισμική δράση περιγράφεται από δύο ορθογώνιες συνιστώσες που θεωρούνται ανεξάρτητες μεταξύ τους και που εκφράζονται από το ίδιο φάσμα απόκρισης.

Για τις οριζόντιες συνιστώσες της σεισμικής δράσης, το ελαστικό φάσμα απόκρισης $S_e(T)$ καθορίζεται από τις ακόλουθες εκφράσεις:

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (n \cdot 2.5 - 1)\right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2.5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T \leq 4s : \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot n \cdot 2.5 \cdot \frac{T_C . T_D}{T^2}$$

όπου: $S_e(T)$: είναι το ελαστικό φάσμα απόκρισης

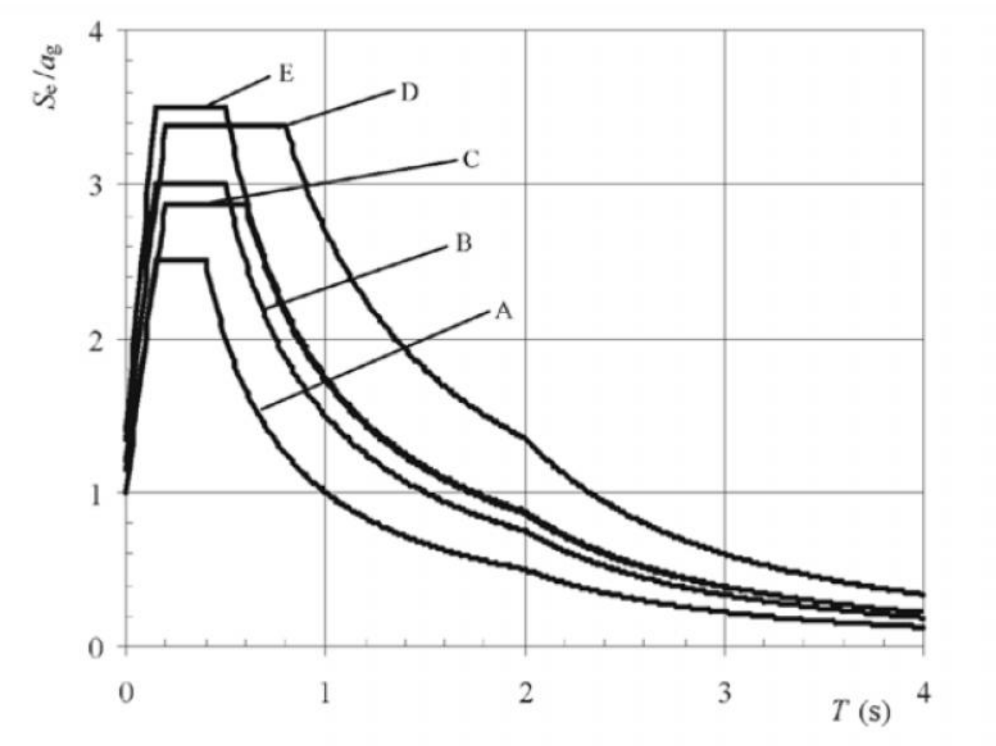
S: είναι ο συντελεστής εδάφους

η: είναι ο διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης, με τιμή αναφοράς η = 1 για 5% ιξώδη απόσβεση. Για διαφορετικές τιμές απόσβεσης, η τιμή του n υπολογίζεται από την σχέση: $n = \sqrt{\frac{1}{5+\xi}} \geq 0{,}55$

Οι τιμές των περιόδων T_B, T_C και T_D καθώς και αυτή του συντελεστή εδάφους S, που περιγράφουν την μορφή του ελαστικού φάσματος απόκρισης εξαρτώνται από την κατηγορία του εδάφους. Οι τιμές που αποδίδονται στις T_B, T_C, T_D και S για κάθε κατηγορία εδάφους και τύπο φάσματος για χρήση σε μια χώρα δίνονται από το Εθνικό Προσάρτημα και παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.3. Εάν δεν είναι διαθέσιμη η γεωλογία των βαθύτερων στρωμάτων, η συνιστώμενη επιλογή είναι η χρήση δύο τύπων φασμάτων: Τύπος 1 και Τύπος 2. Εάν οι σεισμοί που συμβάλλουν περισσότερο στη σεισμική επικινδυνότητα που καθορίζεται για την περιοχή με σκοπό την πιθανολογική αξιολόγηση της διακινδύνευσης έχουν μέγεθος κύματος επιφανείας, Ms, μεγαλύτερο από 5,5, συνιστάται η υιοθέτηση φάσματος Τύπου 1.

Εδαφικός τύπος	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1.0	0.15	0.40	2.5
B	1.2	0.15	0.50	2.5
C	1.15	0.20	0.60	2.5
D	1.35	0.20	0.80	2.5
E	1.40	0.15	0.50	2.5

Πίνακας 3.3: Συνιστώμενες τιμές παραμέτρων για ελαστικό φάσμα απόκρισης Τύπου 1 , EN 1998-1 : 2004



Σχήμα 3.1: Συνιστώμενα φάσματα ελαστικής απόκρισης Τύπου 1 για κατηγορίες εδάφους A έως E (5% απόσβεση), EN 1998-1 : 2004

4. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία, στόχος είναι η διερεύνηση της επίδρασης των εδαφικών συνθηκών στα ελαστικά φάσματα απόκρισης επιτάχυνσης και στη συνέχεια η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα φάσματα του Ευρωκώδικα 8, με χρησιμοποιούμενες σεισμικές καταγραφές με και χωρίς παλμό κατευθυντικότητας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού πραγματοποιήθηκε μία εκτενής αναζήτηση βιβλιογραφίας και τηρήθηκε μία μεθοδολογία αποτελούμενη από δύο βασικά σκέλη:

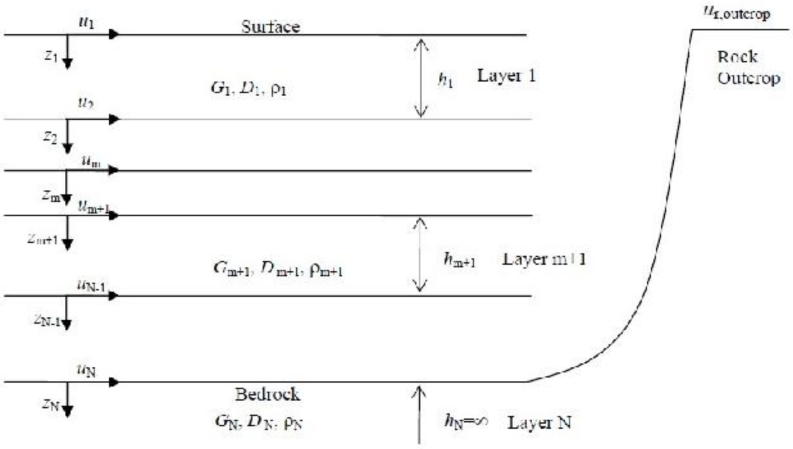
- Την επίλυση του αντιστρόφου προβλήματος
- Τη χρήση των αποτελεσμάτων του αντιστρόφου προβλήματος για την επίλυση του ευθέος.

Ο χαρακτηρισμός του πρώτου βήματος ως αντιστρόφου, οφείλεται στη διαδικασία που ακολουθούμε, καθώς στόχος μας είναι να αναγάγουμε όσες καταγραφές έχουν σημειωθεί στην επιφάνεια του εδάφους στο βραχώδες υπόβαθρο, αλλά και όσες έχουν σημειωθεί σε επιφανειακή εκδήλωση του μητρικού πετρώματος σε βραχώδες υπόβαθρο μεγαλύτερου βάθους. Οι αναγωγές αυτές επιτυγχάνονται με τη βοήθεια της ισοδύναμης γραμμικής μεθόδου (πρόγραμμα SHAKE2000). Αφού ολοκληρωθεί η αναγωγή ακολουθεί το ευθύ πρόβλημα, όπου οι καταγραφές στο βράχο εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα εδαφικά προφίλ που αντιπροσωπεύουν τις διάφορες εδαφικές κατηγορίες που περιγράφονται στον Ευρωκώδικα και εξάγουμε τα συμπεράσματά μας σχετικά με την επιρροή της εδαφικής απόκρισης στα φάσματα που προκύπτουν.

4.2 Περιγραφή του προγράμματος SHAKE 2000 και της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η διαδικασία επίλυσης του ευθέος και του αντιστρόφου προβλήματος που συναντώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιείται με το πρόγραμμα SHAKE2000. Το πρόγραμμα SHAKE 2000 εφαρμόζει την ισοδύναμη γραμμική μέθοδο για να προσεγγίσει την μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους με παραδοχή μονοδιάστατης μετάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Συγκεκριμένα, υπολογίζει την απόκριση ενός συστήματος από ομοιογενή, ιξωδοελαστικά στρώματα εδάφους τα οποία θεωρούνται ότι εκτείνονται απείρως στην οριζόντια διεύθυνση και τα οποία υπόκεινται σε διατμητικά κύματα διαδιδόμενα μόνο στην κατακόρυφη διάσταση. Οι απαραίτητες παραδοχές και παράμετροι που απαιτούνται για την υπολογιστική διαδικασία των αναλύσεων συνοψίζονται παρακάτω και απεικονίζονται στο σχήμα 4.1

- Το εδαφικό σύστημα εκτείνεται απείρως στην οριζόντια διεύθυνση.
- Κάθε εδαφικό στρώμα του συστήματος καθορίζεται απόλυτα από το αρχικό μέτρο διάτμησης του (G_{oi}), την αρχική τιμή απόσβεσης (ζ_{oi}), την πυκνότητα (ρ_i) και το πάχος του (h_i). Οι τιμές αυτές είναι ανεξάρτητες της συχνότητας.
- Οι αποκρίσεις εντός του συστήματος προκαλούνται από την προς τα άνω διάδοση των διατμητικών κυμάτων από τον υποκείμενο βραχώδη σχηματισμό.
- Τα διατμητικά κύματα δίνονται ως χρονοιστορίες επιτάχυνσης συγκεκριμένου χρονικού βήματος, οι οποίες εισέρχονται ως δεδομένα στο πρόγραμμα είτε ως εδαφικές κινήσεις στο μητρικό υπόβαθρο (bebrock within) είτε στο μητρικό πέτρωμα απουσίας εδαφικής απόθεσης (rock outcrop). Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα θέτει ένα άνω όριο στον αριθμό των στοιχείων του επιταχυνσιογραφήματος.
- Το μέτρο διάτμησης και το ποσοστό απόσβεσης κάθε εδαφικής στρώσης εξαρτάται από την διατμητική παραμόρφωση γ και λαμβάνεται υπόψιν μέσω μιας ισοδύναμης γραμμικής προσέγγισης, κατά την οποία υπολογίζεται η μέση διατμητική παραμόρφωση για κάθε στρώμα. Έτσι λοιπόν, για την εφαρμογή της επαναληπτικής διαδικασίας είναι απαραίτητο να εισαχθούν οι καμπύλες που εκφράζουν την σχέση εξάρτησης του μέτρου διάτμησης (G-γ) και του ποσοστού απόσβεσης (ζ-γ) από την διατμητική παραμόρφωση γ. Οι καμπύλες αυτές καθορίζονται από την φύση του υλικού της κάθε στρώσης και επιλέγονται είτε από την υπάρχουσα βιβλιοθήκη καμπυλών που διαθέτει το πρόγραμμα, είτε από το πλήθος διαθέσιμων καμπυλών για κάθε υλικό από την υπάρχουσα βιβλιογραφία.



Σχήμα 4.1 : Η προσομοίωση στην ισοδύναμη γραμμική μέθοδο και τα μεγέθη που ορίζουν τα εδαφικά στρώματα (SHAKE 2000)

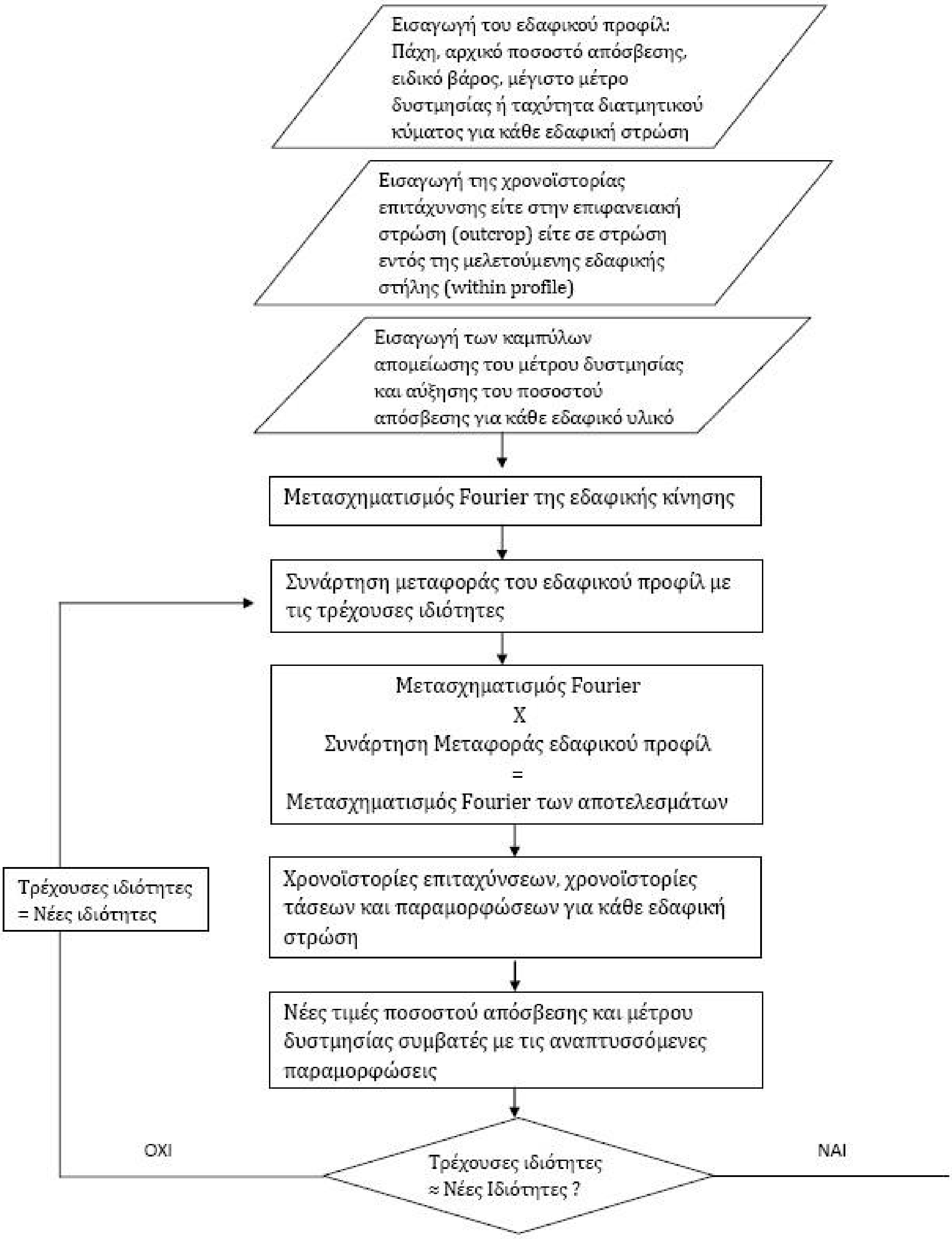
Η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση βασίζεται σε μία επαναληπτική διαδικασία, σύμφωνα με τον οποία, από την αρχική τιμή της ταχύτητας V_{s0} , υπολογίζεται για μικρές παραμορφώσεις μία αρχική χαρακτηριστική περίοδος T_0 και μία απόσβεση $ζ_0$. Από το φάσμα του εισαγόμενου σεισμού στο βραχώδες υπόβαθρο εκτιμάται η μετακίνηση στην επιφάνεια της εδαφικής στρώσης και κατ' επέκταση η διατμητική παραμόρφωση γ. Από την τιμή της γ και τις καμπύλες G/G_0 και ζ εκτιμάται μία νέα τιμή του G και επομένως της V_s και μία τιμή του ζ και της περιόδου T. Από τις εκτιμώμενες νέες φασματικές τιμές υπολογίζεται η νέα εδαφική μετακίνηση και παραμόρφωση γ. Οι δοκιμές συνεχίζονται μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση, ενώ συνήθως αρκούν τρεις δοκιμές. Όταν εκτιμηθεί η τελική περίοδος T υπολογίζεται η εδαφική ταχύτητα και επιτάχυνση.

Η διαδικασία αυτή αφορά εδαφικό σχηματισμό αποτελούμενο από μία στρώση. Στην περίπτωση αυτής της εργασίας, το πρόβλημα είναι πιο σύνθετο αφού έχουμε μεγαλύτερο αριθμό στρώσεων, η καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετικές ιδιότητες. Έτσι, η ισοδύναμη γραμμική ανάλυση όπως εφαρμόζεται από το πρόγραμμα, προϋποθέτει μία υπολογιστική διαδικασία πιο σύνθετη και μεγαλύτερο πλήθος επαναλήψεων μέχρι να επιτευχθεί σύγκλιση.

Στο Σχήμα 4.2 δίνεται το διάγραμμα ροής όπου περιγράφεται ο επαναληπτικός αλγόριθμος με τον οποίο λειτουργεί το SHAKE2000. Αρχικά εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα και οι καμπύλες απομείωσης που προαναφέρθηκαν, ώστε να καθοριστούν οι ιδιότητες της κάθε στρώσης του εδαφικού σχηματισμού. Ακολουθεί η εισαγωγή του έκαστοτε επιταχυνσιογράφηματος που χρησιμοποιείται για την ανάλυση. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η μετατροπή του επιταχυνσιογραφήματος βάσει της μεθόδου Discrete Fourier Transform (DFT). Ο συντελεστής ενίσχυσης σε κάθε εδαφικό προφίλ δίνεται σε όρους συχνότητας μέσω των συναρτήσεων μεταφοράς (transfer functions). Το φάσμα Fourier πολλαπλασιάζεται με τη συνάρτηση μεταφοράς του προφίλ και με αυτό το τρόπο προκύπτει το φάσμα ενίσχυσης για κάθε μία εδαφική στρώση. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας, μπορεί να υπολογιστεί από το πρόγραμμα και η χρονοϊστορία της επιτάχυνσης στην επιφάνεια του ή των εδαφικών στρωμάτων που θα επιλέξει ο χρήστης, η οποία προκύπτει με την εφαρμογή του αντιστρόφου σχηματισμού Fourier (Inverse Fourier Transform, IFT).

Επειδή η ισοδύναμη γραμμική προσέγγιση χρησιμοποιεί γραμμική ανάλυση, γίνεται δυνατός ο συσχετισμός της απόκρισης μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σημείων του σχηματισμού. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι μέσω των συναρτήσεων μεταφοράς, μπορεί να προσδιοριστεί η σεισμική κίνηση όχι μόνο στην επιφάνεια του προφίλ, αλλά και σε οποιοδήποτε άλλο βάθος. Κάτι που όμως χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, είναι η χρήση των συναρτήσεων μεταφοράς για τον προσδιορισμό της κίνησης στο βραχώδες υπόβαθρο, όταν είναι γνωστή η χρονοϊστορία στην επιφάνεια. Το πρόβλημα αυτό σε ένα γραμμικό ελαστικό σύστημα θα έπρεπε να δίνει μοναδική λύση, παρόλ' αυτά συχνά συναντώνται δυσκολίες αριθμητικής φύσεως, ειδικά όταν απαιτούνται επαναλήψεις για την εύρεση των εδαφικών ιδιοτήτων ώστε να υπάρχει συμβατότητα με το επίπεδο της παραμόρφωσης, ειδικά όταν τα πλάτη διατμητικής παραμόρφωσης είναι πολύ υψηλά. Επιπλέον, πέραν αυτού, η παραδοχή της μονοδιάστατης αντιμετώπισης του προβλήματος δεν είναι πάντα αρκούντως αντιπροσωπευτική, καθώς ένα μέρος της επιφανειακής σεισμικής κίνησης οφείλεται σε διαχεόμενα και επιφανειακά κύματα.

Τέλος σημειώνεται ότι στις αναλύσεις, τόσο του ευθέως όσο και του αντίστροφου προβλήματος οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στο μετασχηματισμό Fourier περιορίστηκαν έως τα 25Hz. Ο λόγος είναι ότι οι μεγαλύτερες από 25Hz συχνότητες μεταφέρουν πολύ μικρό ποσοστό της εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας και ακόμη συχνά αυξάνουν την αριθμητική παθογένεια του προγράμματος SHAKE 2000.



Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα ροής της ισοδύναμης γραμμικής ανάλυσης (SHAKE 2000)

4.3 Μελετώμενες Διεγέρσεις - Αναγωγή στο βραχώδες υπόβαθρο

Για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας αρχικό βήμα της μεθοδολογίας ήταν η συλλογή καταγραφών χωρίς παλμό κατευθυντικότητας, από ένα σύνολο σεισμών που έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες σε όλο τον κόσμο και οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως ισχυρές εδαφικές κινήσεις με σημαντικές επιπτώσεις στις κατασκευές που αφορούν τον πολιτικό μηχανικό. Σ' αυτές τις καταγραφές προστέθηκαν καταγραφές που είχαν συλλεχθεί στο παρελθόν για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας της φοιτήτριας Ευαγγελίας Κορρέ με θέμα «ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ», κι οι οποίες περιέχουν παλμό κατευθυντικότητας.

Τόσο στην παρούσα όσο και στην προαναφερθείσα διπλωματική εργασία επιδιώχθηκε η χρήση καταγραφών, οι οποίες έχουν σημειωθεί σε αμιγώς βραχώδη θέση. Ωστόσο οι ανάγκες διεύρυνσης του δείγματος με σκοπό να είναι πιο αξιόπιστα τα αποτελέσματα οδήγησαν στον εμπλουτισμό του δείγματος και με αλλά και χωρίς παλμό κατευθυντικότητας, με καταγραφές επί γνωστών εδαφικών σχηματισμών. Θα πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι επιλεγείσες καταγραφές δεν έχουν υποστεί ρευστοποίηση, ενώ και οι ίδιες οι τοποθεσίες των καταγραφικών σταθμών δεν είναι ευαίσθητες σε ρευστοποίηση.

Οι 28 διεγέρσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν τελικά αναγράφονται αναλυτικά στον Πίνακες 4.2 και 4.3 που ακολουθούν παρακάτω. Οι περιορισμοί στην επιλογή των κραδασμών που αναζητήθηκαν στην εργασία αυτή αφορούν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το περιεχόμενό τους
- Τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας απ' όπου προέρχονται
- Το μέγεθος της σεισμικής ροπής του σεισμικού συμβάντος
- Την κοντινότερη απόσταση από την επιφάνεια διάρρηξης (Joyner – Boore)

Οι καταγραφές με κατευθυντικότητα έχουν ελεγχθεί μέσω των φασμάτων απόκρισης προκειμένου να βεβαιωθεί ότι περιέχουν παλμό κατευθυντικότητας.

Ένας άλλος περιορισμός αφορά την αλληλεπίδραση εδάφους – κατασκευής, η οποία μπορεί να αλλοιώσει το περιεχόμενο της διέγερσης που ανέρχεται από το βραχώδες υπόβαθρο στην επιφάνεια. Γι' αυτό το λόγο επιλέγονται διεγέρσεις προερχόμενες από καταγραφές ελευθέρου πεδίου (free field), στις οποίες δηλαδή τα καταγραφικά όργανα δεν επηρεάζονται από γειτονικές κατασκευές. Για τους σεισμούς που δεν υπήρχαν αμιγώς free field καταγραφές, επιλέχθηκαν εκείνα τα καταγραφικά όργανα που είτε βρίσκονταν σε υπόγεια, είτε σε κτήρια το πολύ δύο ορόφων (Ambraseys, Simpson και Bommer, 1996), έτσι ώστε η επίδραση της απόκρισης του κτηρίου να είναι κατά το δυνατό μικρή.

Ο επικρατέστερος τρόπος κατάταξης των εδαφικών σχηματισμών γίνεται με βάση την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα πρώτα 30m του. Οι διάφοροι υπάρχοντες κανονισμοί, (όπως οι NEHRP:National Earthquake Hazards Reduction Program και UBC:Uniform Building Code) έχουν ελαφρές αποκλίσεις μεταξύ τους όσον αφορά τα όρια διαχωρισμού της κάθε κατηγορίας εδάφους από μία άλλη, χωρίς όμως μεγάλες διαφορές. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με την κατάταξη που περιγράφεται στον EC8.

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2, ακόμα και σε θέση όπου έχουμε επιφανειακή εκδήλωση του μητρικού πετρώματος (rock outcrop), η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στην επιφάνεια του αναδυόμενου βράχου σημειώνει μικρή απόκλιση σε σχέση με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) που καταγράφεται σε μεγαλύτερο βάθος μέσα στο βραχώδη εδαφικό σχηματισμό. Γι' αυτό το λόγο, εκτός από τις καταγραφές, κύριο μέλημά μας ήταν η αναζήτηση δεδομένων και γεωτρήσεων, είτε βιβλιογραφικά από εδαφολογικές περιγραφές, είτε από τις πληροφορίες που παρείχαν διαδικτυακά τα διάφορα δίκτυα επιταχυνσιογράφων που ανήκουν οι μελετώμενοι σταθμοί. Μ' αυτό τον τρόπο, κατέστη δυνατή η μόρφωση του εδαφικού προφίλ κάθε σταθμού, αφού ήταν γνωστή η στρωματογραφία και τα γεωλογικά στοιχεία του καθώς και τα προφίλ κατανομής της διατμητικής ταχύτητας με το βάθος. Βεβαίως σε κάποιες περιπτώσεις οι τιμές των ιδιοτήτων λόγω έλλειψης σχετικών στοιχείων, διαμορφώθηκαν βάσει λογικών επιχειρημάτων, έχοντας πάντα σαν δεδομένο την ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα πρώτα 30m του.

Στη συνέχεια ακολούθησε η διαδικασία του αντίστροφου προβλήματος. Όλες οι χρησιμοποιούμενες καταγραφές, τόσο αυτές των οποίων οι σταθμοί κείτονταν επί βραχώδους επιφάνειας αλλά και επί εδαφικής απόθεσης, ανήχθησαν σε διάφορα βάθη με σκοπό αυτές οι χρονοϊστορίες να χρησιμοποιηθούν σαν σεισμικές διεγέρσεις για τα εδαφικά προφίλ που δημιουργήθηκαν. Τα βάθη στα οποία έγινε η αναγωγή ήταν τα -30m, -40m, -45m, -50m, -60m, -75m, βάθη τα οποία ταυτίζονταν με το βάθος του υποβάθρου όπου θα εισαγόταν η χρονοϊστορία στα μετέπειτα εδαφικά προφίλ που δημιουργήθηκαν για να αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές κατηγορίες του Ευρωκώδικα. Σ' αυτό το σημείο υπογραμμίζεται ότι ακόμα και στους σταθμούς με εδαφική απόθεση, ο βραχώδης σχηματισμός συναντάται σε βάθος μικρότερο των 30m από την επιφάνεια.

Για τις καταγραφές που σημειώθηκαν σε σταθμούς επί εδάφους, μετά την επίλυση του αντίστροφου προβλήματος και αφού αντικαταστάθηκαν οι εδαφικές στρώσεις κι οι μηχανικές τους ιδιότητες με αντίστοιχες βραχώδεις, ούτως ώστε το νέο δημιουργηθέν προφίλ να ανήκει στην κατηγορία Α του Ευρωκώδικα, επιλύθηκε και το ευθύ πρόβλημα. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε η χρονοϊστορία και η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στην επιφάνεια με υπόθεση αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου.

Με γνωστές πλέον τις μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις στην επιφάνεια του βράχου (PGA, outcrop rock), το δείγμα των καταγραφών χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες με βάση την επιτάχυνση. Η κατηγοριοποίηση ακολούθησε την λογική των ζωνών που δίνονται στον Ευρωκώδικα. Στον Πίνακα 4.1 φαίνεται το εύρος των επιταχύνσεων που περιέχεται σε κάθε κατηγορία. Οι καταγραφές της κάθε κατηγορίας ανήχθησαν στην τιμή που καθορίζει την αντίστοιχη σεισμική ζώνη, δηλαδή σε 0.16g, 0.24g, 0.36g. Οι ανηγμένες τιμές των χρονοϊστοριών ήταν αυτές που χρησιμοποιήθηκαν τελικά σαν επιταχυνσιογραφήματα εισόδου για τις μετέπειτα αναλύσεις που έγιναν μέσω του προγράμματος SHAKE 2000. Επισημαίνεται ότι κριτήριο διαχωρισμού ήταν η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στην επιφάνεια του βράχου (PGA). Οι καταγραφές που αποτελούν την κάθε κατηγορία φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 4.4 που ακολουθεί.

Ζώνη	PGA (g) στην οποία έγινε η αναγωγή των καταγραφών	Εύρος των PGA (g) οι οποίες ανήκουν στην ζώνη
Z1	0,16g	(0.12g-0.23g)
Z2	0.24g	(0.24g-0.35g)
Z3	0.36g	(0.36g-0.50g)

Πίνακας 4.1: Πίνακας κατηγοριοποίησης σε ζώνες εδαφικής επιτάχυνσης των χρησιμοποιούμενων καταγραφών

Στους Πίνακες 4.2α και 4.2β που ακολουθούν αναφέρονται συγκεντρωτικά όλοι οι σεισμοί που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή, τα σεισμολογικά χαρακτηριστικά τους και ο εδαφικός χαρακτηρισμός εκάστου σταθμού. Συγκεκριμένα, δίνονται το όνομα του σεισμού, η ονομασία του σταθμού απ' όπου προήλθε η κάθε καταγραφή, ο κωδικός της καταγραφής όπως χρησιμοποιήθηκε για την εργασία αυτή, το μέγεθος του σεισμού σε όρους σεισμικής ροπής, η κοντινότερη απόσταση από την επιφάνεια διάρρηξης (Joyner – Boore), η μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα 30 πρώτα m και τέλος, ο χαρακτηρισμός της κάθε καταγραφής με R, αν προέρχεται από βράχο, με S αν προέρχεται από έδαφος.

Πέρα όμως από την επιλογή διεγέρσεων και τον προσδιορισμό των γεωλογικών συνθηκών ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί και στην επεξεργασία των χρονοϊστοριών. Σύμφωνα με τους Faccioli et al (2004) τα λάθη από την ψηφιοποίηση των καταγραφών αναλογικών σεισμογράφων αλλοιώνουν τα φάσματα απόκρισης στις μεγάλες περιόδους, ενώ οι Bommer και Elnashai (1999) επισημαίνουν ότι τα σφάλματα αυτά επηρεάζουν τα φάσματα των μετακινήσεων για περιόδους μεγαλύτερες των 3.0sec. Γι' αυτό το λόγο, επιδιώκεται η χρήση καταγραφών προερχόμενων κατά κύριο λόγο από ψηφιακούς σεισμογράφους, οπότε αυτές δεν υπέστησαν καμία απολύτως επεξεργασία διόρθωσης.

Υπενθυμίζουμε ότι το πρόγραμμα SHAKE2000 επιβάλλει περιορισμό στον αριθμό των δεδομένων του επιταχυνσιογραφήματος που επιβάλει ο χρήστης, επομένως είμαστε αναγκασμένοι να επέμβουμε στην χρονική πληροφορία των καταγραφών που ξεπερνούν αυτό το όριο. Στις περισσότερες καταγραφές η επέμβαση που γίνεται είναι η αλλαγή του χρονικού βήματος, με το οποίο «διαβάζεται» η χρονοϊστορία. Έτσι χωρίς να αλλοιώνουμε την διάρκεια της καταγραφής μειώνουμε κατά το ήμισυ το πλήθος των στοιχείων της. Σε κάποιες, ωστόσο, ελάχιστες καταγραφές που η διάρκειά τους ήταν ιδιαίτερα μεγάλη, πέραν του μέτρου αυτού, αφαιρείται ένα μέρος των τελευταίων δευτερολέπτων της χρονοϊστορίας. Σε κάθε περίπτωση πάντως η επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε δεν αλλοίωσε το φασματικό περιεχόμενο εκάστοτε καταγραφής. Σημειώνεται ακόμα ότι, τα ελαστικά φάσματα απόκρισης με απόσβεση 5% των χρονοϊστοριών που προέκυψαν από τις επιλύσεις τόσο του αντίστροφου όσο και του ευθέως προβλήματος εξήχθησαν μέσω του προγράμματος Seismospect.

Οι πηγές προέλευσης όλων των καταγραφών είναι η βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database). Για τις ελληνικές καταγραφές ως πηγή χρησιμοποιήθηκε το Ι. Τ. Σ. Α. Κ. (Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών).

#	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Συνιστώσα	Κωδικός καταγραφής	Σεισμική ροπή	Απόσταση R_{JB} (km)	$V_{s,30}$ (m/s)	Rock / Soil
1	San Fernando	1971	Lake Hughes #9	21	SF-21	6,61	17,22	670,66	S
2				291	SF-291				
3	Hollister-03	1974	Gilroy array#1	247	HOL3-247	5,14	9,99	1425,84	R
4	Loma Prieta	1989	Gilroy - Gavilan Coll.	67	LPGG-067	6,93	9,19	730,00	R
5				337	LPGG-337				
6	Northridge-01	1994	Vasquez Rocks Park	000	NOR1-000	6,69	23,10	996,00	R
7				090	NOR1-090				
8	Chi-Chi Taiwan	1999	HWA003	N	Chi-N	7,62	52,46	1438,48	R
9	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU084	N	ChiTC84-N	7,62	0,00	666,02	S
10	Tottori-Japan	2000	SMN015	EW	TOT-EW	6,61	9,10	1272,63	R
11				NS	TOT-NS				
12	Tottori-Japan	2000	SMNH10	EW	TOTSM10-EW	6,61	15,58	921,92	R
13				NS	TOTSM10-NS				
14	Niigata	2004	NIG023	EW	NIG-EW	6,63	25,33	1733,33	R
15				NS	NIG-NS				
16	Parkfield-02, CA	2004	PARKFIELD - TURKEY FLAT #1 (0M)	270	PAR-270	6,00	4,66	907,18	R
17				360	PAR-360				

Πίνακας 4.2 : Πίνακας με τις καταγραφές χωρίς παλμό κατευθυντικότητας

#	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Συνιστώσα	Κωδικός καταγραφής	Σεισμική ροπή	Απόσταση R_{JB} (km)	$V_{s,30}$ (m/s)	Rock / Soil
1	Καλαμάτα	1986	8601T	-	KALAMATA	5,90	7,12	474,00	S
2	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #1.	000	LP-000	6,93	8,84	1425,84	R
3				090	LP-090				
4	Cape Mendoncino	1992	Petrolia	000	PETROLIA	7,01	0,00	712,80	R
5	Κοζάνη	1995	CHR19513	-	KOZANI	5,10	13,30	596,77	S
6	Kobe, Japan	1995	Kobe University	EW	KOBEEW	6,90	0,90	1043,00	R
7				NS	KOBENS				
8	Kocaeli, Turkey	1999	Gebze	000	GEBZE	7,51	7,57	792,00	R
9	Kocaeli, Turkey	1999	Izmit	090	IZMIT	7,51	3,62	811,00	R
10	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU052	N	TCU052	7,62	0,66	579,10	S
11	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU068	E	TCU068	7,62	0,32	487,30	S

Πίνακας 4.3 : Πίνακας με τις καταγραφές με παλμό κατευθυντικότητας

Καταγραφές Ζώνης Z3-0,36g				
#	Σεισμοί	Σταθμός	Κωδικός Καταγραφής	PGA(g) στο αναδυόμενο υπόβαθρο
1	Chi-Chi, Taiwan	TCU084	ChiTC84-N	0,455
2	Niigata	NIG023	NIG-NS	0,405
3	Loma Prieta	Gilroy Array#1	LP-000	0,415
4	Loma Prieta	Gilroy Array#1	LP-090	0,485
5	Καλαμάτα	8601T	KALAMATA	0,386
6	Cape Mendoncino	Petrolia	PETROLIA	0,594
7	Chi-Chi, Taiwan	TCU052	TCU052	0,421
8	Chi-Chi, Taiwan	TCU068	TCU068	0,462

Καταγραφές Ζώνης Z2-0,24g				
#	Σεισμοί	Σταθμός	Κωδικός Καταγραφής	PGA(g) στο αναδυόμενο υπόβαθρο
1	Loma Prieta	Gilroy Gavillan Coll.	LPGG-067	0,314
2	Loma Prieta	Gilroy Gavillan Coll.	LPGG-337	0,339
3	Niigata	NIG023	NIG-EW	0,282
4	Parkfield-02	PARKFIELD-TURKEY FLAT #1	PAR-270	0,245
5	Tottori	SMN015	TOT-EW	0,275
6	Tottori	SMNH10	TOTSM10-EW	0,259
7	Kocaeli	Gebze	GEBZE	0,244
8	Kobe, Japan	Kobe University	KOBE-EW	0,250
9	Kobe, Japan	Kobe University	KOBE-NS	0,348

Καταγραφές Ζώνης Z1-0,16g				
#	Σεισμοί	Σταθμός	Κωδικός Καταγραφής	PGA(g) στο αναδυόμενο υπόβαθρο
1	Chi-Chi, Taiwan	HWA003	Chi-N	0,138
2	Hollister-03	Gilroy array#1	HOL3-247	0,141
3	Northridge-01	Vasquez Rocks Park	NOR1-000	0,151
4	Northridge-01	Vasquez Rocks Park	NOR1-090	0,139
5	Parkfield-02	PARKFIELD-TURKEY FLAT #1	PAR-360	0,196
6	San Fernando	Lake Hughes #9	SF-21	0,221
7	San Fernando	Lake Hughes #9	SF-291	0,158
8	Tottori	SMN015	TOT-NS	0,160
9	Tottori	SMNH10	TOTSM10-NS	0,162
10	Kocaeli	Izmit	IZMIT	0,220
11	Κοζάνη	CHR19513	KOZANI	0,192

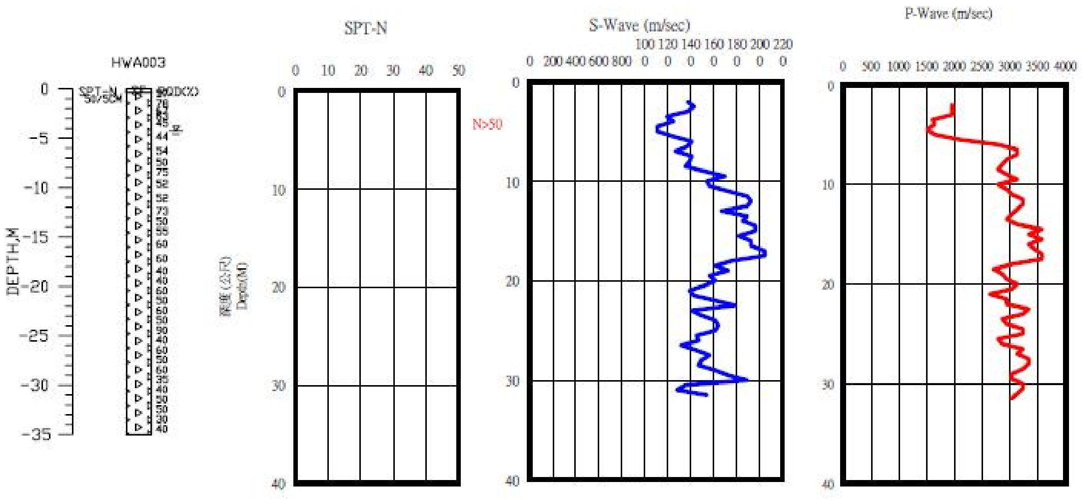
Πίνακας 4.4 : Καταγραφές που περιέχει η κάθε ζώνη κατηγοριοποίησης του δείγματος οι οποίες ανήχθησαν στην επιτάχυνση αναφοράς της ζώνης.

4.3.1 Εδαφικά προφίλ σταθμών μελετώμενων διεγέρσεων

Στην παράγραφο αυτή συγκεντρώνονται οι σταθμοί των καταγραφών που αποτελούν το δείγμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για κάθε σταθμό παρουσιάζονται τα στοιχεία που βρέθηκαν είτε βιβλιογραφικά, είτε μέσω γεωτρήσεων και συνέβαλαν στη διαμόρφωση του εδαφικού προφίλ κάθε σταθμού με σκοπό να γίνει δυνατή η προσομοίωση του στο πρόγραμμα SHAKE 2000, ούτως ώστε να επιλυθεί το αντίστροφο πρόβλημα, η αναγωγή δηλαδή όλων των καταγραφών σε βραχώδες υπόβαθρο μεγαλύτερου βάθους. Στις περιπτώσεις που δεν βρέθηκαν αρκετές πληροφορίες για τις εδαφικές συνθήκες του μελετώμενου σταθμού η διαμόρφωση των προφίλ της κατανομής της ταχύτητας διάδοσης διατμητικών κυμάτων γίνεται με λογικές παραδοχές βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους με την αύξηση του βάθους, διασφαλίζοντας όμως σε κάθε περίπτωση ότι η $V_{S,\ 30}$ του σταθμού συμπίπτει με την τιμή των πινάκων που δίνεται από την βάση δεδομένων του Peer (Peer Ground Motion Database). Οι πληροφορίες για τα προφίλ των σταθμών στους οποίους καταγράφηκαν διεγέρσεις που περιέχουν παλμό κατευθυντικότητας προέρχονται από την διπλωματική εργασία της φοιτήτριας Ευαγγελίας Κορρέ με θέμα «ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ».

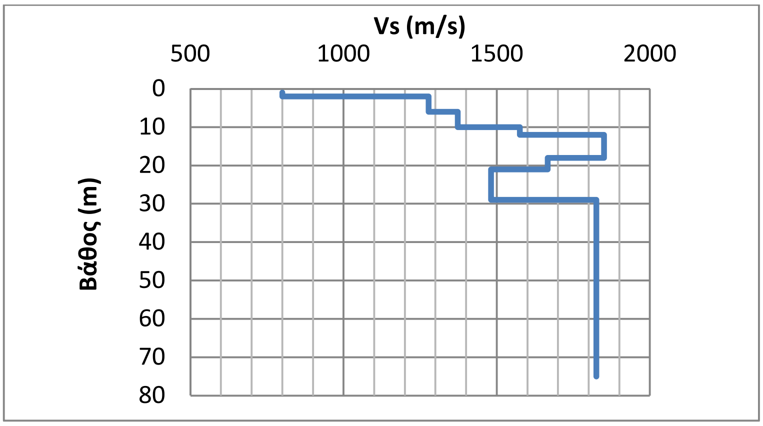
- Σταθμός HWA003

Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο CWB το οποίο παρέχει ηλεκτρονικά στην Engineering Geological Database for TSMIP όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού (Σχήμα 4.3). Από τον σταθμό αυτό προέρχεται μία από τις συλλεχθείσες καταγραφές από τον σεισμό Chi-Chi, Taiwan 1999.



Σχήμα 4.3 : Στρωματογραφία και προφίλ κατανομής διατμητικής ταχύτητας
(Πηγή: http://egdt.ncree.org.tw/PDF/HWA003.pdf)

Από το γεωλογικό χάρτη επεξήγησης των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις εδαφικές τομές και ο οποίος βρίσκεται στην ιστοσελίδα του δικτύου, βλέπουμε ότι το πρώτο 1m του σχηματισμού αποτελείται από επιχώσεις ενώ ο υπόλοιπος σχηματισμός θεωρείται βράχος. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι 1438,48 m/s, επομένως ο παραπάνω σταθμός βρίσκεται σε αμιγώς βραχώδη θέση. Το προφίλ που διαμορφώθηκε γαι την προσομοίωση φαίνεται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό HWA003

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για τα εδαφικά υλικά της επίχωσης, υποθέτουμε πυκνότητα 1,8 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 17,66 kN/m^3 ή 0,113 kcf, ενώ για το βράχο υποθέτουμε πυκνότητα 2,3t/m^3 που αντιστοιχεί σε 22,56 kN/m^3 ή 0,144 kcf.
- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της ποιοτικής περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για την επίχωση χρησιμοποιείται η καμπύλη για το έδαφος με μικρή πλαστιμότητα (Soil,PI=10-20) των Vucetic & Dobry (1991), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

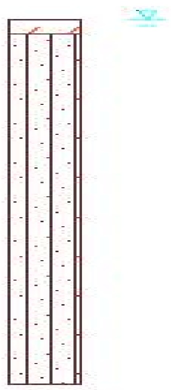
❖ Σταθμός TCU084

Ο σταθμός αυτός ανήκει επίσης στο δίκτυο CWB. Μέσω του Engineering Geological Database for TSMIP διαπιστώνεται ότι το εδαφικό προφίλ του σταθμού αποτελέιται από ένα μέτρο άμμου κάτω από το οποίο εκδηλώνεται ο βραχώδης σχηματισμός. Για την προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού χρησιμοποιήθηκε το προφίλ που φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται μία από τις συλλεχθείσες καταγραφές από τον σεισμό Chi-Chi, Taiwan 1999.

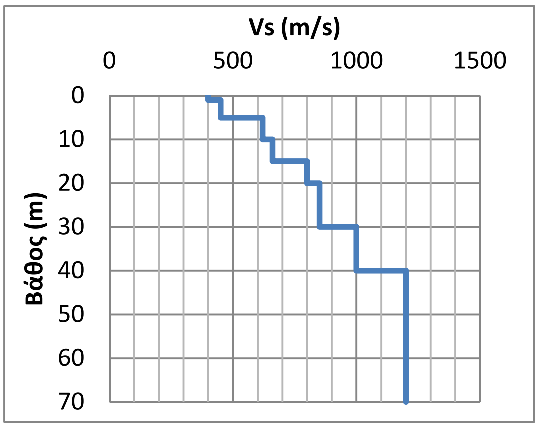
Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για το εδαφικό στρώμα της άμμου τίθεται πυκνότητα 1,70 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 16,68kN/m^3 ή 0,106kcf. Για το βραχώδη σχηματισμό υποθέτουμε σταδιακή αύξηση της πυκνότητας με το βάθος με τιμές να ξεκινάνε από 1,90t/m^3 που αντιστοιχεί σε 18,64kN/m^3 ή 0,119kcf και να καταλήγουν για βάθη μεγαλύτερα των 30m σε τιμή 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.

- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για την άμμο χρησιμοποιείται η καμπύλη για πυκνή άμμο Sand Average κατά Seed et al. (1984). Για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.



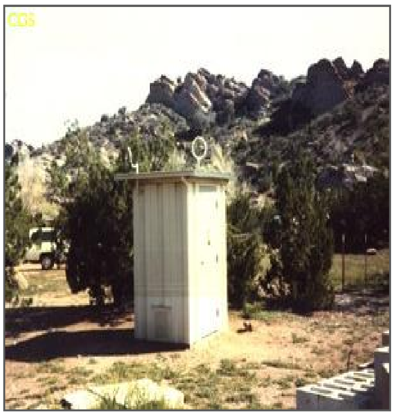
Σχήμα 4.5 : Εδαφική τομή σταθμού TCU084(Πηγή: http://egdt.ncree.org.tw/PDF/TCU084.pdf)



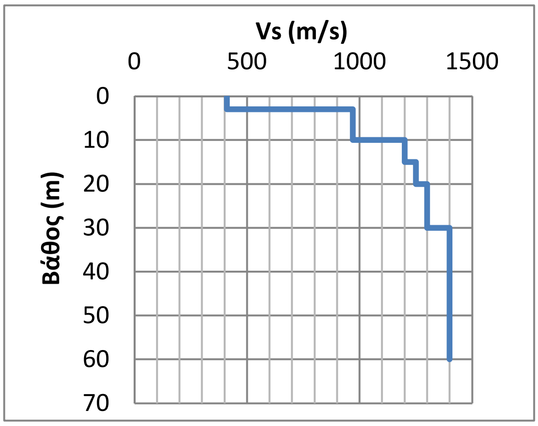
Σχήμα 4.6 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό TCU084

❖ Σταθμός Vasquez Rock Park

Ο σταθμός ανήκει στο δίκτυο CSMIP και σύμφωνα με την σελίδα του Strong Motion Virtual Data Center, στα πρώτα 3m της εδαφικής τομής του σταθμού συναντώνται αλλουβιανές αποθέσεις, ενώ στα επόμενα απαντάται ο βραχώδης σχηματισμός. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι 996m/s, επομένως ο παραπάνω σταθμός βρίσκεται σε αμιγώς βραχώδη θέση. Το προφίλ του σταθμού διαμορφώθηκε θεωρώντας σταδιακή βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους, δηλαδή βαθμιαία αύξηση των τιμών της ταχύτητας διάδοσης των διατμητικών κυμάτων και φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται η καταγραφή από τον σεισμό Northridge, 1994.



Σχήμα 4.7 Σταθμός Vasquez Rock Park



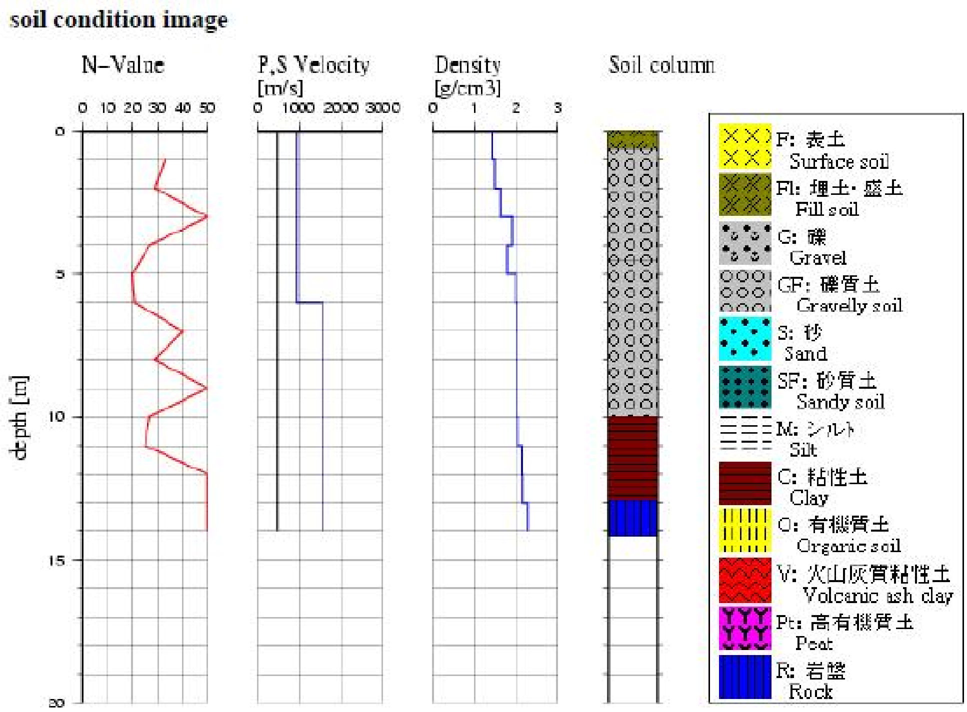
Σχήμα 4.8: Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Vasquez Rock Park

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για τα εδαφικά υλικά του αλλούβιου, υποθέτουμε πυκνότητα 1,7 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 16,68/ kN/m^3.ή 0,106 kcf, ενώ για το βράχο υποθέτουμε πυκνότητα 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58 kN/m^3 ή 0,138 kcf.
- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για το αλλούβιο χρησιμοποιείται η καμπύλη για άργιλο με μεγάλη πλαστιμότητα (Clay, PI=20-40) των Sun et al (1988), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός SMN015

Ο σταθμός ανήκει στο δίκτυο K-NET και το οποίο παρέχει διαδικτυακά πληροφορίες για τους περισσότερους σταθμούς του. Στο Σχήμα 4.9 που ακολουθεί, δίνονται αναλυτικές πληροφορίες για την κατανομή της πυκνότητας και της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων με το βάθος, σύμφωνα με οποία έγινε και η προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ για το σταθμό αυτό, είναι 1272,63m/s. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται μία από τις καταγραφές από τον σεισμό Tottori, Japan 2000.



Σχήμα 4.9 : Προφίλ και γεωλογικά χαρακτηριστικά σταθμού SMN015
(Πηγή: http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/db/index_en.html?all)

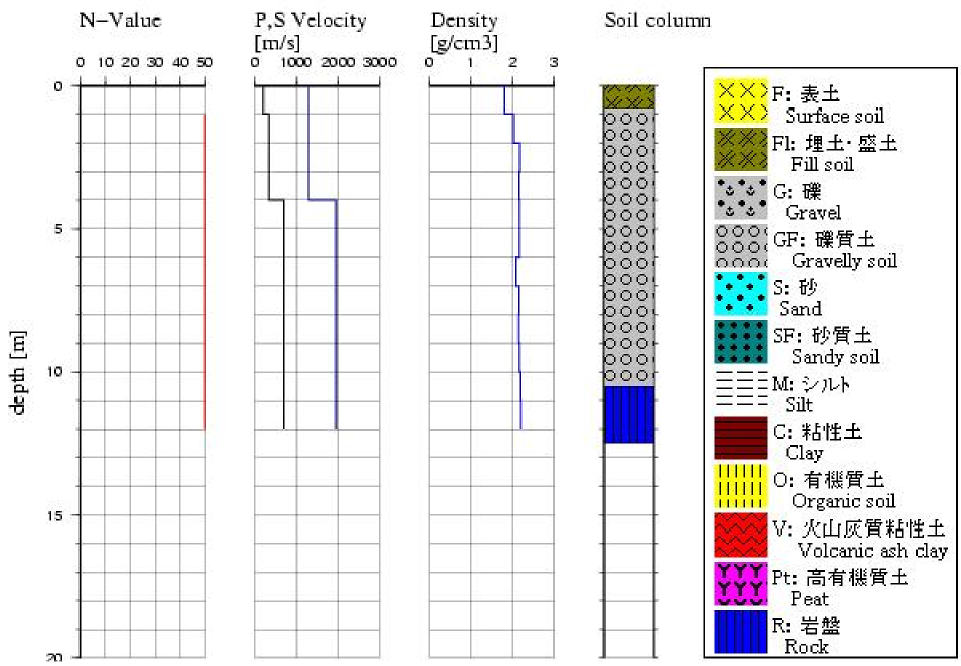
Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για το εδαφικό στρώμα της επίχωσης υποθέτουμε πυκνότητα 1,42 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 13,93 kN/m^3.ή 0,089 kcf. Για το πρώτο στρώμα των χαλικιών υποθέτουμε πυκνότητα 1,64t/m^3 που αντιστοιχεί σε 16,09 kN/m^3 ή 0,103 kcf, ενώ για το δεύτερο 1,95t/m^3 που αντιστοιχεί σε 19,13 kN/m^3 ή 0,122 kcf. Στο στρώμα της αργίλου θεωρείται πυκνότητα 2,10t/m^3 που αντιστοιχεί σε 20,60 kN/m^3 ή 0,131 kcf, ενώ για το βράχο υποθέτουμε πυκνότητα 2,27t/m^3 που αντιστοιχεί σε 22,27 kN/m^3 ή 0,142 kcf.

- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για την επιχώση χρησιμοποιείται η καμπύλη για το έδαφος με μικρή πλαστιμότητα (Soil,PI=10-20) των Vucetic & Dobry (1991), για την αργιλική στρώση χρησιμοποιείται η καμπύλη για άργιλο με μεγάλη πλαστιμότητα (Clay, PI=20-40) των Sun et al (1988), για τις στρώσεις των χαλικιών χρησιμοποιείται η καμπύλη Gravel Average των Seed et al (1986), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός NIG023

Ο παραπάνω σταθμός ανήκει επίσης στο δίκτυο K-NET. Στο Σχήμα 4.10 που ακολουθεί, δίνονται αναλυτικές πληροφορίες για την κατανομή της πυκνότητας και της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων με το βάθος, σύμφωνα με οποία έγινε και η προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού και οι οποίες παρέχονται διαδικτυακά στην σελίδα του σταθμού. Η τιμή της $V_{S,\,30}$ γι' αυτό το σταθμό προκύπτει 1733,33m/s. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται η καταγραφή από τον σεισμό της Niigata, Japan 2004.



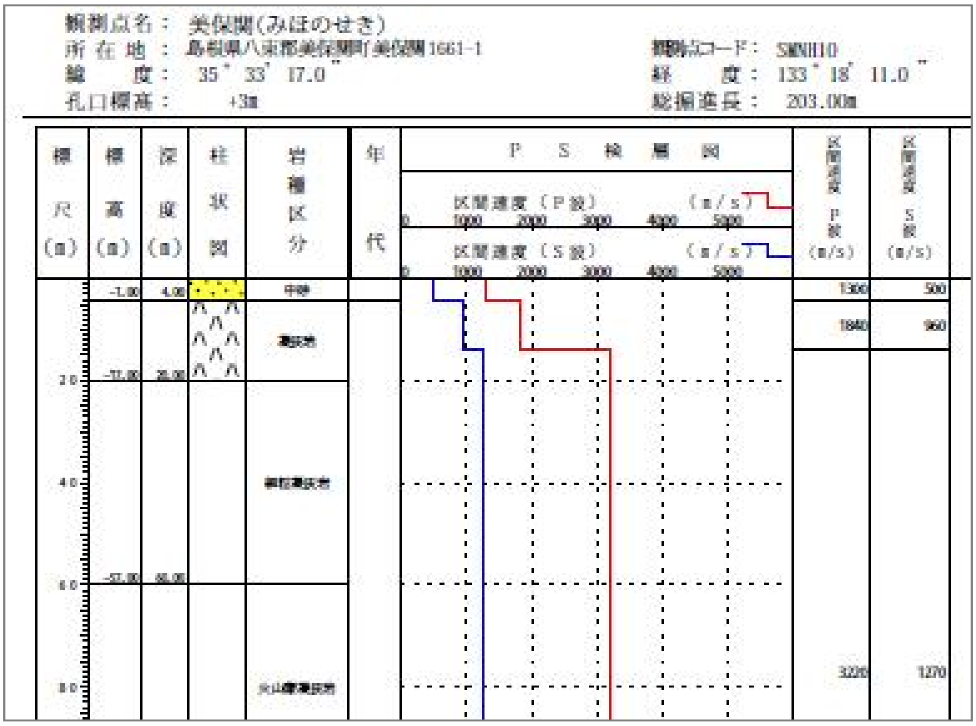
Σχήμα 4.10 : Προφίλ και γεωλογικά χαρακτηριστικά σταθμού NIG023
(Πηγή: http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/db/index_en.html?all)

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για το εδαφικό στρώμα της επίχωσης τίθεται πυκνότητα 1,80 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 17,66kN/m^3.ή 0,113kcf. Για το στρώμα των χαλικιών υποθέτουμε πυκνότητα 2,10t/m^3 που αντιστοιχεί σε 20,60kN/m^3 ή 0,131kcf, ενώ για το βράχο υποθέτουμε πυκνότητα 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για την επιχώση χρησιμοποιείται η καμπύλη για το έδαφος με μικρή πλαστιμότητα (Soil,PI=0-10) των Vucetic & Dobry (1991), για τις στρώσεις των χαλικιών χρησιμοποιείται η καμπύλη Gravel Average των Seed et al (1986), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός SMNH10

Ο παραπάνω σταθμός ανήκει επίσης στο δίκτυο K-NET. Στο Σχήμα 4.11 που ακολουθεί, δίνονται αναλυτικές πληροφορίες για την κατανομή της πυκνότητας και της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων με το βάθος, σύμφωνα με οποία έγινε και η προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού και οι οποίες παρέχονται διαδικτυακά στην σελίδα του σταθμού. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ γι' αυτό το σταθμό προκύπτει 921,20m/s, και θεωρείται ότι βρίσκεται σε αμιγώς βραχώδη θέση. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα στα πρώτα 4m του εδαφικού προφίλ απαντάται άμμος, στα επόμενα 6m ηφαιστειακά πετρώματα και από τα 10m και κάτω βρίσκεται ο βραχώδης σχηματισμός. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται μία απότης καταγραφές από τον σεισμό Tottori, Japan 2000.



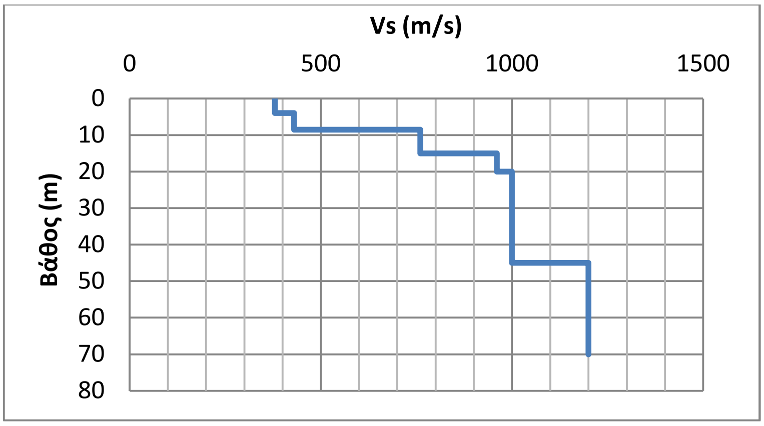
Σχήμα 4.11 : Προφίλ και γεωλογικά χαρακτηριστικά σταθμού SMNH10
(Πηγή: http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/db/index_en.html?all)

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για το εδαφικό στρώμα της άμμου τίθεται πυκνότητα 1,80 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 17,66kN/m^3.ή 0,113kcf. Για το στρώμα του ηφαιστειακού πετρώματος υποθέτουμε πυκνότητα 1,90t/m^3 που αντιστοιχεί σε 18,64kN/m^3 ή 0,119kcf, ενώ για το βράχο υποθέτουμε πυκνότητα 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για την άμμο χρησιμοποιείται η καμπύλη για πυκνή άμμο Sand Average κατά Seed et al. (1984). Για τα ηφαιστειακά πετρώματα επιλέγεται η καμπύλη Rockfill-Gazetas-Soil Dynamics and Earthquake Eng.1992 και για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός Lake Hughes #9

Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο CSMIP και σύμφωνα με την σελίδα του Strong Motion Virtual Data Center, στα πρώτα μέτρα της εδαφικής τομής του σταθμού συναντώνται αλλουβιανές αποθέσεις, ενώ στα επόμενα απαντάται γρανίτης. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι 670,36m/s, και αυτός ο σταθμός θεωρείται ότι βρίσκεται σε θέση με εδαφική απόθεση. Σύμφωνα με την τελική αναφορά "Analysis of Vibrations and Infrastructure Deterioration Caused by High-Speed Rail Transit", που έγινε από τον Hung Leung Wong τον Δεκέμβριο του 2005, δίνονται τα απλοποιημένα προφίλ για διάφορους σταθμούς. Με βάση τη συγκεκριμένη αναφορά και με θεώρηση σταδιακής βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους, μορφώνεται το εδαφικό προφίλ σταθμού που φαίνεται στο Σχήμα 4.12. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται η καταγραφή από τον σεισμό του San Fernando, 1971.



Σχήμα 4.12 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Lake Hughes #9

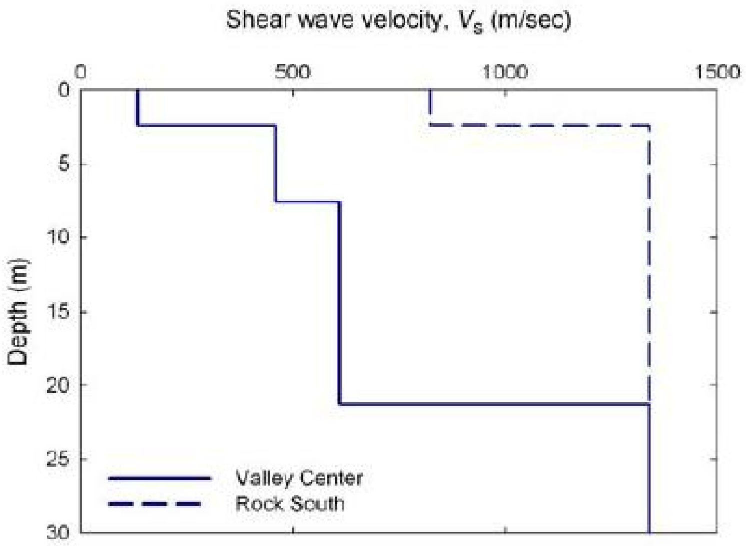
Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για τα εδαφικά στρώματα των αλλουβιανών αποθέσεων τίθεται πυκνότητα 1,80 t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 17,66kN/m^3.ή 0,113kcf, ενώ για το βράχο υποθέτουμε πυκνότητα 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.

- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, κι έτσι για τις αλλουβιανές αποθέσεις χρησιμοποιείται η καμπύλη για την άργιλο με μικρή πλαστιμότητα (Clay, PI=10-20) των Sun et al (1988), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός Parkfield-Turkey Flat#1

Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο CSMIP και σύμφωνα με την σελίδα του Strong Motion Virtual Data Center, βρίσκεται σε θέση όπου έχουμε επιφανειακή εκδήλωση του βραχώδους υπόβαθρου. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται και στο άρθρο του Steven L. Kramer: "Analysis of Turkey Flat ground motion prediction experiment lessons learned and implifications for practice", οπου περιλαμβάνεται και το εδαφικό προφίλ του σταθμού που χρησιμοποιείται για την ανάλυση, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 4.13 και στην καμπύλη Rock South. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ γι' αυτόν τον σταθμό είναι 907,18m/s. Από αυτό το σταθμό προέρχεται η καταγραφή του σεισμού του Parkfield, 2004.



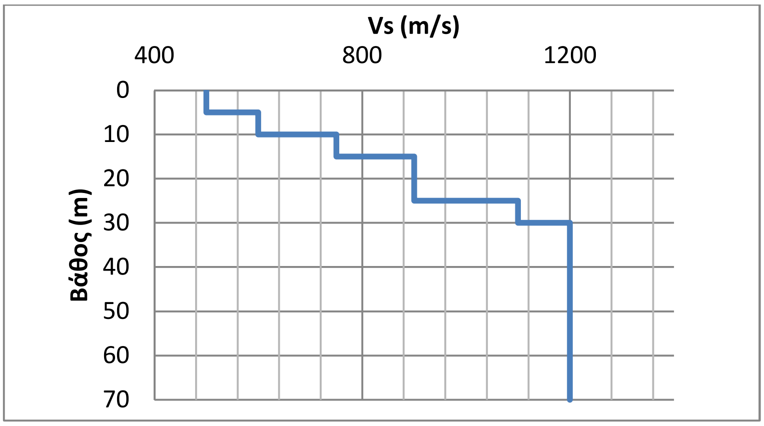
Σχήμα 4.13 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Parkfield-Turkey Flat#1 (Πηγή: "Analysis of Turkey Flat ground motion prediction experiment lessons learned and implifications for practice", Steven L. Kramer)

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα του βράχου θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

- Σταθμός Gilroy Gavilan College Science Bld

Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο CSMIP και σύμφωνα με το άρθρο " DESIGN GROUND MOTIONS NEAR ACTIVE FAULTS", των Jonathan D. Bray, Adrian Rodriguez-Marek and Joanne L. Gillie, στον σταθμό αυτό σημειώνεται επιφανειακή εκδήλωση του βραχώδους υποβάθρου. Στο ίδιο άρθρο δίνεται μια γενικευμένη κατανομή της διατμητικής ταχύτητας για σταθμούς στην Καλιφόρνια, όπου ανήκει και ο παραπάνω σταθμός. Βάσει αυτής της κατανομής αλλά και της $V_{S,\ 30}$ που δίνεται από την βάση δεδομένων του Peer και ισούται με 730m/s, μορφώθηκε το εδαφικό προφίλ του σταθμού όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14. Από αυτό το σταθμό προέρχεται μία από τις καταγραφές του σεισμού Loma Prieta, 1989.



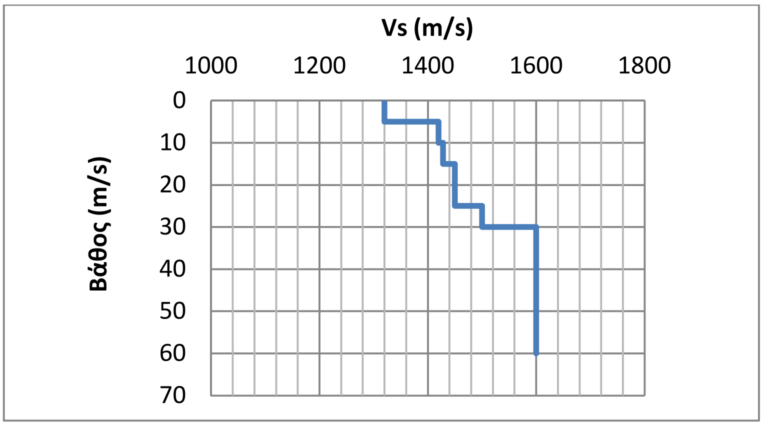
Σχήμα 4.14: Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Gilroy Gavilan College Science Bld

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Η πυκνότητα του βράχου θεωρείται στα επιφανειακά στρώματα 1,9t/m^3 που αντιστοιχεί σε 18,64kN/m^3 ή 0,119kcf, ενώ στα βαθύτερα στρώματα θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση όλων των στρωμάτων του εδαφικού προφίλ είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

- Σταθμός Gilroy Array #1

Ο σταθμός αυτός ανήκει επίσης στο δίκτυο CSMIP. Σύμφωνα με την σελίδα του Strong Motion Virtual Data Center και με το άρθρο "Local Site Effects On Weak and Strong Ground Motion", Department of Geological Sciences-University of Southern California USA, στον σταθμό αυτό σημειώνεται επιφανειακή εκδήλωση του βραχώδους υποβάθρου Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ δίνεται ίση με 1428m/s βάση της οποίας διαμορφώθηκε το προφίλ κατανομής της Vs του σταθμού, το οποίο δίνεται στο Σχήμα 4.15. Από αυτό το σταθμό προέρχονται οι καταγραφές από τους σεισμούς Hollister, 1974 και Loma Prieta, 1989. Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη καταγραφή από το σεισμό Loma Prieta έχει παλμό κατευθυντικότητας.



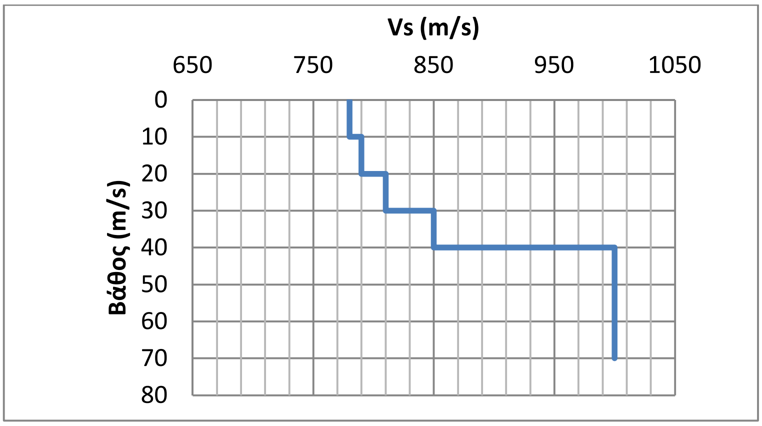
Σχήμα 4.15: Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Gilroy Array#1

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα σε όλο το βραχώδη σχηματισμό θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση όλων των στρωμάτων του εδαφικού προφίλ είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός Gebze

Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο ERD και σύμφωνα με στοιχεία που παρέχονται από τη βάση δεδομένων του Peer η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι ίση με 792m/s. Γι' αυτό το λόγο στο συγκεκριμένο σταθμό θεωρείται ότι έχουμε επιφανειακή εκδήλωση του βραχώδους υποβάθρου. Το εδαφικό προφίλ του σταθμού δίνεται στο Σχήμα 4.16. Από αυτό το σταθμό προέρχεται μία από τις καταγραφές του σεισμού Kocaeli, 1999 η οποία έχει παλμό κατευθυντικότητας.



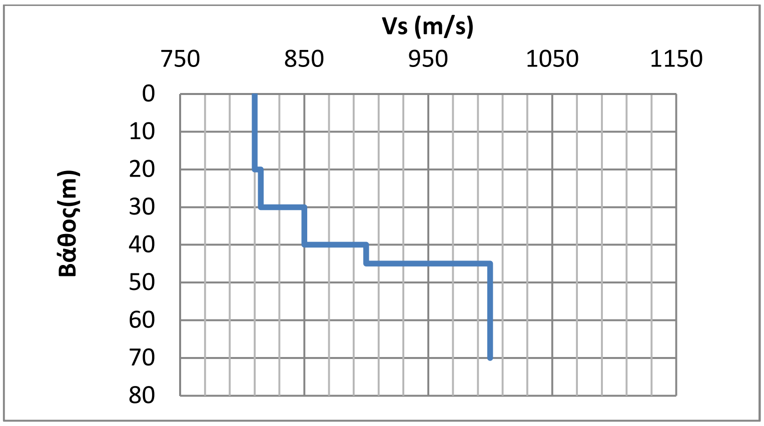
Σχήμα 4.16 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Gebze

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα σε όλο το βραχώδη σχηματισμό θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση όλων των στρωμάτων του εδαφικού προφίλ είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός Izmit

Ο σταθμός αυτός ανήκει επίσης στο δίκτυο ERD και σύμφωνα με στοιχεία που παρέχονται από τη βάση δεδομένων του Peer η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι ίση με 811m/s. Γι' αυτό το λόγο στο συγκεκριμένο σταθμό θεωρείται ότι έχουμε επιφανειακή εκδήλωση του βραχώδους υποβάθρου. Το εδαφικό προφίλ του σταθμού δίνεται στο Σχήμα 4.17. Από αυτό το σταθμό προέρχεται μία από τις καταγραφές του σεισμού Kocaeli, 1999 η οποία έχει παλμό κατευθυντικότητας.



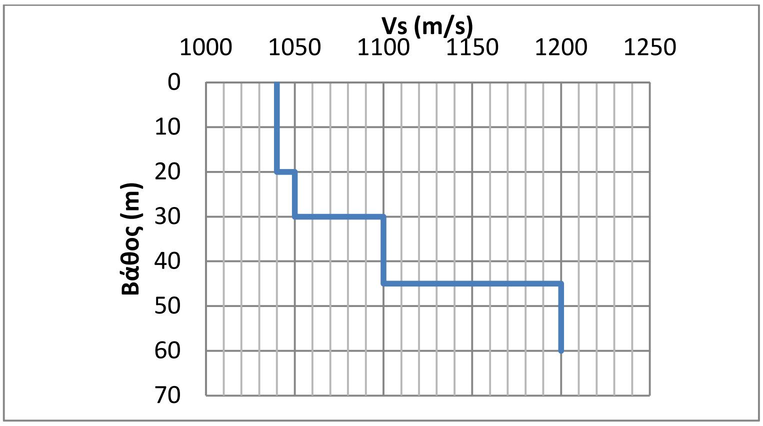
Σχήμα 4.17 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Izmit

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα σε όλο το βραχώδη σχηματισμό θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση όλων των στρωμάτων του εδαφικού προφίλ είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός Kobe University

Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο CEOR και σύμφωνα με στοιχεία που παρέχονται από τη βάση δεδομένων του Peer η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι ίση με 1043m/s. Ο σταθμός κείται επί του αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου και σε αύλειο χώρο οπότε θεωρείται καταγραφή ελευθέρου πεδίου. Το εδαφικό προφίλ του σταθμού δίνεται στο Σχήμα 4.18. Από αυτό το σταθμό προέρχεται η καταγραφή του σεισμού του Kobe, Japan 1995, η οποία έχει παλμό κατευθυντικότητας.



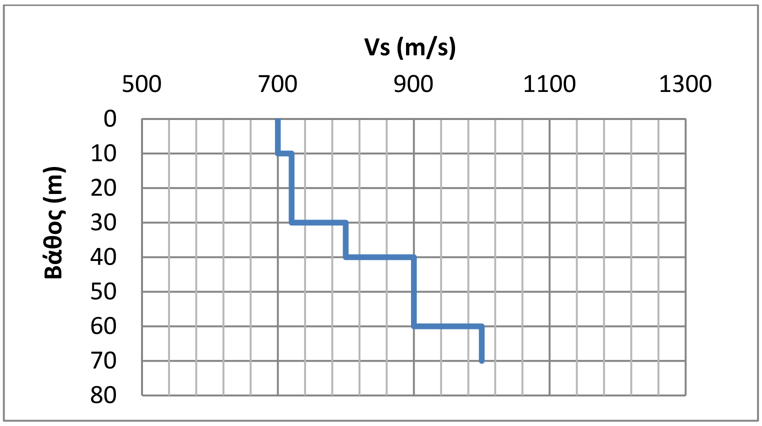
Σχήμα 4.18 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Kobe University

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα σε όλο το βραχώδη σχηματισμό θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση όλων των στρωμάτων του εδαφικού προφίλ είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός Petrolia

Στο σταθμό αυτό, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του Peer, η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι ίση με 712,80m/s. Ο σταθμός κείται επί του αναδυόμενου βραχώδους υποβάθρου και το εδαφικό προφίλ που διαμορφώθηκε περιγράφεται στο Σχήμα 4.19. Από αυτό το σταθμό προέρχεται η καταγραφή του σεισμού του Cape Mendocino 1992, η οποία έχει παλμό κατευθυντικότητας.



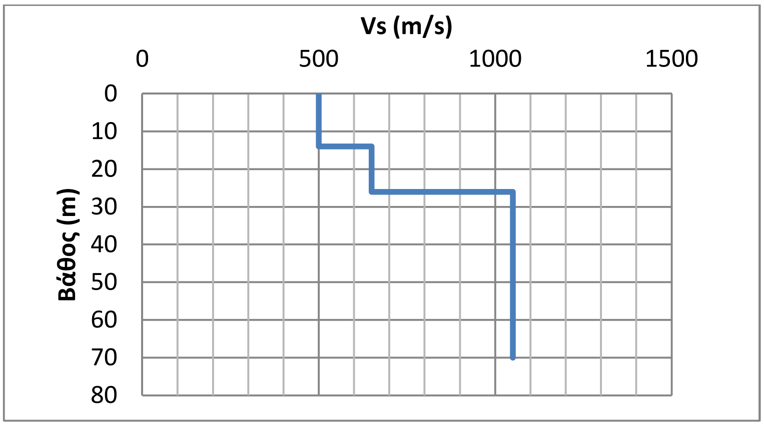
Σχήμα 4.19 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό Petrolia

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα σε όλο το βραχώδη σχηματισμό θεωρείται 2,2t/m^3 που αντιστοιχεί σε 21,58kN/m^3 ή 0,138kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για την προσομοίωση όλων των στρωμάτων του εδαφικού προφίλ είναι η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός CHR19513-Χρώμιο Κοζάνης

Ο σταθμός βρίσκεται στο χωριό του Χρωμίου, επί του ισογείου του μονώροφου κτηρίου Community Building. Αναφορικά με τις εδαφικές συνθήκες, ο σταθμός κείται επί εδαφικής στρωματογραφίας αποτελούμενης κυρίως από αμμοχάλικο και άμμο. Βάσει της ποιοτικής περιγραφής και των τιμών της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων σε εκάστη στρώση προκύπτει το εδαφικό προφίλ που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.20. Αναλυτικά η περιγραφή του εδαφικού προφίλ έχει ως εξής: Τα πρώτα 26 m αποτελούνται από αμμοχάλικο και άμμο με ταχύτητα διατμητικού κύματος ίση με 500 m/s στα πρώτα 14 m, ενώ στη συνέχεια και μέχρι το πέρας της στρώσης η ταχύτητα λαμβάνεται βελτιωμένη στην τιμή 650 m/s. Στα υπόλοιπα 14 m υπάρχει βραχώδες υλικό με ταχύτητα διατμητικού κύματος 1050 m/s. Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι ίση με 596,77m/s. Από το σταθμό αυτό προέρχεται η καταγραφή για τον σεισμό της Κοζάνης,1995, ο οποίος έχει παλμό κατευθυντικότητας.



Σχήμα 4.20 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό CHR19513-Κοζάνη

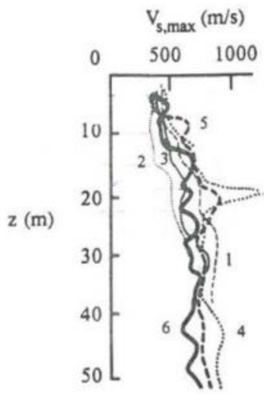
Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα για τα αμμώδη υλικά θεωρείται 1,85t/m^3 που αντιστοιχεί σε 18,15kN/m^3 ή 0,116kcf, ενώ για το βράχο δίνεται η τιμή 2,0 t/m3, δηλαδή ειδικό βάρος 19,62 kN/m^3 ή 0,125 kcf.

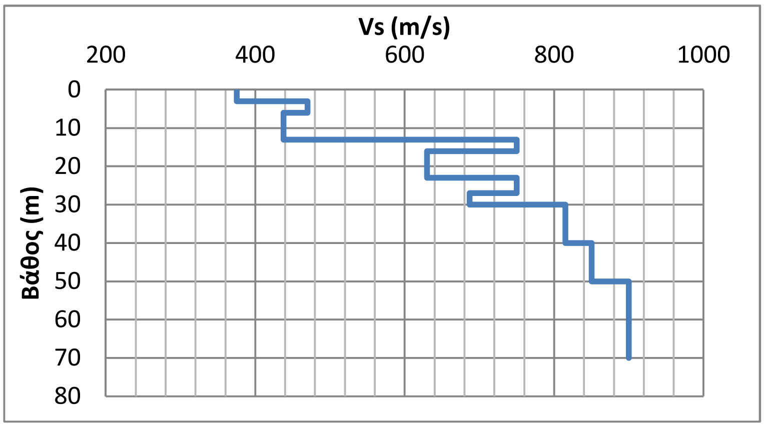
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για τα αμμώδη υλικά είναι η καμπύλη Sand Upper Bound, των Seed et al,1988, ενώ για το βραχώδη σχηματισμό επιλέγεται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

❖ Σταθμός 8601Τ -Κτήριο ΟΤΕ-Καλαμάτα

Ο σταθμός βρίσκεται στο υπόγειο του τριώροφου κτηρίου του Ο. Τ. Ε και για το λόγο αυτό η αλληλεπίδραση εδάφους κατασκευής θεωρείται αμελητέα. Στην περιοχή επικρατούν εναλλασόμενες στρώσεις ιλυώδους αμμοχαλίκου, αμμοϊλύος και αμμοχαλικώδους αργίλου, μέσης έως μεγάλης σχετικής πυκνότητας. Κάτω από αυτές τις εδαφικές στρώσεις βρίσκεται μάργα με βάθος τουλάχιστον 30m. Στο Σχήμα 4.21 δίνεται η γεώτρηση για διάφορα ενδεικτικά σημεία της πόλης συμπεριλαμβανομένου και του κτηρίου του Ο. Τ. Ε, η οποία σε συνδυασμό με αναλυτικές πληροφορίες από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο οδήγησαν στην διαμόρφωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού που φαίνεται στο Σχήμα 4.22. Για το σταθμό αυτό η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι ίση με 474,00m/s. Από το σταθμό αυτό προέρχεται η καταγραφή για τον σεισμό της Καλαμάτας, το 1986 κι έχει παλμό κατευθυντικότητας.



Σχήμα 4.21 : Γεωτρήσεις σε διάφορα σημεία της πόλης της Καλαμάτας



Σχήμα 4.22: Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό 8601Τ-Καλαμάτα

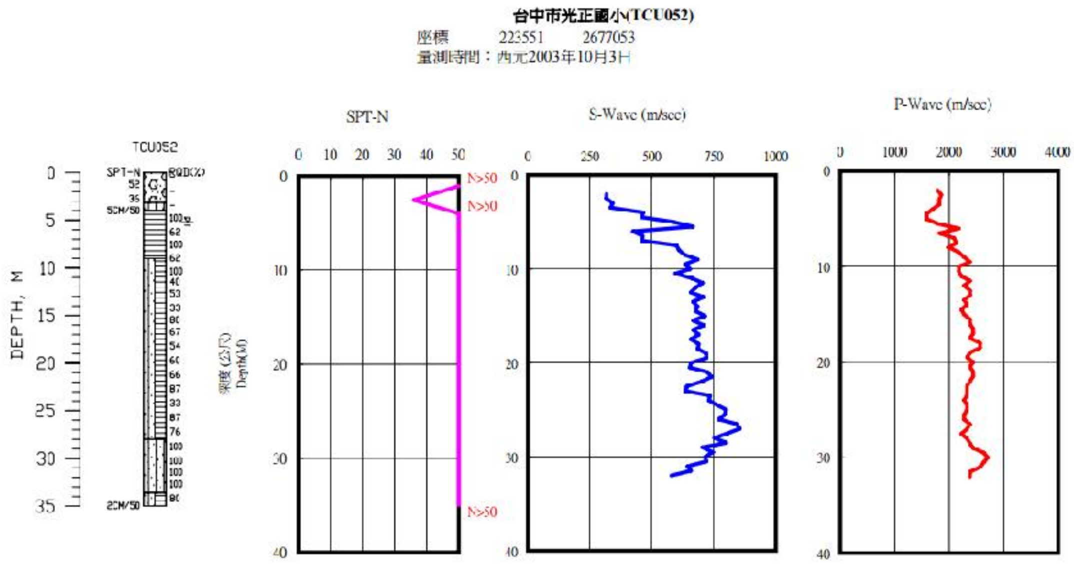
Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές:

- Η πυκνότητα για τα εδαφικά υλικά που περιγράφηκαν προηγουμένως θεωρείται 1,95t/m^3 που αντιστοιχεί σε 19,10kN/m^3 ή 0,122kcf, ενώ για η μάργα δίνεται η τιμή 2,2 t/m3, δηλαδή ειδικό βάρος 21,60 kN/m^3 ή 0,138 kcf.
- Η καμπύλη απομείωσης που επιλέγεται για τα εδαφικά υλικά με την θεώρηση ότι επικρατεί το αμμώδες στοιχείο είναι η καμπύλη Sand Upper Bound, των Seed et al,1988, ενώ για τη μάργα επιλέγεται η η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

- Σταθμός TCU052

Ο σταθμός αυτός ανήκει επίσης στο δίκτυο CWB το οποίο παρέχει ηλεκτρονικά στην Engineering Geological Database for TSMIP όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού (Σχήμα 4.23). Από τον σταθμό αυτό προέρχεται μια από τις συλλεχθείσες καταγραφές από τον σεισμό Chi-Chi, Taiwan 1999, η οποία περιέχει παλμό κατευθυντικότητας.

Από το γεωλογικό χάρτη επεξήγησης των συμβόλων που χρησιμοποιούνται στις εδαφικές τομές και ο οποίος βρίσκεται στην ιστοσελίδα του δικτύου, βλέπουμε ότι υπάρχουν εναλλασσόμενες στρώσεις ιλυολίθου, αργιλικού σχιστολίθου και κροκαλοπαγών. Για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους, χρησιμοποιήθηκε η μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στη Fengyuan και η οποία φαίνεται στο Σχήμα 4.24. Η τιμή της $V_{S,\,30}$ είναι 579,10m/s, επομένως ο παραπάνω σταθμός βρίσκεται σε θέση με εδαφική απόθεση. Το προφίλ που διαμορφώθηκε γαι την προσομοίωση φαίνεται στο Σχήμα 4.25.

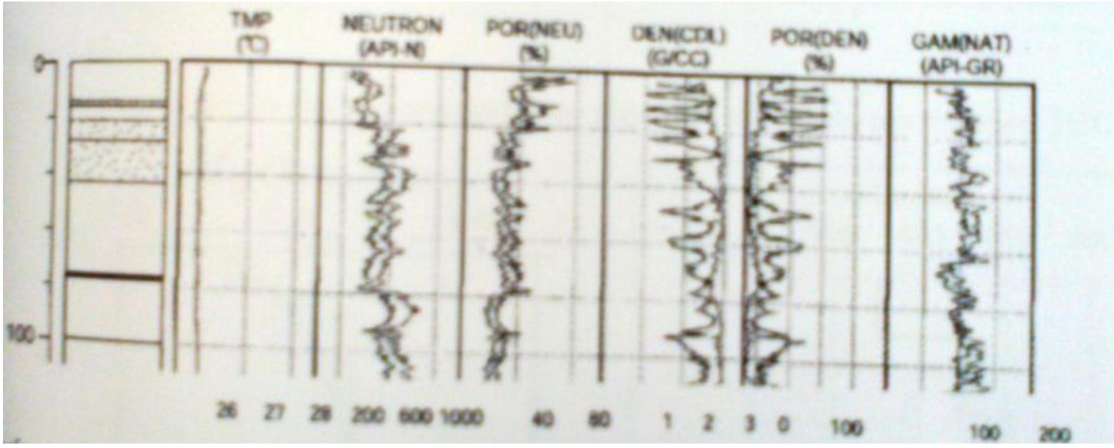


4.23 : Στρωματογραφία και προφίλ κατανομής διατμητικής ταχύτητας

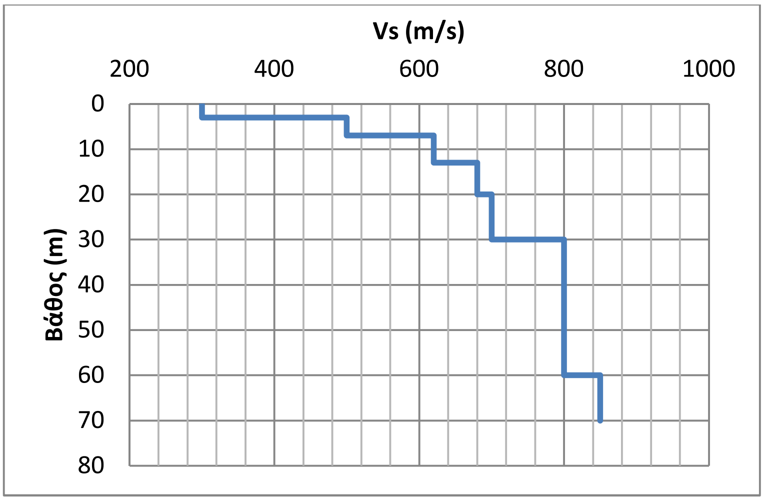
(Πηγή : http://egdt.ncree.org.tw/PDF/TCU052.pdf)

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για τα υλικά που βρίσκονται στα πρώτα 30m η πυκνότητα 1,9t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 18,64kN/m^3.ή 0,119kcf, ενώ για το βράχο δίνεται πυκνότητα 2,0t/m^3 που αντιστοιχεί σε 19,62kN/m^3 ή 0,125kcf.
- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της ποιοτικής περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για τα πρώτα μέτρα χρησιμοποιείται η καμπύλη για το έδαφος με μικρή πλαστιμότητα (Soil,PI=10-20) των Vucetic & Dobry (1991), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.



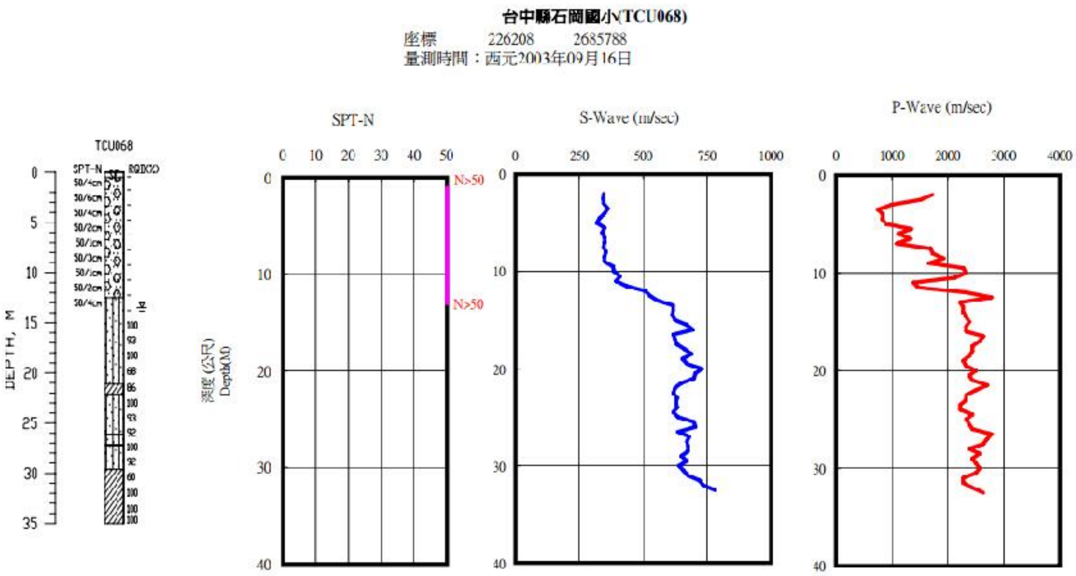
4.24 : Μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στη Fengyuan (Πηγή: Tanaka et al,2002)



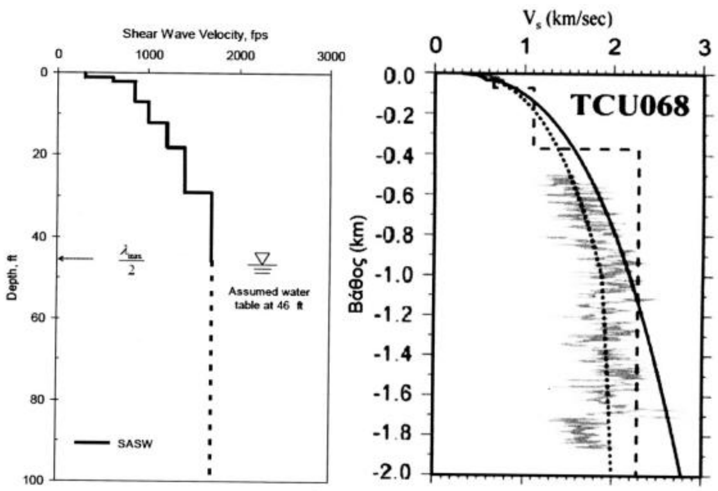
4.25 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό TCU052

- Σταθμός TCU068

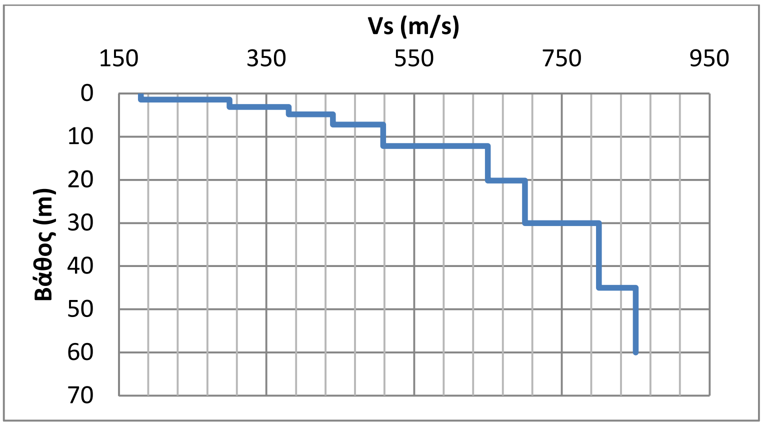
Ο σταθμός αυτός ανήκει επίσης στο δίκτυο CWB το οποίο παρέχει ηλεκτρονικά στην Engineering Geological Database for TSMIP όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την προσομοίωση του εδαφικού προφίλ του σταθμού (Σχήμα 4.26). Ακόμα έχουν ληφθεί γεωλογικές πληροφορίες από μία έρευνα του Πανεπιστημίου του Texas, στην οποία εφαρμόστηκε φασματική ανάλυση των επιφανειακών κυμάτων (Spectral Analysis of Surface Waves, SASW) και οι οποίες μας παρέχουν μεγάλη ακρίβεια για τα 30 πρώτα μέτρα (Σχήμα 4.27). Η τιμή της $V_{S,\ 30}$ είναι 487,30m/s, επομένως ο παραπάνω σταθμός βρίσκεται σε θέση με εδαφική απόθεση. Το προφίλ που διαμορφώθηκε γαι την προσομοίωση φαίνεται στο Σχήμα 4.28. Από τον σταθμό αυτό προέρχεται μία από τις συλλεχθείσες καταγραφές από τον σεισμό Chi-Chi, Taiwan 1999, η οποία περιέχει παλμό κατευθυντικότητας.



4.26 : Στρωματογραφία και προφίλ κατανομής διατμητικής ταχύτητας
(Πηγή : http://egdt.ncree.org.tw/PDF/TCU068.pdf)



4.27: Γεωλογικές πληροφορίες από έρευνα στο Πανεπιστήμιο του Texas



4.28 : Προφίλ κατανομής Vs για το σταθμό TCU068

Για την αριθμητική προσομοίωση του εδαφικού αυτού σχηματισμού στο πρόγραμμα SHAKE2000 γίνονται οι εξής παραδοχές για τα επιμέρους στρώματα:

- Για τα εδαφικά υλικά επιλέγεται πυκνότητα 1,9t/m^3 που αντιστοιχεί σε ειδικό βάρος 18,64kN/m^3.ή 0,119kcf, ενώ για το βράχο δίνεται πυκνότητα 2,0t/m^3 που αντιστοιχεί σε 19,62kN/m^3 ή 0,125kcf.
- Οι καμπύλες απομείωσης των εδαφικών στρωμάτων επιλέγονται βάσει της ποιοτικής περιγραφής που αναφέρθηκε παραπάνω, και έτσι για τα πρώτα μέτρα χρησιμοποιείται η καμπύλη για το έδαφος με μικρή πλαστιμότητα (Soil,PI=10-20) των Vucetic & Dobry (1991), ενώ για το βράχο χρησιμοποιείται η καμπύλη του Schnabel (1973) για βράχο.

4.4 Τα εδαφικά προφίλ των αναλύσεων του ευθέως προβλήματος

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η συνέχεια της μεθολογίας που ακολουθείται στην παρούσα διπλωματική εργασία, δηλαδή η μόρφωση και η επίλυση του ευθέως προβλήματος. Το ευθύ πρόβλημα αποσκοπεί τόσο στην διερεύνηση της επίδρασης των τοπικών εδαφικών συνθηκών στη μορφή των φασμάτων απόκρισης για σεισμούς με και χωρίς κατευθυντικότητα, όσο και στον έλεγχο επάρκειας των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού που προτείνονται στον Ευρωκώδικα 8.

Έτσι λοιπόν, διαμορφώνονται διάφορα εδαφικά προφίλ, το καθένα από τα οποία κατατάσσεται σε μία κατηγορία εδάφους σύμφωνα με την κατάταξη που αναφέρεται στον Ευρωκώδικα 8. Ο EC8 θέτει σαν βασικό κριτήριο στην κατηγοριοποίηση των εδαφών τη μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα 30 πρώτα m, όπως έχουμε ήδη δει στο Κεφάλαιο 3. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ειδικά για τις κατηγορίες Β και Ε όπου ορίζονται μεγαλύτερα εύρη για τις τιμές της $V_{s,30,}$ επιχειρήθηκε να διαμορφωθούν εναλλακτικά σενάρια εδαφικών προφίλ τα οποία ποικίλουν ως προς τις τιμές της $V_{s,30}$, ενώ ταυτόχρονα διαφοροποιούνται ως προς το πάχος και τις ιδιότητες των επιμέρους εδαφικών στρωμάτων αλλά και ως προς την ιδιοπερίοδο και το ύψος της εδαφικής στήλης μέχρι το σεισμικό υπόβαθρο. Για τις κατηγορίες C και D τα εναλλακτικά σενάρια έχουν παραπλήσιες τιμές της $V_{s,30}$, αλλά και αυτά παρουσιάζουν ποικιλία ως προσ την στρωματογραφία και τις ιδότητες των επιμέρους υλικών καθώς και ιδιοπερίοδο της εδαφικής στήλης και το ύψος μέχρι το σεισμικό υπόβαθρο. Σημειώνεται ότι τα εδαφικά προφίλ των κατηγοριών C, D και E βασίζονται σε αντίστοιχα προφίλ που είχαν δημιουργηθεί στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας της φοιτήτριας Ευαγγελίας Κορρέ με θέμα «ΕΔΑΦΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΣΤΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΣΕΙΣΜΟΥΣ ΚΟΝΤΙΝΟΥ ΠΕΔΙΟΥ».

Η μόρφωση των προφίλ βασίζεται στην λογική βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους με την αύξηση του βάθους λόγω του εγκιβωτισμού. Γι' αυτό το λόγο για τις κατηγορίες μαλακότερων εδαφών, δηλαδή τις κατηγορίες C και D, το σεισμικό υπόβαθρο τοποθετείται σε μεγαλύτερα βάθη με σκοπό να πραγματοποιείται μία σταδιακή και ομαλή βελτίωση των ιδιοτήτων της στρωματογραφίας. Διευκρινίζεται ακόμα ότι δεν μελετήθηκαν σενάρια για την κατηγορία Α του Ευρωκώδικα αφού αποτελεί βράχο, καθώς και για τις κατηγορίες S_1 και S_2, οι οποίες αναφέρονται σε εδάφη ευαίσθητα σε ρευστοποίηση και χρήζουν ιδιαίτερης μεταχείρισης και δεν εντάσσονται στο ερευνητικό πλαίσιο αυτής της εργασίας. Στις επόμενες σελίδες ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των διάφορων εδαφικών προφίλ που δημιουργήθηκαν για κάθε κατηγορία εδάφους.

- ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β

Η στρωματογραφία αυτής της κατηγορίας του Ευρωκώδικα περιλαμβάνει αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, τα οποία χαρακτηρίζονται από σταδιακή βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος. Η μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στα 30 πρώτα m κυμαίνεται από 360 εώς 800m/s. Στους Πίνακες 4.5-4.9 δίνονται τα αριθμητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των 5 εναλλακτικών σεναρίων εδαφικών προφίλ που αντιπροσωπεύουν την κατηγορία αυτή. Παρατηρούμε ότι τα δημιουργηθέντα προφίλ καλύπτουν όλο το φάσμα των $V_{s,30}$ που ορίζεται για την κατηγορία αυτή, ξεκινώντας από το προφίλ B1 όπου παρουσιάζει μικρότερη δυσκαμψία και καταλήγωντας στο B5 που πρόκειται για ένα έντονα στριφό έδαφος με πολύ μεγάλη δυσκαμψία. Σημειώνεται ότι το τελευταίο στρώμα κάθε εδαφικής στήλης αποτελεί το σεισμικό υπόβαθρο στο οποίο εισάγεται η χρονοϊστορία της ανάλυσης. Έτσι λοιπόν, το ύψος του σχηματισμού το οποίο υποβάλλεται στην σεισμική διέγερση είναι 40m για τα προφίλ B1, B2 και B5, ενώ για τα προφίλ B3 και B4 είναι 30m. Παρατηρούμε ότι τα 5 αυτά προφίλ παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις ως τα πάχη και τις ιδιότητες των υλικών που περιέχουν στην στρωματογραφία τους.

B1							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
5,0	16,4	370,00		1213,97	1,90	0,119	260,11
12,0	39,4	380,00	405,51	1246,78	1,90	0,119	274,36
13,0	42,6	450,00		1476,45	1,90	0,119	384,75
10,0	32,8	750,00		2460,75	2,00	0,125	1125,00
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,20	0,138	2200,00
50,0							

Πίνακας 4.5 : Προφίλ Β1

B2							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
5,0	16,4	450,00		1476,45	1,90	0,119	384,75
12,0	39,4	580,00	585,89	1902,98	1,90	0,119	639,16
13,0	42,6	670,00		2198,27	1,90	0,119	852,91
10,0	32,8	750,00		2460,75	2,00	0,125	1125,00
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,20	0,138	2200,00
50,0							

Πίνακας 4.6 : Προφίλ Β2

B3							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
7,0	23,0	390,00		1279,59	1,90	0,119	288,99
11,0	36,1	450,00	485,85	1476,45	1,90	0,119	384,75
12,0	39,4	620,00		2034,22	2,00	0,125	768,80
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,20	0,138	2200,00
40,0							

Πίνακας 4.7 : Προφίλ Β3

B4							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
5,0	16,4	450,00		1476,45	1,90	0,119	384,75
5,0	16,4	560,00	620,49	1837,36	1,90	0,119	595,84
10,0	32,8	660,00		2165,46	1,90	0,119	827,64
10,0	32,8	760,00		2493,56	2,00	0,125	1155,20
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,20	0,138	2200,00
40,0							

Πίνακας 4.8 : Προφίλ Β4

B5							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m³)	γ (kcf)	G (MPa)
5,0	16,4	550,00		1804,55	1,90	0,119	574,75
15,0	49,2	710,00	714,59	2329,51	1,90	0,119	957,79
10,0	32,8	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
10,0	32,8	950,00		3116,95	2,10	0,131	1895,25
10,0	32,8	1500,00		4921,50	2,20	0,138	4950,00
50,0							

Πίνακας 4.9 : Προφίλ B5

❖ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C

Η στρωματογραφία αυτής της κατηγορίας του Ευρωκώδικα περιλαμβάνει βαθειές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων η σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων. Η μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στα 30 πρώτα m κυμαίνεται από 180 εώς 360 m/s. Στους Πίνακες 4.10-4.12 δίνονται τα αριθμητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των 3 εναλλακτικών σεναρίων εδαφικών προφίλ που αντιπροσωπεύουν την κατηγορία αυτή. Στην κατηγορία αυτή το έδαφος είναι πολύ πιο μαλακό και εύτμητο, γεγονός που διαφαίνεται και στις τιμές της πυκνότητας των υλικών και αλλά και στην τιμή $V_{s,30}$. Όπως και πριν σημειώνεται ότι το τελευταίο στρώμα κάθε εδαφικής στήλης αποτελεί το σεισμικό υπόβαθρο στο οποίο εισάγεται η χρονοϊστορία της ανάλυσης. Έτσι λοιπόν, το ύψος του σχηματισμού το οποίο υποβάλλεται στην σεισμική διέγερση είναι 45m για τα προφίλ C1 και C3, ενώ για το προφίλ C2 είναι 50m. Παρατηρούμε ότι τα 3 αυτά προφίλ παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις ως τα πάχη και τις ιδιότητες των υλικών που περιέχουν στην στρωματογραφία τους.

C1							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m³)	γ (kcf)	G (MPa)
8,0	26,2	130,00		426,53	1,80	0,113	30,42
10,0	32,8	330,00	270,20	1115,54	1,80	0,113	208,08
12,0	39,4	650,00		2132,65	1,90	0,119	802,75
15,0	49,2	780,00		2559,18	2,00	0,125	1216,80
15,0	49,2	1000,00		3281,00	2,20	0,138	2200,00
60,0							

Πίνακας 4.10 : Προφίλ C1

C2							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
8,0	26,2	130,00		426,53	1,80	0,113	30,42
10,0	32,8	340,00	274,19	1115,54	1,80	0,113	208,08
12,0	39,4	650,00		2132,65	1,90	0,119	802,75
8,0	26,2	650,00		2132,65	1,90	0,119	802,75
12,0	39,4	780,00		2559,18	2,00	0,125	1216,80
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,20	0,138	2200,00
60,0							

Πίνακας 4.11 : Προφίλ C2

C3							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
8,0	26,2	130,00		426,53	1,80	0,113	30,42
10,0	32,8	340,00	281,06	1115,54	1,80	0,113	208,08
12,0	39,4	760,00		2493,56	1,90	0,119	1097,44
15,0	49,2	950,00		3116,95	2,00	0,125	1805,00
15,0	49,2	1500,00		4921,50	2,20	0,138	4950,00
60,0							

Πίνακας 4.12 : Προφίλ C3

- ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ D

Η περιγραφή της στρωματογραφίας για αυτή την κατηγορία του Ευρωκώδικα περιλαμβάνει αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεντικών υλικών), ή κυρίως μαλακά εώς μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα πλέον μαλακά εδάφη που χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή διατμητική αντοχή και γι' αυτό το λόγο τα σενάρια που διαμορφώθηκαν για αυτή την κατηγορία περιλαμβάνουν σχηματισμούς με μεγαλύτερο συνολικό ύψος από τους προηγούμενους. Επειδή ο κανονισμός κάνει έναν διαχωρισμό των εδαφών, ανάλογα με το αν παρεμβάλλονται στη στρωματογραφία μαλακότερα στρώματα ή όχι έχουν θεωρηθεί δύο σενάρια, εκ των οποίων το πρώτο υπακούει στη γενικότερη λογική της βελτίωσης των ιδιοτήτων του εδάφους με το βάθος λόγω εγκιβωτισμού, ενώ το δεύτερο σενάριο λαμβάνει υπόψη την παρεμβολή ασθενέστερων εδαφικών στρώσεων. Η μέση ταχύτητα διάδοσης διατμητικών κυμάτων στα 30 πρώτα m είναι μικρότερη από 180m/s. Στους Πίνακες 4.13-4.14 δίνονται τα αριθμητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των 2 εναλλακτικών σεναρίων εδαφικών προφίλ που αντιπροσωπεύουν την κατηγορία αυτή. Όπως και πριν σημειώνεται ότι το τελευταίο στρώμα κάθε εδαφικής στήλης αποτελεί το σεισμικό υπόβαθρο στο οποίο εισάγεται η χρονοϊστορία της ανάλυσης. Έτσι λοιπόν, το ύψος του σχηματισμού το οποίο υποβάλλεται στην σεισμική διέγερση είναι 60m για τα προφίλ D1 και 75m για το προφίλ D2.

D1							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
5,0	16,4	70,00	151,71	229,67	1,70	0,106	8,33
5,0	16,4	100,00		328,10	1,70	0,106	17,00
10,0	32,8	200,00		656,20	1,80	0,113	72,00
10,0	32,8	380,00		1246,78	1,80	0,113	259,92
10,0	32,8	500,00		1640,50	1,80	0,113	450,00
10,0	32,8	670,00		2198,27	1,90	0,119	852,91
10,0	32,8	950,00		3116,95	2,00	0,125	1805,00
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,00	0,125	2000,00
70,0							

Πίνακας 4.13 : Προφίλ D1

D2							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
10,0	32,8	110,00	154,89	360,91	1,70	0,106	20,57
5,0	16,4	90,00		295,29	1,70	0,106	13,77
5,0	16,4	200,00		656,20	1,80	0,113	72,00
10,0	32,8	450,00		1476,45	1,80	0,113	364,50
10,0	32,8	350,00		1148,35	1,80	0,113	220,50
10,0	32,8	520,00		1706,12	1,90	0,119	513,76
15,0	49,2	760,00		2493,56	1,90	0,119	1097,44
10,0	32,8	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
10,0	32,8	1000,00		3281,00	2,00	0,125	2000,00
85,0							

Πίνακας 4.14 : Προφίλ D2

- ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Ε

Σ' αυτή την εδαφική κατηγορία περιλαμβάνονται σύμφωνα με τον κανονισμό εδαφικές τομές που αποτελούνται από ένα εδαφικό στρώμα ιλύος με τιμές V_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5m και 20m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με V_s μεγαλύτερο από 800m/s. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει λοιπόν δίστρωτους σχηματισμούς. Με αυτή τη λογική διαμορφώθηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια γι' αυτή την κατηγορία, δύο εκ των οποίων εχουν εδαφική στρώση κατηγορίας C, και τα υπόλοιπα δύο έχουν εδαφική στρώση κατηγορίας D. Τα δύο πρώτα αναφέρονται ως EC και τα δύο επόμενα ως ED. Η διαφορά μεταξύ των δύο προφίλ της ίδιας υποκατηγορίας είναι ότι στο μεν πρώτο το πάχος της εδαφικής στρώσης είναι 8m ενώ στο δεύτερο 18m. Στους Πίνακες 4.15-4.18 δίνονται τα αριθμητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των 4 εναλλακτικών σεναρίων εδαφικών προφίλ που αντιπροσωπεύουν την κατηγορία αυτή. Όπως και πριν, σημειώνεται ότι το τελευταίο στρώμα κάθε εδαφικής στήλης αποτελεί το σεισμικό υπόβαθρο στο οποίο εισάγεται η χρονοϊστορία της ανάλυσης. Έτσι λοιπόν, το ύψος του σχηματισμού το οποίο υποβάλλεται στην σεισμική διέγερση είναι σε όλα τα ενναλλακτικά σενάρια 30m.

EC1							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
8,0	26,2	200,00	455,36	656,20	1,70	0,106	68,00
22,0	72,2	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
20,0	65,6	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
50,0							

Πίνακας 4.15 : Προφίλ EC1

EC2							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
18,0	59,0	350,00	457,69	1148,35	1,70	0,106	208,25
12,0	39,4	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
20,0	65,6	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
50,0							

Πίνακας 4.16 : Προφίλ EC2

ED1							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
8,0	26,2	90,00	261,39	295,29	1,70	0,106	13,77
22,0	72,2	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
20,0	65,6	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
50,0							

Πίνακας 4.17 : Προφίλ ED1

ED1							
ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΑΧΟΣ (f)	V_s (m/s)	$V_{s,30}$ (m/s)	V_s (fps)	ρ (t/m^3)	γ (kcf)	G (MPa)
18,0	59,0	170,00	250,00	557,77	1,70	0,106	49,13
12,0	39,4	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
20,0	65,6	850,00		2788,85	2,00	0,125	1445,00
50,0							

Πίνακας 4.18 : Προφίλ ED2

4.5 Παραδοχές προσομοίωσης και ανάλυσης

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι παραδοχές που γίνονται για την ανάλυση στο πρόγραμμα SHAKE 2000 όσον αφορά την επιλογή των εδαφικών υλικών που αποτελούν την στρωματογραφία των διάφορων εδαφικών προφίλ που διαμορφώθηκαν. Για κάθε εδαφική κατηγορία η επιλογή των εδαφικών υλικών είναι ενιαία, ενώ σε κάθε επιμέρους εδαφικό προφίλ μεταβάλλονται το πάχος και η διαδοχή των στρωμάτων.

Συγκεκριμένα, για την εδαφική κατηγορία B, γίνεται θεώρηση διαδοχικών στρωμάτων άμμου μέτριας έως μεγάλης πυκνότητας, για την προσομοίωση των οποίων χρησιμοποιούνται οι καμπύλες απομείωσης για άμμο των Seed & Idriss, 1970 (Average και Lower Bound).

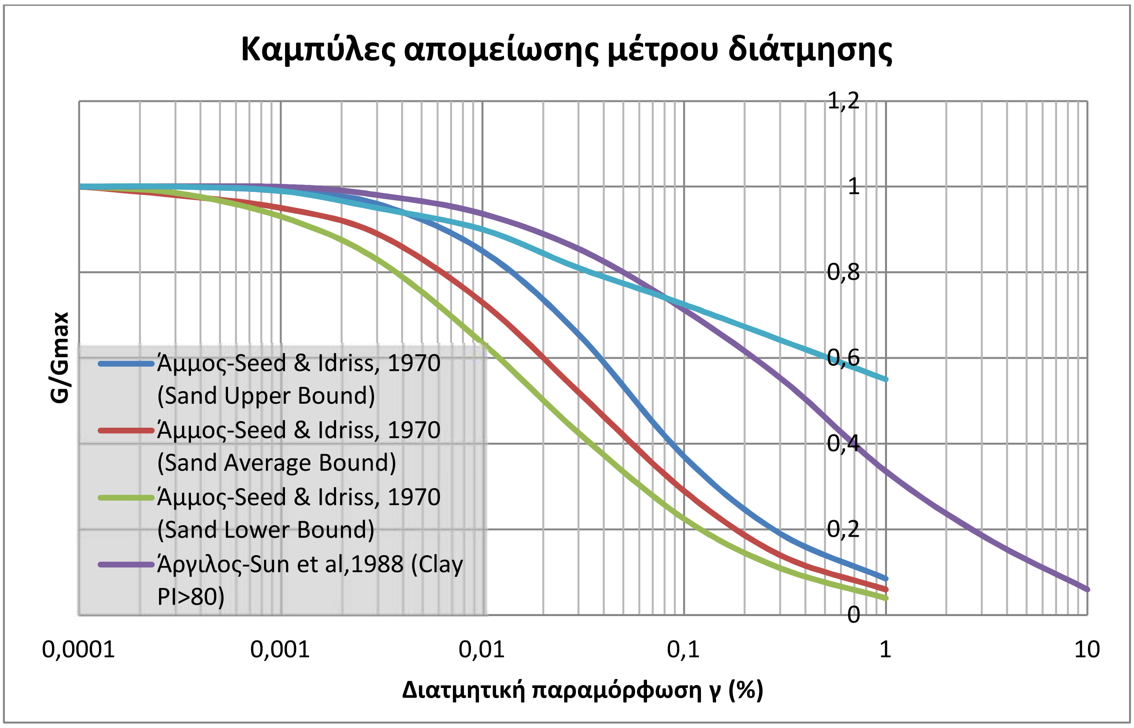
Για την εδαφική κατηγορία C τα ανώτερα στρώματα των εδαφικών προφίλ αρκετά χαλαρά αμμώδη εδαφικά υλικά, ενώ τα βαθύτερα χαρακτηρίζονται ως αμμώδη στρώματα μέτριας ή μεγάλης πυκνότητας. Η προσομοίωση τους γίνεται μέσω των καμπυλών απομείωσης για άμμο Seed & Idriss, 1970 (Upper και Average Bound).

Επειδή η κατηγορία D περιέχει πολύ μαλακά εδάφη στα χρησιμοποιούμενα υλικά περιλαμβάνονται άργιλος αυξημένης πλαστικότητας, χαλαρή άμμος κι άμμος μέτριας πυκνότητας. Στο πρώτο εδαφικό προφίλ (D1) τα στρώματα είναι επάλληλα και ακολουθούν την προαναφερθείσα σειρά, ενώ στο δεύτερο (D2), τα μαλακότερα στρώματα της αργίλου παρεμβάλλονται ανάμεσα στους αμμώδεις σχηματισμούς. Οι καμπύλες που διαλέγονται για την προσομοίωση των αμμώδων υλικών είναι οι καμπύλες απομείωσης για άμμο των Seed & Idriss, 1970 (Upper και Average Bound), ενώ για τις αργιλικές στρώσεις επιλέγεται η καμπύλη Sun et al, 1988 (Clay PI>80) για το μέτρο διάτμησης και η καμπύλη για άργιλο του Idriss (1990) για την απόσβεση.

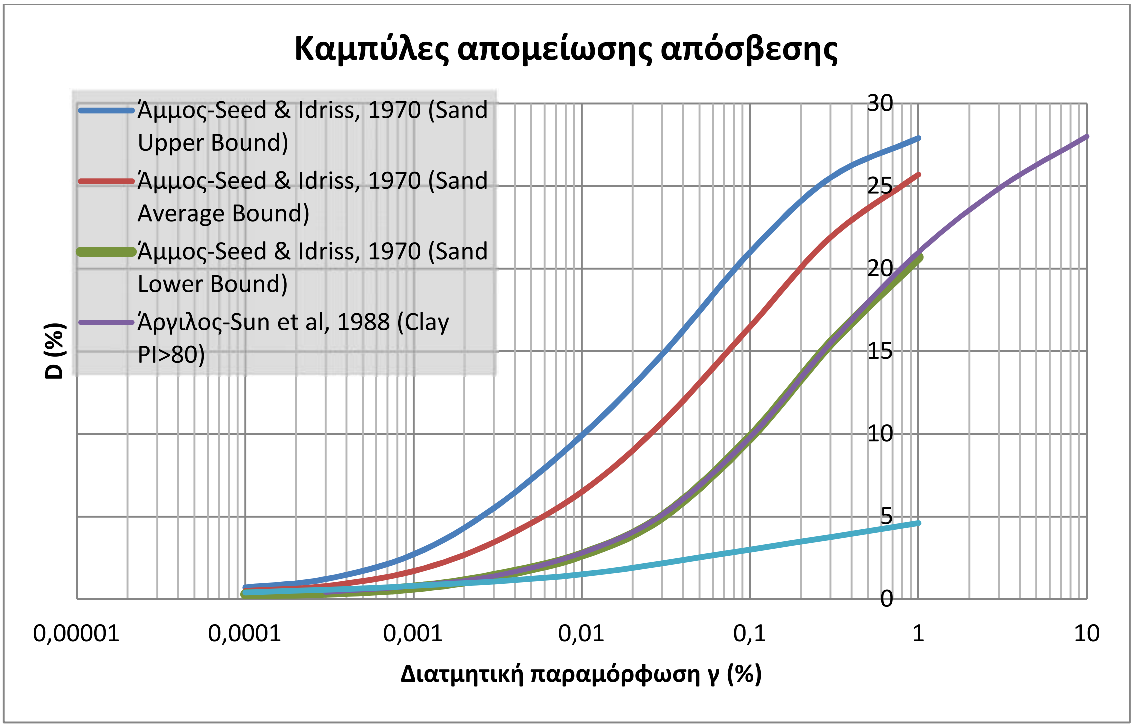
Στην κατηγορία E, η πρώτη ομάδα προφίλ περιέχει δίστρωτους σχηματισμούς με έδαφος κατηγορίας C το οποίο περιλαμβάνει πολύ χαλαρά αμμώδη υλικά, ενώ η δεύτερη περιέχει δίστρωτους σχηματισμούς με έδαφος κατηγορίας D, όπου θεωρείται άργιλος μεγάλης πλαστιμότητας. Για την προσομοίωση των αμμώδων εδαφικών υλικών χρησιμοποιούνται οι καμπύλες απομείωσης για άμμο των Seed & Idriss, 1970 (Upper και Average Bound), ενώ για τις αργιλικές στρώσεις επιλέγεται η καμπύλη των Sun et al, 1988 (Clay PI>80) για το μέτρο διάτμησης κι η καμπύλη για άργιλο του Idriss (1990) για την απόσβεση.

Σε όλα τα δημιουργηθέντα εδαφικά προφίλ η κατώτερη στρώση αποτελεί το σεισμικό ή αλλιώς το βραχώδες υπόβαθρο για την προσομοίωση του οποίου επιλέγονται οι καμπύλες απομείωσης για βράχο του Schnabel (1973).

Στα Σχήματα 4.29 και 4.30 που ακολουθούν δίνονται συγκεντρωτικά όλες οι καμπύλες που χρησιμοποιήθηκαν στην αριθμητική προσομοίωση των εδαφικών προφίλ που δημιουργήθηκαν για την επίλυση του ευθέως προβλήματος.



Σχήμα 4.29 : Καμπύλες απομείωσης μέτρου δίατμησης που χρησιμοποίηθηκαν για την αριθμητική προσομοίωση



Σχήμα 4.30 : Καμπύλες απομείωσης μέτρου δίατμησης που χρησιμοποίηθηκαν για την αριθμητική προσομοίωση

5. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

5.1 Εισαγωγή

Οι τοπικές εδαφικές συνθήκες παίζουν καθοριστικό ρόλο στην σεισμική κίνηση που σημειώνεται στην επιφάνεια του εδάφους και κατά συνέπεια και στα ελαστικά φάσματα απόκρισης. Η τοπική γεωλογία και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της επιφανειακής στρωματογραφίας, τροποποιούν τα χαρακτηριστικά της εισερχόμενης σεισμικής κίνησης στο βραχώδες υπόβαθρο, προκαλώντας την ενίσχυση ή και την μείωση του πλάτους της εδαφικής κίνησης, όπως και την διαφοροποίηση του συχνοτικού περιεχομένου και της διάρκειας. Συγκεκριμένα η δυστμησία των επιφανειακών στρώσεων (V_s ή G_o) είναι μία από τις αιτίες που συντελούν στην παραπάνω περιγραφόμενη τροποποίηση. Στις περιπτώσεις όπου η επιφανειακή στρωματογραφία περιλαμβάνει χαλαρούς εδαφικούς σχηματισμούς μικρής δυστμησίας, παρατηρείται ενίσχυση της σεισμικής κίνησης στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτητων (μεγάλων περιόδων) και το συχνοτικό περιεχόμενο γίνεται πιο πλούσιο. Στις περιπτώσεις που η επιφανειακή στρωματογραφία περιλαμβάνει πιο δύστμητους σχηματισμούς η σεισμική κίνηση ενισχύεται στις υψηλές συχνότητες (μικρές περιόδους) και περιορίζεται το εύρος του συχνοτικού περιεχομένου. Στην αύξηση του πλάτους της εδαφικής ταλάντωσης συμβάλλει και το φαινόμενο του συντονισμού κάποιων συγκεκριμένων συχνοτήτων της σεισμικής κίνησης οι οποίες προσεγγίζουν την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της εδαφικής απόθεσης.

Η εδαφική ενίσχυση μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και και του βράχου λαμβάνεται υπόψιν στους σύχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς με την εισαγωγή του συντελεστή ενίσχυσης της εδαφικής επιτάχυνσης S που εξαρτάται από τις επικρατούσες εδαφικές συνθήκες. Ο συντελεστής αυτός αναφέρεται ως προς τις συνθήκες βράχου, για τις οποίες ορίζεται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση κάθε σεισμικής ζώνης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, η τιμή του συντελεστή ενίσχυσης S σύμφωνα με τον EC8, είναι εξαρτόμενη της κατηγορίας στην οποία ανήκει ο εδαφικός σχηματισμός.

Σ' αυτό το κεφάλαιο αρχικά πραγματοποιείται επέκταση της διερεύνησης με εμπλουτισμό του αριθμού των φασμάτων επιτάχυνσης στην επιφάνεια του εδάφους με αναζήτηση καταγραφών από την βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για τις κατηγορίες B, C και D. Στην συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των νέων αυτών καταγραφών καθώς και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις επιλύσεις του ευθέος προβήματος. Έπειτα, ακολουθεί η παρουσίαση και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων με σκοπό να μελετηθεί η επίδραση των διάφορων εδαφικών προφίλ που ορίζει η κατηγοριοποίηση του EC8, η οποία πραγματοποιείται με την σύγκριση των ελαστικών φασμάτων επιτάχυνσης με τα αντίστοιχα που προδιαγράφονται από τον μελετώμενο κανονισμό. Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με το αν ο EC8 είναι επαρκής όσον αφορά τους σεισμούς κοντινού πεδίου με και χωρίς κατευθυντικότητα.

5.2 Επέκταση διερεύνησης με αναζήτηση καταγραφών στην επιφάνεια ανά εδαφική κατηγορία

Με σκοπό τον εμπλουτισμό του δείγματος των εξαγώμενων φασμάτων στην επιφάνεια των μελετώμενων εδαφικών κατηγοριών του Ευρωκώδικα, επεκτάθηκε η μελέτη μας με αναζήτηση διεγέρσεων μέσω της βάσης δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database). Αναζητήθηκαν καταγραφές ελευθέρου πεδίου με μέγεθος σεισμικής ροπής (Mw > 5,5) που περιείχαν ή μη παλμό κατευθυντικότητας. Η βάση δεδομένων δίνει πληροφορίες σχετικά με την μέση ταχύτητα διάδοσης των διατμητικών κυμάτων στα 30 πρώτα μέτρα, βάσει της οποίας η κάθε καταγραφή κατατάχθηκε σε μία κατηγορία εδάφους του κανονισμού EC8. Σημειώνεται ότι δεν ήταν δυνατό να εντοπιστούν καταγραφές επί υποβάθρου κατηγορίας Ε, δεδομένου ότι η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει δίστρωτους σχηματισμούς και επομένως θα απαιτούνταν πλήρης και ακριβής γνώση του εδαφικού προφίλ του σταθμού κάθε καταγραφής για να διαπιστωθεί ότι ανήκει σε αυτή την κατηγορία, γεγονός μη εφικτό.

Έτσι λοπόν βρέθηκαν 61 διεγέρσεις για εδάφη κατηγορίας B (360m/s<$V_{s,30}$<800m/s), 61 διεγέρσεις για εδάφη κατηγορίας C (180m/s<$V_{s,30}$<360m/s) και 21 διεγέρσεις για εδάφη κατηγορίας D ($V_{s,30}$<180m/s).

Το δείγμα των παραπάνω διεγέρσεων χωρίστηκε εντός κάθε κατηγορίας εδάφους σε τρεις ομάδες με βάση την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA) που παρουσίαζε η κάθε διέγερση. Η κατηγοριοποίηση ακολούθησε την λογική των ζωνών που δίνονται στον Ευρωκώδικα και που εφαρμόστηκε και στο αρχικό δείγμα των καταγραφών όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι τιμές που καθορίζουν την κάθε ζώνη (0,16g, 0.24g και 0.36g) πολλαπλασιάζονται με τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης όπως ορίζεται από τον EC8 για κάθε κατηγορία εδάφους και έτσι προκύπτουν τα εύρη των μέγιστων εδαφικών επιταχύνσεων που ορίζουν κάθε ομάδα και που φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.1. Όλες οι μελετώμενες διεγέρσεις που αναφέρονται σε αυτή την παράγραφο καθώς και η ομάδα επιτάχυνσης στην οποία ανήκουν βρίσκονται σε αναλυτικούς πίνακες στο Παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Ακόμη αναφέρεται η εξαγωγή των ελαστικών φασμάτων επιτάχυνσης με απόσβεση 5% για τις παραπάνω διεγέρσεις προέκυψε μέσω του προγράμματος Seismospect.

Ζώνες Εδαφικής Κατηγορίας B	Εύρος των PGA (g) οι οποίες ανήκουν στην ζώνη
Z1	(0.14g-0.27g)
Z2	(0.28g-0.41g)
Z3	(0.42g-0.60g)
Ζώνες Εδαφικής Κατηγορίας C	Εύρος των PGA (g) οι οποίες ανήκουν στην ζώνη
Z1	(0.14g-0.26g)
Z2	(0.27g-0.39g)
Z3	(0.40g-0.58g)
Ζώνες Εδαφικής Κατηγορίας D	Εύρος των PGA (g) οι οποίες ανήκουν στην ζώνη
Z1	(0.16g-0.30g)
Z2	(0.31g-0.47g)
Z3	(0.48g-0.68g)

Πίνακας 5.1 : Πίνακας κατηγοριοποίησης σε ζώνες εδαφικής επιτάχυνσης των χρησιμοποιούμενων καταγραφών

5.3 Επεξεργασία αποτελεσμάτων - Υπολογισμός συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης S

Το αρχικό δείγμα των σεισμικών διεγέρσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από 28 καταγραφές κοντινού πεδίου, 11 εκ των οποίων παρουσιάζουν παλμό κατευθυντικότητας. Οπως έγινε γνωστό στο Κεφάλαιο 4 οι καταγραφές αυτές εξήχθησαν στο βραχώδες υπόβαθρο και ανήχθησαν στην επιτάχυνση που αντιπροσωπεύει την σεισμική ζώνη στην οποία ανήκει η κάθεμία καταγραφή. Εν συνεχεία, οι διεγέρσεις αυτές επιβλήθηκαν στο βραχώδες υπόβαθρο των 14 εδαφικών προφίλ που δημιουργήθηκαν με σκοπό να αντιπροσωπεύουν τις διάφορες κατηγορίες εδάφους που ορίζονται στον EC-8. Τα αποτελέσματα που τίθονται υπό μελέτη είναι τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων της επιφάνειας κάθε ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για ποσοστό απόσβεσης 5%. Υπενθυμίζεται ακόμη ότι οι μελετώμενες σεισμικές διεγέρσεις χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με κριτήριο την μέγιστη εδαφική τους επιτάχυνση που αντιστοιχεί στην επιφανειακή εκδήλωση του μητρικού πετρώματος (rock outcrop). Οι διεγέρσεις που αποτελούν την κάθε κατηγορία έχουν ήδη παρουσιαστεί στον Πίνακα4.4. Στα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων της επιφάνειας που προέκυψαν από τις αναλύσεις, προστίθονται και τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των διεγέρσεων που προέκυψαν από την διαδικασία επέκτασης της διερεύνησης όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.2.

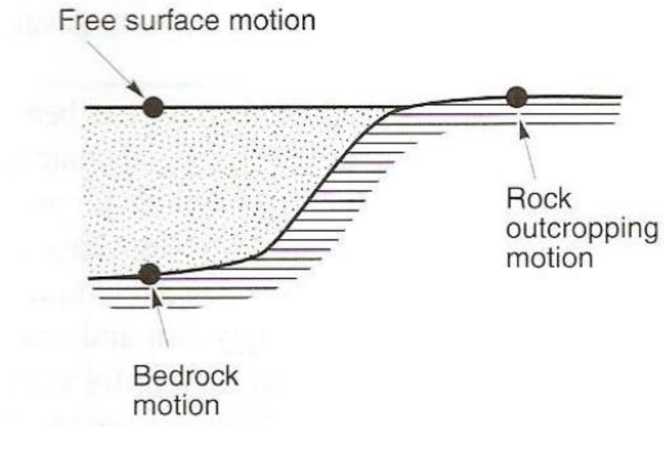
Τα εξαγώμενα ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης από τις αναλύσεις και από τις καταγραφές της βάσης δεδομένων NGA κανονικοποιήθηκαν με την διαδικασία της διαίρεσης των φασματικών τιμών με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (PGA), την επιτάχυνση δηλαδή που αντιστοιχεί σε T=0sec. Η διαδικασία αυτη γίνεται γιατί στόχος είναι η σύγκριση σχήματος των φασμάτων του κανονισμού με τα αποτελέσματα των αναλύσεων και όχι ο έλεγχος των απόλυτων φασματικών τιμών.

Η ίδια διαδικασία κανονικοποίησης ακολουθήθηκε και για τα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού επιτάχυνσης του Ευρωκώδικα 8, όπου σ' αυτή την περίπτωση, οι φασματικές τιμές διαιρέθηκαν με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που λαμβάνει την τιμή $PGA=a_{gr}\cdot S$, όπου S ο συντελεστής εδαφικής ενίσχυσης και a_{gr} η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού.

Όσον αφορά τον υπολογισμό του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης διαιρείται το ελαστικό φάσμα επιτάχυνσης με απόσβεση 5% της επιφάνειας του εδάφους (free surface), το οποίο προκύπτει από τις αναλύσεις, με το φάσμα που αντιστοιχεί στην επιφανειακή εκδήλωση του μητρικού πετρώματος (rock outcrop), το οποίο είναι είτε αυτό της καταγραφής που συλλέχθηκε αν αυτή έχει σημειωθεί σε αμιγώς βραχώδη θέση, είτε είναι αυτό που υπολογίστηκε με αντικατάσταση της εδαφικής απόθεσης με αντίστοιχο βραχώδη σχηματισμό και επίλυση του ευθέως προβλήματος που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και που αφορά τις καταγραφές που σημειώθηκαν σε θέση με εδαφική απόθεση. Έτσι λοιπόν για κάθε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε υπολογίζεται η εδαφική ενίσχυση από την σχέση:

$$S = (PGA)_{free\ surface} / (PGA)_{outcrop\ rock}$$

Απώτερος σκοπός είναι η εξαγωγή της μέσης τιμής της εδαφικής ενίσχυσης για κάθε εδαφική κατηγορία και η διερεύνηση της επάρκειας του συντελεστή S που προτείνεται από τον Ευρωκώδικα-8.



Σχήμα 5.1 : Χαρακτηριστικές θέσεις υπολογισμού της σεισμικής κίνησης

Στα αποτελέσματα περιλαμβάνονται για κάθε εδαφική κατηγορία ξεχωριστά τα εξής:

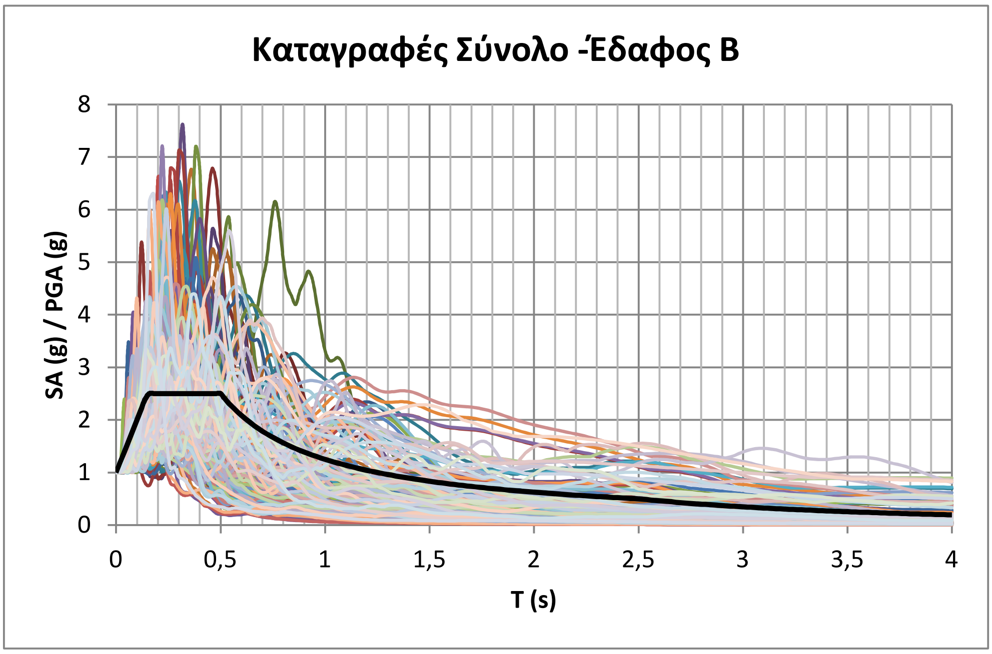
- Ένας πίνακας στον οποίο παρουσιάζεται η εδαφική ενίσχυση που σημειώθηκε για κάθε μελετώμενη σεισμική διέγερση στα διάφορα εδαφικά προφίλ της εξεταζόμενης εδαφικής κατηγορίας καθώς και η μέση εδαφική ενίσχυση που προκύπτει συνολικά για την εδαφική κατηγορία. Σημειώνεται ότι ο υπολογισμός του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης για κάθε κατηγορία προέκυψε μόνο από τα αποτελέσματα των αναλύσεων.
- Διαγράμματα με κατακόρυφο άξονα κανονικοποιημένο ως προς την PGA και οριζόντιο εκφρασμένο ως προς την περίοδο T (sec), στο καθένα από τα οποία παρουσιάζονται τα φάσματα επιτάχυνσης της επιφάνειας με απόσβεση 5% που έχουν προκύψει στο σύνολο των αναλύσεων των εδαφικών προφίλ που αποτελούν την εδαφική κατηγορία καθώς και από τις καταγραφές της βάσης δεδομένων NGA, καθώς και στις τρεις ομάδες των καταγραφών του δείγματος έτσι όπως κατηγοριοποιήθηκαν με βάση την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση. Στα διαγράμματα αυτά απεικονίζεται και το κανονικοποιημένο φάσμα επιτάχυνσης του Ευρωκώδικα-8 για την συγκεκριμένη εδαφική κατηγορία.
- Διαγράμματα με κατακόρυφο άξονα κανονικοποιημένο ως προς την PGA και οριζόντιο εκφρασμένο ως προς την περίοδο T (sec), όπου παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης της επιφάνειας που προκύπτουν από διεγέρσεις χωρίς και με παλμό κατευθυντικότητας για την κάθε εδαφική κατηγορία, τόσο στο σύνολο των σεισμικών διεγέρσεων, όσο και στις επιμέρους ομάδες που έχουν δημιουργηθεί από την κατηγοριοποίηση με την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση.

❖ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Β

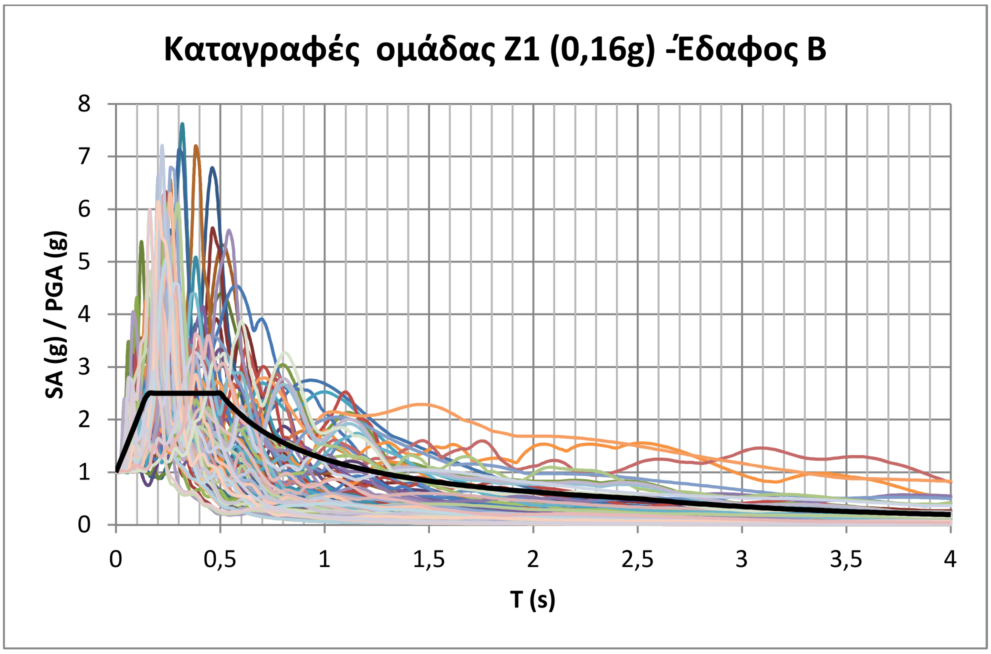
Τα αποτελέσματα της εδαφικής αυτής κατηγορίας περικλείουν τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από την αναζήτηση καταγραφών για την κατηγορία εδάφους Β από την βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database). Αρχικά, στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η εδαφική ενίσχυση που σημειώθηκε σε κάθε διέγερση στα επιμέρους προφίλ καθώς και η μέση τιμή της στο σύνολο του εδάφους Β και στην συνέχεια ακολουθούν στα Σχήματα 5.2 έως 5.9, ακολουθούν τα κανονικοποιημένα φάσματα επιτάχυνσης για απόσβεση 5%.

Ομάδα κατηγοριοποίησης	Κωδικός διέγερσης	B1	B2	B3	B4	B5
Z1	Chi_N	1,92	2,19	1,22	1,32	1,26
Z3	ChiTC84_N	1,43	1,98	1,62	1,91	1,16
Z1	HOL3_247	1,75	1,77	1,72	2,43	2,23
Z3	LP_000	1,79	2,45	2,22	2,85	2,69
Z3	LP_090	1,60	2,84	2,83	2,25	2,31
Z2	LPGG_067	1,87	3,17	2,23	2,30	2,13
Z2	LPGG_337	1,66	2,53	1,59	2,55	2,24
Z2	NIG_EW	2,16	2,09	2,21	2,63	2,42
Z3	NIG_NS	1,53	2,69	2,39	1,87	1,75
Z1	NOR1_000	2,68	4,67	2,20	2,38	2,57
Z1	NOR1_090	2,41	2,18	2,57	3,38	3,15
Z2	PAR_270	1,74	1,74	1,93	2,07	1,81
Z1	PAR_360	2,50	1,58	1,40	1,73	1,37
Z1	SF_21	-	1,28	0,99	1,22	0,82
Z1	SF_291	1,50	1,64	1,08	-	0,89
Z2	TOT_EW	1,66	-	2,66	2,75	2,84
Z1	TOT_NS	2,93	2,83	3,09	4,35	4,38
Z2	TOTSM10_EW	1,45	2,84	2,25	2,88	3,04
Z1	TOTSM10_NS	2,04	2,37	2,69	2,31	2,21
Z2	GEZBE	1,68	2,25	1,52	1,49	1,04
Z1	IZMIT	1,57	2,67	3,00	1,97	1,09
Z3	KALAMATA	1,73	1,48	1,35	0,84	1,16
Z2	KOBEEW	1,62	3,16	1,67	1,70	1,71
Z2	KOBENS	1,44	1,67	1,30	1,34	1,20
Z1	KOZANI	1,27	1,05	1,30	0,99	0,88
Z3	PETROLIA	2,21	1,52	1,21	1,34	1,29
Z3	TCU052	-	1,28	1,14	1,24	1,00
Z3	TCU068	1,42	2,15	1,92	1,31	1,05
Μέσος όρος ανά προφίλ		1,83	2,23	1,90	2,05	1,85
Μέσος όρος κατηγορίας Β		1,97				

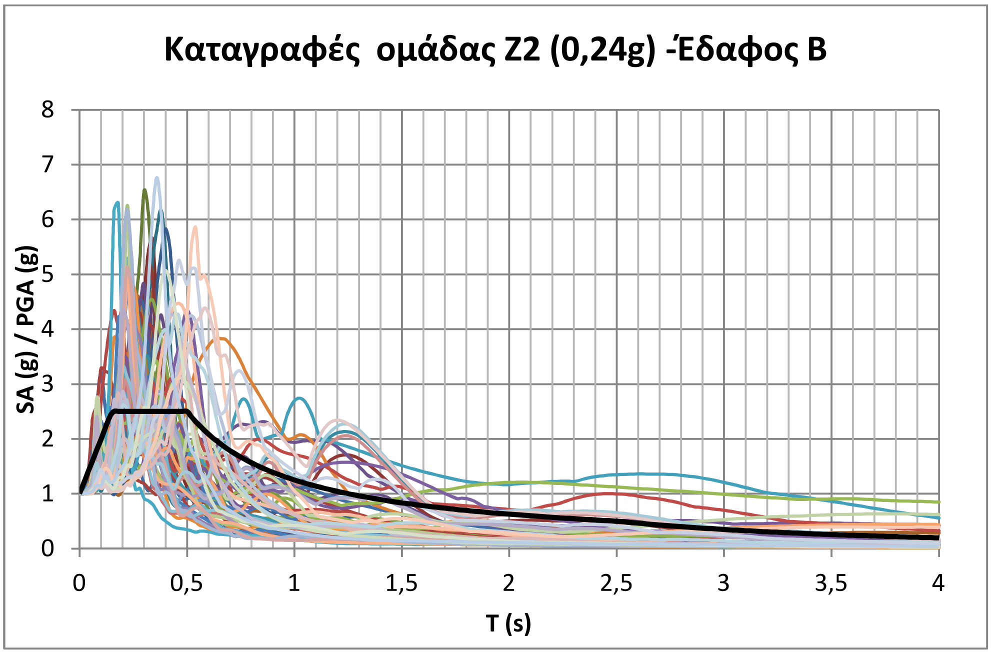
Πίνακας 5.2 : Η εδαφική ενίσχυση για τα εναλλακτικά προφίλ της εδαφικής κατηγορίας Β.



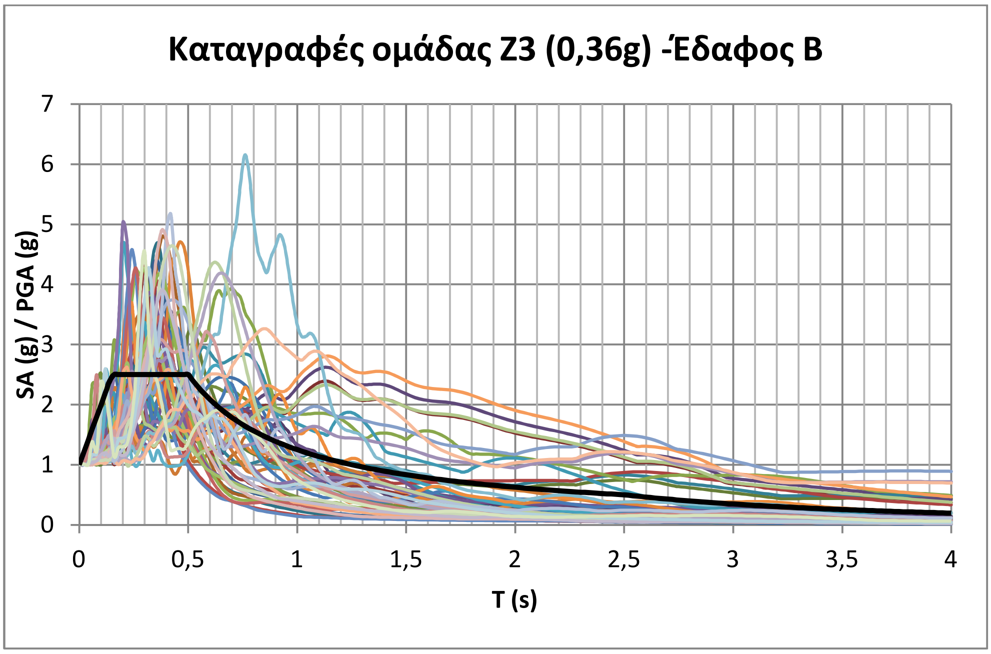
Σχήμα 5.2 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5%.



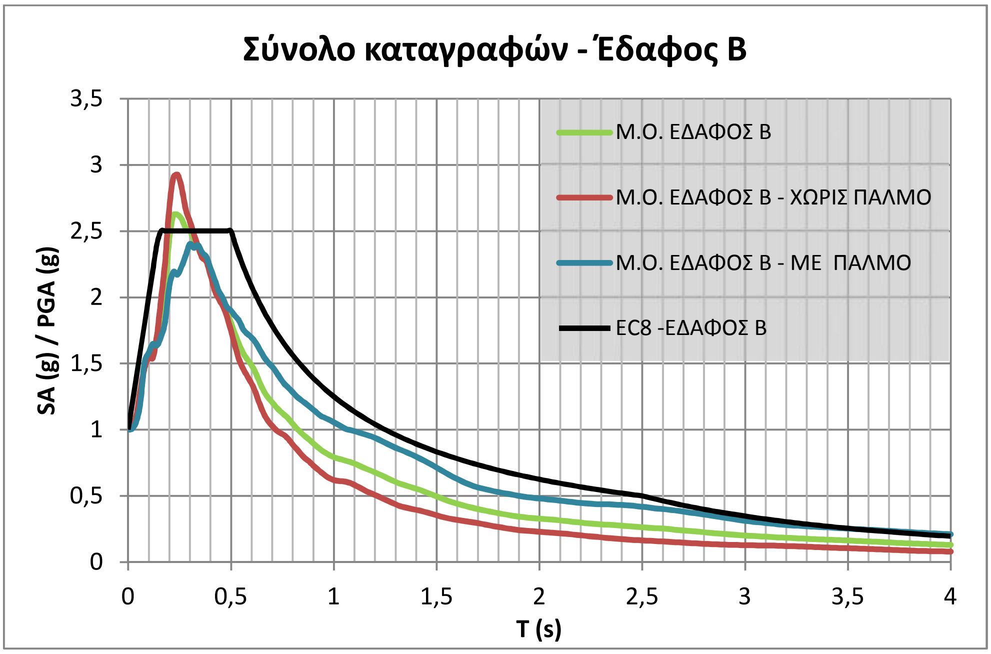
Σχήμα 5.3 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



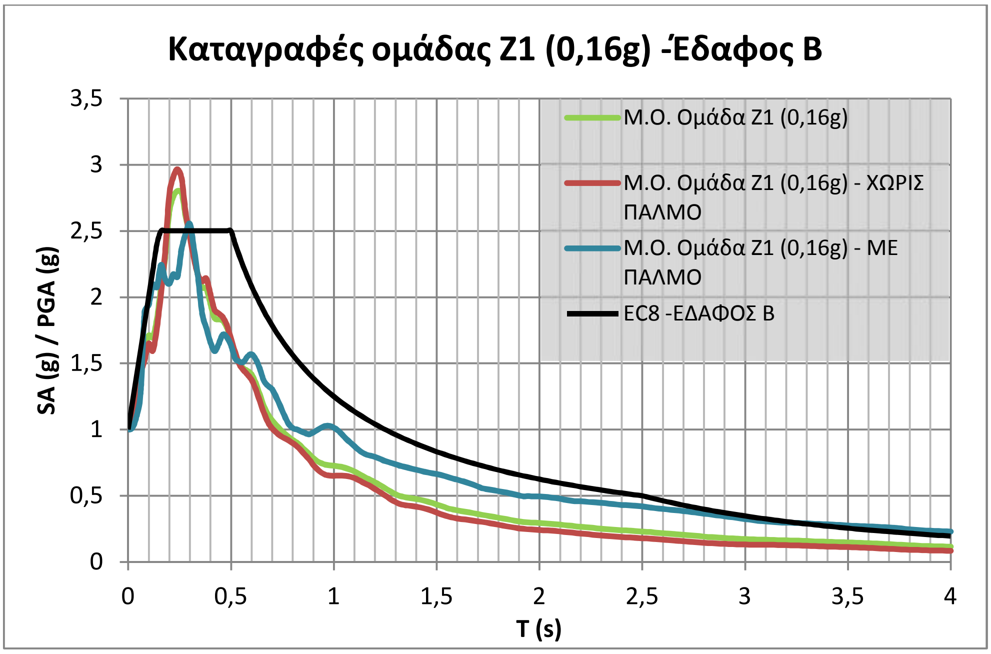
Σχήμα 5.4: Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



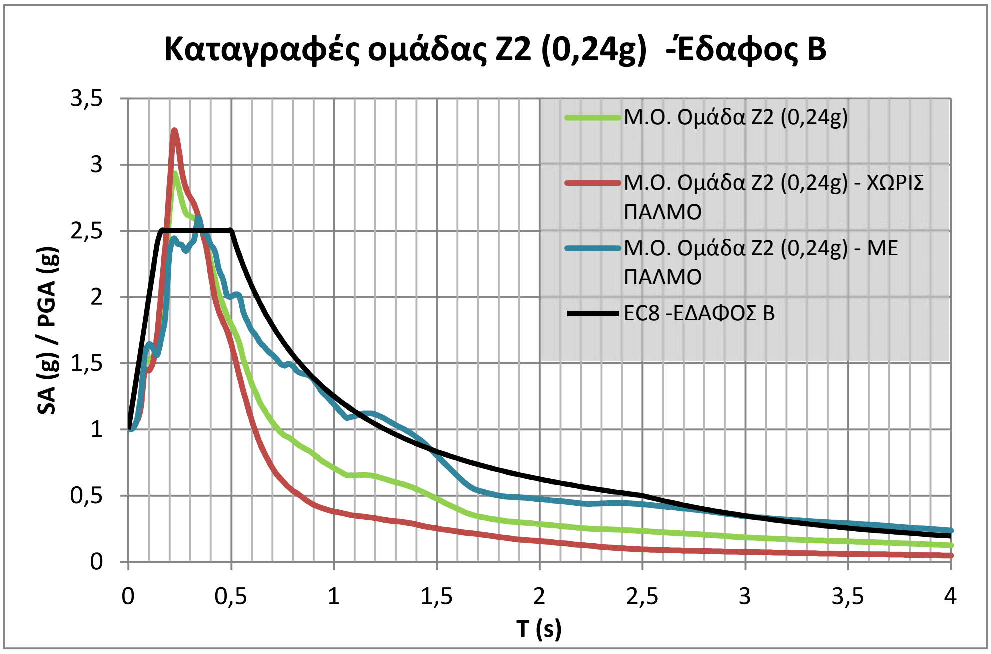
Σχήμα 5.5 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ3 (PGAoutcrop rock=0.36g)



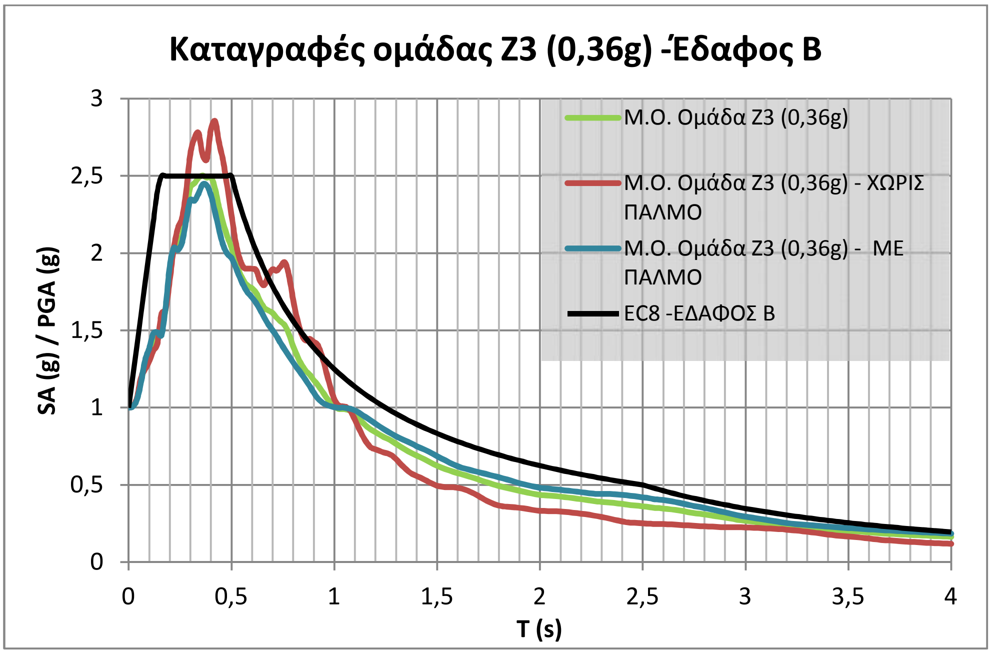
Σχήμα 5.6 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ B1, B2, B3, B4, B5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5%.



Σχήμα 5.7 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ B1, B2, B3, B4, B5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



Σχήμα 5.8 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



Σχήμα 5.9 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ Β1, Β2, Β3, Β4, Β5 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ3 (PGAoutcrop rock=0.36g)

Παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα:

Όσον αφορά τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης που προέκυψε από τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.2, παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος για την εδαφική κατηγορία Β λαμβάνει την τιμή 1.97, τιμή η οποία είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την τιμή που προτείνει ο EC8 και ισούται με 1.20. Σημαντικό είναι ακόμα να αναφερθεί ότι ο μέσος όρος της εδαφικής ενίσχυσης διαφέρει στις τρεις ομάδες κατηγοριοποίησης με βάση την επιτάχυνση, όπου για την ομάδα Ζ1 (0.16g) ισχύει S=2.06, για την ομάδα Ζ2 (0.24g) ισχύει S=2.06 και για την ομάδα Ζ3 (0.36g) ισχύει S=1.76. Αυξανομένης λοιπόν της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης των καταγραφών παρατηρείται μείωση της εδαφικής ενίσχυσης που σημειώνεται, γεγονός λογικό αφού η αυξανόμενη δυναμική φόρτιση, οδηγεί σε μεγαλύτερες διατμητικές καταπονήσεις και επομένως μεγαλύτερες αποσβέσεις στον εδαφικό σχηματισμό.

Όσον αφορά την εικόνα των φασμάτων για απόσβεση 5% που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις αλλά και από τις συλλεχθείσες καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA, Σχήματα 5.3-5.5, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Ζ1 (Σχήμα 5.3), υπάρχουν αρκετές διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 180% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.15-0.50sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους μειώνεται ο αρθμός των διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών που παρατηρείται για τις διάφορες περιόδους φτάνει το 100% έως 230%. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Ζ2 (Σχήμα 5.4), υπάρχουν επίσης αρκετές διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 160% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.15-0.50sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους σημειώνεται μικρότερος αριθμός διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών που παρατηρείται για τις διάφορες περιόδους φτάνει το 90% έως 180%. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Ζ3 (Σχήμα 5.5), υπάρχουν διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 100% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.15-0.50sec, μικρότερη δηλαδή της υπέρβασης που σημειωνόταν στις προηγούμενες ομάδες. Και σε αυτή την ομάδα όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους σημειώνεται μικρότερος αριθμός διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών του φάσματος για τις διάφορες περιόδους ανέρχεται από 110%-250%.

Στα Σχήματα 5.7 έως 5.9 όπου αποτυπώνονται οι μέσοι όροι των καταγραφών και πάλι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες. Στην ομάδα Ζ1 (Σχήμα 5.7), φαίνεται ότι η περίοδος T_B=0.15sec που ορίζει την αρχή του πλατώ σύμφωνα με τον EC8 ανταποκρίνεται σωστά στον εξαγώμενο μέσο όρο των φασμάτων, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 20% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 3.0 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.40sec μικρότερη δηλαδή από την αντίστοιχη T_C=0.50sec που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για περιόδους από T=0.15-0.30sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>0.60sec. Συνολικά όμως οι καμπύλες των μέσων όρων βρίσκονται ελαφρώς χαμηλότερα από την καμπύλη του EC8 για τιμές περιόδων μεγαλύτερες του T=0.30sec.

Στην ομάδα Ζ2 (Σχήμα 5.8), φαίνεται ότι η περίοδος T_B=0.15sec που ορίζει την αρχή του πλατώ σύμφωνα με τον EC8 ανταποκρίνεται σωστά στον εξαγώμενο μέσο όρο των αποτελεσμάτων, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 32% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 3.3 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.45sec, ελαφρώς μικρότερη δηλαδή από την αντίστοιχη T_c=0.50sec που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για περιόδους από T=0.20-0.40sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>0.40sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, με εξαίρεση την περιοχή περιόδων T=0.15-0.40sec όπου σημείωνεται μεγάλη υπέρβαση των τιμών όπως αναφέρθηκε καθώς και την περιοχή T=1.10-1.50sec όπου η καμπύλη του μέσου όρου των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα παρουσιάζει τοπική ενίσχυση των φασματικών τιμών που υπερβαίνει το φάσμα του EC8, γεγονός που φανερώνει την επίδραση της κατευθυντικότητας.

Στην ομάδα Ζ3 (Σχήμα 5.9), η αρχή του πλατώ σύμφωνα με το μέσο όρο των φασμάτων προσεγγίζεται από την τιμή T=0.30sec, μεγαλύτερη δηλαδή από την τιμή T_B=0.15sec που προτείνεται από τον EC8. Σε αυτή την ομάδα των καταγραφών παρατηρείται μικρότερη υπέρβαση των φασματικών τιμών στην περιοχή του πλατώ σε σχέση με τις προηγούμενες ομάδες, η οποία είναι κατά 12% μεγαλύτερη της τιμής του EC8. Η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 2.8 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται στην τιμή T=0.50sec, στην τιμή δηλαδή που προτείνεται από τον EC8. Ο μέσος όρος των σεισμών χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των σεισμών με κατευθυντικότητα για περιόδους από T=0.30-1.0sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>1.10sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, με εξαίρεση την περιοχή περιόδων T=0.30-0.50sec όπου σημείωνεται υπέρβαση των τιμών όπως αναφέρθηκε καθώς και την περιοχή T=0.65-0.95sec όπου η καμπύλη του μέσου όρου των σεισμών χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει τοπική ενίσχυση των φασματικών τιμών που υπερβαίνει ελαφρώς το φάσμα του EC8.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για την εδαφική κατηγορία Β, παρατηρούμε ότι καθώς μεταβαίνουμε σε ομάδα με μεγαλύτερες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, δηλαδή κατά την διαδρομή από την ομάδα Ζ1 στην ομάδα Ζ3, οδηγούμαστε σε μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης, σε μικρότερες φασματικές ενισχύσεις, σε προς τα δεξιά μετατόπιση των πλατώ των μέσων όρων, δηλαδή σε αύξηση των χαρακτηριστικών περιόδων T_B και T_C, και τέλος σε αύξηση των τιμών των καμπυλών των μέσων όρων για περιόδους T>0.50sec που οδηγεί σε καλύτερη προσαρμογή ή ελαφριά υπέρβαση του προτεινόμενου φάσματος από τον EC8.

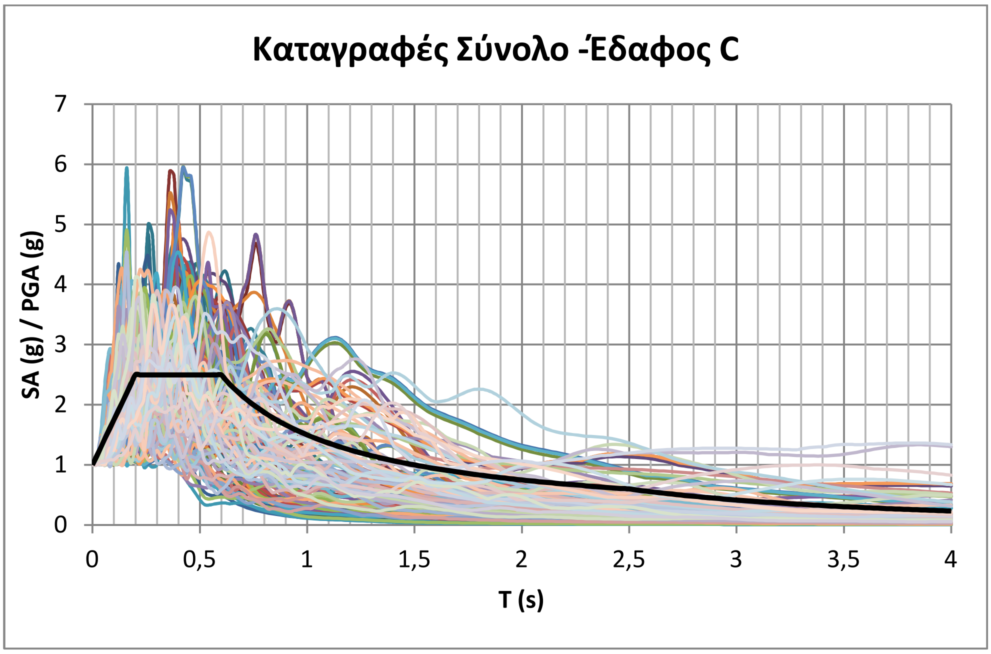
Ο EC8 λοιπόν κρίνεται ανεπαρκής όσον αφορά την τιμή του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης καθώς και την τιμή του φάσματος στην περιοχή σταθερής επιτάχυνσης (T_B=0.15sec - T_C=0.50sec), ενώ για περιόδους T>0.50sec ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για την κάλυψη των εξαγώμενων μέσων όρων των φασμάτων με εξαίρεση μικρές περιοχές περιόδων που σημειώνονται τοπικές υπερβάσεις.

- ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ C

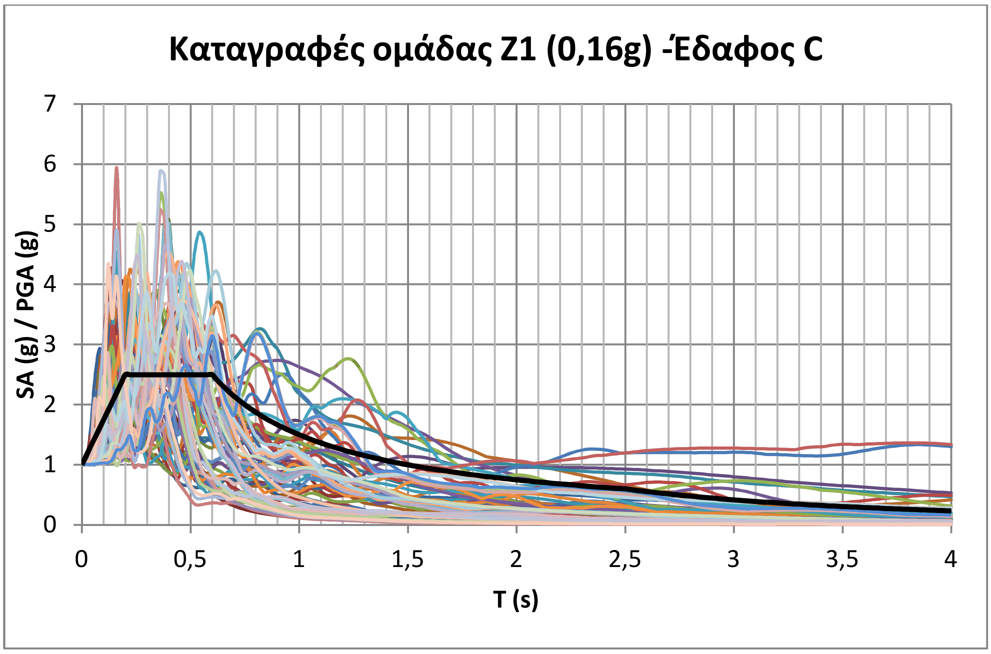
Τα αποτελέσματα της εδαφικής αυτής κατηγορίας περικλείουν τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από την αναζήτηση καταγραφών για την κατηγορία εδάφους C από την βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database). Αρχικά, στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζεται η εδαφική ενίσχυση που σημειώθηκε σε κάθε διέγερση στα επιμέρους προφίλ καθώς και η μέση τιμή της στο σύνολο του εδάφους C και στην συνέχεια ακολουθούν στα Σχήματα 5.10 έως 5.17, ακολουθούν τα κανονικοποιημένα φάσματα επιτάχυνσης για απόσβεση 5%.

Ομάδα κατηγοριοποίησης	Κωδικός διέγερσης	C1	C2	C3
Z1	Chi_N	1,90	2,09	1,83
Z3	ChiTC84_N	1,32	1,49	1,27
Z1	HOL3_247	1,81	1,56	2,02
Z3	LP_000	1,68	1,81	1,60
Z3	LP_090	1,59	1,94	1,55
Z2	LPGG_067	1,68	1,88	1,65
Z2	LPGG_337	1,56	1,74	1,55
Z2	NIG_EW	2,20	2,30	2,08
Z3	NIG_NS	1,77	1,87	1,67
Z1	NOR1_000	2,39	2,61	2,31
Z1	NOR1_090	2,03	1,95	2,13
Z2	PAR_270	1,99	1,99	1,83
Z1	PAR_360	2,23	2,39	2,05
Z1	SF_21	1,20	1,07	1,15
Z1	SF_291	1,41	1,15	1,33
Z2	TOT_EW	1,98	2,04	2,00
Z1	TOT_NS	2,91	2,82	2,76
Z2	TOTSM10_EW	1,96	1,74	2,02
Z1	TOTSM10_NS	2,20	2,19	1,98
Z2	GEZBE	1,39	1,41	1,38
Z1	IZMIT	1,48	1,51	1,48
Z3	KALAMATA	1,37	1,38	1,36
Z2	KOBEEW	1,49	1,53	1,48
Z2	KOBENS	1,37	1,51	1,28
Z1	KOZANI	1,03	0,98	1,26
Z3	PETROLIA	1,56	1,64	1,64
Z3	TCU052	1,80	1,91	1,76
Z3	TCU068	1,44	1,51	1,43
Μέσος όρος ανά προφίλ		1,74	1,79	1,71
Μέσος όρος κατηγορίας C		1,75		

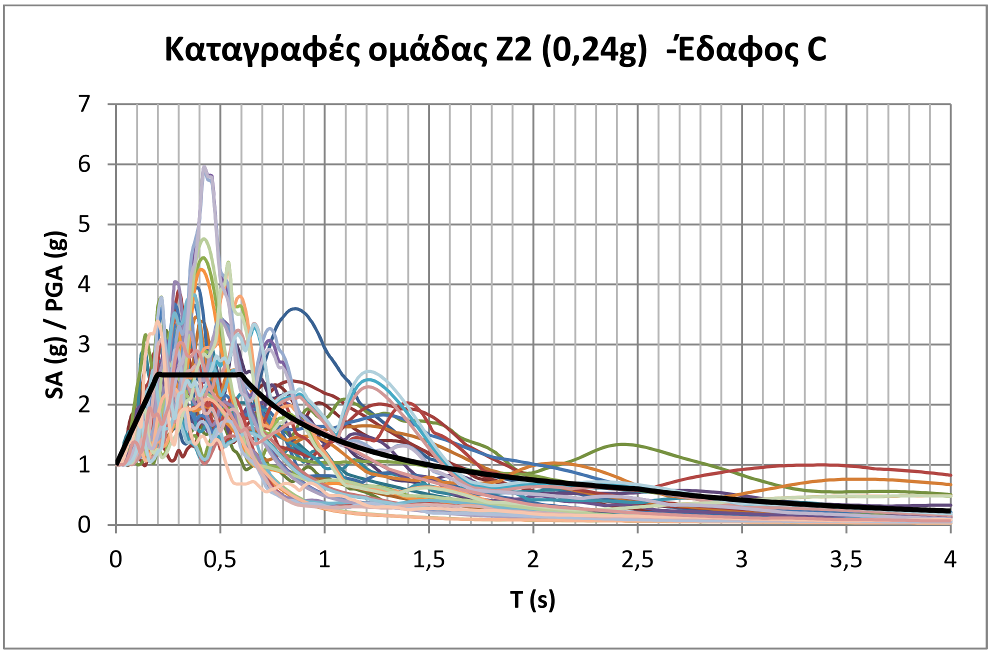
Πίνακας 5.3 : Η εδαφική ενίσχυση για τα εναλλακτικά προφίλ της εδαφικής κατηγορίας C.



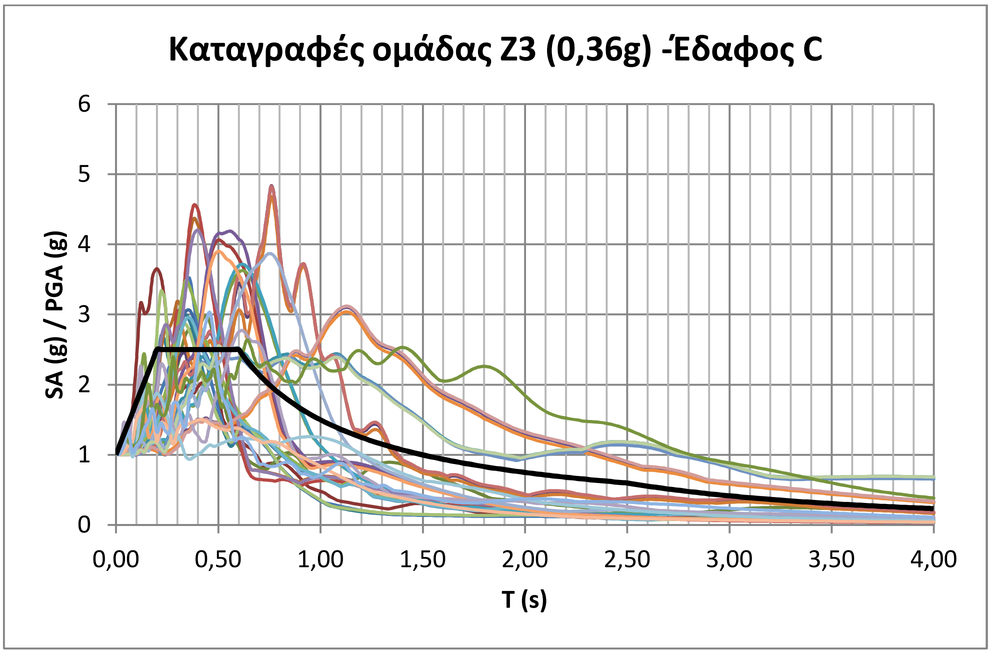
Σχήμα 5.10 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5%.



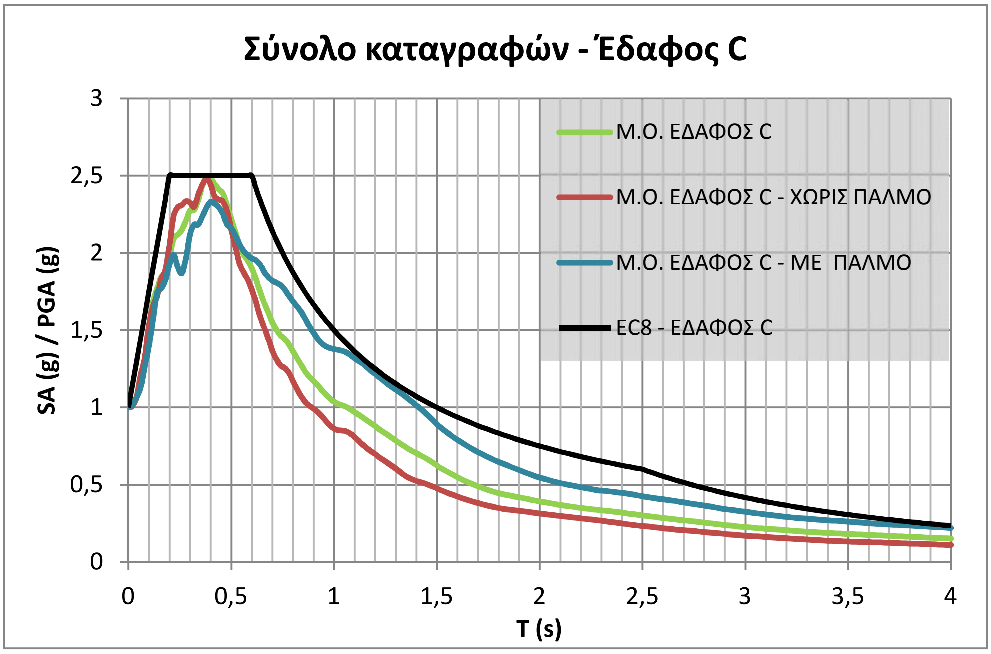
Σχήμα 5.11 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



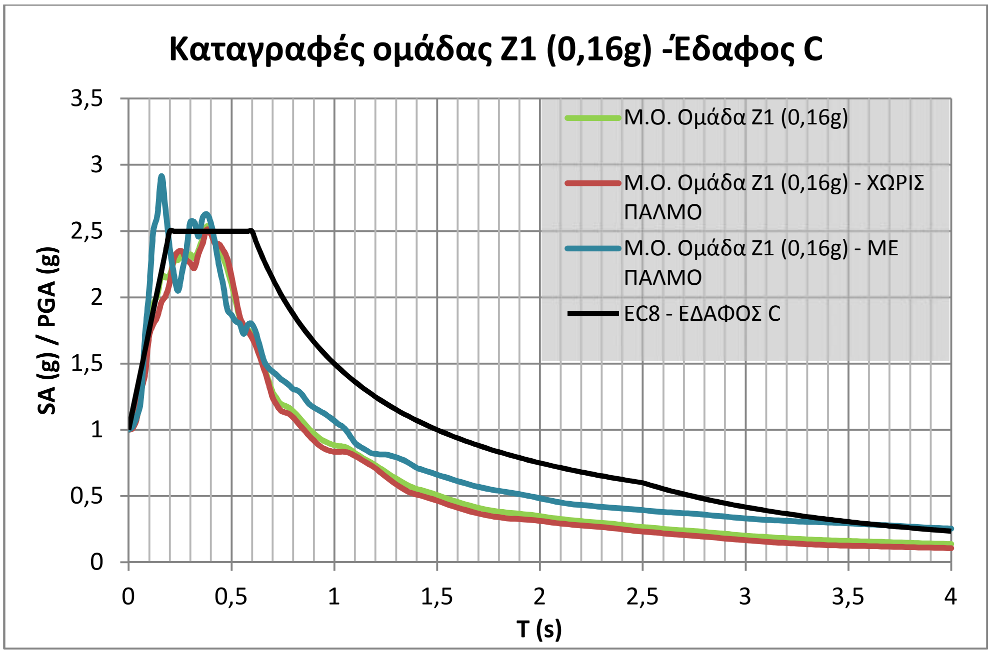
Σχήμα 5.12 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



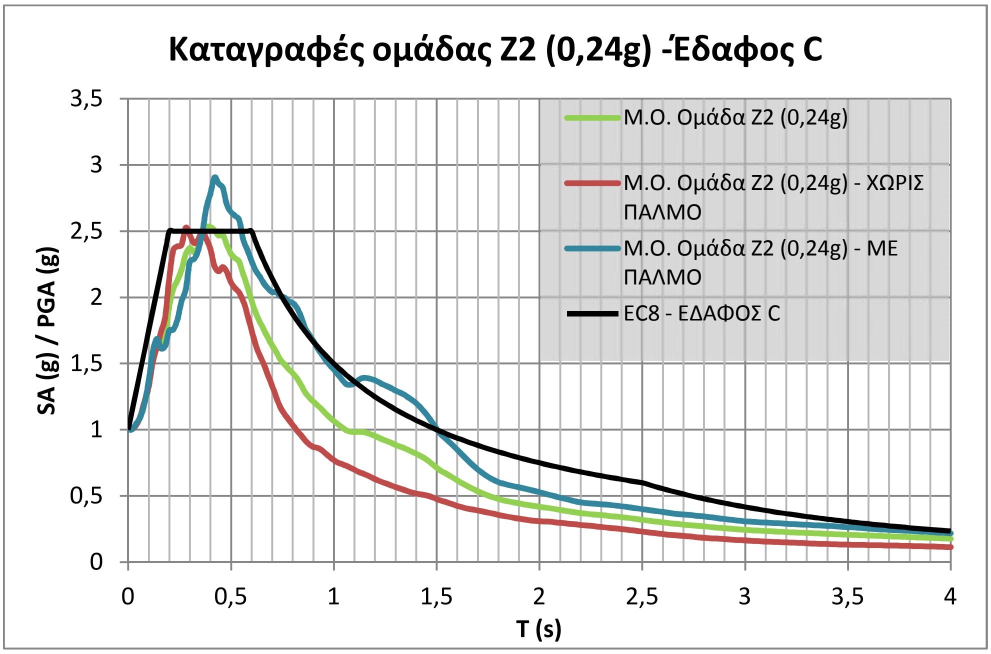
Σχήμα 5.13 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z3 (PGAoutcrop rock=0.36g)



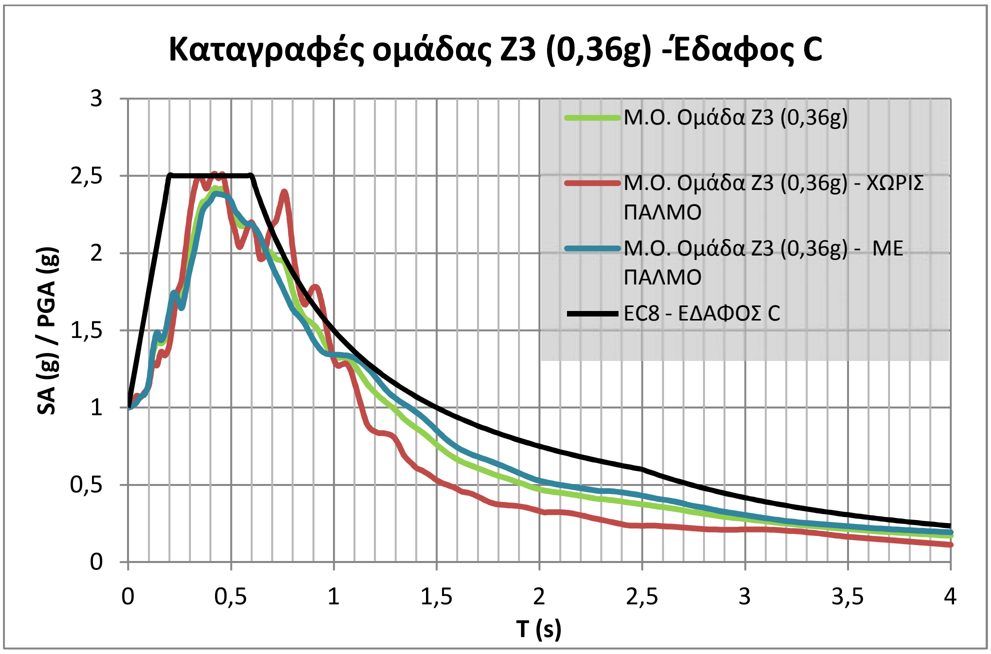
Σχήμα 5.14 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5%.



Σχήμα 5.15 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



Σχήμα 5.16 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



Σχήμα 5.17 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ C1, C2, C3 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ3 (PGAoutcrop rock=0.36g)

Παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα:

Όσον αφορά τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης που προέκυψε από τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.3, παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος για την εδαφική κατηγορία C λαμβάνει την τιμή 1.75, τιμή η οποία είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την τιμή που προτείνει ο EC8 και ισούται με 1.15. Και σε αυτή την κατηγορία εδάφους ο μέσος όρος της εδαφικής ενίσχυσης διαφέρει στις τρεις ομάδες κατηγοριοποίησης με βάση την επιτάχυνση, όπου για την ομάδα Z1 (0.16g) ισχύει S=1.85, για την ομάδα Z2 (0.24g) ισχύει S=1.74 και για την ομάδα Z3 (0.36g) ισχύει S=1.60. Αυξανομένης λοιπόν της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης των καταγραφών όπως και στην κατηγορία B παρατηρείται μείωση της εδαφικής ενίσχυσης που σημειώνεται, γεγονός λογικό αφού η αυξανόμενη δυναμική φόρτιση, οδηγεί σε μεγαλύτερες διατμητικές καταπονήσεις και επομένως μεγαλύτερες αποσβέσεις στον εδαφικό σχηματισμό.

Όσον αφορά την εικόνα των φασμάτων για απόσβεση 5% που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις αλλά και από τις συλλεχθείσες καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA, Σχήματα 5.11-5.13, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Z1 (Σχήμα 5.11), υπάρχουν διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 140% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.20-0.60sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους μειώνεται ο αρθμός των διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη παρατηρούμενη υπέρβαση των τιμών φτάνει το 80% έως 220% ανάλογα την περίοδο. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Z2 (Σχήμα 5.12), υπάρχουν επίσης διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 92% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.20-0.60sec, ενώ για την ίδια περιοχή υπάρχουν και δύο καταγραφές που παρουσιάζουν μέχρι και 140% υπέρβαση. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους ο αριθμός των εξέχοντων διεγέρσεων από το φάσμα του κανονισμού μειώνεται ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών κυμαίνεται από 120%-200% ανάλογα την περίοδο. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Z3 (Σχήμα 5.13), υπάρχουν διεγέρσεις που παρουσιάζουν υπέρβαση 84% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.20-0.60sec, μικρότερη σε σχέση με τις προηγούμενες ομάδες. Και σε αυτή την ομάδα όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους σημειώνεται μικρότερος αριθμός διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών του φάσματος για τις διάφορες περιόδους φτάνει έως 114%-175%.

Στα Σχήματα 5.15 έως 5.17 όπου αποτυπώνονται οι μέσοι όροι των καταγραφών και πάλι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες. Στην ομάδα Z1 (Σχήμα 5.15), φαίνεται ότι η αρχή του πλατώ σημειώνεται σε περίοδο T=0.10sec μικρότερη από την αντίστοιχη T_B=0.20sec που ορίζει ο EC8, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 16% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 2.9 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.50sec μικρότερη δηλαδή από την αντίστοιχη T_C=0.60sec που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα σχεδόν για όλες τις περιόδους. Συνολικά όμως οι καμπύλες των μέσων όρων βρίσκονται ελαφρώς χαμηλότερα από την καμπύλη του EC8 για τιμές περιόδων μεγαλύτερες του T=0.50sec.

Στην ομάδα Ζ2 (Σχήμα 5.16), φαίνεται ότι η περίοδος T_B=0.20sec που ορίζει την αρχή του πλατώ σύμφωνα με τον EC8 ανταποκρίνεται σωστά στον εξαγώμενο μέσο όρο των αποτελεσμάτων, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 16% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 2.9 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή Τ=0.60sec, σε συμφωνία δηλαδή με την Tc που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για περιόδους από Τ=0.15-0.40sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές Τ>0.40sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, με εξαίρεση την περιοχή περιόδων Τ=0.35-0.55sec όπου σημείωνεται υπέρβαση των τιμών όπως αναφέρθηκε καθώς και την περιοχή Τ=1.10-1.50sec όπου η καμπύλη του μέσου όρου των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα παρουσιάζει τοπική ενίσχυση των φασματικών τιμών που υπερβαίνει το φάσμα του EC8, γεγονός που φανερώνει την επίδραση της κατευθυντικότητας.

Στην ομάδα Ζ3 (Σχήμα 5.17), η αρχή του πλατώ σύμφωνα με το μέσο όρο των φασμάτων προσεγγίζεται από την τιμή Τ=0.40sec, μεγαλύτερη δηλαδή από την τιμή T_B=0.20sec που προτείνεται από τον EC8. Σε αυτή την ομάδα των καταγραφών δεν παρατηρείται υπέρβαση των φασματικών τιμών στην περιοχή του πλατώ, δηλαδή για 0.20sec<T<0.60sec. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται στην τιμή Τ=0.75sec, μεγαλύτερη δηλαδή της τιμής που προτείνεται από τον EC8. Ο μέσος όρος των σεισμών χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των σεισμών με κατευθυντικότητα για περιόδους έως Τ=1.00sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές Τ>1.00sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, με εξαίρεση την περιοχή περιόδων Τ=0.70-1.00sec όπου σημείωνεται υπέρβαση των τιμών σε σχέση με το φάσμα του EC8.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για την εδαφική κατηγορία C, ακριβώς όπως και στην προηγούμενη εδαφική κατηγορία, παρατηρούμε ότι καθώς μεταβαίνουμε σε ομάδα με μεγαλύτερες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, δηλαδή κατά την διαδρομή από την ομάδα Ζ1 στην ομάδα Ζ3, οδηγούμαστε σε μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης, σε μικρότερες φασματικές ενισχύσεις, σε προς τα δεξιά μετατόπιση των πλατώ των μέσων όρων, δηλαδή σε αύξηση των χαρακτηριστικών περιόδων T_B και T_C, και τέλος σε αύξηση των τιμών των καμπυλών των μέσων όρων για περιόδους Τ>0.50sec που οδηγεί σε καλύτερη προσαρμογή ή ελαφριά υπέρβαση του προτεινόμενου φάσματος από τον EC8. Ακόμη σε σχέση με την κατηγορία Β η περιοχή του πλατώ εκτείνεται σε μεγαλύτερο εύρος περιόδων, γεγονός λογικό αφού τα εδαφικά προφίλ της κατηγορίας είναι πιο εύτμητα από τα αντίστοιχα της κατηγορίας Β.

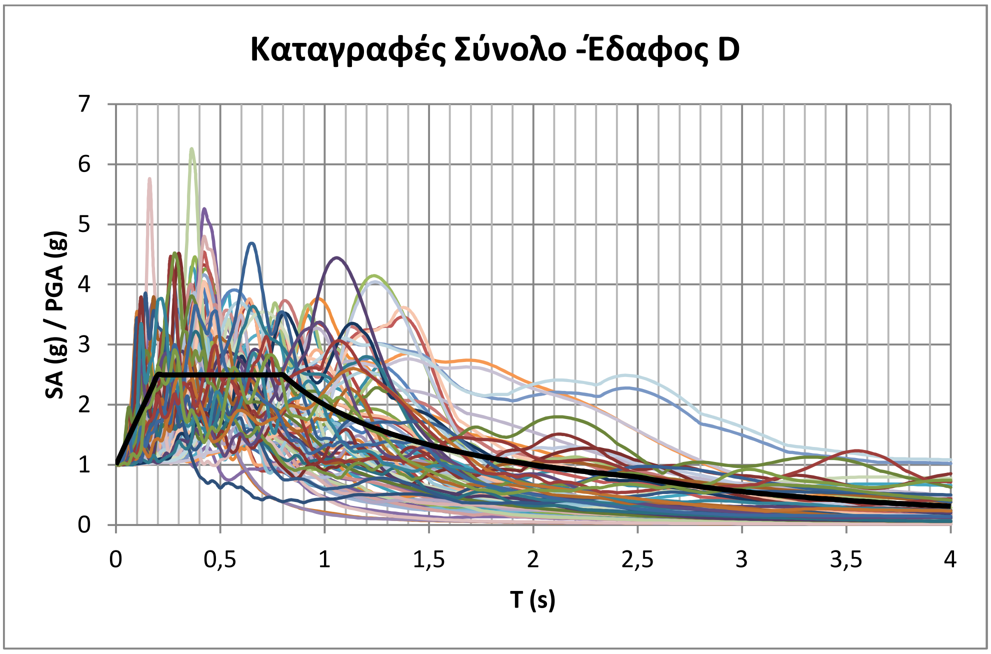
Ο EC8 λοιπόν κρίνεται ανεπαρκής όσον αφορά την τιμή του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης. Η τιμή του φάσματος στην περιοχή σταθερής επιτάχυνσης (T_B=0.20sec - T_C=0.60sec) υπερβάινεται ελαφρώς για τις ομάδες Ζ1 και Ζ2, ενώ επαρκεί για την ομάδα Ζ3. Για περιόδους Τ>0.60sec ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για την κάλυψη των εξαγώμενων μέσων όρων των φασμάτων με εξαίρεση μικρές περιοχές περιόδων όπου σημειώνονται τοπικές υπερβάσεις.

❖ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ D

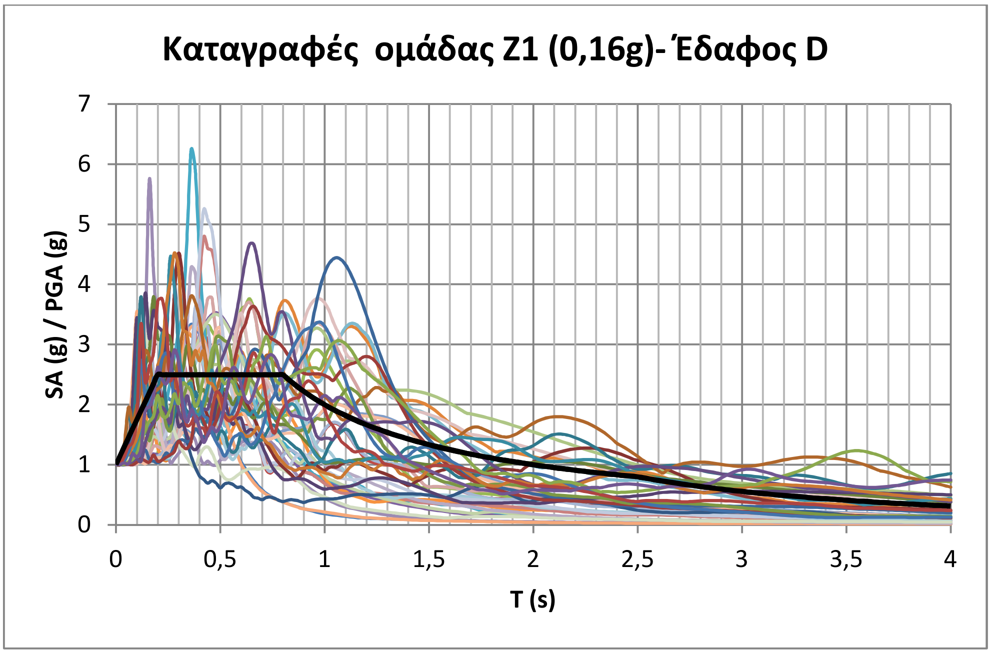
Τα αποτελέσματα της εδαφικής αυτής κατηγορίας περικλείουν τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από την αναζήτηση καταγραφών για την κατηγορία εδάφους D από την βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database). Αρχικά, στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζεται η εδαφική ενίσχυση που σημειώθηκε σε κάθε διέγερση στα επιμέρους προφίλ καθώς και η μέση τιμή της στο σύνολο του εδάφους D και στην συνέχεια ακολουθούν στα Σχήματα 5.18 έως 5.25, ακολουθούν τα κανονικοποιημένα φάσματα επιτάχυνσης για απόσβεση 5%.

Ομάδα κατηγοριοποίησης	Κωδικός διέγερσης	D1	D2
Z1	Chi_N	1,66	1,95
Z3	ChiTC84_N	0,94	1,14
Z1	HOL3_247	1,01	0,84
Z3	LP_000	1,00	1,16
Z3	LP_090	1,04	1,29
Z2	LPGG_067	1,23	1,29
Z2	LPGG_337	0,99	1,00
Z2	NIG_EW	1,19	1,26
Z3	NIG_NS	0,93	1,17
Z1	NOR1_000	2,03	2,24
Z1	NOR1_090	1,56	1,58
Z2	PAR_270	1,22	0,99
Z1	PAR_360	1,64	1,50
Z1	SF_21	0,65	0,71
Z1	SF_291	0,82	0,79
Z2	TOT_EW	0,96	0,96
Z1	TOT_NS	1,99	2,30
Z2	TOTSM10_EW	1,20	1,10
Z1	TOTSM10_NS	1,25	1,12
Z2	GEZBE	0,93	1,08
Z1	IZMIT	0,92	1,18
Z3	KALAMATA	0,88	0,96
Z2	KOBEEW	1,17	1,40
Z2	KOBENS	1,27	1,58
Z1	KOZANI	0,78	2,43
Z3	PETROLIA	1,17	1,29
Z3	TCU052	1,84	1,80
Z3	TCU068	1,11	1,15
Μέσος όρος ανά προφίλ		1,19	1,33
Μέσος όρος κατηγορίας D		1,26	

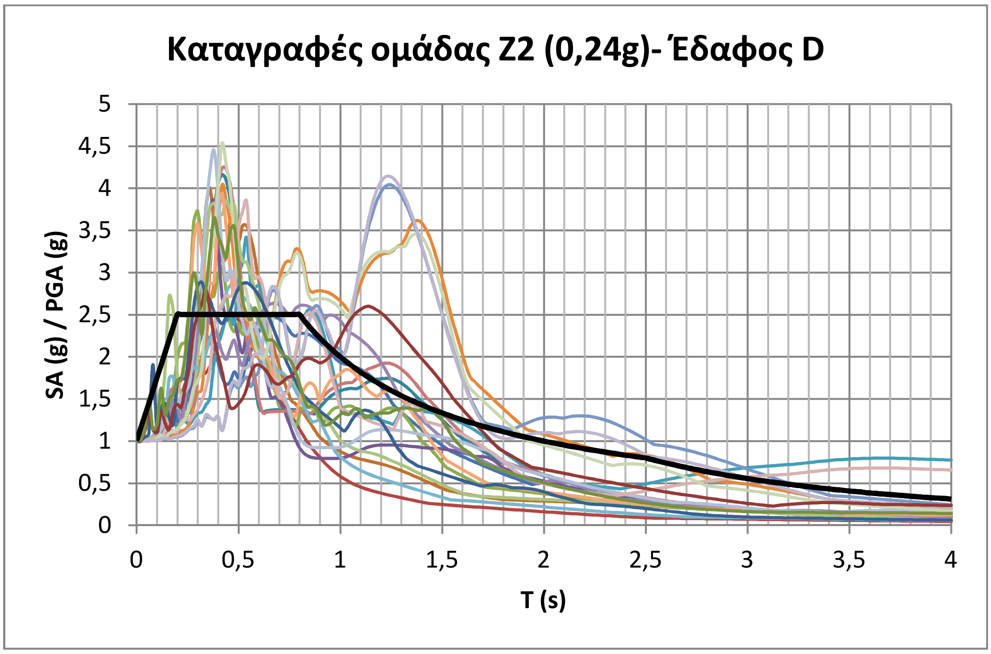
Πίνακας 5.4 : Η εδαφική ενίσχυση για τα εναλλακτικά προφίλ της εδαφικής κατηγορίας D.



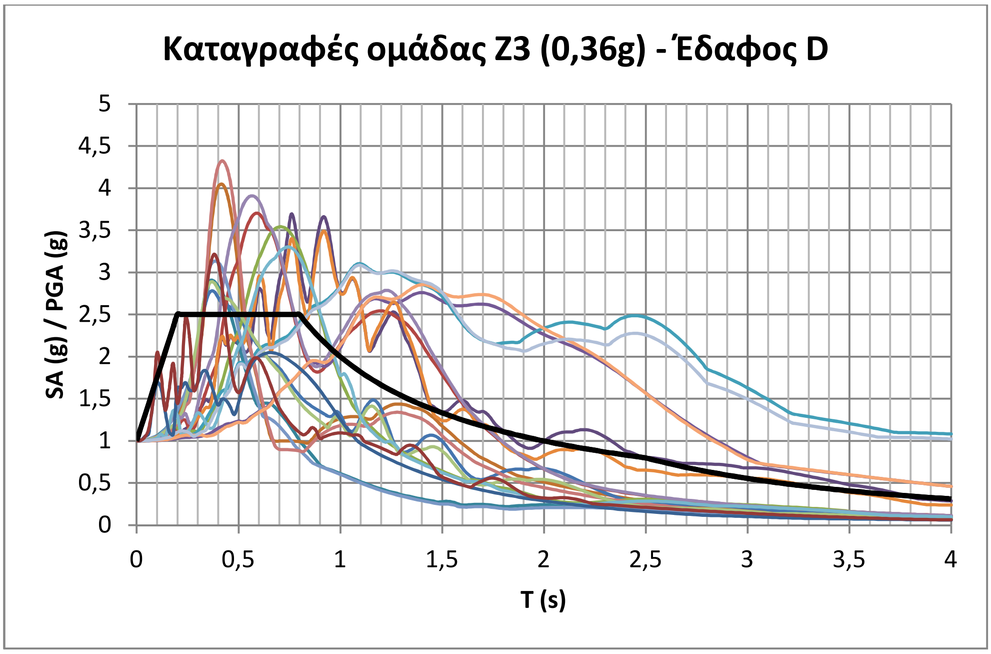
Σχήμα 5.18 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5%.



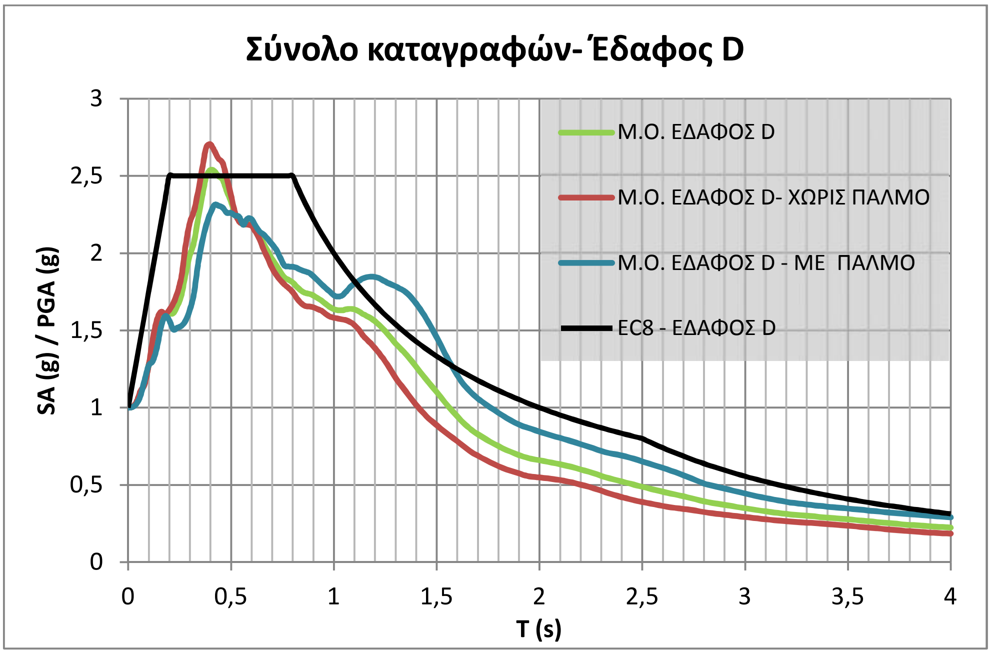
Σχήμα 5.19 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



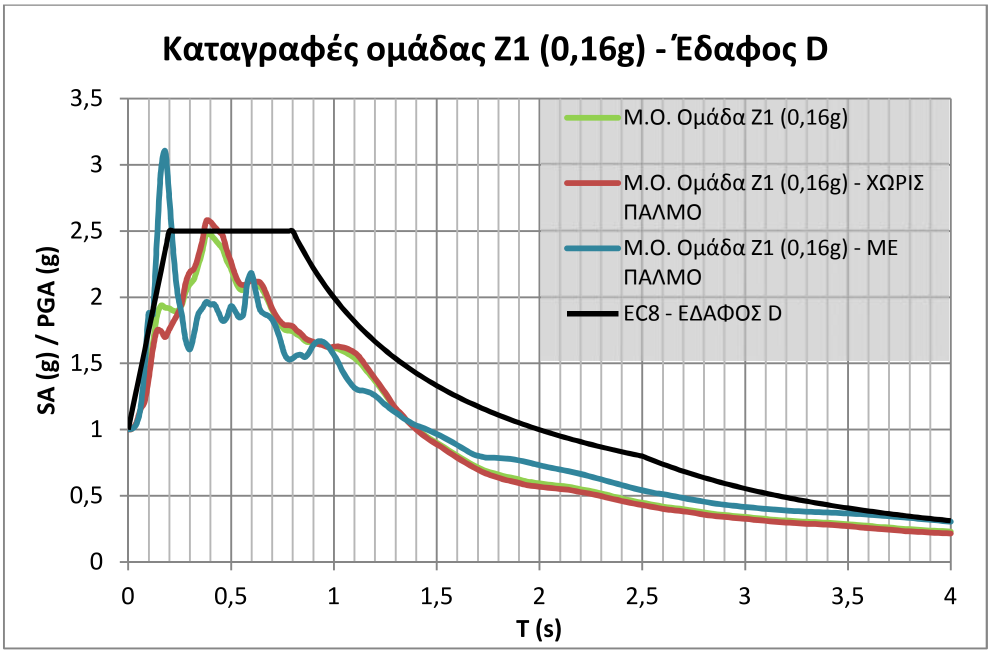
Σχήμα 5.20 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



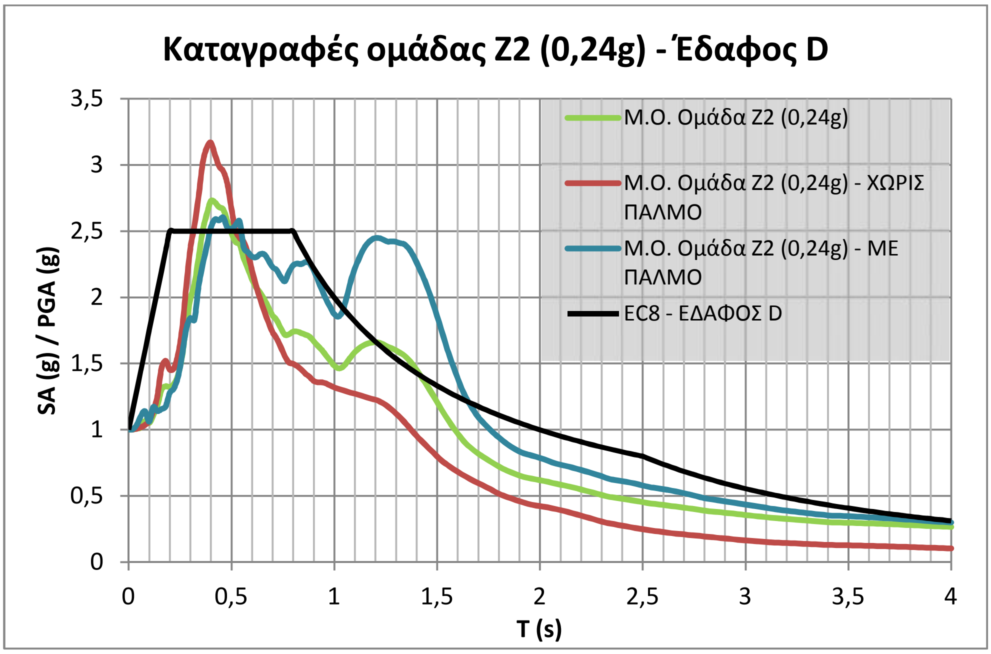
Σχήμα 5.21 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ3 (PGAoutcrop rock=0.36g)



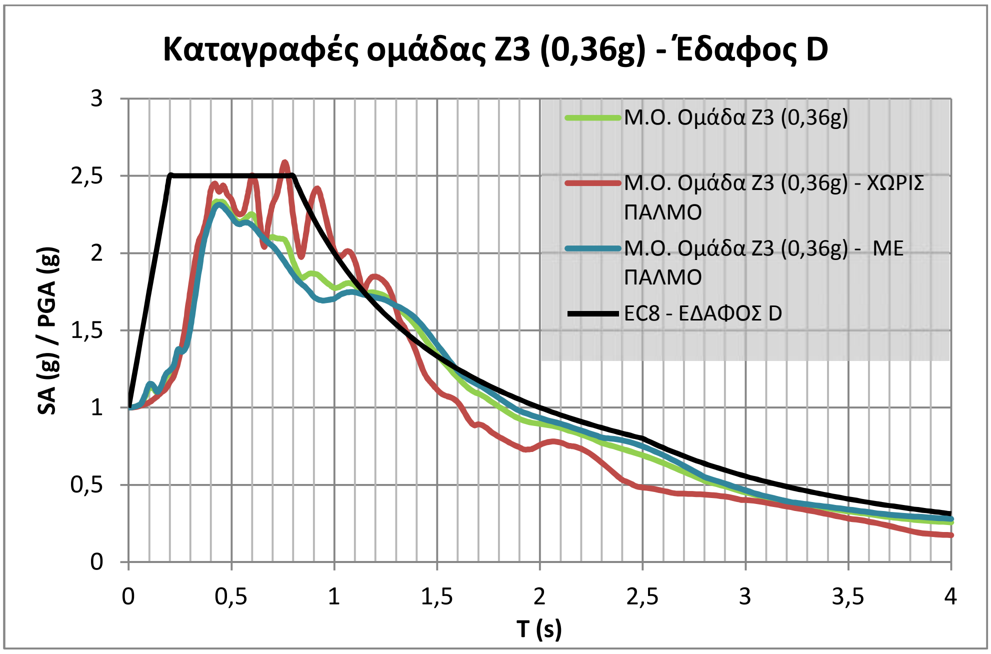
Σχήμα 5.22 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5%.



Σχήμα 5.23 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



Σχήμα 5.24 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



Σχήμα 5.25 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ D1, D2 καθώς και από τις καταγραφές από τη βάση δεδομένων NGA (Peer Ground Motion Database) για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ3 (PGAoutcrop rock=0.36g)

Παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα:

Όσον αφορά τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης που προέκυψε από τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.3, παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος για την εδαφική κατηγορία D λαμβάνει την τιμή 1.26, τιμή η οποία είναι ελαφρώς μικρότερη από την τιμή που προτείνει ο EC8 και ισούται με 1.35. Και σε αυτή την κατηγορία εδάφους ο μέσος όρος της εδαφικής ενίσχυσης διαφέρει στις τρεις ομάδες κατηγοριοποίησης με βάση την επιτάχυνση, όπου για την ομάδα Z1 (0.16g) ισχύει S=1.41, για την ομάδα Z2 (0.24g) ισχύει S=1.16 και για την ομάδα Z3 (0.36g) ισχύει S=1.18. Αυξανομένης λοιπόν της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης των καταγραφών όπως και στην κατηγορία B παρατηρείται μείωση της εδαφικής ενίσχυσης που σημειώνεται, γεγονός λογικό αφού η αυξανόμενη δυναμική φόρτιση, οδηγεί σε μεγαλύτερες διατμητικές καταπονήσεις και επομένως μεγαλύτερες αποσβέσεις στον εδαφικό σχηματισμό.

Όσον αφορά την εικόνα των φασμάτων για απόσβεση 5% που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις αλλά και από τις συλλεχθείσες καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA (Σχήματα 5.19-5.21), παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Z1 [Σχήμα 5.19], υπάρχουν διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 148% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.20-0.80sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους μειώνεται ο αρθμός των διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ παρατηρείται υπέρβαση των τιμών η οποία ανέρχεται σε μέγιστη προσαύξηση 69% έως 450% ανάλογα την περίοδο. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Z2 (Σχήμα 5.20), υπάρχουν επίσης διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 80% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.20-0.80sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους ο αριθμός των εξέχοντων διεγέρσεων από το φάσμα του κανονισμού μειώνεται ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών κυμαίνεται από 128%-160% ανάλογα την ιδιοπερίοδο. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Z3 (Σχήμα 5.21), υπάρχουν διεγέρσεις που παρουσιάζουν υπέρβαση 72% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.20-0.80sec, μικρότερη σε σχέση με τις προηγούμενες ομάδες. Και σε αυτή την ομάδα όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους σημειώνεται μικρότερος αριθμός διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών του φάσματος για τις διάφορες περιόδους φτάνει έως 100%-213%.

Στα Σχήματα 5.23 έως 5.25 όπου αποτυπώνονται οι μέσοι όροι των καταγραφών και πάλι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες. Στην ομάδα Z1 (Σχήμα 5.23), φαίνεται ότι η αρχή του πλατώ σημειώνεται σε περίοδο T=0.15sec μικρότερη από την αντίστοιχη T_B=0.20sec που ορίζει ο EC8, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 25% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 3.13 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.80sec, τιμή που ταυτίζεται με την προτεινόμενη στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για ιδιοπεριόδους 0.25sec<T<1.35sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις υπόλοιπες περιόδους. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων βρίσκονται ελαφρώς χαμηλότερα από την καμπύλη του EC8 για τιμές περιόδων μεγαλύτερες του T=0.50sec.

Στην ομάδα Ζ2 (Σχήμα 5.24), η αρχή του πλατώ σύμφωνα με το μέσο όρο των φασμάτων προσεγγίζεται από την τιμή T=0.30sec, μεγαλύτερη δηλαδή από την τιμή T_B=0.20sec που προτείνεται από τον EC8, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 28% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 3.2 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.80sec, σε συμφωνία δηλαδή με την Tc που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για περιόδους από T=0.30-0.55sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>0.55sec. Στις περιόδους T=1.05sec έως T=1.65sec παρατηρείται μία πολύ έντονη τοπική φασματική ενίσχυση στην καμπύλη του μέσου όρου των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα, η οποία δικαιολογείται από τον παλμό που περιέχουν αυτές οι διεγέρσεις και οδηγεί σε υπέρβαση των τυπών του φάσματος. Για T>1.65sec οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8 και βρίσκονται ελαφρώς κάτω από αυτό.

Στην ομάδα Ζ3 (Σχήμα 5.25), η αρχή του πλατώ σύμφωνα με το μέσο όρο των φασμάτων προσεγγίζεται από την τιμή T=0.40sec, μεγαλύτερη δηλαδή από την τιμή T_B=0.20sec που προτείνεται από τον EC8. Σε αυτή την ομάδα των καταγραφών δεν παρατηρείται υπέρβαση των φασματικών τιμών στην περιοχή του πλατώ, δηλαδή για 0.20sec<T<0.80sec. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται στην τιμή T=0.90sec, μεγαλύτερη δηλαδή της τιμής που προτείνεται από τον EC8. Ο μέσος όρος των σεισμών χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των σεισμών με κατευθυντικότητα για περιόδους από T=0.40sec έως T=1.30sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>1.30sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, με εξαίρεση την περιοχή περιόδων T=0.85-1.60sec όπου σημείωνεται μικρή σχετικά υπέρβαση των τιμών σε σχέση με το φάσμα του EC8.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για την εδαφική κατηγορία D, ακριβώς όπως και στις προηγούμενες εδαφικές κατηγορίες, παρατηρούμε ότι καθώς μεταβαίνουμε σε ομάδα με μεγαλύτερες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, δηλαδή κατά την διαδρομή από την ομάδα Ζ1 στην ομάδα Ζ3, οδηγούμαστε σε μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης, σε μικρότερες φασματικές ενισχύσεις, σε προς τα δεξιά μετατόπιση των πλατώ των μέσων όρων, δηλαδή σε αύξηση των χαρακτηριστικών περιόδων T_B και T_C, και τέλος σε αύξηση των τιμών των καμπυλών των μέσων όρων που οδηγεί σε καλύτερη προσαρμογή ή ελαφριά υπέρβαση του προτεινόμενου φάσματος από τον EC8. Ακόμη σε σχέση με την κατηγορία C η περιοχή του πλατώ εκτείνεται σε ακόμα μεγαλύτερο εύρος περιόδων, γεγονός λογικό αφού τα εδαφικά προφίλ της κατηγορίας είναι τα πιο μαλακά και εύτμητα που ορίζονται στον EC8 και έτσι χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες θεμελειώδεις ιδιοπερίοδους σχηματισμών.

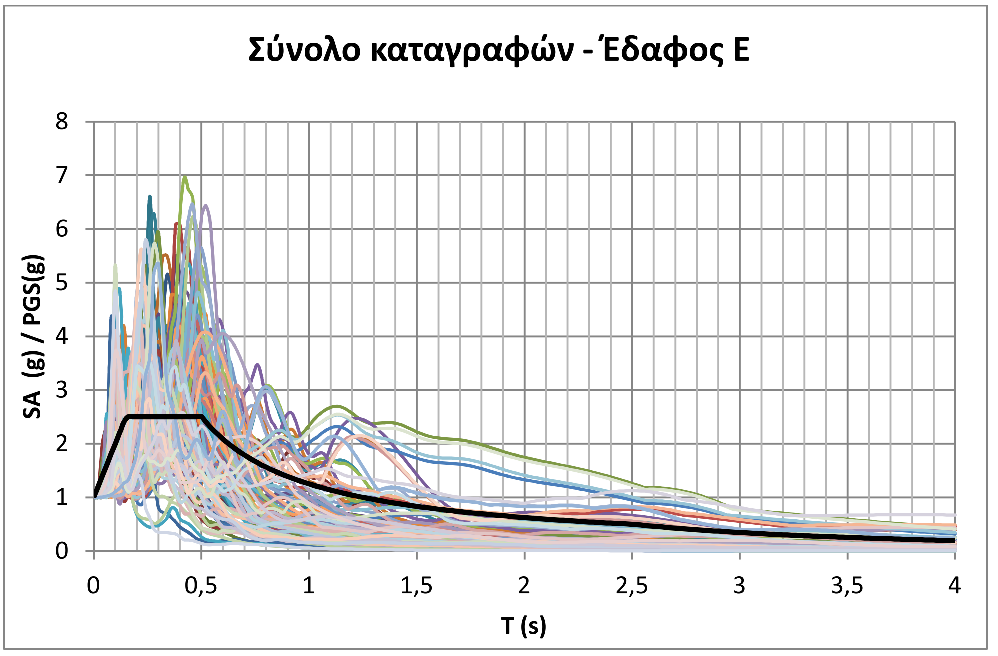
Ο EC8 λοιπόν φαίνεται να δίνει ελαφρώς πιο αυξημένη τιμή του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από αυτή που προέκυψε από τις αναλύσεις. Η τιμή του φάσματος στην περιοχή σταθερής επιτάχυνσης (T_B=0.20sec - T_C=0.80sec) υπερβαίνεται ελαφρώς για τις ομάδες Ζ1 και Ζ2, ενώ επαρκεί για την ομάδα Ζ3. Για περιόδους T>0.80sec ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για την κάλυψη των εξαγώμενων μέσων όρων των φασμάτων με εξαίρεση μικρές περιοχές περιόδων όπου σημειώνονται τοπικές υπερβάσεις για τις ομάδες Ζ1 και Ζ3, ενώ δεν επαρκεί για την κάλυψη της έντονης τοπικής φασματικής ενίσχυσης που εμφανίζεται στην ομάδα Ζ2.

❖ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Ε

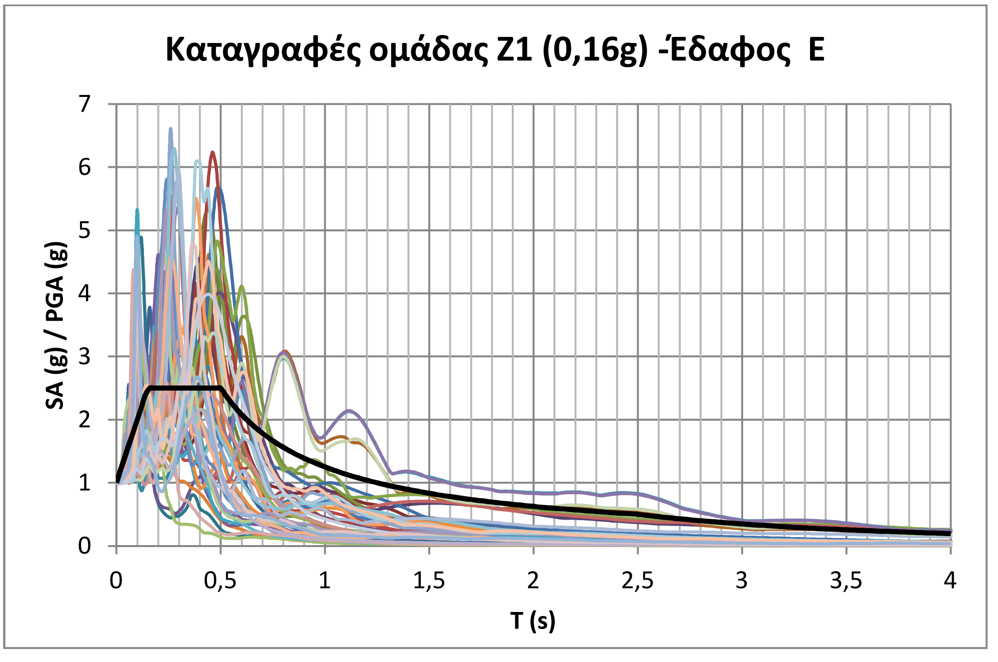
Τα αποτελέσματα της εδαφικής αυτής κατηγορίας περικλείουν τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2. Αρχικά, στον Πίνακας 5.5 παρουσιάζεται η εδαφική ενίσχυση που σημειώθηκε σε κάθε διέγερση στα επιμέρους προφίλ καθώς και η μέση τιμή της στο σύνολο του εδάφους Ε και στην συνέχεια στα Σχήματα 5.26 έως 5.33, ακολουθούν τα κανονικοποιημένα φάσματα επιτάχυνσης για απόσβεση 5%.

Ομάδα κατηγοριοποίησης	Κωδικός διέγερσης	EC1	EC2	ED1	ED2
Z1	Chi_N	1,20	1,22	1,75	1,92
Z3	ChiTC84_N	1,52	1,56	1,50	1,44
Z1	HOL3_247	2,20	1,64	2,18	1,55
Z3	LP_000	2,47	2,01	1,90	1,70
Z3	LP_090	2,58	2,49	2,22	2,15
Z2	LPGG_067	2,00	2,14	2,19	2,16
Z2	LPGG_337	1,68	1,64	1,88	1,53
Z2	NIG_EW	2,26	2,05	2,32	2,11
Z3	NIG_NS	2,02	2,32	2,74	1,96
Z1	NOR1_000	2,00	2,47	2,72	2,78
Z1	NOR1_090	2,69	2,08	2,30	2,27
Z2	PAR_270	1,69	1,81	1,82	1,68
Z1	PAR_360	1,58	1,61	2,35	2,51
Z1	SF_21	1,08	0,97	1,30	1,18
Z1	SF_291	1,18	0,98	3,58	1,17
Z2	TOT_EW	2,51	2,30	1,77	1,51
Z1	TOT_NS	3,00	2,73	2,76	2,71
Z2	TOTSM10_EW	2,05	1,98	1,76	1,56
Z1	TOTSM10_NS	2,18	2,42	2,07	1,90
Z2	GEZBE	1,48	1,66	1,70	1,68
Z1	IZMIT	1,67	2,79	3,74	1,62
Z3	KALAMATA	1,47	1,36	1,88	1,83
Z2	KOBEEW	1,47	1,87	1,84	1,71
Z2	KOBENS	1,28	1,32	1,25	1,54
Z1	KOZANI	2,03	1,36	2,75	1,36
Z3	PETROLIA	1,22	1,33	1,79	1,65
Z3	TCU052	1,14	1,12	1,52	1,45
Z3	TCU068	1,40	2,00	2,09	1,99
Μέσος όρος ανά προφίλ		1,82	1,83	2,13	1,81
Μέσος όρος κατηγορίας Ε		1,90			

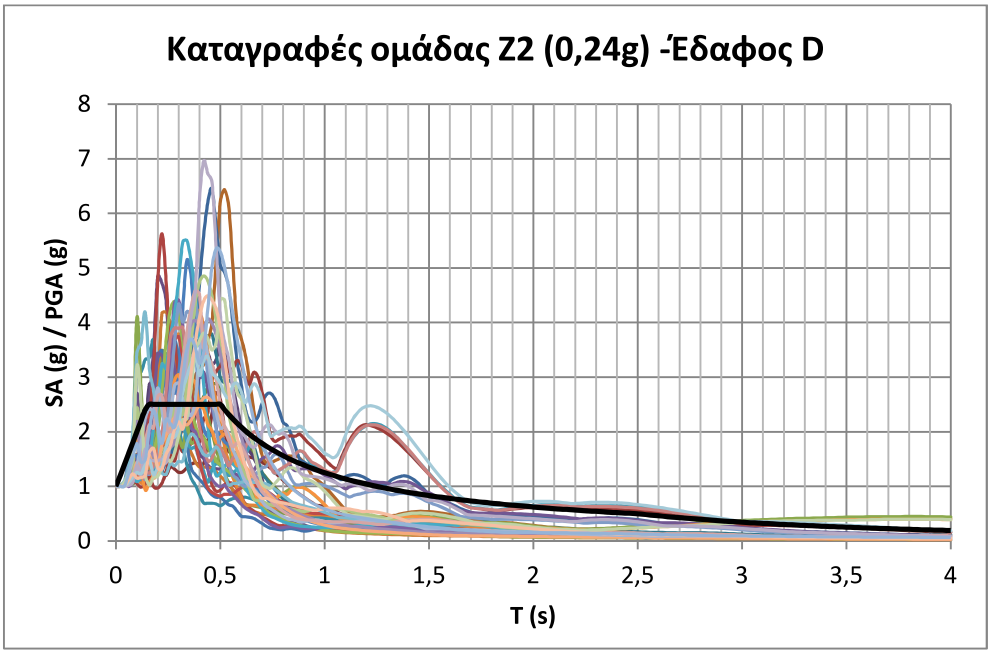
Πίνακας 5.5 : Η εδαφική ενίσχυση για τα εναλλακτικά προφίλ της εδαφικής κατηγορίας Ε.



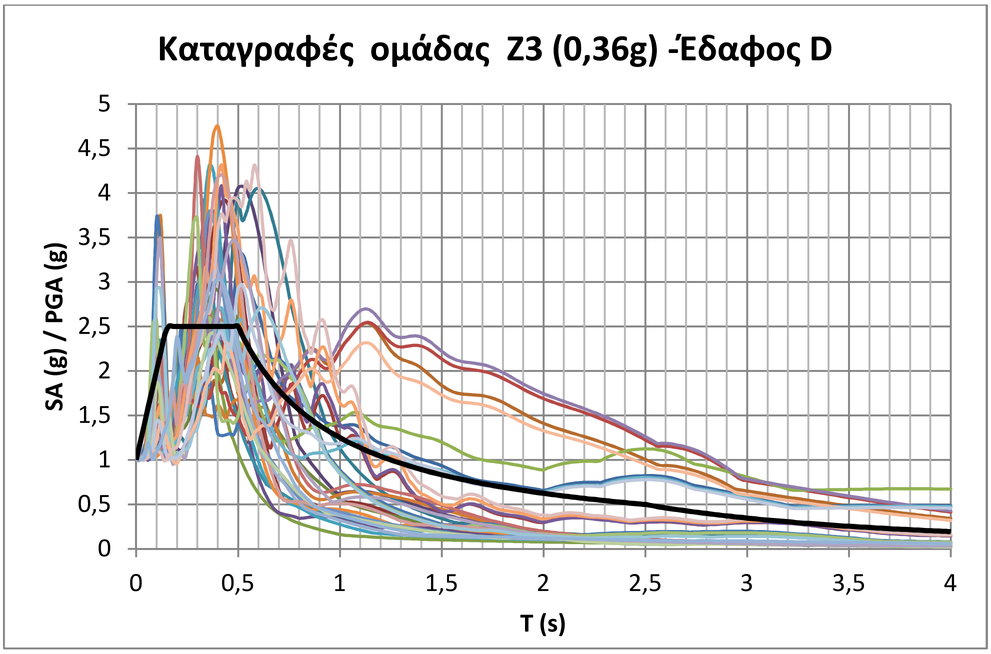
Σχήμα 5.26 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5%.



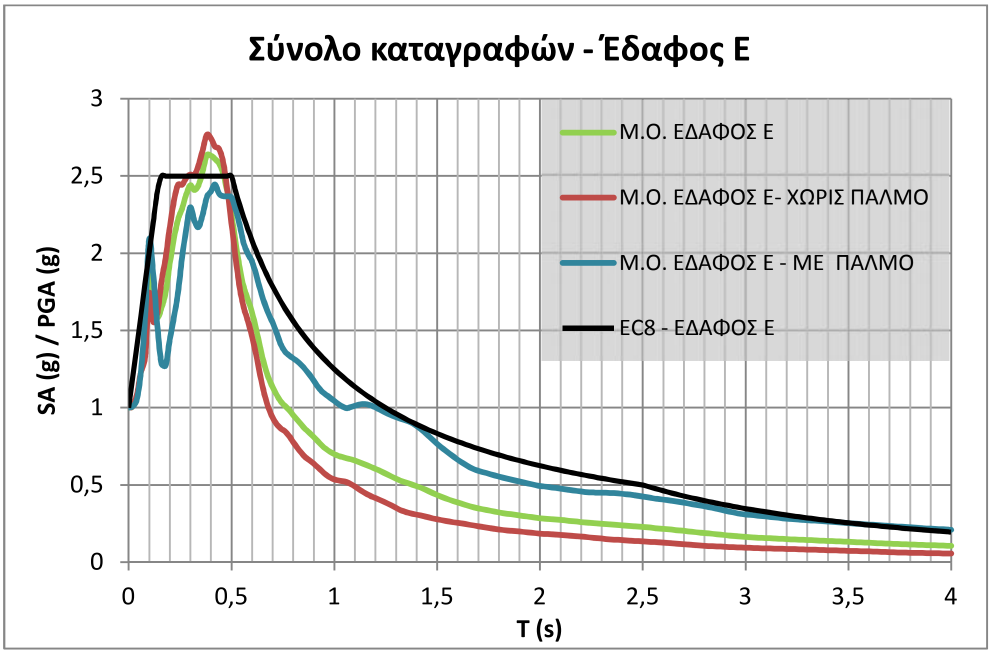
Σχήμα 5.27 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



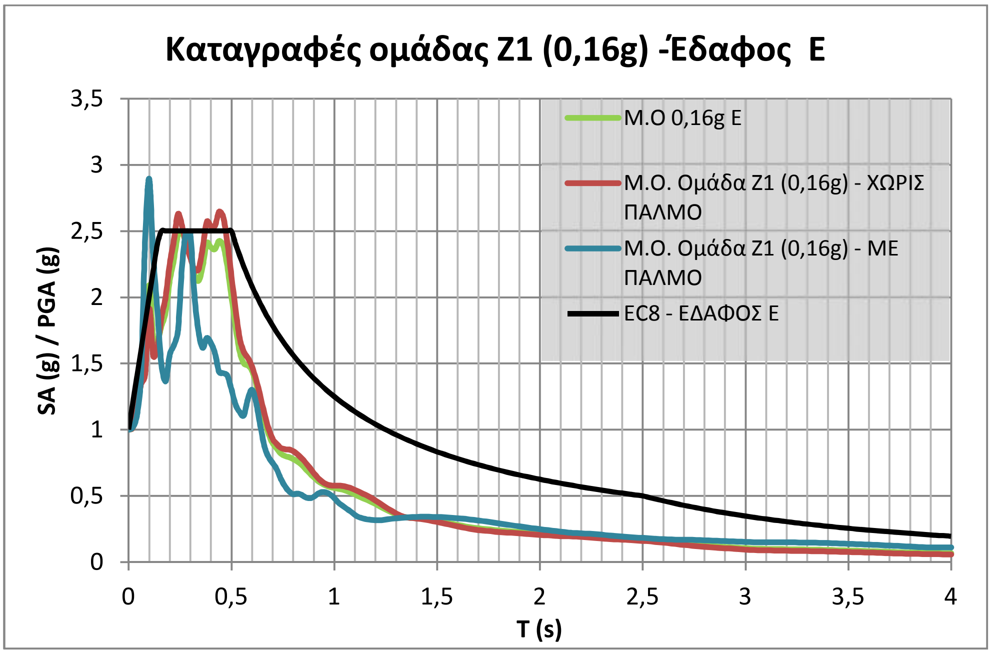
Σχήμα 5.28 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



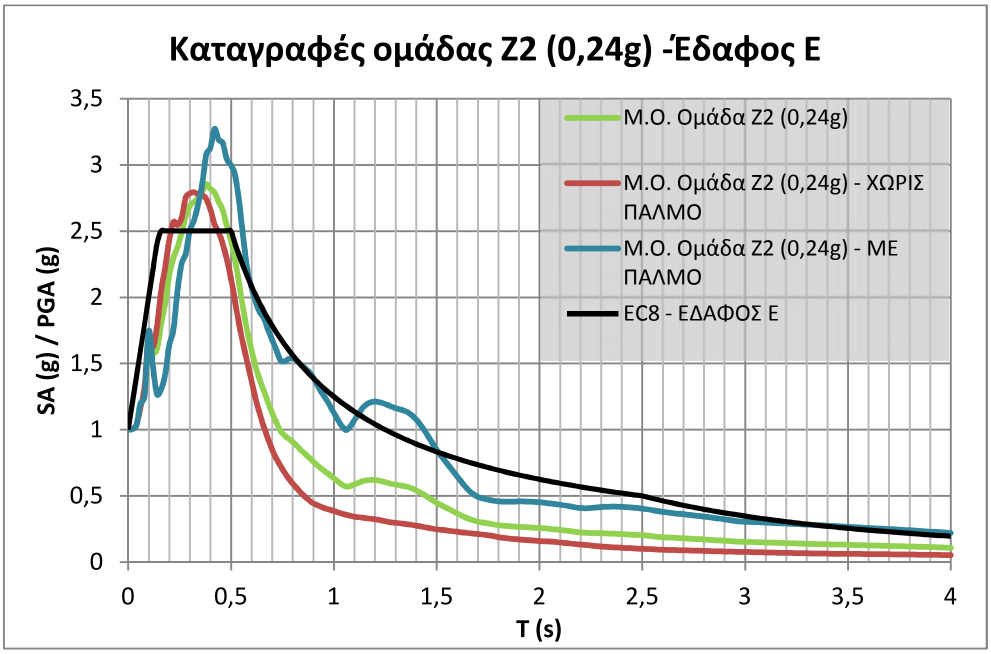
Σχήμα 5.29 : Τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Z3 (PGAoutcrop rock=0.36g)



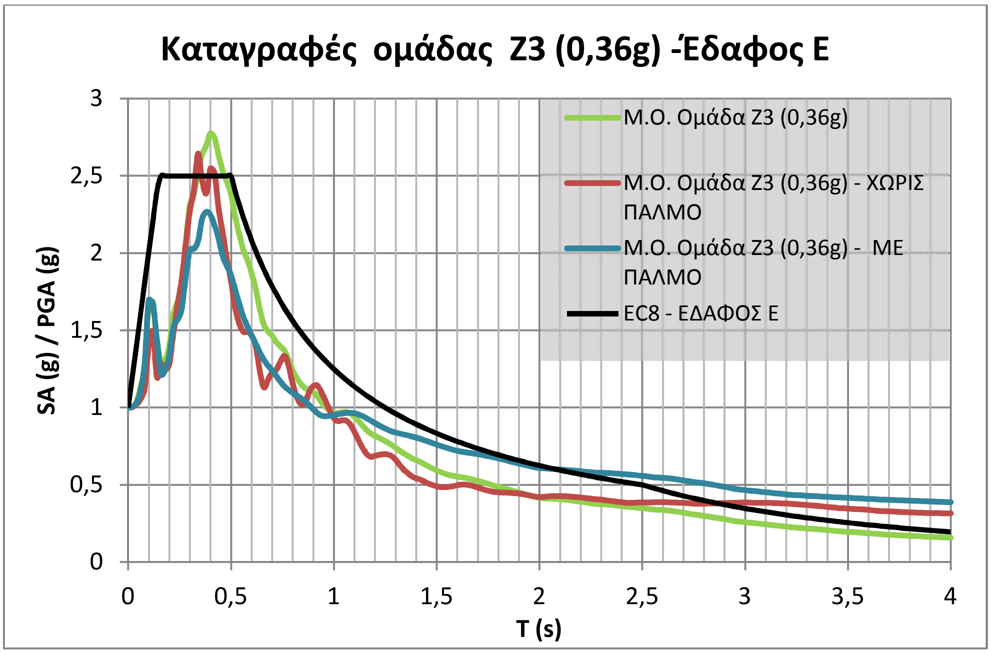
Σχήμα 5.30 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5%.



Σχήμα 5.31 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ1 (PGAoutcrop rock=0.16g)



Σχήμα 5.32 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ2 (PGAoutcrop rock=0.24g)



Σχήμα 5.33 : Οι μέσοι όροι των φασμάτων επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις στα προφίλ EC1, EC2, ED1, ED2 για απόσβεση 5% για την ομάδα κατηγοριοποίησης Ζ3 (PGAoutcrop rock=0.36g)

Παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα:

Όσον αφορά τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης που προέκυψε από τις πραγματοποιηθείσες αναλύσεις και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.4 παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος για την εδαφική κατηγορία Ε λαμβάνει την τιμή 1.90, τιμή η οποία είναι μεγαλύτερη από την τιμή που προτείνει ο EC8 και ισούται με 1.40. Σημαντικό είναι ακόμα να αναφερθεί ότι ο μέσος όρος της εδαφικής ενίσχυσης διαφέρει και σε αυτή την εδαφική κατηγορία για τις τρεις ομάδες κατηγοριοποίησης με βάση την επιτάχυνση, όπου για την ομάδα Ζ1 (0.16g) ισχύει S=2.04, για την ομάδα Ζ2 (0.24g) ισχύει S=1.81 και για την ομάδα Ζ3 (0.36g) ισχύει S=1.81. Αυξανομένης λοιπόν της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης των καταγραφών παρατηρείται μείωση της εδαφικής ενίσχυσης που σημειώνεται, γεγονός λογικό αφού η αυξανόμενη δυναμική φόρτιση, οδηγεί σε μεγαλύτερες διατμητικές καταπονήσεις και επομένως μεγαλύτερες αποσβέσεις στον εδαφικό σχηματισμό.

Όσον αφορά την εικόνα των φασμάτων για απόσβεση 5% που προέκυψαν στην επιφάνεια από τις αναλύσεις αλλά και από τις συλλεχθείσες καταγραφές από την βάση δεδομένων NGA (Σχήματα 5.27-5.29), παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες επιτάχυνσης. Συγκεκριμένα στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Ζ1 (Σχήμα 5.27), υπάρχουν αρκετές διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 160% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.15-0.50sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους μειώνεται κατά πολύ ο αρθμός των διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ παρατηρείται υπέρβαση των τιμών για τις διάφορες περιόδους η οποία φτάνει το 100%. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Ζ2 (Σχήμα 5.28), υπάρχουν επίσης αρκετές διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 180% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.15-0.50sec. Όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους σημειώνεται μικρότερος αριθμός διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών που παρατηρείται για τις διάφορες περιόδους φτάνει το 69% έως 145%. Στις καταγραφές που ανήκουν στην ομάδα Ζ3 (Σχήμα 5.29), υπάρχουν διεγέρσεις για τις οποίες παρατηρείται υπέρβαση μέχρι και 90% της τιμής του EC8 για περιόδους από T=0.15-0.50sec, μικρότερη δηλαδή της υπέρβασης που σημειωνόταν στις προηγούμενες ομάδες. Και σε αυτή την ομάδα όσο μεταβαίνουμε σε μεγαλύτερες περιόδους σημειώνεται μικρότερος αριθμός διεγέρσεων που εξέχουν από το φάσμα του κανονισμού ενώ η μέγιστη υπέρβαση των τιμών του φάσματος για τις διάφορες περιόδους ανέρχεται από 100%-170%.

Στα Σχήματα 5.31 έως 5.33 όπου αποτυπώνονται οι μέσοι όροι των καταγραφών και πάλι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις για τις τρεις ομάδες. Στην ομάδα Ζ1 (Σχήμα 5.31), η αρχή του πλατώ σύμφωνα με το μέσο όρο των φασμάτων προσεγγίζεται από την τιμή T=0.10sec, μικρότερη δηλαδή από την τιμή T_B=0.15sec που προτείνεται από τον EC8, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 12% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 2.8 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.50sec που ταυτίζεται με την αντίστοιχη που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για περιόδους από T=0.30-1.30sec, ενώ για τιμές T>1.30sec οι δύο μέσοι όροι ταυτίζονται. Συνολικά όμως οι καμπύλες των μέσων όρων βρίσκονται ελαφρώς χαμηλότερα από την καμπύλη του EC8 για τιμές περιόδων μεγαλύτερες του T=0.50sec.

Στην ομάδα Ζ2 (Σχήμα 5.32), φαίνεται ότι η περίοδος T_B=0.15sec που ορίζει την αρχή του πλατώ σύμφωνα με τον EC8 ανταποκρίνεται σωστά στον εξαγώμενο μέσο όρο των αποτελεσμάτων, ενώ παρατηρείται υπέρβαση κατά 30% της τιμής του πλατώ δηλαδή η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 3.25 σε αντίθεση με το 2.5 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται σε τιμή T=0.55sec, ελαφρώς μεγαλύτερη δηλαδή από την αντίστοιχη T_C=0.5sec που δίνεται στον EC8. Ο μέσος όρος των διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα για περιόδους έως T=0.35sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>0.35sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, ιδιαίτερα η καμπύλη του μέσου όρου των διεγέρσεων με παλμό κατευθυντικότητας, η οποία μάλιστα παρουσίαζει μια τοπική φασματική ενίσχυση στις περιόδους από T=1.10sec έως T=1.5sec, η οποία υπερβαίνει τις τιμές του φάσματος του κανονισμού.

Στην ομάδα Ζ3 (Σχήμα 5.33), η αρχή του πλατώ σύμφωνα με το μέσο όρο των φασμάτων προσεγγίζεται από την τιμή T=0.15sec, που ταυτίζεται με την προτεινόμενη T_B=0.15sec από τον EC8. Σε αυτή την ομάδα των καταγραφών παρατηρείται μικρότερη υπέρβαση των φασματικών τιμών στην περιοχή του πλατώ σε σχέση με τις προηγούμενες ομάδες, η οποία είναι κατά 10% μεγαλύτερη της τιμής του EC8. Η μέγιστη φασματική ενίσχυση προκύπτει κοντά στο 2.75 σε αντίθεση με το 2.50 που ορίζει ο EC8. Η περίοδος T_C που ορίζει το τέλος του πλατώ σημειώνεται στην τιμή T=0.50sec, στην τιμή δηλαδή που προτείνεται από τον EC8. Ο μέσος όρος των σεισμών χωρίς κατευθυντικότητα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από τον αντίστοιχο των σεισμών με κατευθυντικότητα για περιόδους έως T=1.00sec, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τιμές T>1.00sec. Συνολικά οι καμπύλες των μέσων όρων έχουν καλή προσαρμογή με το φάσμα του EC8, με εξαίρεση την περιοχή περιόδων T=0.30-0.50sec όπου σημείωνεται υπέρβαση των τιμών όπως αναφέρθηκε καθώς και την περιοχή T>2.10sec όπου η καμπύλη του μέσου όρου των σεισμών με κατευθυντικότητα παρουσιάζει υπέρβαση των των τιμών του φάσματος του EC8, η οποία αγγίζει το 100%..

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για την εδαφική κατηγορία Ε, παρατηρούμε ότι καθώς μεταβαίνουμε σε ομάδα με μεγαλύτερες μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις, δηλαδή κατά την διαδρομή από την ομάδα Ζ1 στην ομάδα Ζ3, οδηγούμαστε σε μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης, σε μικρότερες φασματικές ενισχύσεις, και τέλος σε αύξηση των τιμών των καμπυλών των μέσων όρων για περιόδους T>0.50sec που οδηγεί σε καλύτερη προσαρμογή ή ελαφριά υπέρβαση του προτεινόμενου φάσματος από τον EC8.

Ο EC8 λοιπόν κρίνεται ανεπαρκής όσον αφορά την τιμή του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης καθώς και την τιμή του φάσματος στην περιοχή σταθερής επιτάχυνσης (T_B=0.15sec - T_C=0.50sec), ενώ για περιόδους T>0.50sec ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για την κάλυψη των εξαγώμενων μέσων όρων των φασμάτων με εξαίρεση μικρές περιοχές περιόδων που σημειώνονται τοπικές υπερβάσεις.

6. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο αρχικά γίνεται μία σύνοψη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν, παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν στην Παράγραφο 5.3 για όλες τις εδαφικές κατηγορίες. Στη συνέχεια, με βάση τα εξαγόμενα αποτελέσματα από την παρούσα διπλωματική εργασία, προτείνεται μια βελτιωμένη έκδοση ελαστικού φάσματος με στόχο να καλύπτει τους εξαγόμενους μέσους όρους των διεγέρσεων καθώς και τον μέσο συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης για κάθε εδαφική κατηγορία. Ακολουθεί έπειτα μία προσπάθεια περαιτέρου ελέγχου τόσο των ελαστικών φασμάτων του EC8, όσο και των νέων προτεινόμενων φασμάτων με την διενέργεια ανελαστικών αναλύσεων που στοχεύουν στην εύρεση της πλαστιμότητας που θα απαιτούνταν από ενδεικτικά επιλεγμένες διεγέρσεις οι οποίες παρουσίαζαν έντονες υπερβάσεις από το φάσμα του κανονισμού. Τα αποτελέσματα αυτά σχολιάζονται εν συνεχεία δίνοντας ένα ακόμα στοιχείο για την επάρκεια ή μη των ελαστικών φασμάτων του EC8 καθώς για το αν η προτεινόμενη βελτίωση τους από την παρούσα εργασία κρίνεται σκόπιμη. Τέλος, ακολουθούν προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση σχετικά με το αντικείμενο της δυναμικής απόκρισης του εδάφους καθώς και των μεθόδων για τον έλεγχο της επέρκειας των ελαστικών φασμάτων που δίνονται από τον EC8.

6.2 Σύνοψη αποτελεσμάτων και πρόταση βελτίωσης του φάσματος σχεδιασμού

Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην παρούσα διπλωματική εργασία και που έχουν ήδη σχολιαστεί για κάθε επιμέρους εδαφική κατηγορία στην Παράγραφο 5.3.

Αρχικά η επιλογή διαχωρισμού του δείγματος σε τρεις ομάδες με βάση την μέγιστη εδαφική επιτάχυνση κρίνεται σκόπιμη, καθώς παρατηρώντας τα εξαγώμενα αποτελέσματα προκύπτουν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στην απόκριση ανά ομάδα επιτάχυνσης μέσα στην ίδια εδαφική κατηγορία καθώς και κοινά χαρακτηριστικά που επαναλαμβάνονται σε όλες τις εδαφικές κατηγορίες για την ίδια ομάδα.

Σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τις πληροφορίες που αφορούν τις συλλεχθείσες καταγραφές τόσο των αναλύσεων όσο και αυτών που χρησιμοποιήθηκαν για την επέκταση της διερεύνησης (Πίνακες 4.2, 4.3 καθώς και πίνακες Παραρτήματος) ο συνδυασμός των μεγεθών της σεισμικής ροπής και της απόστασης που βρίσκεται ο σταθμός της εκάστοτε καταγραφής από το επίκεντρο καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την μέγιστη σημειούμενη εδαφική επιτάχυνση. Έτσι λοιπόν παρατηρούμε ότι ένας σεισμός πολύ μεγάλου μεγέθους της τάξης M=7.0-7.5 σε έναν απομακρυσμένο σταθμό μπορεί να οδηγήσει σε καταγραφή στην επιφάνεια που ανήκει στην ομάδα με τις μικρές επιταχύνσεις, δηλαδή στην ομάδα Z1 (0.16g). Αντίστοιχα ένας μικρός σεισμός τάξεως M=5.0-5.5 σε συνδυασμό με έναν σταθμό σε πολύ μικρή απόσταση είναι δυνατό να οδηγήσει σε μεγάλη ενίσχυση και επομένως μεγάλη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που είναι δυνατό να κατατάσσεται στην ομάδα Z3 (0.36g). Έτσι λοιπόν προκύπτει, ότι το μέγεθος της σεισμικής ροπής δεν επαρκεί από μόνο του για να περιγράψει την σεισμικότητα, αφού επηρεάζεται έντονα από τον συνδυασμό της από την απόσταση της εξεταζόμενης θέσης.

Σε όλες τις εδαφικές κατηγορίες παρατηρούμε ότι καθώς μεταβαίνουμε από τις μικρές σε μεγαλύτερες εδαφικές επιταχύνσεις, δηλαδή κατά την διαδρομή από την ομάδα Z1 (0.16g) στην ομάδα Z3 (0.36g) οδηγούμαστε αρχικά σε μείωση της μέγιστης φασματικής ενίσχυσης που σημειώνεται, δηλαδή της φασματικής ενίσχυσης που λαμβάνει χώρα στην περιοχή της σταθερής επιτάχυνσης ή αλλιώς στην περιοχή του πλατώ. Το γεγονός αυτό φαίνεται τόσο στα σχήματα που παρουσιάζονται αναλυτικά τα φάσματα ανά ομάδα επιτάχυνσης, αλλά γίνεται πιο εύκολα αντιληπτό στα σχήματα που παρουσιάζονται οι εξαγόμενοι μέσοι όροι των φασμάτων ανά ομάδα. Επίσης η μετάβαση σε ομάδα μεγαλύτερης επιτάχυνσης σηματοδοτεί σε όλες τις εδαφικές κατηγορίες μετατόπιση της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης σε μεγαλύτερες περιόδους. Δηλαδή όσο αυξάνεται η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση των διεγέρσεων οι χαρακτηριστικές περίοδοι T_B και T_C που οριοθετούν την περιοχή σταθερής επιτάχυνσης μεταβαίνουν σε μεγαλύτερες τιμές.

Ωστόσο, στην περιοχή της σταθερής επιτάχυνσης έτσι όπως αυτή ορίζεται για την κάθε εδαφική κατηγορία, παρατηρούμε ότι ειδικά στις κατηγορίες B και E, οι εξαγώμενοι μέσοι όροι των φασμάτων σε όλες τις ομάδες κατηγοριοποίησης παρουσιάζουν μεγαλύτερη φασματική ενίσχυση από αυτή που ορίζεται στο σχήμα του EC8, η τιμή της οποίας είναι της τάξεως του 3.0 σε αντίθεση με το 2.5 που προκύπτει στο κανονικοποιημένο φάσμα του κανονισμού. Στις εδαφικές κατηγορίες C και D οι εξαγόμενοι μέσοι όροι προσεγγίζουν σαφώς καλύτερα την προτεινόμενη τιμή του 2.5 από τον EC8.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό για όλες τις εδαφικές κατηγορίες όσον αφορά την ομάδα Z1 (0.16g) είναι ότι, οι καμπύλες των εξαγόμενων μέσων όρων για τιμές περιόδων μεγαλύτερων από την εκάστοτε τιμή T_C όπως ορίζεται από τον EC8 για την κάθε εδαφική κατηγορία βρίσκονται χαμηλότερα από την καμπύλη του φάσματος του κανονισμού. Αυτό φαίνεται να δείχνει ότι ο EC8 ανταποκρίνεται καλύτερα σε σεισμούς μεσαίου μεγέθους και πιο απομακρυσμένους, άποψη που επικρατεί και σε άλλες εργασίες. Ταυτόχρονα για την ίδια ομάδα, σύμφωνα με τις καμπύλες των μέσων όρων, ισχύει ακόμα ότι, η προκύπτουσα τιμή για την περίοδο T_B είναι ελαφρώς μικρότερη από αυτή που δίνεται στον EC8 με εξαίρεση την εδαφική κατηγορία B όπου η προκύπτουσα τιμή ταυτίζεται με αυτή του κανονισμού. Από το τελευταίο αλλά και από τα σχήματα που παρουσιάζονται τα φάσματα για την ομάδα Z1, γίνεται αντιληπτό ότι στην περιοχή έως $T=T_B$ υπάρχουν αρκετές καταγραφές που εξέχουν του φάσματος του EC8.

Βλέποντας τα αποτελέσματα που αφορούν τις ομάδες Z2 (0.24g) και Z3 (0.36g) σε όλες τις εδαφικές κατηγορίες παρατηρούμε ότι οι καμπύλες των εξαγόμενων μέσων όρων των μελετούμενων φασμάτων για τιμές περιόδων μεγαλύτερων από την εκάστοτε τιμή T_C όπως ορίζεται από τον EC8 για την κάθε εδαφική κατηγορία, προσεγγίζουν περισσότερο και σε κάποιες περιπτώσεις σημειώνουν μικρές υπερβάσεις στο σχήμα του κανονισμού. Συγκεκριμένα για την ομάδα Z2 παρατηρείται ότι ο μέσος όρος των διεγέρσεων με παλμό κατευθυντικότητας για το ίδιο εύρος περιόδων που αναφέρθηκε προηγουμένως σημειώνει αρκετά μεγαλύτερες τιμές από αυτές του μέσου όρου διεγέρσεων χωρίς κατευθυντικότητα.

Το φαινόμενο της κατευθυντικότητας γίνεται πιο έντονα αισθητό στις ομάδες κατηγοριοποίησης Z2 και Z3, όπου ανεξάρτητα από την εδαφική κατηγορία, στον εξαγόμενο μέσο όρο των διεγέρσεων με κατευθυντικότητα παρατηρείται τοπική μεγιστοποίηση των φασματικών τιμών σε περιόδους περίπου από T=1.00sec έως T=1.50sec, περιόδους δηλαδή που ταυτίζονται με την δεσπόζουσα περίοδο του παλμού. Όσο μεταβαίνουμε σε κατηγορία μαλακότερου εδάφους, δηλαδή κατά την μετάβαση από την κατηγορία B στην κατηγορία D, παρατηρείται ακόμα πιο έντονη τοπική αύξηση των φασματικών τιμών των μελετώμενων διεγέρσεων στον παραπάνω εύρος περιόδων. Σε αρκετές περιπτώσεις και ειδικά στην ομάδα Z2 της εδαφικής κατηγορίας D ο μέσος όρος των διεγέρσεων με παλμό κατευθυντικότητας παρουσιάζει πολύ μεγάλη υπέρβαση του φάσματος του EC8 για τις περιόδους T=1.00sec-1.50sec.

Η διαφοροποίηση ανά ομάδα επιτάχυνσης συναντάται και στους υπολογιζόμενους μέσους όρους για τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης. Σε όλες τις εδαφικές κατηγορίες, αυξανόμενης της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης παρατηρείται μείωση της εδαφικής ενίσχυσης που σημειώνεται. Όπως έχει ήδη αναφερθεί πιο πάνω, η αύξηση της εδαφικής επιτάχυνσης μέσα στην ίδια κατηγορία εδάφους οδηγεί σύμφωνα με τα αποτελέσματα σε μείωση της μέγιστης φασματικής ενίσχυσης που σημειώνεται στην περιοχή του πλατώ. Και τα δύο φαινόμενα είναι απόλυτα λογικά αφού η αυξανόμενη δυναμική φόρτιση, οδηγεί σε μεγαλύτερες διατμητικές καταπονήσεις και επομένως σε αυξηση των αποσβέσεων μέσα στον εδαφικό σχηματισμό.

Για τις εδαφικές κατηγορίες B, C, E ο συντελεστής εδαφικής ενίσχυσης s, όπως προτείνεται από τον κανονισμό, παίρνει τιμές οι οποίες είναι αρκετά μικρότερες από αυτές που προκύπτουν σαν μέσοι όροι από τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Για την εδαφική κατηγορία D ο μέσος όρος του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ελαφρώς μικρότερος της προτεινόμενης τιμής από τον EC8. Συγκεκριμένα για την κατηγορία B, προέκυψε s=1.97, για την C, s=1.75, για την D s=1.26 και για την E, s=1.90. Υπενθυμίζεται ότι η αντίστοιχες τιμές που δίνονται στον EC8 είναι για την κατηγορία B s=1.20, για την C s=1.15, για την D s=1.35 και για την E s=1.40.

Τέλος, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι τοπικές εδαφικές συνθήκες διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην παραγομένη διέγερση στην επιφάνεια του εδάφους. Το έδαφος λειτουργεί σαν φίλτρο προκαλώντας ενίσχυση των ιδιοσυχνοτήτων που προσεγγίζουν τις δικές του, φαινόμενο συντονισμού, καθώς και εμπλουτίζοντας το εύρος των υψίσυχνων συχνοτήτων όσο μεταβαίνουμε σε εδαφικούς σχηματισμούς μικρότερης δυστμησίας. Τα παραπάνω γίνονται αντιπληπτά και από τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην παρούσα εργασία. Η μετάβαση από την κατηγορία B στην C και εν συνεχεία στην D οδηγεί σε αύξηση του εύρους των περιόδων όπου σημειώνεται η περιοχή της σταθερής επιτάχυνσης. Ταυτόχρονα στην κατηγορία C και ειδικότερα στην D οι εξαγόμενοι μέσοι όροι των φασμάτων παρουσιάζουν πολύ πιο ομαλοποιημένη εικόνα στην περιοχή του πλατώ σε σχέση με την εδαφική κατηγορία B. Η μετάβαση από την κατηγορία B στην C και εν συνεχεία στην D οδηγεί ακόμη σε σταδιακή μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης S. Στην κατηγορία εδάφους E ο συντελεστής εδαφικής ενίσχυσης προκύπτει αυξημένος γιατί παρόλο που η επιφανειακή στρώση αυτών των δίστρωτων σχηματισμών αποτελέιται από εδάφη C και D η παρουσία του βραχώδους υποβάθρου σε μικρό βάθος από την επιφάνεια καθιστά τα προφίλ αυτής της κατηγορίας πιο δύσκαμπτα από τα αντίστοιχα της κατηγορίας C ή D και επομένως προκαλούν μεγαλύτερη εδαφική ενίσχυση.

Βάση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στην παρούσα διπλωματική εργασία οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι τα ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης σχεδιασμού του EC8 χρήζουν βελτιώσεων με σκοπό να καλύπτουν με περισσότερη ασφάλεια τις μελετώμενες διεγέρσεις. Υπενθυμίζουμε ότι στην εργασία μας μελετήθηκαν τόσο καταγραφές που δεν χαρακτηρίζονταν από το φαινόμενο της κατευθυντικότητας, όσο και καταγραφές που περιέχουν παλμό κατευθυντικότητας, γεγονός που μας επιτρέπει να έχουμε μία πληρέστερη εικόνα για τις όλες τις πιθανές διεγέρσεις που καλείται να καλύπτει ένα φάσμα σχεδιασμού.

Η άποψη ότι ο κανονισμός χρήζει βελτιώσεων τόσο στο κομμάτι του διαχωρισμού των εδαφικών κατηγοριών, όσο και στα ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης υποστηρίζεται και από τους Πιτιλάκη και συνεργατών (2004a), όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο Κεφάλαιο 2.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω ακολουθούν οι προτάσεις βελτίωσης των ελαστικών φασμάτων επιτάχυνσης έτσι όπως διαμορφώνονται από τα εξαγώμενα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Παρόλο που όπως αποδείκτηκε υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στην μέση τιμή του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης S, αλλά και στο σχήμα των μέσων φασμάτων για κάθε ομάδα επιτάχυνσης μέσα στην ίδια εδαφική κατηγορία, επιλέγεται οι προτάσεις βελτίωσης να αφορούν την συνολική εικόνα των εξαγώμενων μέσων φασμάτων ανά εδαφική κατηγορία, αφού όλες οι μελετώμενες καταγραφές χαρακτηρίζονται από μέγεθος σεισμικής ροπής Mw>5.5 που με βάση τον EC8 υπάγονται σε ένα ενιαίο φάσμα, το φάσμα Τύπου 1. Η ενιαία αντιμετώπιση για την κάθε κατηγορία ίσως οδηγεί σε μία πιο συντηρητική εκδοχή φάσματος αφού στις επιμέρους ομάδες επιταχύνσεων οι απαιτούμενες τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών που περιγράφουν το φάσμα σχεδιασμού ίσως να οδηγούσαν σε ελαφρώς μικρότερες φασματικές τιμές.

Για τις εδαφικές κατηγορίες B, C και E προτείνεται μία επαύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης S , ενώ στην εδαφική κατηγορία D προτείνεται μία μικρή απομείωση. Οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής αυτός σύμφωνα με την νέα πρόταση ισούνται με την μέση τιμή που προέκυψε από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα επιμέρους εδαφικά προφίλ των εδαφικών κατηγοριών με χρήση των 28 αρχικών μελετούμενων καταγραφών. Στον Πίνακα 6.1 που ακολουθεί συνοψίζονται οι επιμέρους συντελεστές εδαφικής ενίσχυσης που προέκυψαν στις ομάδες επιτάχυνσης κάθε εδαφικής κατηγορίας καθώς και η μέση τιμή που είναι αυτή που προτείνεται στο βελτιωμένο φάσμα.

Εδαφική κατηγορία	Μέσοι Όροι			Υιοθετούμενη μέση τιμή S στην πρόταση βελτίωσης
	s -Z1 (0.16g)	s -Z2 (0.24g)	s -Z3 (0.36g)	
B	2.06	2.06	1.75	2.00
C	1.85	1.74	1.60	1.75
D	1.41	1.16	1.18	1.26
E	2.04	1.81	1.81	1.90

Πίνακας 6.1 : Πίνακας συνολικής απεικόνισης των εξαγώμενων μέσων τιμών ανά ομάδα επιτάχυνσης και εδαφική κατηγορία καθώς και της μέσης προτεινόμενης τιμής για το βελτιωμένο φάσμα με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Ακολούθως ειδικά για τις κατηγορίες B και E όπου σημειώθηκε έντονη υπέρβαση των καμπυλών των εξαγώμενων μέσων όρων από την τιμή της μέγιστης φασματικής ενίσχυσης στην περιοχή της σταθερής επιτάχυνσης για όλες τις ομάδες επιτάχυνσης, προτείνεται επαύξηση της τιμής του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης των εξισώσεων από την τιμή β=2.5 στην τιμή β=3.0. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πρόταση αυτή εντοπίζεται και στους δύο τύπους φασμάτων ανάλογα με την σεισμική ένταση που προτείνονται από τους Πιτιλάκη και συνεργάτες και περιγράφηκαν προηγουμένως. Η αύξηση αυτού του συντελεστή δεν οδηγεί μόνο σε μεγαλύτερη αφάλεια στην περιοχή του πλατώ, αλλά και στην περιοχή με περιόδους μεγαλύτερες της τιμής που οριοθετεί την περιοχή της σταθερής επιτάχυνσης, αφού οδηγεί σε μία μικρή προς τα δεξιά μετατόπιση του φθίνοντα κλάδου ($T_C<T<T_D$), δηλαδή σε μία μικρή επαύξηση των φασματικών τιμών που αντιστοιχούν σε αυτή την περιοχή.

Για τις εδαφικές κατηγορίες C και D δεν προτείνεται τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης ο οποίος και στην πρόταση βελτίωσης εξακολουθεί να έχει την προτεινόμενη τιμή από τον EC8 β=2.5. Αυτό συμβαίνει επειδή η υπέρβαση των τιμών στην περιοχή του πλατώ για αυτές τις κατηγορίες πραγματοποιείται μόνο στις ομάδες με τις μικρές εδαφικές επιταχύνσεις και μάλιστα σε μικρότερο βαθμό από τις κατηγορίες B και E, ενώ ειδικά για τις ομάδες Z3 (0.36g) φαίνεται η τιμή του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης να επαρκεί για την κάλυψη των καμπυλών των μέσων όρων των μελετώμενων φασμάτων.

Ένα ακόμα θέμα που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων για κάθε εδαφική κατηγορία. Ήδη έχουμε αναφέρει ότι οι ομάδες Z1 (0.16g) σε όλες τις εδαφικές κατηγορίες φαίνεται να απαιτούν ελαφριά μείωση των τιμών που οριοθετούν την περιοχή σταθερής επιτάχυνσης, δηλαδή των τιμών T_B και T_C. Αντίθετα παρατηρώντας τα αποτελέσματα των εξαγώμενων μέσων όρων για τις ομάδες Z3 (0.36g) βλέπουμε την ανάγκη για ελαφριά αύξηση κυρίως των τιμών T_B και σε κάποιες περιπτώσεις και των τιμών T_C. Παρόλ' αυτά επειδή όπως προαναφέραμε το βελτιωμένο φάσμα που προτείνεται βασίζεται στην συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων για όλες τις ομάδες επιτάχυνσης για κάθε εδαφική κατηγορία, οι τιμές που υιοθετούνται για τις χαρακτηριστικές περιόδους T_B και T_C είναι ενιαίες ανά εδαφική κατηγορία. Η τιμή της περιόδου T_D σε καμία εδαφική κατηγορία δεν υφίσταται τροποποίηση επειδή λαμβάνει ήδη σύμφωνα με τον EC8 μία μεγάλη τιμή και σε εκείνη την περιοχή του φάσματος έχουμε πολύ λιγότερες υπερβάσεις από ότι σε περιοχές μικρότερων περιόδων.

Έτσι λοπόν για τις εδαφικές κατηγορίες B, C και E οι τιμές που δίνονται από τον κανονισμό για τις τιμές T_B και T_C δεν τροποποιούνται. Αυτό συμβαίνει γιατί στις κατηγορίες B και E η αύξηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.5 σε β=3.0 θεωρούμε ότι θα καλύψει τις μικρές σημειούμενες υπερβάσεις του φασματος σχεδιασμού από τα εξαγόμενα μέσα φάσματα. Αντίστοιχα στην εδαφική κατηγορία C επειδή σημειώνεται μεγάλη επαύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης σε σχέση με την προτεινόμενη από τον EC8 τιμή θεωρούμε ότι θα λειτουργήσει βοηθητικά ώστε να μην είναι αναγκαία η μετατόπιση της τιμής T_C σε ελαφρώς μεγαλύτερη με σκοπό να καλυφθούν οι μικρές σημειούμενες υπερβάσεις.

Τέλος, επειδή στην εδαφική κατηγορία D, σημειώνεται πολύ έντονη τοπική μεγιστοποίηση των φασματικών τιμών στις περιόδους T=1.00sec-1.50sec λόγω του φαινομένου της κατευθυντικότητας, και ταυτόχρονα δεν προτείνεται επάυξηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης β, κρίνεται σκόπιμη η αύξηση της τιμής της περιόδου T_C από 0.80sec που δίνεται στον EC8 σε τιμή T_C=0.90sec.

Η συνολική πρόταση βελτίωσης που απορρέει και βασίζεται στα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αφορά τις εδαφικές κατηγορίες B, C, D και E και συνοψίζεται στον Πίνακα 6.2 που ακολουθεί. Θυμίζουμε ότι οι μελετώμενες διεγέρσεις ήταν διεγέρσεις με μέγεθος σεισμικής ροπής M_w>5.5.

Κατηγορία Εδάφους	Χαρακτηριστικά μεγέθη προτεινόμενου φάσματος				
	T_B (sec)	T_C (sec)	T_D (sec)	s	β
B	0.15	0.50	2.50	2.00	3.0
C	0.20	0.60	2.50	1.75	2.5
D	0.20	0.90	2.50	1.26	2.5
E	0.15	0.50	2.50	1.90	3.0

Πίνακας 6.2 : Χαρακτηριστικές τιμές μεγεθών για τα προτεινόμενα ελαστικά φάσματα επιτάχυνσης σχεδιασμού με βάση τα εξαγώμενα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας

6.3 Έλεγχος επάρκειας του ελαστικού φάσματος επιτάχυνσης του Ευρωκώδικα 8 και του προτεινόμενου φάσματος με ανελαστικές αναλύσεις.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι κατασκευές σχεδιάζονται ώστε να συμπεριφέρονται ανελαστικά στο σεισμό σχεδιασμού, δηλαδή θεωρείται ότι η πλάστιμη συμπεριφορά των φερόντων στοιχείων θα οδηγήσει σε απορρόφηση ενέργειας. Ειδικά οι κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα και χάλυβα, έχουν την ικανότητα να διατηρούν την αντοχή τους για σημαντικά μεγάλες οριζόντιες παραμορφώσεις, όπως αυτές που προκαλούνται από ισχυρές σεισμικές διεγέρσεις και αντιστοιχούν σε μετακινήσεις που βρίσκονται αρκετά μετά από την διαρροή τους. Ο ανελαστικός σχεδιασμός επιτυγχάνεται με ελαστική ανάλυση, χρησιμοποιώντας όμως το φάσμα σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8 για ανελαστική συμπεριφορά, στο οποίο παρατηρούνται μειωμένες τιμές σε σχέση με το ελαστικό φάσμα μέσω του συντελεστή συμπεριφοράς q.

Η τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q εξαρτάται από το υλικό κατασκευής και από τον τύπο στατικής διαμόρφωσης του κτιρίου. Για τις κατασκευές από Ω.Σ. οι τιμές που επιτρέπεται να πάρει ο συντελεστής συμπεριφοράς q παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία ανάλογα με το στατικό σύστημα και την κατηγορία πλαστιμότητας που θα επιλεγεί για την κατασκευή. Υπάρχουν δύο κατηγορίες πλαστιμότητας στις οποίες μπορούν να καταταγούν τα κτίρια από Ω.Σ. :

- ΚΠΜ (Κατηγορία Μεσαίας Πλαστιμότητας)
- ΚΠΥ (Κατηγορία Υψηλής Πλαστιμότητας)

Στον κανονισμό του EC8 δίνονται αναλυτικοί τύποι για τον υπολογισμό του συντελεστή συμπεριφοράς q ανάλογα με το στατικό σύστημα της εκάστοτε κατασκευής.

Το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού προκύπτει διαιρώντας το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα, το οποίο έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 3, με το συντελεστή συμπεριφοράς q, εκτός από την περιοχή περιόδων $0<T<T_B$ όπου θεωρείται μία γραμμική συνάρτηση για την επιτάχυνση σχεδιασμού, η οποία ξεκινάει από την τιμή $S_d=(2/3)\cdot s\cdot a_g$ για T=0.0sec.

Σύμφωνα με τον EC8, για κατασκευές από Ω.Σ., για τη δυσκαμψία μιας μονοβάθμιας κατασκευής επιτρέπεται να γίνεται η θεώρηση ότι ισούται με το ήμισυ της ανίστοιχης γεωμετρικής δυσκαμψίας, δηλαδή τη δυσκαμψία που αντιστοιχεί στις αρηγμάτωτες διατομές των μελών της κατασκευής. Με αυτό το τρόπο μπορεί να υπολογιστεί η ιδιοπερίοδος σχεδιασμού της μονοβάθμιας κατασκευής.

$$T_d = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K_e}}\text{ , όπου } K_e = 50\%\ K \qquad \text{(Σχεση 6.1)}$$

Με βάση την μέθοδο N2, από το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού του EC8 για την συγκεκριμένη T_d (s) και για τον συντελεστή συμπεριφοράς που θα επιλεγεί, υπολογίζεται η επιτάχυνση διαρροής σχεδιασμού $a_{yd}=S_d$ (T_d) και επομένως και η δύναμη για την οποία προκαλείται η διαρροή και ισούται με $F_d=m\cdot a_{yd}$. Ο λόγος της μέγιστης δύναμης που θα αναπτυσσόταν στην κατασκευή για ελαστική συμπεριφορά προς την δύναμη στην οποία επέρχεται η διαρροή κατά τον σχεδιασμό, αντιστοιχεί στον συντελεστή συμπεριφοράς q. Στην πραγματικότητα όμως η τιμή της δύναμης F_d δεν ταυτίζεται με την τιμή στην οποία θα πραγματοποιηθεί η διαρροή. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά το σχεδιασμό εφαρμόζονται διάφοροι συντελεστές ασφαλείας για τις τιμές των αντοχών των υλικών καθώς και άλλες διατάξεις υπέρ της ασφαλείας, οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα η δύναμη στην οποία θα πραγματοποιηθεί η διαρροή να είναι πού μεγαλύτερη από αυτή που είχε υπολογιστεί κατά το σχεδιασμό.Η διαφορά μεταξύ της πραγματικής δύναμης διαρροής F_y και της F_d ονομάζεται υπεραντοχή γ_{Rd} και για συνήθεις κατασκευές από Ω.Σ. είναι της τάξης του 1.3 έως 1.5. Από την αύξηση αυτή της δύναμης διαρροής γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι και η πραγματική επιτάχυνση διαρροής θα έχει μεγαλύτερη τιμή από αυτή που υπολογίστηκε κατά τον σχεδιασμό αφού ισχύει $F_y = m \cdot \alpha_y$. Επομένως κατά αναλογία θα ισχύει $\alpha_y = \alpha_{yd} \cdot \gamma_{Rd}$.

Επίσης στην πραγματική ανελαστική συμπεριφορά η ελαστική δυσκαμψία K_e είναι αρκετά μικρότερη από την αρχικά θεωρούμενη στον σχεδιασμό, φτάνοντας το 10%-20% της αρχικής γεωμετρικής δυσκαμψίας της κατασκευής. Η πραγματική τιμή της δυσκαμψίας της ρηγματωμένης διατομής προκύπτει από τη διγραμμικοποιημένο φάσμα ικανότητας, από την κλίση του ελαστικού κλάδου. Με γνώση της πραγματικής τιμής της δυσκαμψίας είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την πραγματική ιδιοπερίοδο της κατασκευής η οποία υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$T_{\pi\rho} = 2\pi\sqrt{\frac{S_d}{S_a}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K_\rho}} \qquad \text{(Σχέση 6.2)}$$

Στα πλαίσια του ελέγχου που πραγματοποιείται στο παρόν υποκεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας έγινε παραδοχή δύο τιμών δυσκαμψίας ρηγματωμένης διατομής: 15% και 20% της γεωμετρικής δυσκαμψίας. Από τις σχέσεις 6.1 και 6.2 προκύπτει μία σχέση που συνδέει την πραγματική ιδιοπερίοδο της κατασκευής με την αρχικά υπολογιζόμενη κατά τον σχεδιασμό όπου αποδεικνύει ότι ισχύει $T_{\pi\rho} > T_d$ και δίνεται ως εξής:

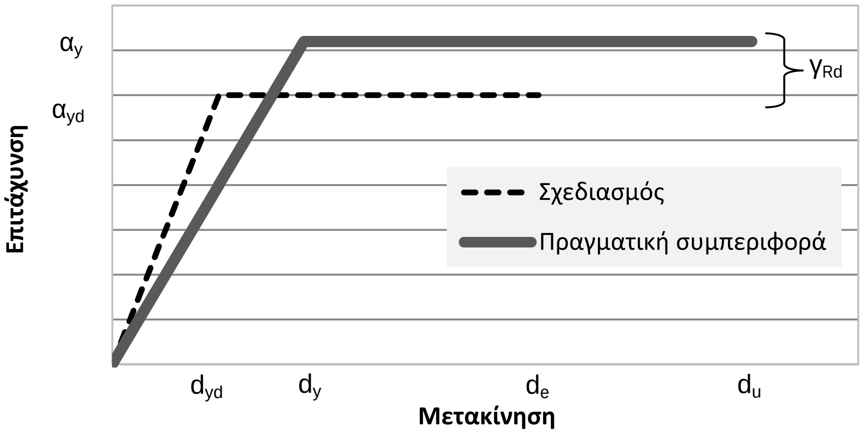
$$\frac{T_\pi}{T_d} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{m}{K_\rho}}}{2\pi\sqrt{\frac{m}{K_e}}} = \sqrt{\frac{K_\rho}{K_e}} \qquad \text{(Σχέση 6.3)}$$

Ο λόγος της σχέσης 6.3 για τις δύο τιμές που επιλέχθηκαν για την ενεργό δυσκαμψία λαμβάνει αντίστοιχα δύο τιμές:

$K_{\rho\eta\gamma\mu} = 0{,}15\ K \longrightarrow \sqrt{\frac{K_\rho}{K_e}} = 1{,}826$

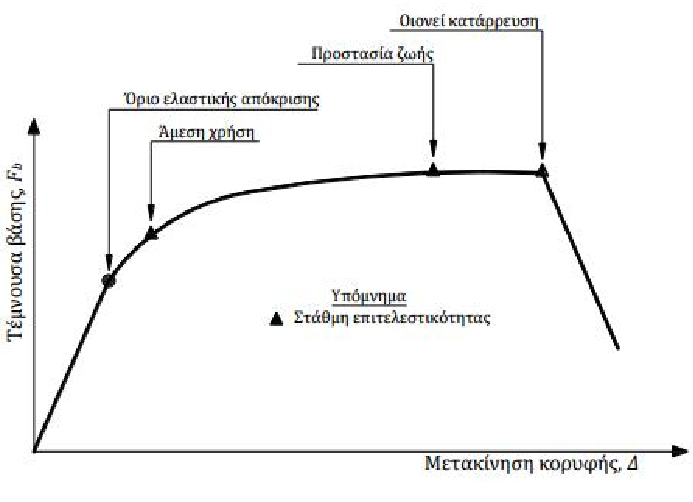
$K_{\rho\eta\gamma\mu} = 0{,}20\ K \longrightarrow \sqrt{\frac{K_\rho}{K_e}} = 1{,}581$

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συμπεριφορά ενός ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος τόσο σύμφωνα με τον αντισεισμικό σχεδιασμό για ανελαστική συμπεριφορά, όσο και στην πραγματικότητα, συνοψίζοντας όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Διαπιστώνουμε ότι κατά την πραγματική ανελαστική συμπεριφορά της κατασκευής η μέγιστη μετακίνηση στην οποία φτάνει πριν την κατάρρευση είναι η μετακίνηση αστοχίας d_u. Ο λόγος της μετακίνησης αυτής διά της μετακίνησης διαρροής d_y ονομάζεται δείκτης πλαστιμότητας μ, $\mu = \delta_y / \delta_u$. Η πραγματική διαθέσιμη πλαστιμότητα μιας κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί από την καμπύλη ή φάσμα ικανότητας της.



Σχήμα 6.1 : Συμπεριφορά κατασκευών σύμφωνα με τον σχεδιασμό και την πραγματική ανελαστική συμπεριφορά

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών με στόχο να εξασφαλίζει έναν βέλτιστο συνδυασμό ασφάλειας και οικονομίας, γίνεται με την αρχή καθορισμού αποδεκτού επιπέδου ζημιών (στάθμης επιτελεστικότητας), δηλαδή με τον καθορισμό του επιδιωκόμενου στόχου σεισμικής ικανότητας. Στον EC8 ορίζονται τρεις στάθμες επιτελεστικότητας ανάλογα με το αποδεκτό επίπεδο βλαβών και αυτές είναι οι: ''Οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών'', "Προστασία Ζωής", και "Οιονεί κατάρρευση". Για τις κατασκευές συνήθους σπουδαιότητας ο σχεδιασμός σύμφωνα με τον EC8 γίνεται για στάθμη επιτελεστικότητας "Π.Ζ.", και για αυτή την περίπτωση μπορούμε να διαπιστώσουμε από το Σχήμα 6.2 ότι η μετακίνηση που τίθεται σαν στόχος είναι μικρότερη από την μετακίνηση που θα οδηγήσει σε κατάρρευση της κατασκευής. Έτσι σε αυτή την περίπτωση η διαθέσιμη πλαστιμότητα μετακινήσεων είναι μικρότερη από αυτή που θα αντιστοιχούσε σε στάθμη "Ο.Κ.". Από εμπειρικά δεδομένα γίνεται η θεώρηση ότι η $d_{Π.Ζ.}=0.70 \cdot d_{Ο.Κ.}$ και αντίστοιχα αυτό συνεπάγεται ότι ο συντελεστής συμπεριφοράς q που αντιστοιχεί σε "Ο.Κ." είναι 1,5 φορές μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί σε "Π.Ζ." και έχει επιλεγεί κατά τον σχεδιασμό, ισχύει δηλαδή: $q_{Ο.Κ.} \approx 1.5\ q_{Π.Ζ.}$.



Σχήμα 6.2 : Ορισμός σταθμών επιτελεστικότητας στην καμπύλη ικανότητας

6.3.1 Υπολογιστική διαδικασία και αποτελέσματα ελέγχου

Στην παρούσα παράγραφο πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια ελέγχου της επάρκειας των ελάστικών φασμάτων του EC8 αλλά και των προτεινόμενων φασμάτων που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της εργασίας. Από τα φάσματα επιτάχυνσης που προέκυψαν στην επιφάνεια για κάθε κατηγορία εδάφους και ομάδα επιτάχυνσης, επιλέχθησαν ενδεικτικά κάποιες καταγραφές οι οποίες παρουσίαζαν φασματικές τιμές που εξείχαν σημαντικά από το σχήμα του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού του EC8. Γι' αυτές τις καταγραφές πραγματοποιήθηκαν ανελαστικές αναλύσεις μέσω του προγράμματος Seismosignal για διάφορες τιμές πλαστιμότητας.

Στην συνέχεια έγινε η θεώρηση ότι η ιδιοπερίοδος όπου σημειώνεται η φασματική τιμή ελέγχου της επιτάχυνσης για την εκάστοτε μελετώμενη καταγραφή, αποτελούσε την πραγματική ιδιοπερίοδο της κατασκευής ($T_{πρ}$). Μέσω της σχέσης 6.3 που αποδείκτηκε προηγουμένως, υπολογίστηκε η ιδιοπερίοδος σχεδιασμού (T_d) για τις δύο προαναφερθείσες τιμές δυσκαμψίας ρηγματωμένης διατομής.

Για τον συντελεστή συμπεριφοράς q επιλέχθηκαν 4 τιμές για τις οποίες πραγματοποιήθηκε η διαδικασία του ελέγχου και οι οποίες είναι: q=2.0, 3.0, 4.0 και 6.0 και οι οποίες καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος στατικών συστημάτων κατασκευών. Συγκεκριμένα οι τιμές αυτές προέκυψαν με θεώρηση πλαισιωτών πολυώροφων συστημάτων και στρεπτικών εύκαμπτων συστημάτων τόσο για την κατηγορία μεσαίας πλαστιμότητας όσο και για την κατηγορία υψηλής πλαστιμότητας και φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 6.3 που ακολουθεί. Για τα διάφορα μελετώμενα q υπολογίστηκε η επιτάχυνση διαρροής σχεδιασμού ($α_{yd}$) από το φάσμα του EC8 για ανελαστική συμπεριφορά για $T=T_d$.

ΤΥΠΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΠΜ		ΚΠΥ	
	Τιμή q συμφωνα με Πίνακες EC8	Τιμή Ελέγχου	Τιμή q συμφωνα με Πίνακες EC8	Τιμή Ελέγχου
Πολυώροφα πολύστυλα πλαισιωτά	3.0 *1.30=3.90	4.0	4.5*1.3=5.85	6.0
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2.0	2.0	3.0	3.0

Πίνακας 6.3 : Οι τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς που επιλέχθησαν για τον έλεγχο

Έχει ήδη αναφερθεί ότι οι κατασκευές παρουσιάζουν υπεραντοχή η οποία οδηγεί σε αύξηση της τιμής της επιτάχυνσης διαρροής. Στα πλαίσια του ελέγχου λήφθηκαν τρεις ενδεικτικές τιμές για το μέγεθος της υπεραντοχής οι οποίες θεωρούμε ότι αντικατοπτρίζουν το εύρος υπεραντοχής που αναπτύσσεται στις κατασκευές στην πραγματικότητα. Οι τιμές αυτές είναι γ_{Rd}=1.3, 1.5 και 2.0.

Με αυτό το τρόπο υπολογίστηκε η πραγματική επιτάχυνση διαρροής ($\alpha_y = \gamma_{Rd} \cdot \alpha_{yd}$) που αναμένεται να έχει η κατασκευή. Μέσω των ανελαστικών φασμάτων που προέκυψαν για την κάθε μελετώμενη διέγερση αναζητήθηκε η τιμή της πλαστιμότητας που αντιστοιχούσε στην υπολογιζόμενη α_y και η τιμή αυτή αποτέλεσε την τιμή της απαιτούμενης πλαστιμότητας ($\mu_{recuired}$). Η τιμή αυτή συγκρίθηκε με την τιμή της διαθέσιμης πλαστιμότητας μετακινήσεων όπως δίνεται στις σχέσεις που ακολουθούν από τον EC8 και αφορούν το σχεδιασμό. Η τιμή αυτή αποτέλεσε την $\mu_{provided}$.

$$\mu_\delta = q, \text{εάν } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_\delta = 1 + (q-1)\frac{T_C}{T_1}, \text{εάν } T_1 < T_C$$

Σύμφωνα με τον EC8 χρησιμοποιείται η τιμή του q_o έναντι του q, επειδή ο q θα είναι μικρότερος του q_o σε μη κανονικά κτίρια καθώς απαιτείται υψηλότερη αντοχή σε οριζόντια φορτία για την προστασία.

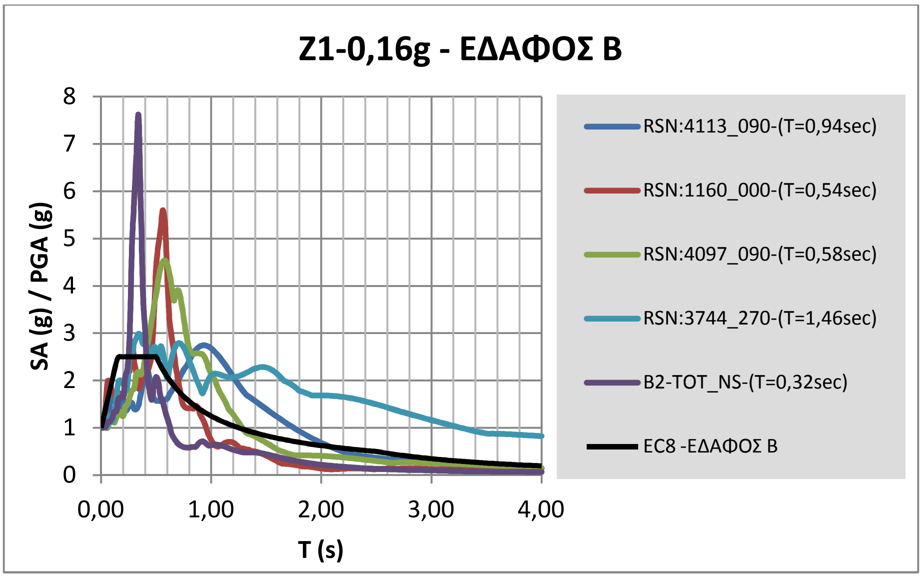
Στην διαδικασία του ελέγχου θεωρήθηκε ως τιμή του q η τιμή που εμπειρικά αντιστοιχεί στην στάθμη επιτελεστικότητας ''Οιονεί Κατάρρευση" και όπως αναφέρθηκε ήδη λαμβάνει την τιμή $q_{O.K.}$=1.5 $q_{Π.Ζ.}$, όπου $q_{Π.Ζ.}$ αντιστοιχεί στα q που επιλέχθηκαν για τον έλεγχο.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τον έλεγχο του προτεινόμενου φάσματος για κάθε εδαφική κατηγορία όπως προέκυψε από την παρούσα διπλωματική εργασία.

Υπενθυμίζεται στο σημείο αυτό ότι ο μόνος τρόπος για να γνωρίζουμε την πραγματική διαθέσιμη πλαστιμότητα της κατασκευής είναι μέσω της κατασκευής της καμπύλης ικανότητας της για κάποια δεδομένη σεισμική καταπόνηση, π.χ. με αναλύσεις Push-over, κάτι το οποίο δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα μετακινήσεων που υπολογίστηκε μέσω των παραπάνω τύπων δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα κατ' ανάγκη και δεν αποτελεί απόλυτα ασφαλές στοιχείο για τον έλεγχο που πραγματοποιείται. Επομένως αυτό που επιτυγχάνεται σε αυτή την παράγραφο είναι μία πρώτη προσέγγιση πάνω στο ερώτημα επάρκειας των ανελαστικών φασμάτων σχεδιασμού του Ευρωκώδικα. Για να κατοχυρωθούν τα αποτελέσματα και να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα απαιτείται η πραγματοποίηση μη γραμμικών αναλύσεων σε πραγματικές κατασκευές για διάφορες διεγέρσεις μέσω των οποίων θα υπολογιστεί το φάσμα αντίστασης και επομένως η πραγματική διαθέσιμη πλαστιμότητα της κατασκευής.

Στην συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα των ελέγχων για κάθε εδαφική κατηγορία και ομάδα επιτάχυνσης. Αρχικά παρουσιάζονται οι διεγέρσεις που επιλέχθηκαν για τον ανελαστικό έλεγχο σε κάθε κατηγορία καθώς και η περίοδος η οποία θεωρήθηκε ως $T_{πρ}$ και για την οποία πραγματοποιήθηκε ο ανελαστικός έλεγχος. Στην συνέχεια παρουσιάζονται διαγράμματα $\mu_{recuired}$ / $\mu_{provided}$ -T για τους τέσσερις συντελεστές συμπεριφοράς που επιλέχθησαν τόσο για το φάσμα του EC8 όσο και για το προτεινόμενο φάσμα για την κάθε κατηγορία καθώς και ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

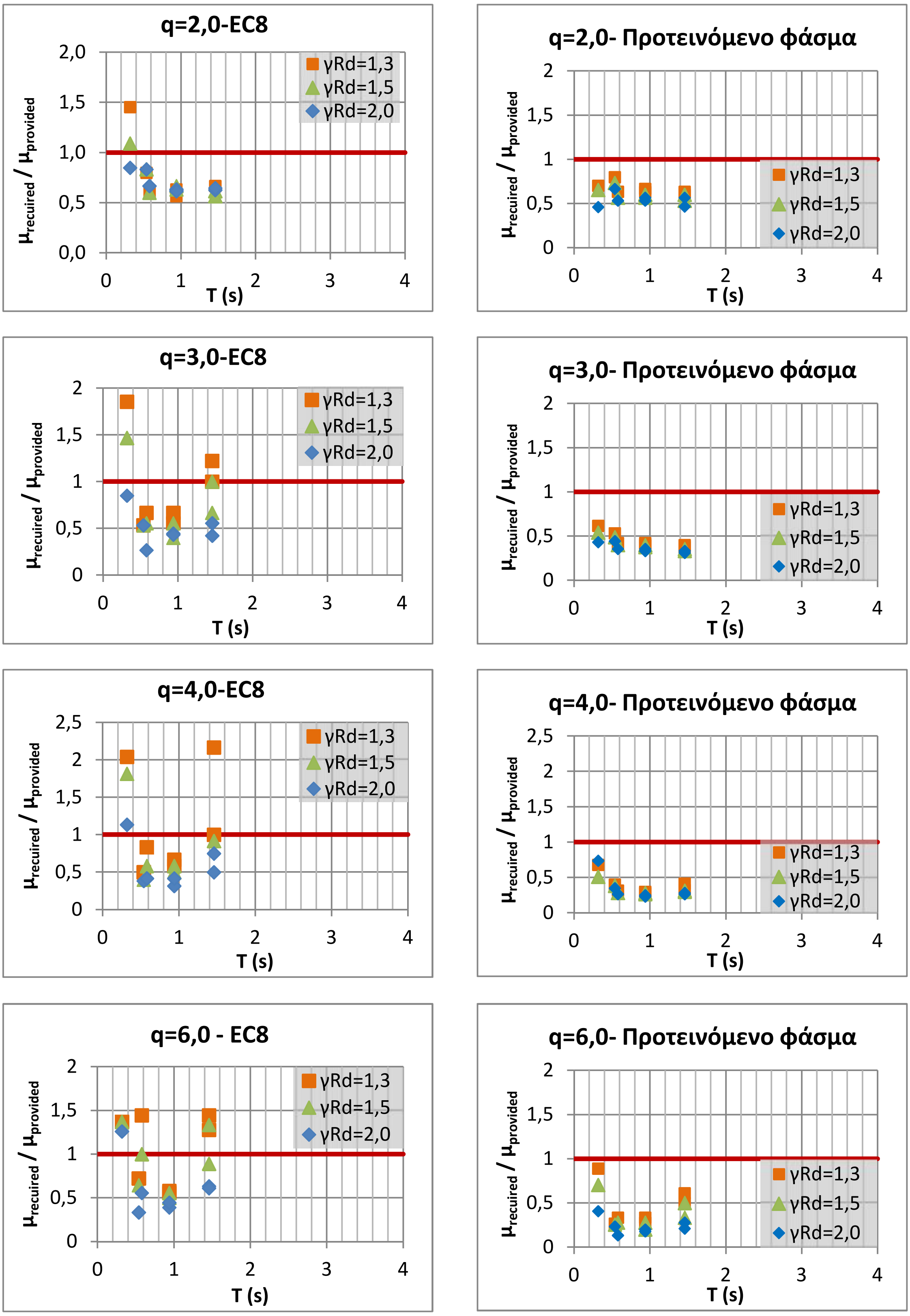
- Εδαφική κατηγορία B - 0.16g



Σχήμα 6.3 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

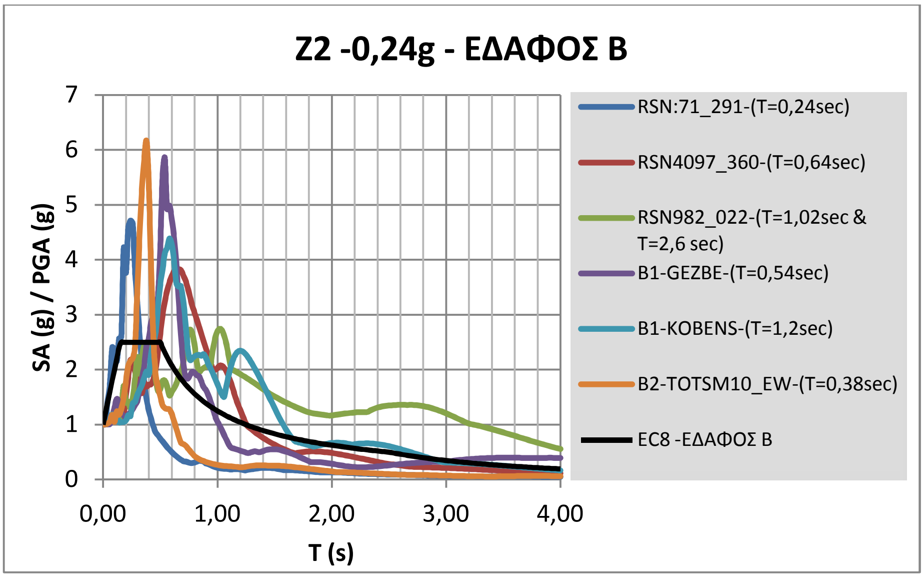
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.4, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί ακόμα και με θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα. Σε αρκετές περιπτώσεις ο λόγος αυτός προκύπτει μεγαλύτερος της μονάδας, ειδικά για τιμές υπεραντοχής $γ_{Rd}$=1.3και 1.5. Συγκεκριμένα εντοπίζεται μεγαλύτερη αδυναμία στις καταγραφές που μελετώνται με θεώρηση $T_{πρ}$=0.32s, 0.58s και 1.46s, γεγονός λογικό αφού όπως μπορούμε να δούμε και στο Σχήμα 6.3, οι καταγραφές αυτές εξέχουν αρκετά από το φάσμα του κανονισμού στις συγκεκριμένες περιόδους. Επιπλέον όσο μεγαλύτερος συντελεστής συμπεριφοράς q επιλέγεται για τον έλεγχο παρατηρούμε ότι αυξάνεται ο αριθμός των διεγέρσεων για τις οποίες η απαιτούμενη πλαστιμότητα ξεπερνά την διαθέσιμη της κατασκευής.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.4, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών $γ_{Rd}$, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι μικρότερος και σε μερικές περιπτώσεις αρκετά μικρότερος από την μονάδα. Το τελευταίο μαρτυρά ότι ίσως η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία Β με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=2.00 και ταυτόχρονα του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί ίσως σε φάσμα που προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τον σχεδιασμό από την πιθανά απαιτούμενη.



Πίνακας 6.4 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z1-0,16g της εδαφικής κατηγορίας Β

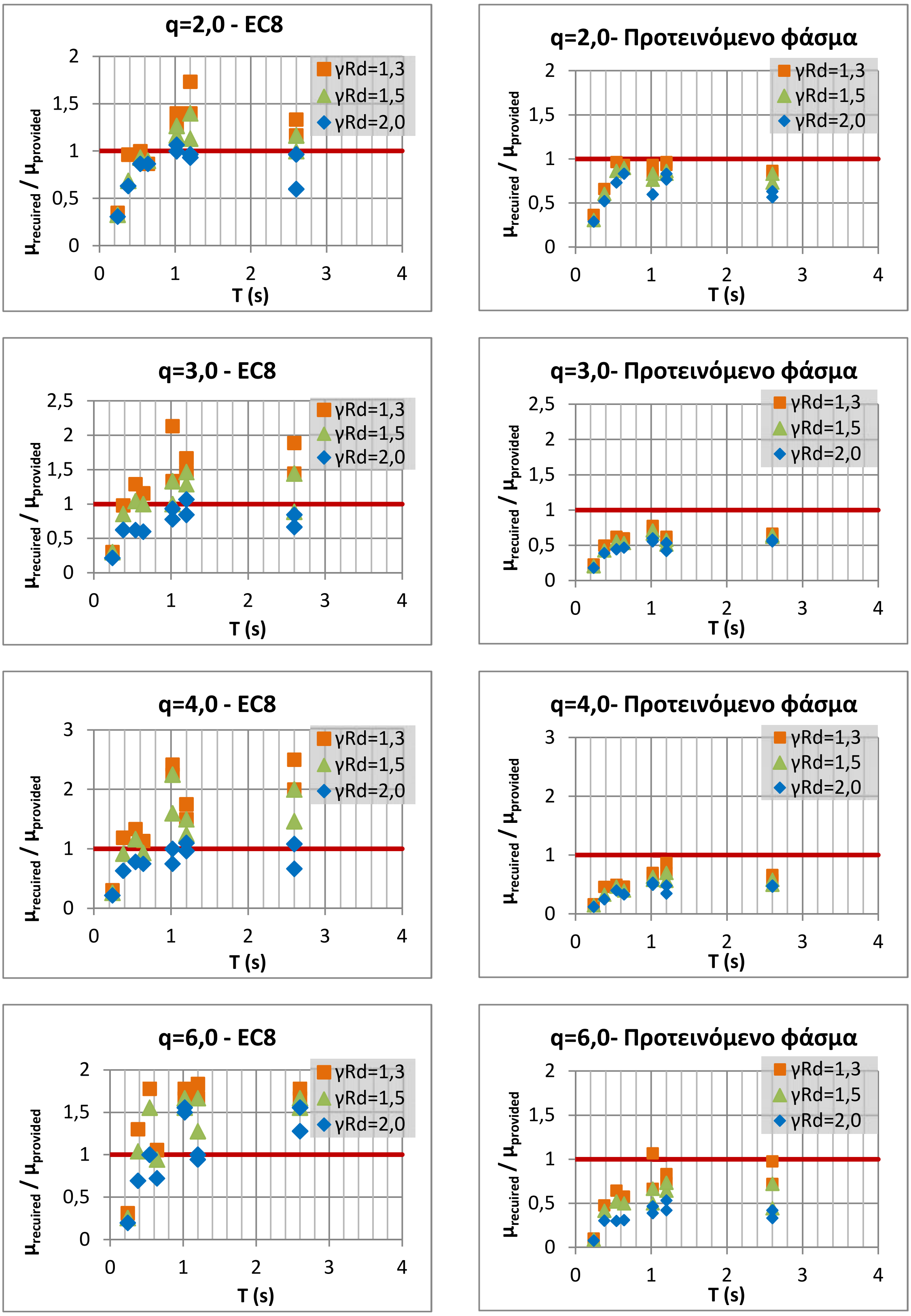
❖ Εδαφική κατηγορία Β - 0.24g



Σχήμα 6.4 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

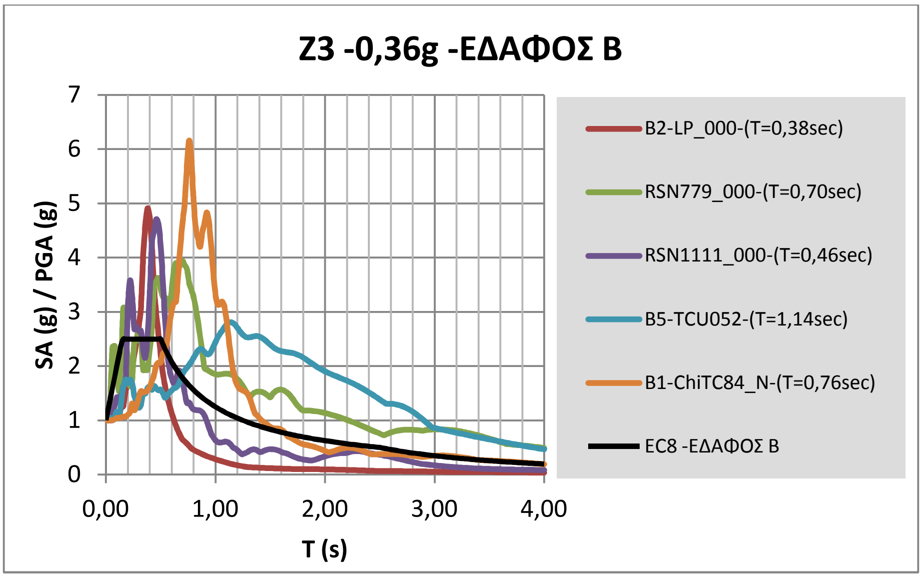
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.5, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να επαρκεί σε ακόμα μικρότερο βαθμό σε σχέση με την ομάδα Z1, ακόμα και με θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστκό φάσμα. Με εξαίρεση την καταγραφή που μελετήθηκε στην περίοδο $T_{πρ}$=0.24s, σε όλες τις υπόλοιπες καταγραφές ο λόγος αυτός προκύπτει μεγαλύτερος έως αρκετά μεγαλύτερος της μονάδας, ειδικά για τιμές υπεραντοχής $γ_{Rd}$=1.3 και 1.5. Συγκεκριμένα εντοπίζεται μεγαλύτερη αδυναμία για περιόδους T>0.50s, όπως μπορούμε να δούμε και στα αντίστοιχα διαγράμματα αφού εκεί παρατηρείται η μεγαλύτερη υπέρβαση από την μονάδα. Όπως μπορούμε να δούμε και στο Σχήμα 6.4, οι εξεταζόμενες καταγραφές εξέχουν αρκετά από το φάσμα του κανονισμού στις συγκεκριμένες περιόδους.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.5, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών $γ_{Rd}$, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι μικρότερος και σε μερικές περιπτώσεις οριακά ίσος με την μονάδα. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία Β με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=2.00 και ταυτόχρονα του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί σε ορθή επιλογή, αφού ειδικά για τις τιμές υπεραντοχής $γ_{Rd}$=1.3 και 1.5 σε αρκετές περιπτώσεις ο λόγος της απαιτούμενης προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα είναι οριακά μικρότερος της μονάδας.



Πίνακας 6.5 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z2-0,24g της εδαφικής κατηγορίας B

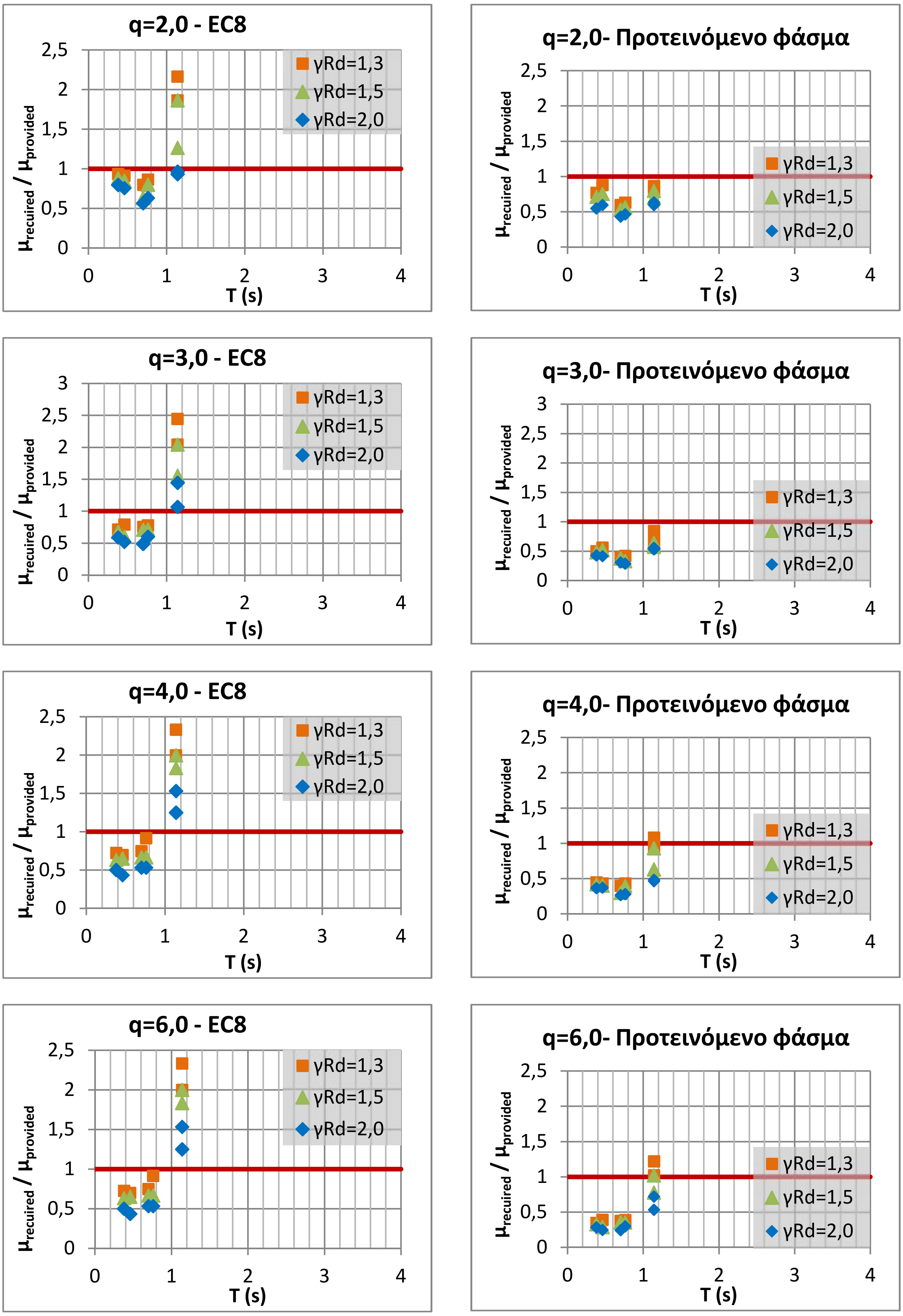
❖ Εδαφική κατηγορία Β - 0.36g



Σχήμα 6.5 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

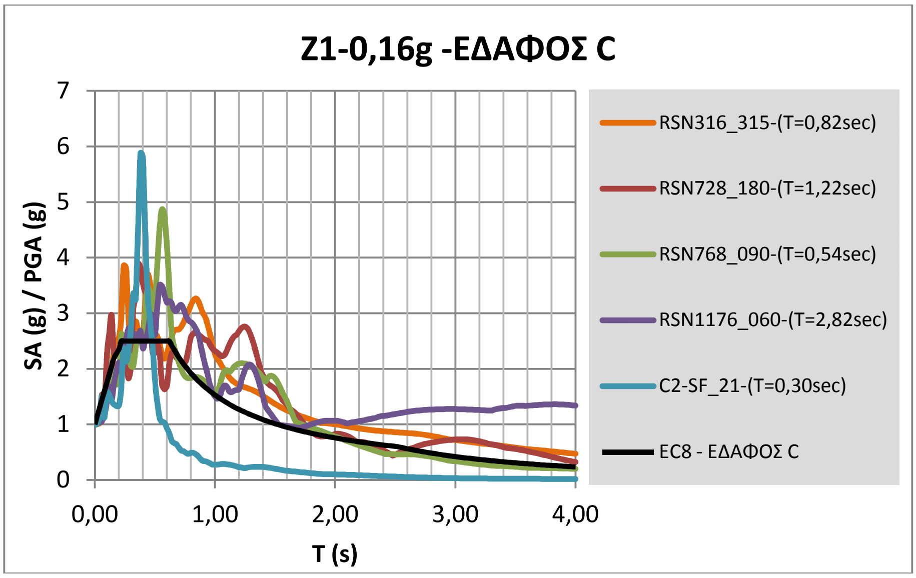
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.6, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί μόνο για μία από τις καταγραφές που ελέχθησαν και που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.5. Η συγκεκριμένη καταγραφή (B5-TCU052) είναι αρκετά ιδιαίτερη αφού παρουσιάζει μεγιστοποίηση των φασματικών της τιμών σε περιόδους μεγαλύτερες της T=1.0sec. Οι υπόλοιπες εξετάζόμενες καταγραφές φαίνεται να απαιτούν μικρότερες τιμές πλαστιμότητας από τις διαθέσιμες, δίνοντας την αίσθηση ότι ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για το μικρό αυτό δείγμα που ελέγχθηκε, με εξαίρεση την καταγραφή που προαναφέρθηκε.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.6, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών γ_{Rd}, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι αρκετά μικρότερος από την μονάδα. Η πρόταση βελτίωσης του φάσματος οδηγεί σε κάλυψη της απαιτούμενης πλαστιμότητας ακόμα και για την προαναφερθείσα καταγραφή που σημείωνε πρόβλημα κατά τον έλεγχο του φάσματος του EC8. Το τελευταίο μαρτυρά ότι ίσως η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία Β με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=2.00 και ταυτόχρονα του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί ίσως σε φάσμα που προσφέρει αρκετά μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τον σχεδιασμό από την πιθανά απαιτούμενη και καθιστά την πρόταση βελτίωσης αρκετά συντηρητική.



Πίνακας 6.6 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z3-0,36g της εδαφικής κατηγορίας Β

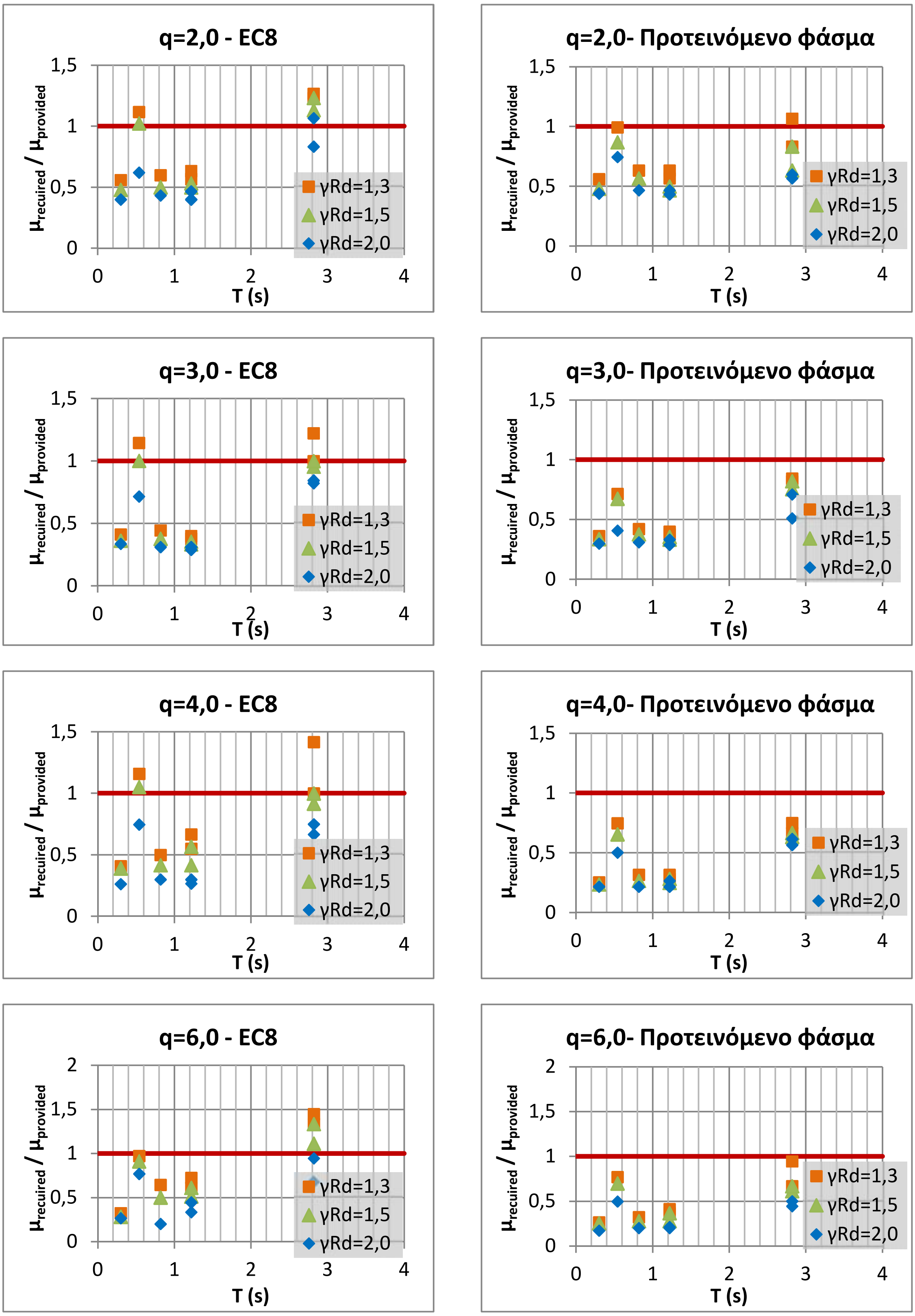
- Εδαφική κατηγορία C - 0.16g



Σχήμα 6.6 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

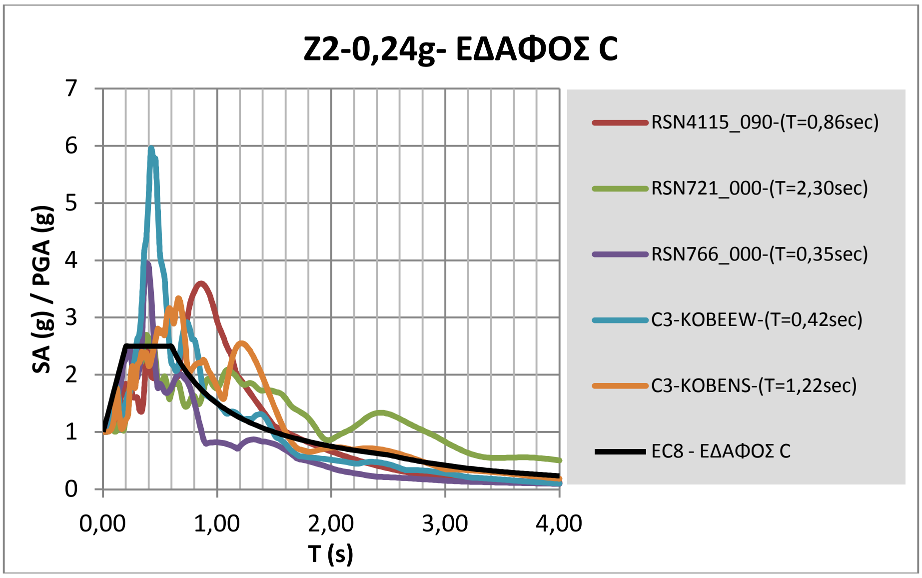
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.7, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί, ακόμα και με θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα. Η μη επάρκεια του φάσματος σχεδιασμού του EC8 φαίνεται κυρίως στις καταγραφές RSN768-090 και RSN1176-060 που ελέχθησαν για περιόδους $T_{πρ}$=0.54s και $T_{πρ}$=2.82s αντίστοιχα, κυρίως για τιμές υπεραντοχής $γ_{Rd}$=1.3 και 1.5. Οπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.6 οι καταγραφές αυτές λαμβάνουν φασματικές τιμές οι οποίες εξέχουν αρκετά από το φάσμα του κανονισμού για τις συγκεκριμένες περιόδους. Επιπλέον όσο μεγαλύτερος συντελεστής συμπεριφοράς q επιλέγεται για τον έλεγχο παρατηρούμε ότι αυξάνεται ο λόγος της απαιτούμενης προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σε όλο το εύρος των περιόδων.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.7, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών $γ_{Rd}$, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι μικρότερος και σε μερικές περιπτώσεις οριακά ίσος με την μονάδα. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία C με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.15 σε S=1.75 και ταυτόχρονα μη τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί σε ορθή επιλογή, αφού φαίνεται να προσφέρει επάρκεια κατά τον σχεδιασμό για τις καταγραφές που σύμφωνα με το φάσμα του EC8 θα οδηγούσαν σε αστοχία.



Πίνακας 6.7 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z1-0,16g της εδαφικής κατηγορίας C

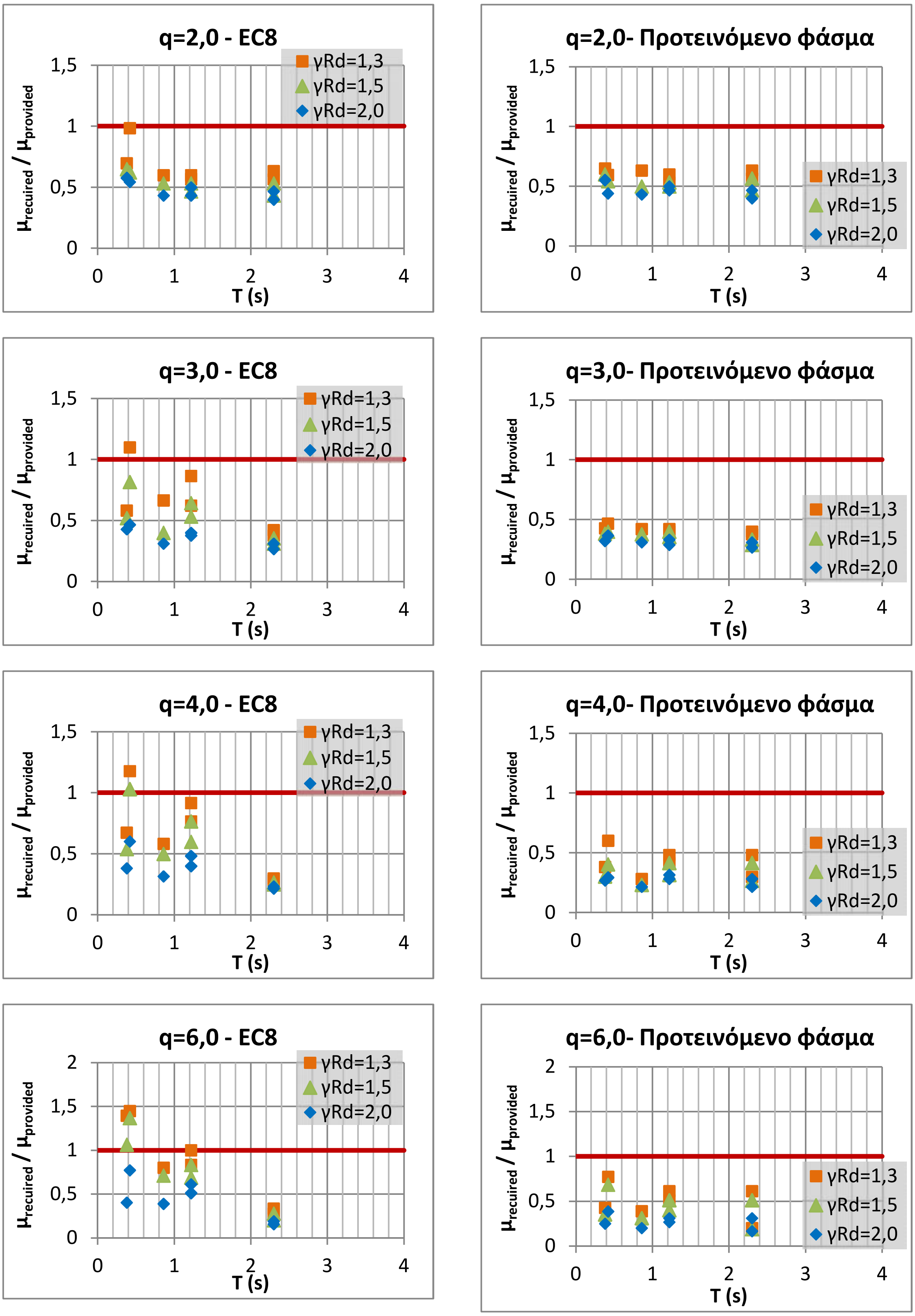
❖ Εδαφική κατηγορία C - 0.24g



Σχήμα 6.7 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

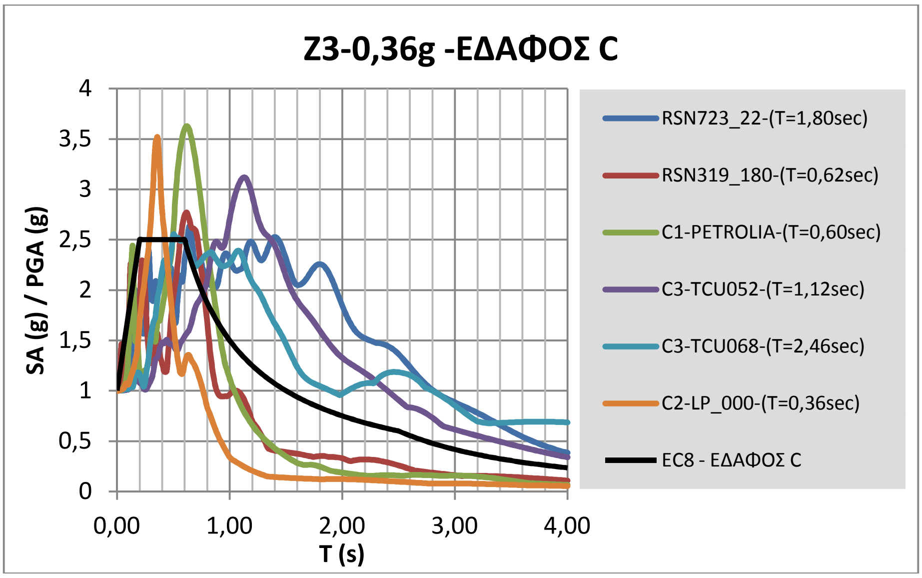
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.8, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί, με θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα, σε μικρότερο βέβαια βαθμό από ότι στην ομάδα Z1 για την ίδια εδαφική κατηγορία. Η μη επάρκεια του φάσματος σχεδιασμού του EC8 εντοπίζεται ατην καταγραφή C3-KOBEEW και οριακά για την RSN4115-090 που ελέχθησαν για περιόδους $T_{πρ}$=0.42s και $T_{πρ}$=0.86s αντίστοιχα, κυρίως για τιμές υπεραντοχής $γ_{Rd}$=1.3 και 1.5. Οπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.7 οι καταγραφές αυτές λαμβάνουν φασματικές τιμές οι οπίες εξέχουν αρκετά από το φασμα του κανονισμού για τις συγκεκριμένες περιόδους. Επιπλέον όσο μεγαλύτερος συντελεστής συμπεριφοράς q επιλέγεται για τον έλεγχο παρατηρούμε ότι αυξάνεται ο λόγος της απαιτούμενης προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σε όλο το εύρος των περιόδων, η τιμή του οποίου τείνει πιο κοντά στην μονάδα.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.8, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών $γ_{Rd}$, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι μικρότερος και σε μερικές περιπτώσεις αρκετά μικρότερος από την μονάδα. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία C με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.15 σε S=1.75 και ταυτόχρονα μη τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί ίσως σε φάσμα σχεδιασμόυ που προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια από την απαιτούμενη και έτσι ίσως κρίνεται ελαφρώς συντηρητικό.



Πίνακας 6.8 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z2-0,24g της εδαφικής κατηγορίας C

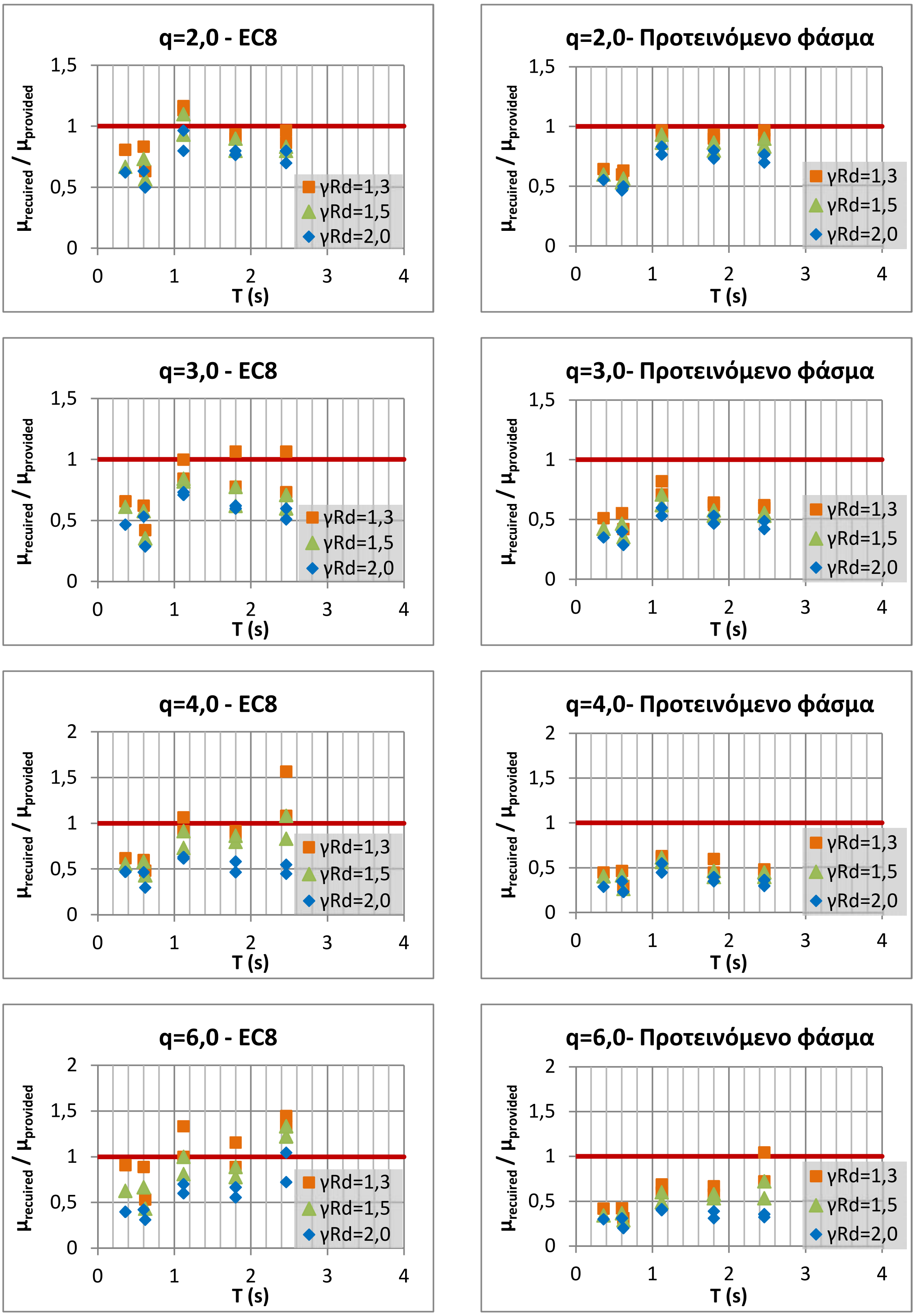
❖ Εδαφική κατηγορία C - 0.36g



Σχήμα 6.8 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

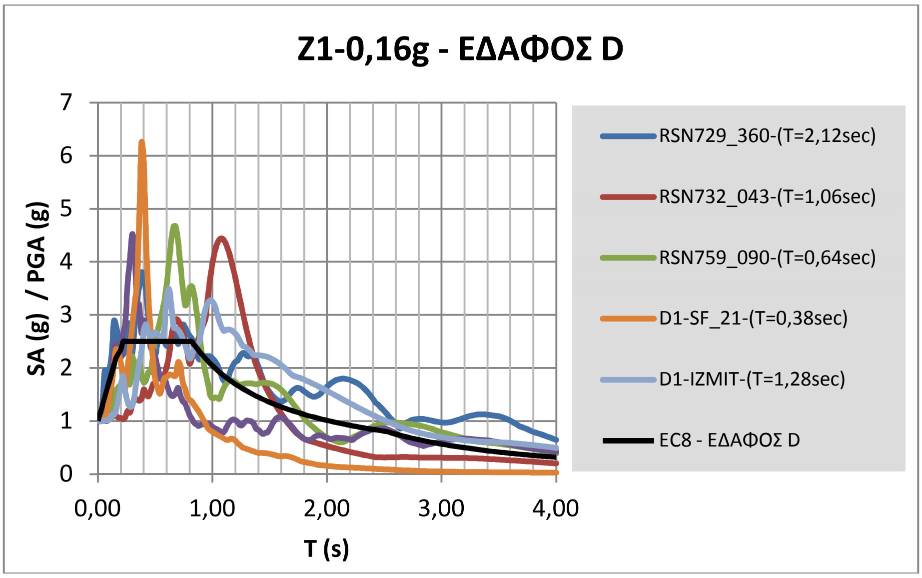
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.9, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί, με θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι στις προηγούμενες ομάδες της ίδιας εδαφικής κατηγορίας. Η μη επάρκεια του φάσματος σχεδιασμού του EC8 εντοπίζεται κυρίως σε περιόδους μεγαλύτερες της μονάδας. Οπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.8 οι καταγραφές που ελέχθησαν για T>1.00sec λαμβάνουν φασματικές τιμές οι οποίες εξέχουν αρκετά από το φασμα του κανονισμού στις συγκεκριμένες περιόδους, αφού εκεί παρουσιάζουν φασματική ενίσχυση. Οι καταγραφές αυτές απαιτούν μεγαλύτερη πλαστιμότητα από την διαθέσιμη κυρίως για τιμές υπεραντοχής γ_{Rd}=1.3και 1.5. Επιπλέον όσο μεγαλύτερος συντελεστής συμπεριφοράς q επιλέγεται για τον έλεγχο παρατηρούμε ότι αυξάνεται η τιμή του λόγου της απαιτούμενης προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σε όλο το εύρος των περιόδων.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.9, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών γ_{Rd}, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι μικρότερος και σε μερικές περιπτώσεις οριακά ίσος με την μονάδα. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία C με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.15 σε S=1.75 και ταυτόχρονα μη τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί σε ορθή επιλογή, αφού οδηγεί σε ασφαλή σχεδιασμό ακόμα και σε περιπτώσεις που η διέγερση είναι εντόνως μακροπερίοδη.



Πίνακας 6.9 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z3-0,36g της εδαφικής κατηγορίας C

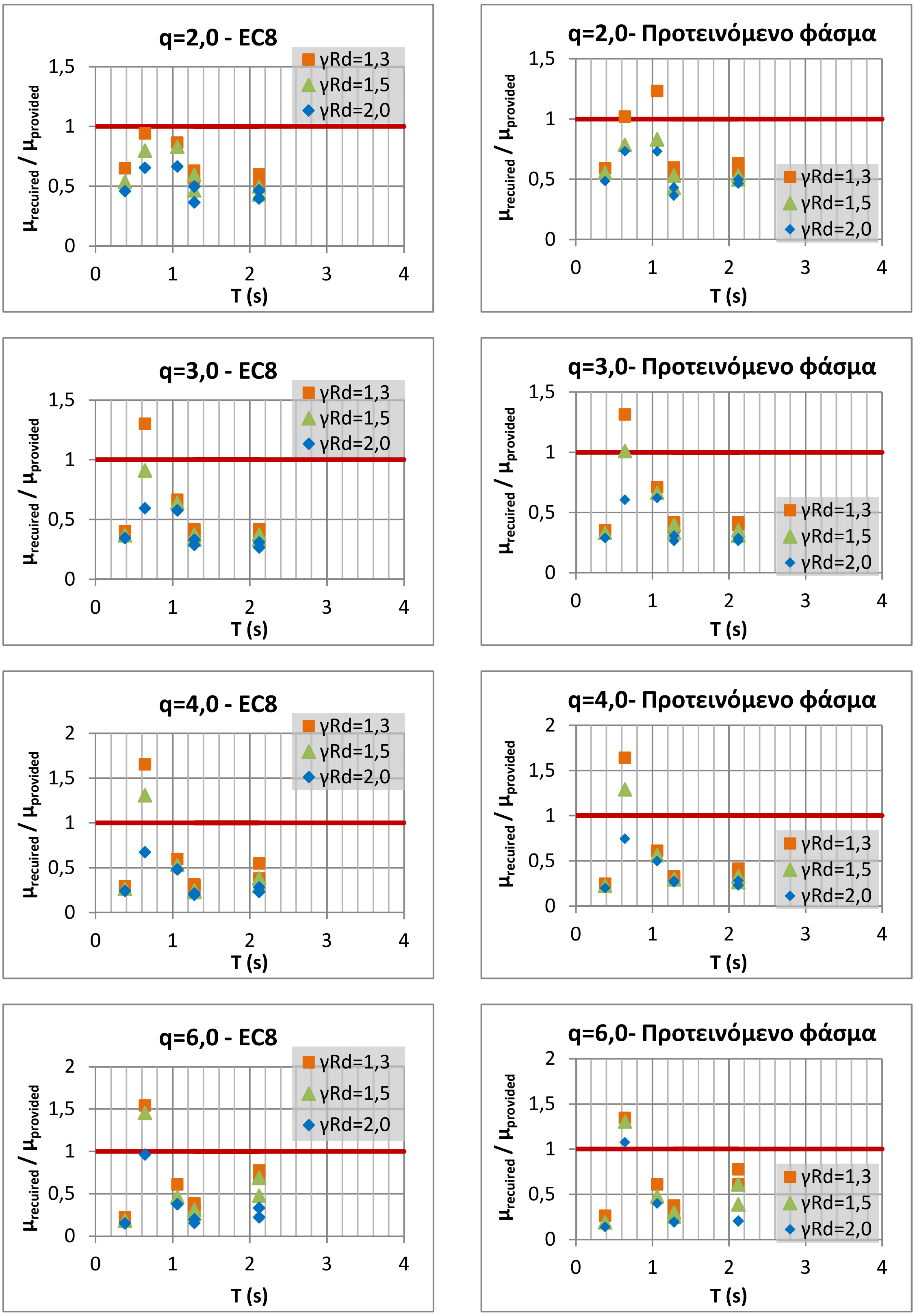
❖ Εδαφική κατηγορία D - 0.16g



Σχήμα 6.9 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

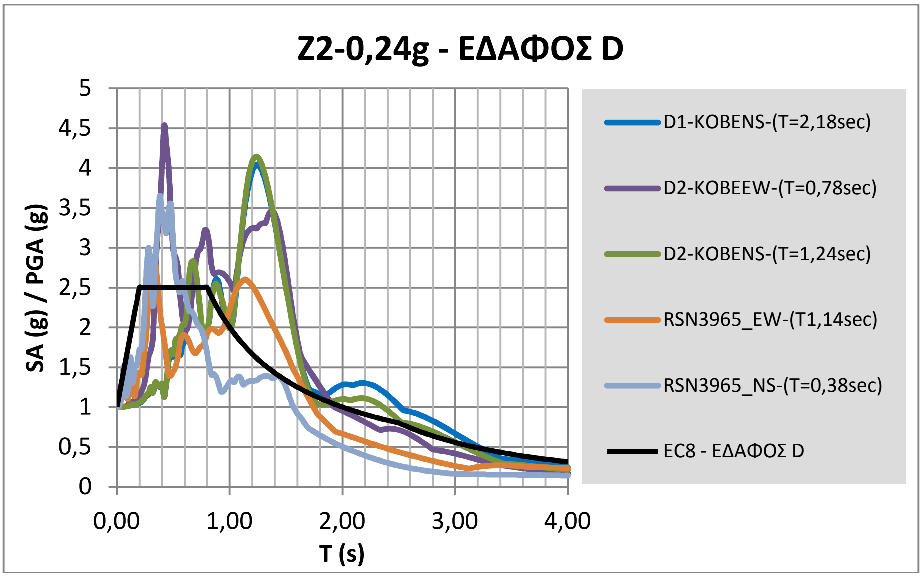
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.10, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί για θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα μόνο για μία από τις καταγραφές που ελέχθησαν και που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.9. Η συγκεκριμένη καταγραφή είναι η RSN759-090 η οποία ελέχθηκε για $T_{πρ}$=0.64sec. Οι υπόλοιπες εξεταζόμενες καταγραφές φαίνεται να απαιτούν μικρότερες τιμές πλαστιμότητας από τις διαθέσιμες, δίνοντας την αίσθηση ότι τουλάχιστον για το μικρό αυτό δείγμα που ελέγχθηκε με εξαίρεση την καταγραφή που προαναφέρθηκε ο EC8 φαίνεται να επαρκεί.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.10, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα ελαφρώς επιβαρύνθηκε. Η πρόταση βελτίωσης του φάσματος δεν οδηγεί σε κάλυψη της απαιτούμενης πλαστιμότητας για την προαναφερθείσα καταγραφή που σημείωνε πρόβλημα κατά τον έλεγχο του φάσματος του EC8. Το τελευταίο μαρτυρά ότι ίσως η τροποποίηση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία D με μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.35 σε S=1.26, μη τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης και αύξηση της περιόδου T_C από 0.8s σε 0.9s, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί ίσως σε φάσμα που δεν προσφέρει μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τον σχεδιασμό σε σχέση με αυτή που φαίνεται να προσφέρει ο EC8.



Πίνακας 6.10 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z1-0,16g της εδαφικής κατηγορίας D

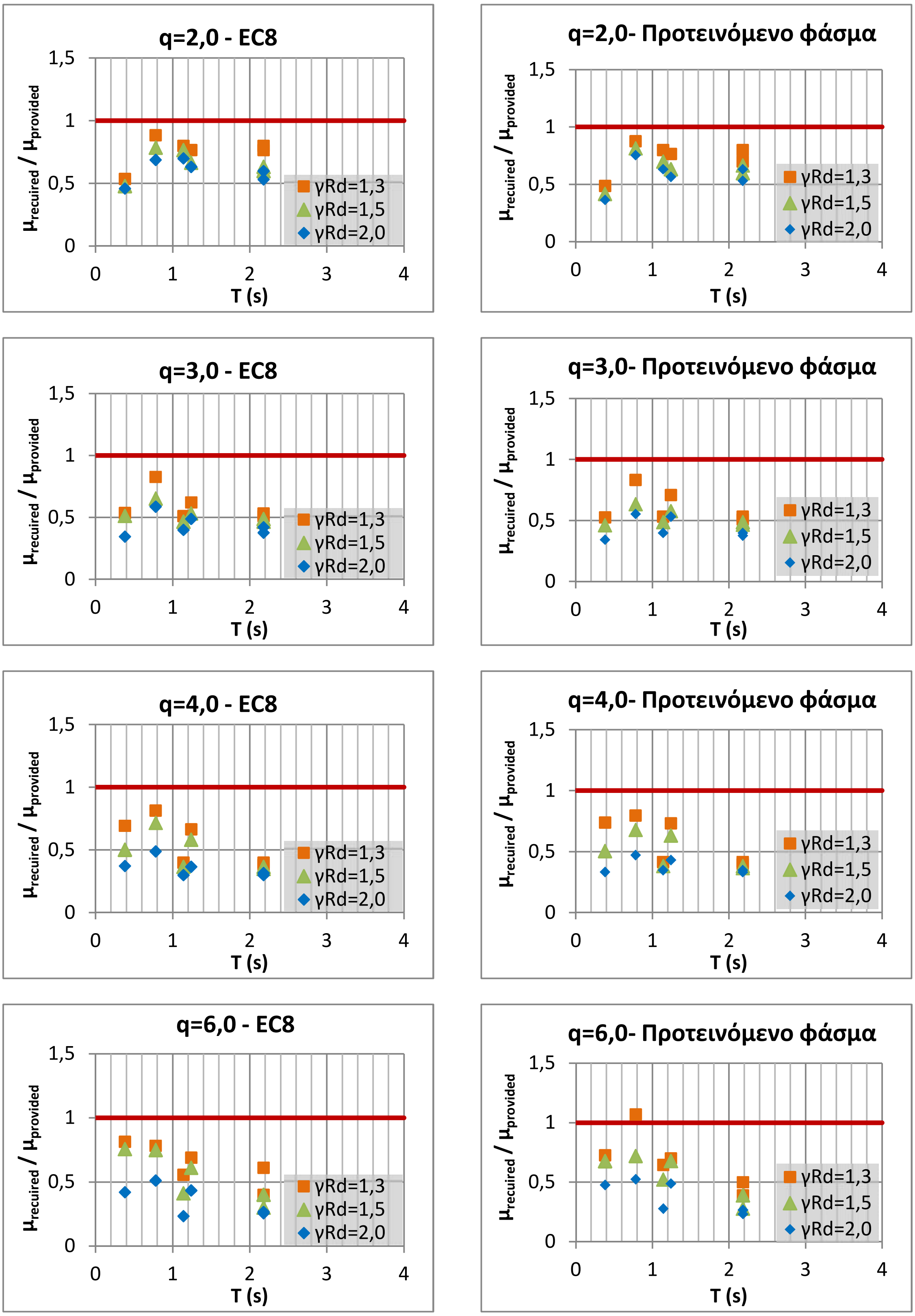
- Εδαφική κατηγορία D - 0.24g



Σχήμα 6.10 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

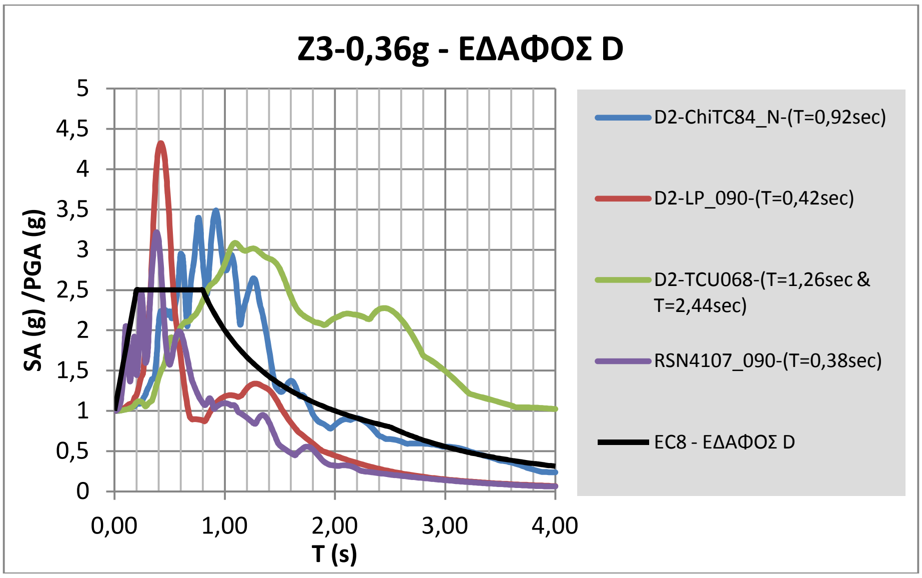
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.11, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστιικό φάσμα για όλες τις καταγραφές που ελέχθησαν και που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.10. Σε όλο το εύρος των περιόδων το δείγμα των καταγραφών που ελέχθησαν, παρόλο που φαίνεται να παρουσιάζει έντονες υπερβάσεις των φασματικών τιμών του κανονισμού, οδηγεί σε προκύπτοντα λόγο απαιτούμενης προς διαθέσιμης πλαστιμότητας ο οποίος είναι σαφώς μικρότερος της μονάδας, γεγονός που δείχνει ότι ο EC8 φαίνεται να επαρκεί.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.11, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι και το προτεινόμενο φάσμα φαίνεται να καλύπτει τις ανάγκες πλαστιμότητας των διεγέρσεων που επιλέχθηκαν να ελεγχθούν. Η πρόταση βελτίωσης του φάσματος δεν οδηγεί σε κάλυψη της απαιτούμενης πλαστιμότητας για την προαναφερθείσα καταγραφή που παρουσίαζε πρόβλημα κατά τον έλεγχο του φάσματος του EC8. Το τελευταίο μαρτυρά ότι ίσως η τροποποίηση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία D με μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.35 σε S=1.26, μη τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης και αύξηση της περιόδου T_C από 0.8s σε 0.9s, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί σε φάσμα που προσφέρει παραπλήσια ασφάλεια κατά τον σχεδιασμό σε σχέση με αυτή που φαίνεται να προσφέρει ο EC8, αλλά εφόσον και με μειωμένο συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης σε σχέση με τον προτεινόμενο από τον κανονισμό δεν έχουμε υπερβάσεις του εξεταζόμενου λόγου από την μονάδα συμπεραίνουμε ότι ισως η πρόταση βελτίωσης ευσταθεί.



Πίνακας 6.11 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Ζ2-0,24g της εδαφικής κατηγορίας D

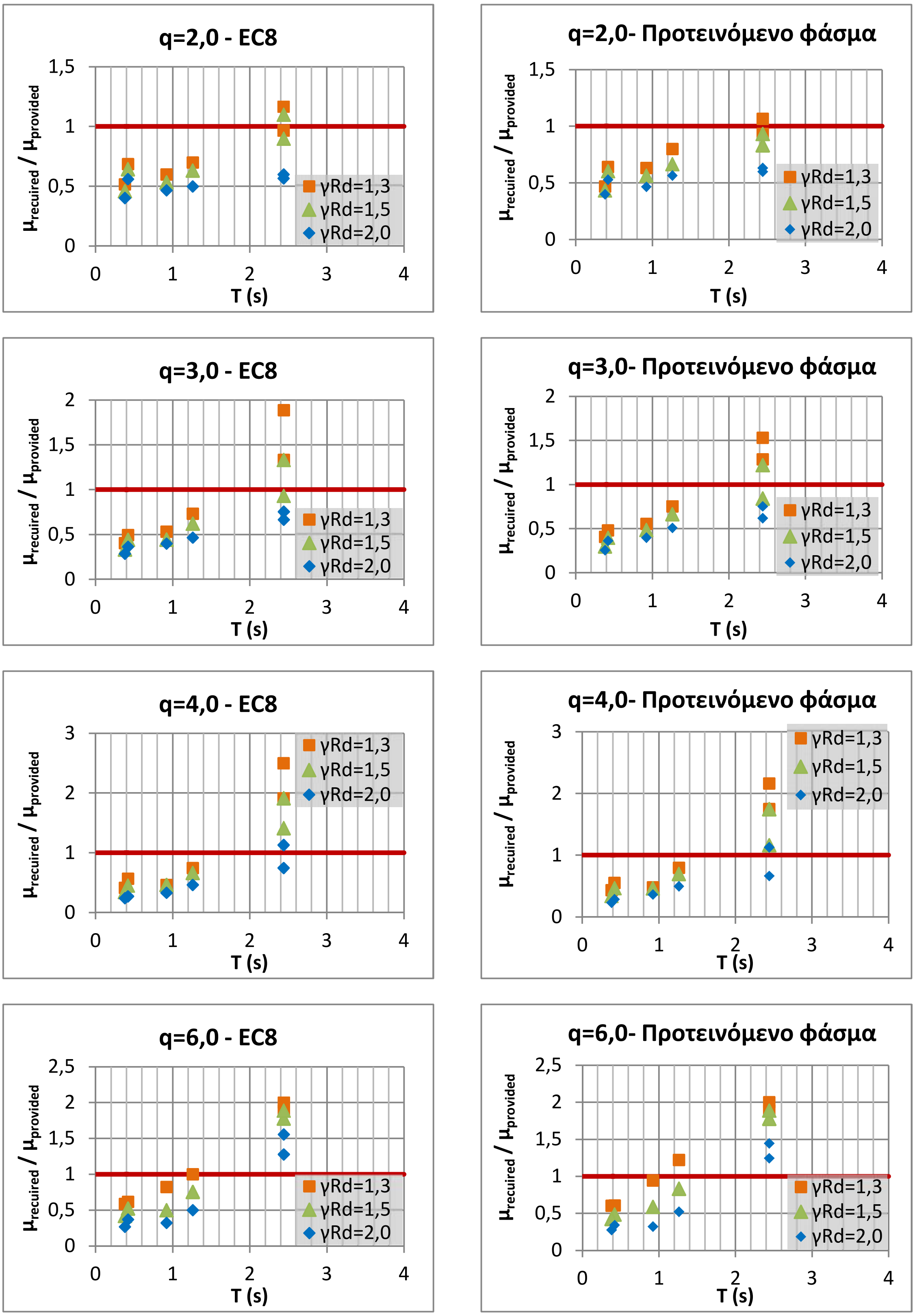
❖ Εδαφική κατηγορία D - 0.36g



Σχήμα 6.11 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

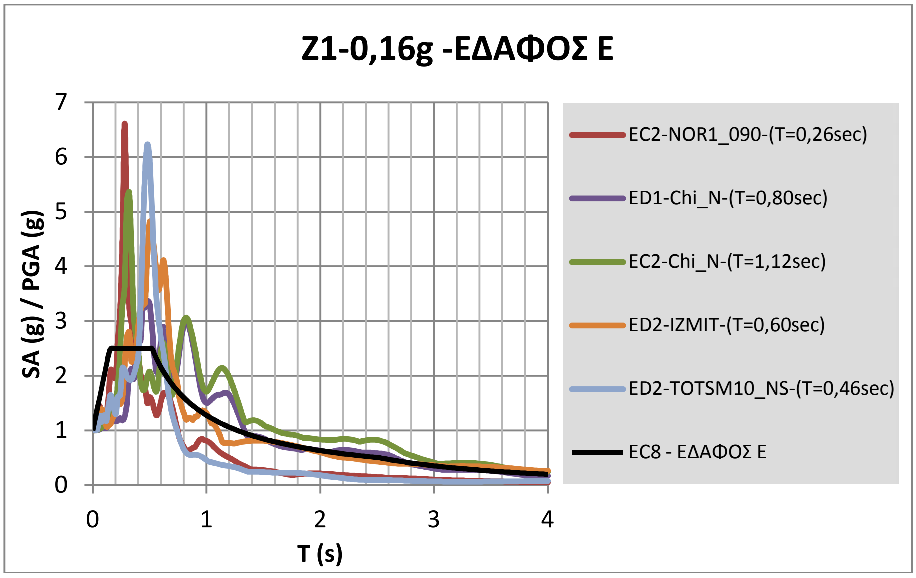
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.12, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί για θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστκό φάσμα μόνο για μία καταγραφή από αυτές που ελέχθησαν και που παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.11. Η συγκεκριμένη καταγραφή (D2-TCU068) είναι αρκετά ιδιαίτερη αφού παρουσιάζει φασματική ενίσχυση σε περίοδο T=2.44sec, οδηγώντας σε πολύ μεγάλη υπέρβαση από το σχήμα του κανονισμού. Για όλες τις υπόλοιπες καταγραφές του μικρού εξεταζόμενου δείγματος ο EC8 φαίνεται να επαρκεί ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις πλαστιμότητας.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.12, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα δεν βελτιώθηκε ιδιαίτερα. Η πρόταση βελτίωσης του φάσματος δεν οδηγεί σε κάλυψη της απαιτούμενης πλαστιμότητας για την προαναφερθείσα καταγραφή που σημείωνε πρόβλημα κατά τον έλεγχο του φάσματος του EC8, ωστόσο οδηγεί σε μείωση της τιμής του λόγου που προκύπτει από τον έλεγχο για τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς q=2.0 και 3.0. Το τελευταίο μαρτυρά ότι ίσως η τροποποίηση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία D με μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.35 σε S=1.26, μη τροποποίηση του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης και αύξηση της περιόδου T_C από 0.8s σε 0.9s, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί ίσως σε φάσμα που προσφέρει ελαφρώς μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τον σχεδιασμό σε σχέση με αυτή που φαίνεται να προσφέρει ο EC8, αλλά που δεν οδηγεί σε ασφαλή κάλυψη των απαιτήσεων για όλες τις μελετώμενες διεγέρσεις.



Πίνακας 6.12 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z3-0,36g της εδαφικής κατηγορίας D

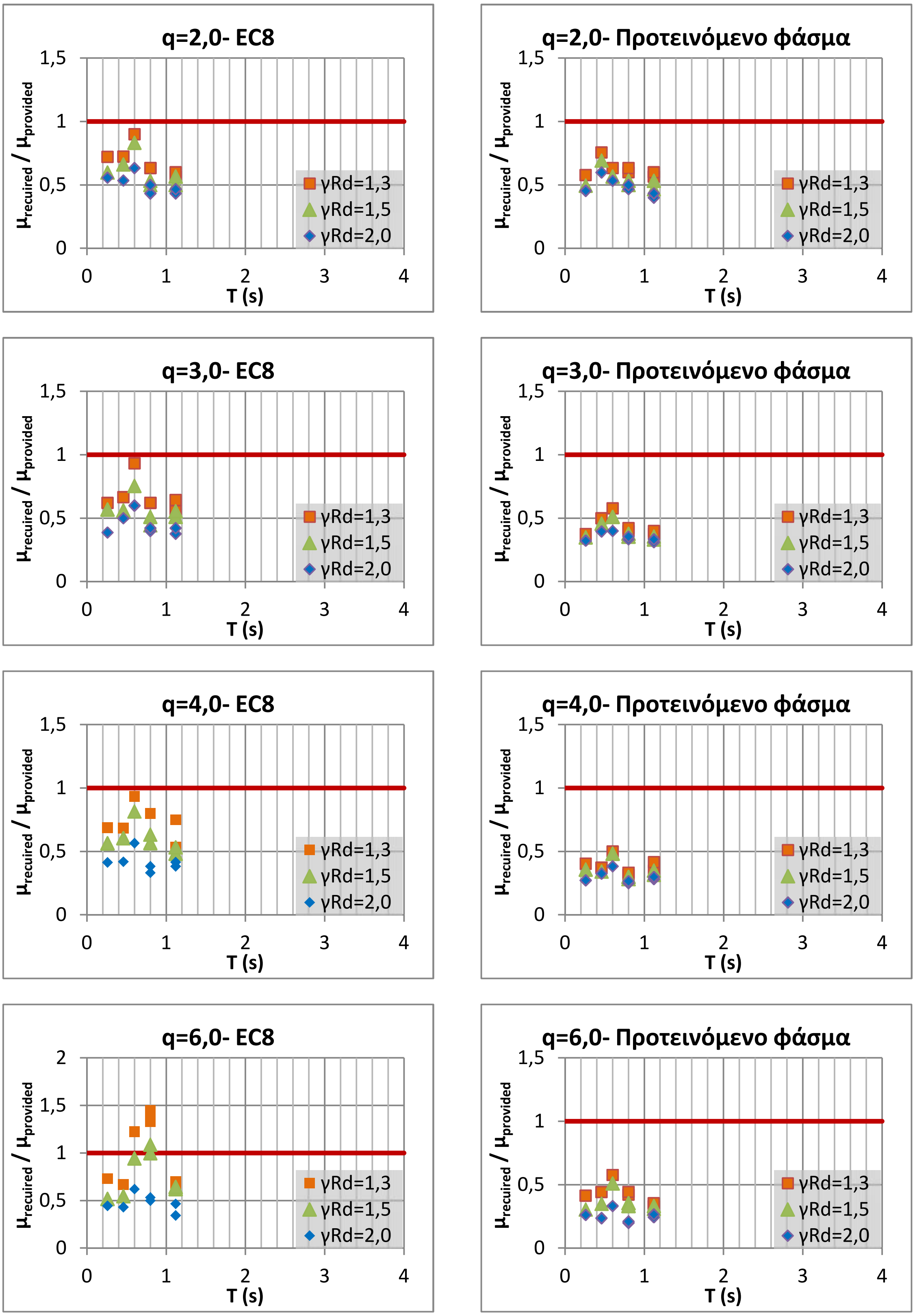
- Εδαφική κατηγορία Ε - 0.16g



Σχήμα 6.12 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

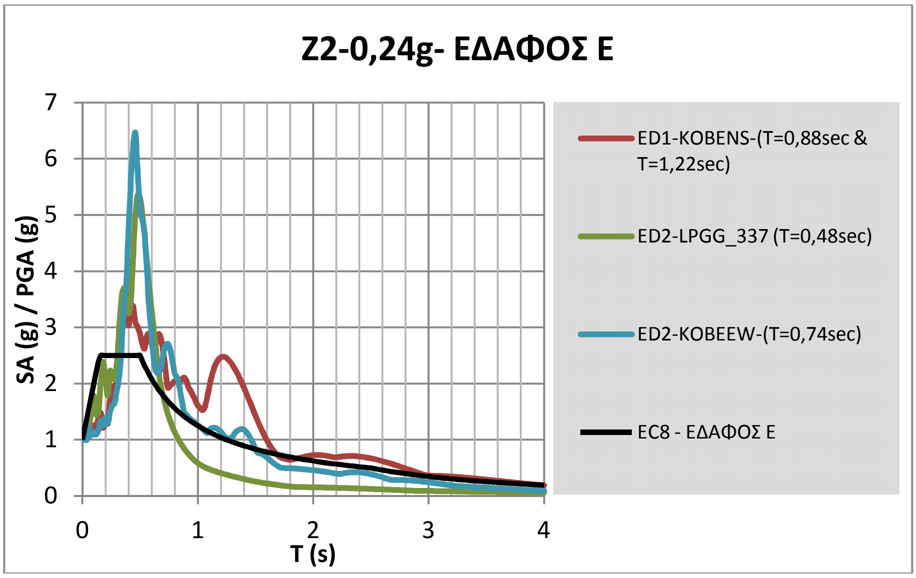
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.13, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με τον σχεδιασμό του EC8, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα για επιλογή τιμής συντελεστή συμπεριφοράς q=2.0, 3.0 και 4.0. Ωστόσο για q=6.0 στο εύρος των περιόδων T=0.60s-0.80s παρουσιάζονται τιμές του λόγου μεγαλύτερες της μονάδας, γεγονός που φανερώνει μη επάρκεια του φάσματος σχεδιασμού του EC8, ειδικά για τιμές υπεραντοχής γ_{Rd}=1.3 k=και 1.5. Όπως μπορούμε να δούμε και στο Σχήμα 6.12, οι συγκεκριμένες καταγραφές είναι οι ED2-IZMIT και ED1-Chi-N, οι οποίες για τις συγκεκριμένες περιόδους αντίστοιχα σημειώνουν έντονες υπερβάσεις από το φάσμα του κανονισμού.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.13, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών γ_{Rd}, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις αρκετά μικρότερος από την μονάδα και ταυτόχρονα τα σημεία στα οποία πριν είχαμε υπέρβαση της επιτρεπόμενης τιμής οδηγούνται σε ασφαλή κάλυψη. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία Ε με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=1.90 και ταυτόχρονα του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί σε συντηρητική επιλογή, αφού σε αρκετές περιπτώσεις ο λόγος της απαιτούμενης προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα είναι αρκετά μικρότερος της μονάδας, οδηγώντας δηλαδή σε σχεδιασμό με μεγαλύτερη ασφάλεια από την απαιτούμενη.



Πίνακας 6.13 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z1-0,16g της εδαφικής κατηγορίας Ε

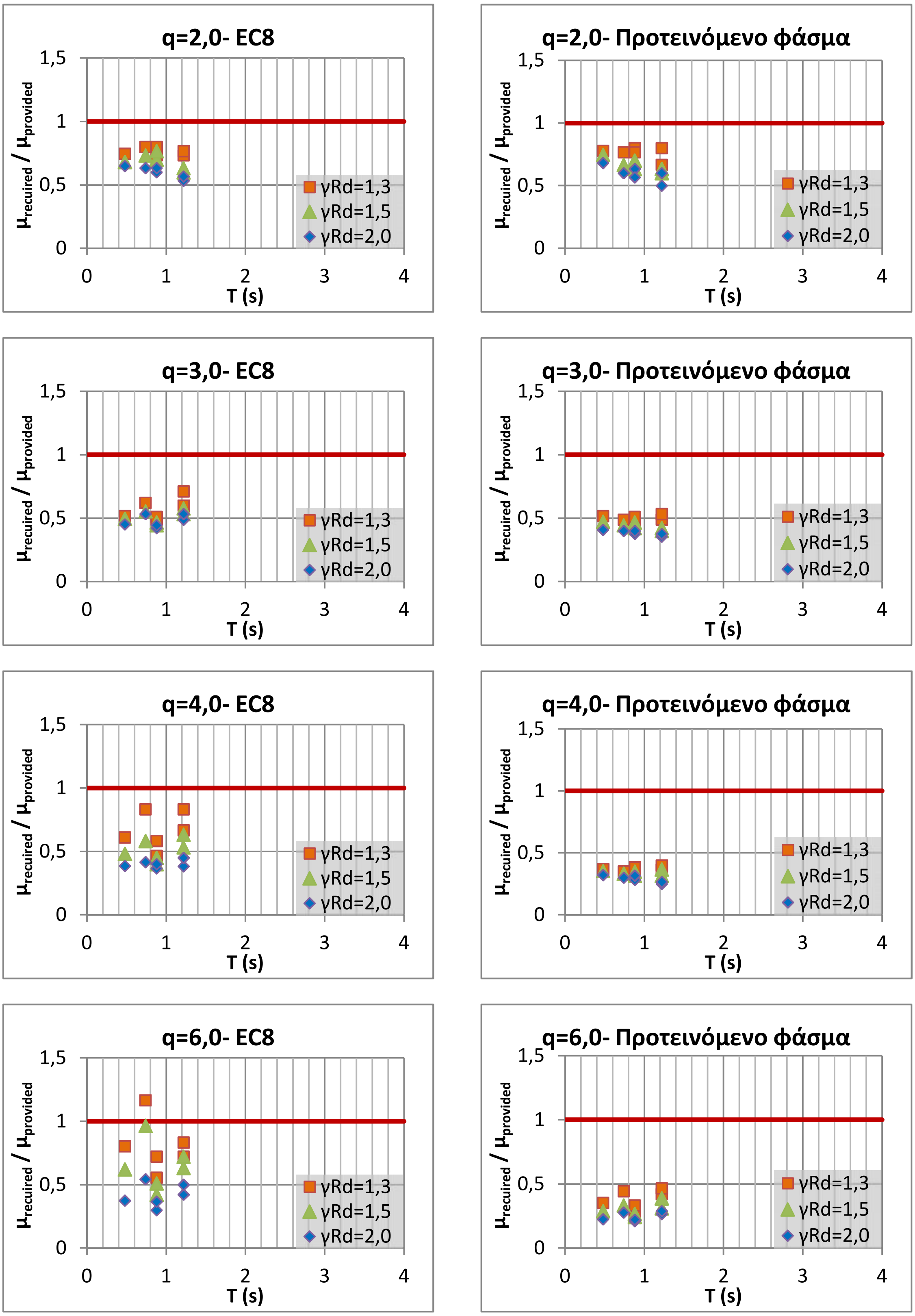
❖ Εδαφική κατηγορία Ε - 0.24g



Σχήμα 6.13 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

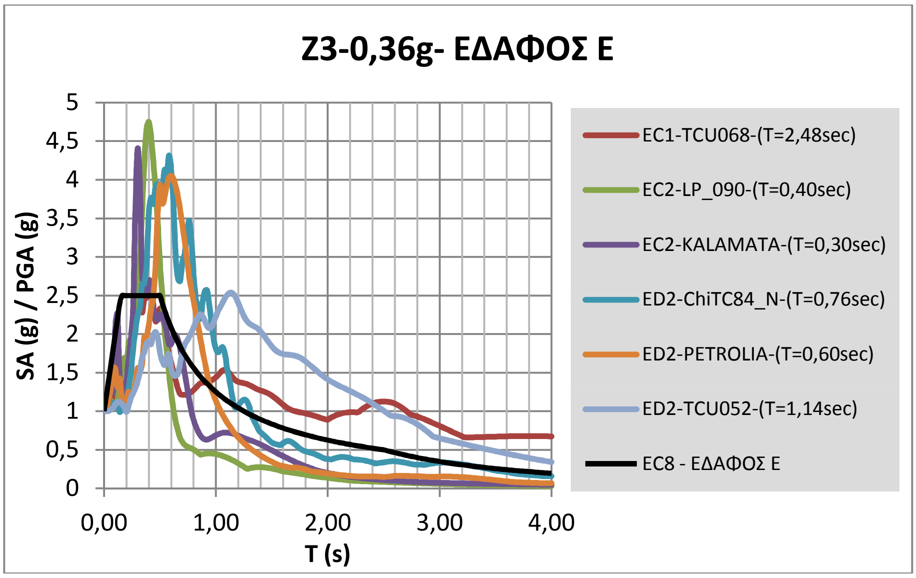
Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.14, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με τον σχεδιασμό του EC8, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να επαρκεί για θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα για επιλογή τιμής συντελεστή συμπεριφοράς q=2.0, 3.0 και 4.0. Ωστόσο για q=6.0 για την τιμή περιόδου $T_{πρ}$=0.74s παρουσιάζονται τιμές του λόγου μεγαλύτερες της μονάδας, γεγονός που φανερώνει μη επάρκεια του φάσματος σχεδιασμού του EC8, ειδικά για τιμές υπεραντοχής $γ_{Rd}$=1.3 και 1.5. Όπως μπορούμε να δούμε και στο Σχήμα 6.13, στην συγκεκριμένη περίοδο έχει ελεγχθεί η διέγερση ED2-KOBEEW, η οποία εξέχει έντονα από το προτεινόμενο φάσμα του κανονισμού σε αυτή την περίοδο οδηγώντας σε μεγάλες απαιτήσεις πλαστιμότητας. Εφόσον από το δείγμα που επιλέχθηκε να ελεγθεί η μη επάρκεια του κανονισμού σημειώνεται σε μία μόνο καταγραφή δεν μπορούμε να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι ο EC8 δεν επαρκεί.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.14, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών $γ_{Rd}$, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις αρκετά μικρότερος από την μονάδα και ταυτόχρονα τα σημεία στα οποία πριν είχαμε υπέρβαση της επιτρεπόμενης τιμής οδηγούνται σε ασφαλή κάλυψη. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία Ε με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=1.90 και ταυτόχρονα του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί ίσως σε συντηρητική επιλογή, δηλαδή σε σχεδιασμό με μεγαλύτερη ασφάλεια από την απαιτούμενη.



Πίνακας 6.14 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και γ_{Rd}=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Ζ2-0,24g της εδαφικής κατηγορίας Ε

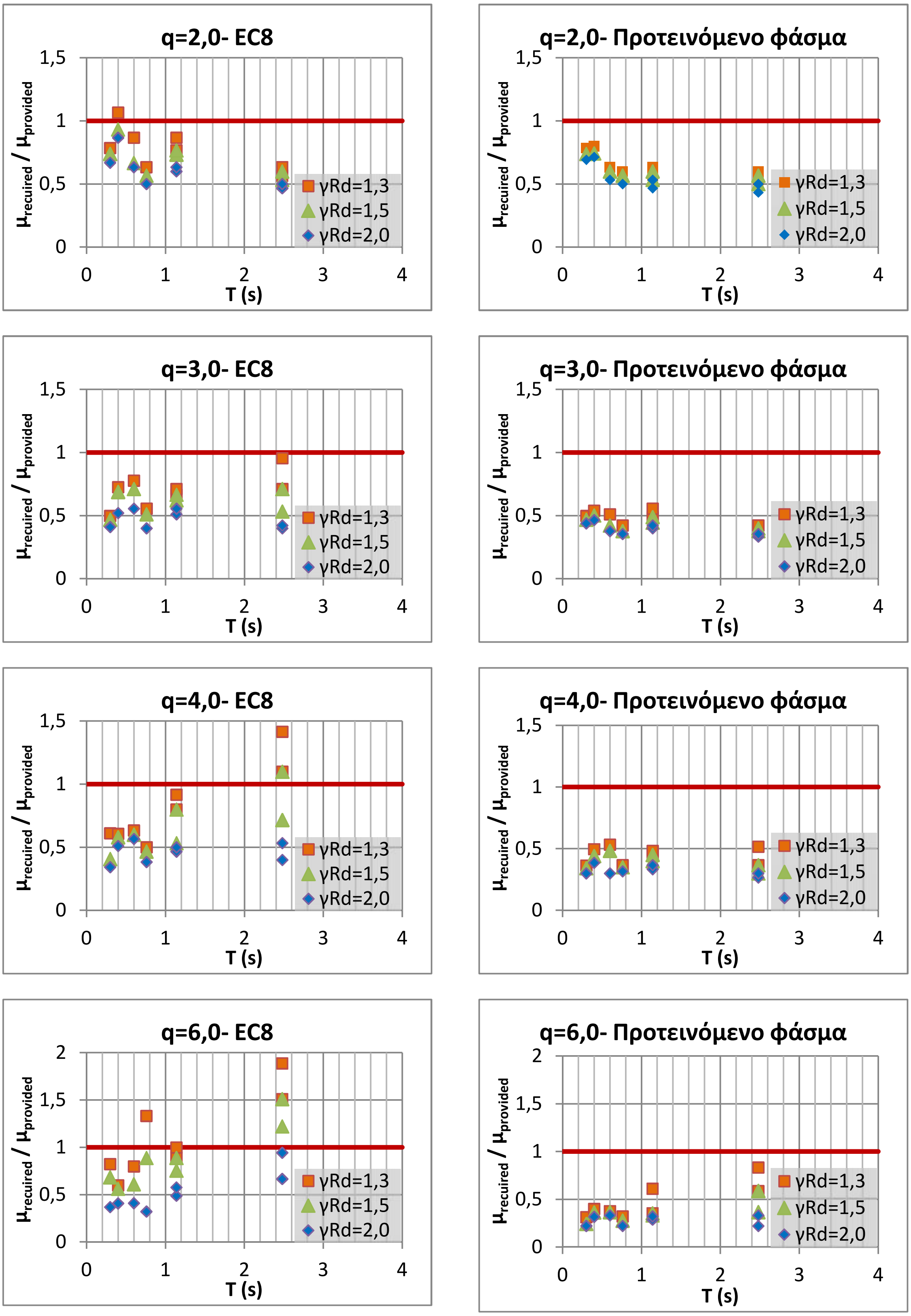
❖ Εδαφική κατηγορία Ε - 0.36g



Σχήμα 6.14 : Καταγραφές που ελέχθησαν με ανελαστικές αναλύσεις

Παρατηρώντας τα διαγράμματα της πρώτης στήλης του Πίνακα 6.15, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα, παρατηρούμε ότι ο EC8 φαίνεται να μην επαρκεί για θεώρηση σχεδιασμού με το ανελαστικό φάσμα για διάφορες τιμές περιόδων. Η αύξηση του συντελεστή συμπεριφοράς q οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των περιπτώσεων στις οποίες σημειώνεται υπέρβαση της απαιτούμενης από την διαθέσιμη πλαστιμότητα. Η υπέρβαση αυτή είναι πιο έντονη για την καταγραφή EC1-TCU068 (Σχήμα 6.14) η οποία ελέγχεται στην περίοδο $T_{πρ}$=2.48s όπου εκεί σημειώνεται φασματική ενίσχυση που εξέχει αρκετά από το φάσμα του κανονισμού. Σε αυτή την ομάδα επιταχύνσεων λοιπόν σημειώνονται περισσότερες υπερβάσεις για την τιμή του εξεταζόμενου λόγου σε σχέση με τις προηγούμενες ομάδες της ίδιας εδαφικής κατηγορίας και μας οδηγούν στο συμπέρασμα μη επάρκειας του EC8.

Παρατηρώντας εν συνεχεία τα διαγράμματα της δεύτερης στήλης του Πίνακα 6.15, όπου δίνεται ο λόγος της απαιτούμενης πλαστιμότητας που υπολογίστηκε με την διαδικασία του ελέγχου που περιγράφηκε στη αρχή της παραγράφου προς την διαθέσιμη πλαστιμότητα σύμφωνα με το προτεινόμενο βελτιωμένο φάσμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατηρούμε ότι η εικόνα είναι σαφώς βελτιωμένη. Για όλους τους συνδυασμούς συντελεστών συμπεριφοράς q και υπεραντοχών $γ_{Rd}$, ο προκύπτων λόγος για την πλαστιμότητα είναι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις αρκετά μικρότερος από την μονάδα και ταυτόχρονα τα σημεία στα οποία πριν είχαμε υπέρβαση της επιτρεπόμενης τιμής οδηγούνται σε ασφαλή κάλυψη. Το τελευταίο μαρτυρά ότι η βελτίωση του φάσματος που προτείνεται για την κατηγορία Ε με αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=1.90 και ταυτόχρονα του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00, για την συγκεκριμένη ομάδα επιτάχυνσεων οδηγεί σε ορθή μεν αλλα ελαφρά συντηρητική επιλογή, αφού οδηγεί σε αρκετά μικρότερες απαιτούμενες πλαστιμότητες από τις διαθέσιμες, δηλαδή σε σχεδιασμό με μεγαλύτερη ασφάλεια από την απαιτούμενη.



Πίνακας 6.15 : Διαγράμματα ελέγχου για q=2.0 ,3.0 ,4.0 ,6.0 και $γ_{Rd}$=1.3, 1.5, 2.0 για την ομάδα επιταχύνσεων Z3-0,36g της εδαφικής κατηγορίας Ε

6.3.2 Συμπεράσματα που προκύπτουν από τον ελέγχο με ανελαστικές αναλύσεις

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η πραγματική διαθέσιμη πλαστιμότητα μίας κατασκευής μπορεί να υπολογιστεί μόνο από την καμπύλη ικανότητας της, για τον υπολογισμό της οποίας είναι απαραίτητο η κατασκευή αυτή να υποβληθεί σε μη γραμμικές αναλύσεις, π.χ. Push-over. Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιήθηκε έλεγχος για επιλεγμένες καταγραφές που εξήχαν σημαντικά του φάσματος του EC8 για διάφορες ισοδύναμες μονοβάθμιες κατασκευές με υπολογισμό ανελαστικών φασμάτων για διάφορες πλαστιμότητες. Υπενθυμίζεται ότι καθώς η πραγματική διαθέσιμη πλαστιμότητα της κατασκευής με την ιδιοπερίοδο ελέγχου δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστεί, έγινε η θεώρηση ότι η διαθέσιμη πλαστιμότητα ταυτίζεται με αυτή που προτείνεται κατά τον σχεδιασμό από τον EC8, γεγονός που δεν μας επιτρέπει να θεωρήσουμε ακριβή τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αλλά να τα χρησιμοποιήσουμε μόνο σαν έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση σε μελλοντικές εργασίες που θα αποδείξουν την επάρκεια ή μη των φασμάτων του EC8

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που σχολιάζονται στην παράγραφο 6.3.1, μπορούμε να δούμε ότι στην εδαφική κατηγορία B σημειώθηκαν οι περισσότερες υπερβάσεις της διαθέσιμης πλαστιμότητας όσον αφορά τον έλεγχο για σχεδιασμό με το ανελαστικό φάσμα του EC8 και ιδιαίτερα στην ομάδα Z2-0.24g. Ωστόσο κατά τον σχεδιασμό με το βελτιωμένο φάσμα που προτείνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία, σε καμία από τις ελεγχόμενες καταγραφές δεν σημειώθηκε υπέρβαση της διαθέσιμης πλαστιμότητας. Το τελευταίο δείχνει ότι το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού του EC8 στον παρόν προσεγγιστικό έλεγχο φαίνεται να είναι ανεπαρκές, ενώ οι προτάσεις βελτίωσης που προέκυψαν από την παρούσα εργασία (αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.20 σε S=2.00 και του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00) φαίνεται να είναι σκόπιμες και να οδηγούν σε σχεδιασμό που παρέχει μεγαλύτερη επάρκεια και επομένως ασφάλεια, έναντι των πιθανών διεγέρσεων που μπορούν να καταγραφούν σε εδαφικούς σχηματισμούς κατηγορίας B. Σημειώνεται ότι οι καταγραφές για τις οποίες παρουσιάστηκε ανεπάρκεια σύμφωνα με το σχεδιασμό με το ανελαστικό φάσμα του EC8 ήταν κατά κύριο λόγο καταγραφές που περιείχαν παλμό κατευθυντικότητας.

Στην εδαφική κατηγορία C σε όλες τις ομάδες κατηγοριοποίησης επιτάχυνσης σημειώθηκαν λιγότερες υπερβάσεις της διαθέσιμης πλαστιμότητας όσον αφορά τον έλεγχο για σχεδιασμό σύμφωνα με το ανελαστικό φάσμα του EC8 σε σχέση με την εδαφική κατηγορία B και αφορούσαν κυρίως και σε αυτή την εδαφική κατηγορία καταγραφές που περιείχαν παλμό κατευθυντικότητας και παρουσίαζαν μεγαλύτερες φασματικές τιμές από αυτές του κανονισμού για περιόδους μεγαλύτερες από T=0.50sec. Ωστόσο κατά τον έλεγχο με σχεδιασμό που έγινε για σχεδιασμό σύμφωνα με το βελτιωμένο φάσμα, το οποίο προτείνεται βάσει των αποτελεσμάτων της εργασίας και περιέχει αυξημένο συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.15 σε S=1.75, δεν σημειώθηκαν υπερβάσεις της διαθέσιμης πλαστιμότητας για τις καταγραφές που ελέχθηκαν. Αυτό συνεπάγεται ότι η τροποποίηση που προτείνεται και αφορά μόνο το συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης οδηγεί σε επαρκές φάσμα σχεδιασμού που καλύπτει ακόμα και καταγραφές με τοπικές φασματικές ενισχύσεις σε μεγάλες περιόδους, χωρίς να είναι αναγκαίο από ότι φάνηκε να τροποποιηθούν η χαρακτηριστική περίοδος T_c και ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης β.

Στην εδαφική κατηγορία D από το συνολικό δείγμα των καταγραφών που ελέχθησαν μόνο δύο απαίτησαν μεγαλύτερη πλαστιμότητα από την διαθέσιμη κατά τον έλεγχο για σχεδιασμό με το ανελαστικό φάσμα του EC8, μία στην ομάδα επιταχύνσεων Z1-0.16g και μία στην ομάδα Z3-0.36g. Οι αλλαγές που προτάθηκαν βάσει των αποτελεσμάτων της εργασίας, επειδή οδηγούν σε μείωση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.35 σε S=1.26 και ταυτόχρονα δεν τροποποιούν επαυξητικά τον συντελεστή φασματικής ενίσχυσης φαίνεται να επιβαρύνουν την εικόνα του λόγου απαιτούμενης πλαστιμότητας προς την διαθέσιμη, αυξάνοντας τον αριθμό των καταγραφών για τις οποίες σημειώνεται ανεπάρκεια κατά τον σχεδιασμό με το βελτιωμένο φάσμα. Παρόλο που στην προτεινόμενη βελτίωση η χαρακτηριστική περίοδος T_c αυξάνεται από 0.80sec σε 0.90sec φαίνεται να μην επαρκεί για να καλύψει τις πολύ μεγάλες φασματικές τιμές που σημειώνονται σε περιόδους μεγαλύτερες των T=1.0sec. Επομένως για αυτή την εδαφική κατηγορία ο συντελεστής εδαφικής ενίσχυσης συνίσταται να παραμείνει S=1.35 και ίσως είναι σκόπιμο να αυξηθεί η περίοδος T_C στην τιμή 0.90sec.

Στην εδαφική κατηγορία E σε όλες τις ομάδες επιταχύνσεων σημειώθηκαν λίγες υπερβάσεις της διαθέσιμης πλαστιμότητας για κάποιες από τις καταγραφές που ελέχθησαν με βάση τον σχεδιασμό κατά EC8. Οι συγκεκριμένες καταγραφές κατά τον έλεγχο με βάση τον σχεδιασμό σύμφωνα με το βελτιωμένο φάσμα που προτείνεται στην παρούσα εργασία, παρουσίασαν επάρκεια έναντι της διαθέσιμης πλαστιμότητας. Το τελευταίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι προτεινόμενες βελτιώσεις (αύξηση του συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης από S=1.40 σε S=1.90 και του συντελεστή φασματικής ενίσχυσης από β=2.50 σε β=3.00) οδηγεί σε ελαστικό φάσμα που παρέχει μεγαλύτερη επάρκεια έναντι των πιθανών διεγέρσεων που μπορούν καταγραφούν στην επιφάνεια.

6.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια αξιολόγησης των ελαστικών φασμάτων σχεδιασμού του EC8 με την επιλογή περιορισμένου αριθμού καταγραφών και την διενέργεια αναλύσεων σε συγκεκριμένο αριθμό εδαφικών προφίλ που δημιουργήθηκαν με σκοπό να αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές κατηγορίες του EC8. Επειδή η επιλογή των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των προφίλ που δημιουργήθηκαν ήταν υποκειμενική, σε επομένη εργασία θα είχε ενδιαφέρον η επέκταση της διερεύνησης με την δημιουργία περισσότερων εδαφικών προφίλ με διαφορετική στρωματογραφία και ιδιότητες με στόχο την επιβεβαίωση ή μη των εξαγόμενων αποτελεσμάτων όσον αφορά τον συντελεστή εδαφικής ενίσχυσης και τις τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων.

Επιπλέον τα αποτελέσματα του προσεγγιστικού ελέγχου που πραγματοποιήθηκε με τις ανελαστικές αναλύσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εφαλτήριο για περαιτέρω έρευνα σε πραγματικές κατασκευές, με ιδιοπεριόδους μετά την διγραμμικοποίηση του φάσματος ικανότητας παρομοιότυπες με αυτές του ελέγχου. Για τις κατασκευές αυτές προτείνεται να πραγματοποιηθούν αναλύσεις Push-over, με σκοπό την εκτίμηση της πραγματικής διαθέσιμης πλαστιμότητας της εκάστοτε κατασκευής. Η διενέργεια αυτών των αναλύσεων θα επιτρέψει την εξαγωγή εμπεριστατωμένων συμπερασμάτων για την επάρκεια ή μη των φασμάτων του EC8 ως προς καταγραφές που αποκλίνουν από τις τιμές του φάσματος του EC8. Στους πίνακες που ακολουθούν συνοψίζονται οι καταγραφές που σύμφωνα με τον έλεγχο είναι πιθανό να οδηγούν σε υπερβάσεις της διαθέσιμης πλαστιμότητας για ανελαστικό σχεδιασμό σύμφωνα με τον κανονισμό του EC8.

Εδαφική κατηγορία Β			
Ομάδα επιτάχυνσης	Περίοδος ελέγχου $T_{πρ}$ (sec)	Σεισμικό συμβάν- Σταθμός	Κωδικός καταγραφής
Z1	0.32	Tottori, 2000 - SMN015	B2-TOT-NS
Z1	0.58	Parkfield, 2004 - Slack Canyon	RSN: 4097-090
Z1	1.46	Cape Mendocino, 1992 - Bunker Hill FAA	RSN: 3744-270
Z2	0.38	Tottori, 2000 - SMNH10	B2-TOTSM10-EW
Z2	0.54	Kocaeli, Turkey, 1999 - Gebze	B1-GEZBE
Z2	0.64	Parkfield, 2004 - Slack Canyon	RSN: 4097-360
Z2	1.02 2.60	Northridge-01, 1994 - Jensen Filter Plant Administrative Building	RSN: 982-022
Z2	1.20	Kobe, Japan, 1995 - Kobe University	B1-KOBE-NS
Z3	1.14	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - TCU052	B5-TCU052

Πίνακας 6.16 : Προτεινόμενες διεγέρσεις ελέγχου για την εδαφική κατηγορία Β

Εδαφική κατηγορία C			
Ομάδα επιτάχυνσης	Περίοδος ελέγχου $T_{πρ}$ (sec)	Σεισμικό συμβάν- Σταθμός	Κωδικός καταγραφής
Z1	0.54	Loma Prieta, 1989 - Gilroy Array #4	RSN: 768-090
Z1	2.82	Kocaeli, Turkey, 1999 - Yarimca	RSN: 1176-060
Z2	0.42	Kobe, Japan, 1995 - Kobe University	C3-KOBE-EW
Z2	0.86	Parkfield, 2004 - Fault Zone 12	RSN: 4115-090
Z3	1.12	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - TCU052	C3-TCU052
Z3	1.80	Superstition Hills-02, 1987 - Parachute Test Site	RSN: 723-022
Z3	2.46	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - TCU068	C3-TCU068

Πίνακας 6.17 : Προτεινόμενες διεγέρσεις ελέγχου για την εδαφική κατηγορία C

Εδαφική κατηγορία D			
Ομάδα επιτάχυνσης	Περίοδος ελέγχου $T_{πρ}$ (sec)	Σεισμικό συμβάν- Σταθμός	Κωδικός καταγραφής
Z1	0.64	Loma Prieta, 1989 - Foster City - APEEL1	RSN: 759-090
Z3	2.44	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - TCU068	D2 - TCU068

Πίνακας 6.18 : Προτεινόμενες διεγέρσεις ελέγχου για την εδαφική κατηγορία D

Εδαφική κατηγορία E			
Ομάδα επιτάχυνσης	Περίοδος ελέγχου $T_{πρ}$ (sec)	Σεισμικό συμβάν- Σταθμός	Κωδικός καταγραφής
Z1	0.60	Kocaeli, Turkey, 1999 - Izmit	ED2-IZMIT
Z1	0.80	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - HWA003	ED1-Chi-N
Z2	0.74	Kobe, Japan, 1995 - Kobe University	ED2-KOBE-EW
Z3	0.76	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - TCU084	ED2-ChiTC84-N
Z3	2.48	Chi-Chi, Taiwan, 1999 - TCU068	EC1-TCU068

Πίνακας 6.19 : Προτεινόμενες διεγέρσεις ελέγχου για την εδαφική κατηγορία E

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aki K. & Chin B.H., Local site effects on weak and strong ground motion, Dept. of Geological Sciences, University of Southern California, USA

- Bray J.D., Rodriguez-Marek A., Gillie J.L., Design fround motions near active faults, Bulletin of the New Zealand Society for earthquake engineering,Vol. 42, No.1, March 2009

- Consortium of Organizations for Strong Motion Observation Systems, Effects of Strong Motion Processing Procedures on Time Histories, Elastic, and Inelastic Spectra Sponsors, USGS, COSMOS

- Rodriguez-Marek A., Bray J., Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24 (2004), p.815-825

- Hung Leung Wong, Analysis of vibrations and infrastructure deterioration caused by high-speed rail transit, December 2005, University of Southern California

- Kramer S.L., (1996),. “Geotechnical Earthquake Engineering”, Prentice Hall

- Kramer S.L., Analysis of Turkey flat ground motion prediction experiment-Lessons learned and implifications for practice, SMIP09 Seminar Proceedings

- Somerville P.G.,Smith N.F.,Graves R.W.,Abrahamson N.A., Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity, Seismol Res Lett, 68 (1) (1997), p. 199–222

- Users Manual for the PEER Ground Motion Database Web application

- Users Manual SHAKE2000, A Computer Program for the 1 D Analysis of Geotechnical Earthquake Engineering Problems, AmeriTech Engineering.

- Stewart J.P., Chiou S.J., Bray J.D., Graves R.W., Somerville P.G., Abrahamson N.A., Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design, Peer Report 2001/09, University of California Berkeley
- Thompson E., Silva W., Empirical Assessment of Site Amplification and Development of NEHRP Factors for CEUS: Collaborative Research with Pacific Engineering and Tufts University, USGS, COSMOS
- Γκαζέτας Γ., Σημειώσεις Εδαφοδυναμικής, Εκδόσεις ΕΜΠ, 2007
- Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός Σχεδιασμός Μέρος 1 : Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια EN 1998-1 : 2004
- Καρδούτσου Β., Διερεύνηση της επιρροής του εδάφους στα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού για σεισμούς κοντινού πεδίου, Αθήνα 2011
- Καρύδης Π.Γ., Ταφλαμπάς Ι.Μ., Τεχνική σεισμολογία, Σημειώσεις μαθήματος, Μάϊος 2007
- Κορρέ Ε, Εδαφική επιρροή στα ελαστικά φάσματα σχεδιασμού στους σεισμούς κοντινού πεδίου, Αθήνα 2011
- Πιτιλάκης Κ., Αναστασιάδης Α., Μάνου Δ., Ελαστικά Φάσματα Απαίτησης σε διαφορετικές εδαφικές συνθήκες, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Νοέμβριος 2008.
- Πιτιλάκης Κ., Γεωτεχνική Σεισμική Μηχανική, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- Ψυχάρης Γ.Ν., Σημειώσεις μαθήματος Αντισεισμικής Τεχνολογίας 1
- Ψυχάρης Γ.Ν., Αντισεισμικός σχεδιασμός με στάθμες επιτελεστικότητας, Σημειώσεις για το μάθημα Αντισεισμική Τεχνολογία 2, 2010
- http://www.kyoshin.bosai.go.jp/
- http://egdt.ncree.org.tw/news_eng.htm
- http://peer.berkeley.edu/
- http://strongmotioncenter.org/

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	$V_{s,30}$(m/s)	Ζώνη
1	57	San Fernando	1971	Castaic - Old Ridge Route	-	0,21	0,320	6,61	19,33	450,28	Z2
2	57	San Fernando	1971	Castaic - Old Ridge Route	-	291	0,275	6,61	19,33	450,28	Z2
3	70	San Fernando	1971	Lake Hughes #1	-	021	0,151	6,61	22,23	425,34	Z1
4	71	San Fernando	1971	Lake Hughes #12	-	021	0,382	6,61	13,99	602,10	Z2
5	71	San Fernando	1971	Lake Hughes #12	-	291	0,282	6,61	13,99	602,10	Z2
6	78	San Fernando	1971	Palmdale Fire Station	-	210	0,151	6,61	24,16	452,86	Z1
7	139	Tabas, Iran	1978	Dayhook	-	L1	0,324	7,35	0,00	471,53	Z2
8	139	Tabas, Iran	1978	Dayhook	-	T1	0,409	7,35	0,00	471,53	Z2
9	150	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6	1,232	230	0,422	5,74	0,42	663,31	Z3
10	150	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6	1,232	320	0,319	5,74	0,42	663,31	Z2
11	164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	-	147	0,168	6,53	15,19	471,53	Z1
12	164	Imperial Valley-06	1979	Cerro Prieto	-	237	0,157	6,53	15,19	471,53	Z1
13	190	Imperial Valley-06	1979	Superstition Mtn Camera	-	135	0,202	6,53	24,61	362,38	Z1
14	459	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	1,232	000	0,223	6,19	9,85	663,31	Z1
15	459	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6	1,232	090	0,292	6,19	9,85	663,31	Z2
16	537	N. Palm Springs	1986	Silent Valley - Poppet Flat	-	000	0,145	6,06	16,55	659,09	Z1
17	648	Whittier Narrows-01	1987	La Crescenta - New York	-	180	0,149	5,99	19,28	411,55	Z1
18	675	Whittier Narrows-01	1987	Pasadena - CIT Athenaeum	-	180	0,172	5,99	4,18	415,13	Z1
19	753	Loma Prieta	1989	Corralitos	-	090	0,483	6,93	0,16	462,24	Z3
20	769	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #6	-	090	0,171	6,93	17,92	663,31	Z1

Πίνακας ΠΑ Ι : Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία Β από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	$V_{s,30}$(m/s)	Ζώνη
21	779	Loma Prieta	1989	LGPC	-	000	0,570	6,93	0,00	594,83	Z3
22	779	Loma Prieta	1989	LGPC	-	090	0,607	6,93	0,00	594,83	Z3
23	802	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	4,571	000	0,514	6,93	7,58	380,89	Z3
24	802	Loma Prieta	1989	Saratoga - Aloha Ave	4,571	090	0,326	6,93	7,58	380,89	Z2
25	832	Landers	1992	Amboy	-	090	0,146	7,28	69,21	382,93	Z1
26	982	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Administrative Building	3,157	022	0,411	6,69	0,00	373,07	Z3
27	983	Northridge-01	1994	Jensen Filter Plant Generator Building	3,535	022	0,571	6,69	0,00	525,79	Z3
28	1013	Northridge-01	1994	LA Dam	1,617	064	0,426	6,69	0,00	628,99	Z3
29	1013	Northridge-01	1994	LA Dam	1,617	334	0,324	6,69	0,00	628,99	Z2
30	1055	Northridge-01	1994	Pasadena - N Sierra Madre	-	180	0,263	6,69	35,77	397,27	Z1
31	1055	Northridge-01	1994	Pasadena - N Sierra Madre	-	270	0,189	6,69	35,77	397,27	Z1
32	1111	Kobe, Japan	1995	Nishi-Akashi	-	000	0,483	6,90	7,08	609,00	Z3
33	1111	Kobe, Japan	1995	Nishi-Akashi	-	090	0,464	6,90	7,08	609,00	Z3
34	1160	Kocaeli, Turkey	1999	Fatih	-	000	0,188	7,51	53,34	386,75	Z1
35	1160	Kocaeli, Turkey	1999	Fatih	-	090	0,162	7,51	53,34	386,75	Z1
36	1482	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU039	9,331	E	0,197	7,62	19,89	540,66	Z1
37	1499	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU060	-	E	0,201	7,62	8,51	375,42	Z1
38	1500	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU061	-	N	0,157	7,62	17,17	379,64	Z1
39	1510	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075	4,998	E	0,332	7,62	0,89	573,02	Z2
40	1510	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU075	4,998	N	0,263	7,62	0,89	573,02	Z1

Πίνακας ΠΑ 11 : Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία Β από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	$V_{s,30}$(m/s)	Ζώνη
41	1642	Sierra Madre	1991	Cogswell Dam - Right Abutment	-	065	0,264	5,61	17,79	680,37	Z1
42	1642	Sierra Madre	1991	Cogswell Dam - Right Abutment	-	155	0,302	5,61	17,79	680,37	Z2
43	1645	Sierra Madre	1991	Mt Wilson - CIT Seis Sta	-	000	0,276	5,61	2,64	680,37	Z2
44	1645	Sierra Madre	1991	Mt Wilson - CIT Seis Sta	-	090	0,200	5,61	2,64	680,37	Z1
45	1787	Hector Mine	1999	Hector	-	000	0,265	7,13	10,35	726,00	Z1
46	1787	Hector Mine	1999	Hector	-	090	0,328	7,13	10,35	726,00	Z2
47	3473	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	TCU078	4,151	E	0,266	6,30	5,72	443,04	Z1
48	3473	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	TCU078	4,151	N	0,387	6,30	5,72	443,04	Z2
49	3744	Cape Mendocino	1992	Bunker Hill FAA	5,362	270	0,177	7,01	8,49	566,42	Z1
50	3744	Cape Mendocino	1992	Bunker Hill FAA	5,362	360	0,206	7,01	8,49	566,42	Z1
51	3928	Tottori, Japan	2000	OKYH10	-	NS	0,287	6,61	46,36	553,65	Z2
52	4065	Parkfield-02, CA	2004	PARKFIELD - EADES	1,218	90	0,318	6,00	1,37	383,90	Z2
53	4065	Parkfield-02, CA	2004	PARKFIELD - EADES	1,218	360	0,391	6,00	1,37	383,90	Z2
54	4097	Parkfield-02, CA	2004	Slack Canyon	0,854	090	0,211	6,00	1,60	648,09	Z1
55	4097	Parkfield-02, CA	2004	Slack Canyon	0,854	360	0,349	6,00	1,60	648,09	Z2
56	4101	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 3E	0,518	90	0,519	6,00	4,95	397,36	Z3
57	4103	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 4W	0,7	90	0,575	6,00	3,30	410,40	Z3
58	4103	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 4W	0,7	360	0,515	6,00	3,30	410,40	Z3
59	4113	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Fault Zone 9	1,134	90	0,153	6,00	1,22	372,26	Z1
60	4227	Niigata, Japan	2004	NIGH10	-	NS	0,218	6,63	39,17	653,28	Z1
61	6060	Big Bear-01	1992	North Palm Springs Fire Sta #36	-	090	0,142	6,46	40,87	367,84	Z1

Πίνακας ΠΑ ΙΙΙ : Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία Β από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	Vs30(m/s)	Ζώνη
1	31	Parkfield	1966	Cholame - Shandon Array #8	-	50	0,248	6,19	12,90	256,82	Z1
2	31	Parkfield	1966	Cholame - Shandon Array #8	-	320	0,272	6,19	12,90	256,82	Z2
3	34	Northern Calif-05	1967	Ferndale City Hall	-	224	0,253	5,60	27,36	219,31	Z1
4	147	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #2	1,463	50	0,191	5,74	8,47	270,84	Z1
5	147	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #2	1,463	140	0,256	5,74	8,47	270,84	Z1
6	148	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #3	1,155	50	0,252	5,74	6,75	349,85	Z1
7	148	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #3	1,155	140	0,256	5,74	6,75	349,85	Z1
8	149	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #4	1,351	360	0,252	5,74	4,79	221,78	Z1
9	266	Victoria, Mexico	1980	Chihuahua	-	102	0,151	6,33	18,53	242,05	Z1
10	314	Westmorland	1981	Brawley Airport	-	225	0,155	5,90	15,28	208,71	Z1
11	314	Westmorland	1981	Brawley Airport	-	315	0,165	5,90	15,28	208,71	Z1
12	315	Westmorland	1981	Niland Fire Station	-	090	0,176	5,90	15,16	212,00	Z1
13	316	Westmorland	1981	Parachute Test Site	4,389	225	0,232	5,90	16,54	348,69	Z1
14	316	Westmorland	1981	Parachute Test Site	4,389	315	0,149	5,90	16,54	348,69	Z1
15	317	Westmorland	1981	Salton Sea Wildlife Refuge	-	225	0,195	5,90	7,57	191,14	Z1
16	317	Westmorland	1981	Salton Sea Wildlife Refuge	-	315	0,182	5,90	7,57	191,14	Z1
17	319	Westmorland	1981	Westmorland Fire Sta	-	090	0,377	5,90	6,18	193,67	Z2
18	319	Westmorland	1981	Westmorland Fire Sta	-	180	0,499	5,90	6,18	193,67	Z3
19	456	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #2	-	000	0,162	6,19	13,68	270,84	Z1
20	456	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #2	-	090	0,213	6,19	13,68	270,84	Z1

Πίνακας ΠΑ IV : Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία C από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	Vs30(m/s)	Ζώνη
21	457	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #3	-	000	0,195	6,19	13,01	349,85	Z1
22	457	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #3	-	090	0,201	6,19	13,01	349,85	Z1
23	458	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #4	-	270	0,224	6,19	11,53	221,78	Z1
24	458	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #4	-	360	0,349	6,19	11,53	221,78	Z2
25	460	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #7	-	000	0,191	6,19	12,06	333,85	Z1
26	461	Morgan Hill	1984	Halls Valley	-	150	0,156	6,19	3,45	281,61	Z1
27	461	Morgan Hill	1984	Halls Valley	-	240	0,312	6,19	3,45	281,61	Z2
28	503	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00	-	NS	0,233	6,32	58,69	309,41	Z1
29	503	Taiwan SMART1(40)	1986	SMART1 C00	-	EW	0,174	6,32	58,69	309,41	Z1
30	720	Superstition Hills-02	1987	Calipatria Fire Station	-	225	0,190	6,54	27,00	205,78	Z1
31	720	Superstition Hills-02	1987	Calipatria Fire Station	-	315	0,259	6,54	27,00	205,78	Z1
32	721	Superstition Hills-02	1987	El Centro Imp. Co. Cent	-	000	0,357	6,54	18,20	192,05	Z2
33	721	Superstition Hills-02	1987	El Centro Imp. Co. Cent	-	090	0,259	6,54	18,20	192,05	Z1
34	723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	2,394	225	0,432	6,54	0,95	348,69	Z3
35	723	Superstition Hills-02	1987	Parachute Test Site	2,394	315	0,384	6,54	0,95	348,69	Z2
36	725	Superstition Hills-02	1987	Poe Road (temp)	-	270	0,475	6,54	11,16	316,64	Z3
37	725	Superstition Hills-02	1987	Poe Road (temp)	-	360	0,286	6,54	11,16	316,64	Z2
38	728	Superstition Hills-02	1987	Westmorland Fire Sta	-	090	0,173	6,54	13,03	193,67	Z1
39	728	Superstition Hills-02	1987	Westmorland Fire Sta	-	180	0,211	6,54	13,03	193,67	Z1
40	764	Loma Prieta	1989	Gilroy - Historic Bldg.	1,638	296	0,285	6,93	10,27	308,55	Z2
41	764	Loma Prieta	1989	Gilroy - Historic Bldg.	1,638	250	0,242	6,93	10,27	308,55	Z1

Πίνακας ΠΑ V : Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία C από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	Vs30(m/s)	Ζώνη
42	766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	1,729	000	0,370	6,93	10,38	270,84	Z2
43	766	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #2	1,729	090	0,323	6,93	10,38	270,84	Z2
44	767	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #3	2,639	000	0,559	6,93	12,23	349,85	Z3
45	767	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #3	2,639	090	0,368	6,93	12,23	349,85	Z2
46	768	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #4	-	000	0,419	6,93	13,81	221,78	Z3
47	768	Loma Prieta	1989	Gilroy Array #4	-	090	0,216	6,93	13,81	221,78	Z1
48	949	Northridge-01	1994	Arleta - Nordhoff Fire Sta	-	090	0,345	6,69	3,30	297,71	Z2
49	949	Northridge-01	1994	Arleta - Nordhoff Fire Sta	-	360	0,308	6,69	3,30	297,71	Z2
50	968	Northridge-01	1994	Downey - Co Maint Bldg	-	270	0,158	6,69	43,20	271,90	Z1
51	968	Northridge-01	1994	Downey - Co Maint Bldg	-	090	0,230	6,69	43,20	271,90	Z1
52	1158	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce	-	180	0,312	7,51	13,60	281,86	Z2
53	1158	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce	-	270	0,364	7,51	13,60	281,86	Z2
54	1176	Kocaeli, Turkey	1999	Yarimca	4,949	060	0,227	7,51	1,38	297,00	Z1
55	1176	Kocaeli, Turkey	1999	Yarimca	4,949	150	0,322	7,51	1,38	297,00	Z2
56	4098	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 1E	1,33	090	0,440	6,00	1,66	326,64	Z3
57	4098	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 1E	1,33	360	0,361	6,00	1,66	326,64	Z2
58	4102	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 3W	1,022	090	0,326	6,00	2,55	230,57	Z2
59	4102	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 3W	1,022	360	0,579	6,00	2,55	230,57	Z3
60	4115	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Fault Zone 12	1,19	090	0,276	6,00	0,88	265,21	Z2
61	4115	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Fault Zone 12	1,19	360	0,307	6	0,88	265,21	Z2

Πίνακας ΠΑ VI: Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία C από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.

	RSN	Σεισμός	Χρονιά	Σταθμός	Tp(s)	Συνιστώσα	PGA (g)	M	Rjb(km)	Vs30(m/s)	Ζώνη
1	178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	4,501	140	0,267	6,53	10,79	162,94	Z1
2	178	Imperial Valley-06	1979	El Centro Array #3	4,501	230	0,223	6,53	10,79	162,94	Z1
3	729	Superstition Hills-02	1987	Imperial Valley Wildlife Array	-	090	0,179	6,54	23,85	179,00	Z1
4	729	Superstition Hills-02	1987	Imperial Valley Wildlife Array	-	360	0,208	6,54	23,85	179,00	Z1
5	732	Loma Prieta	1989	APEEL 2 - Redwood City	-	043	0,274	6,93	43,06	133,11	Z1
6	732	Loma Prieta	1989	APEEL 2 - Redwood City	-	133	0,220	6,93	43,06	133,11	Z1
7	759	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1	-	000	0,258	6,93	43,77	116,35	Z1
8	759	Loma Prieta	1989	Foster City - APEEL 1	-	090	0,284	6,93	43,77	116,35	Z1
9	1209	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY047	-	N	0,181	7,62	24,13	169,52	Z1
10	1209	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY047	-	W	0,169	7,62	24,13	169,52	Z1
11	3282	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	CHY047	-	N	0,234	6,30	53,54	169,52	Z1
12	3282	Chi-Chi, Taiwan-06	1999	CHY047	-	W	0,162	6,30	53,54	169,52	Z1
13	3934	Tottori, Japan	2000	SMN002	-	EW	0,179	6,61	16,60	138,76	Z1
14	3934	Tottori, Japan	2000	SMN002	-	NS	0,154	6,61	16,60	138,76	Z1
15	3965	Tottori, Japan	2000	TTR008	1,54	EW	0,391	6,61	6,86	139,21	Z2
16	3965	Tottori, Japan	2000	TTR008	1,54	NS	0,320	6,61	6,86	139,21	Z2
17	4100	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 2WA	1,078	090	0,624	6,00	1,63	173,02	Z3
18	4100	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Cholame 2WA	1,078	360	0,373	6,00	1,63	173,02	Z2
19	4107	Parkfield-02, CA	2004	Parkfield - Fault Zone 1	1,19	090	0,605	6,00	0,02	178,27	Z3
20	5665	Iwate, Japan	2008	MYG006	-	EW	0,237	6,90	30,38	146,72	Z1
21	5665	Iwate, Japan	2008	MYG006	-	NS	0,243	6,90	30,38	146,72	Z1

Πίνακας ΠΑ VII : Οι καταγραφές που χρησιμοποιήθηκαν για την εδαφική κατηγορία D από τη βάση δεδομένων NGA και τα δεδομένα τους.