

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ
ΑΠΟ Ω.Σ. ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ
OPENSEES

ΚΑΛΥΒΙΩΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον αναπληρωτή καθηγητή κ. Ι. Ψυχάρη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και τη συμπαράσταση που προσέφερε καθ' όλη τη μεταξύ μας συνεργασία.

Ευχαριστώ επίσης τον συνεργάτη του εργαστηρίου Αντισεισμικής Τεχνολογίας κ. Ι. Ταφλαμπά καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Π. Μίμογλου για το ειλικρινές ενδιαφέρον που επέδειξαν στην επίλυση των προβλημάτων που προέκυπταν, για την προσφορά των σεισμικών καταγραφών που χρησιμοποιήθηκαν και τη σημαντική βοήθεια στην εκμάθηση των προγραμμάτων OpenSees και SAP2000.

Θα πρέπει ακόμα να ευχαριστήσω την LH Λογισμική για την παροχή της άδειας χρήσεως του προγράμματος ανάλυσης και διαστασιολόγησης MASTER 10.

Τέλος ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην αρχιτέκτονα μηχανικό κα Μ. Καλυβιώτη που επιμελήθηκε του εξωφύλλου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ	11
1.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	12
1.1.1. ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ	12
1.1.2. ΕΝ ΧΡΟΝΩ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	13
1.2. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	13
1.2.1. ΣΤΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	14
1.2.1.1. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ	14
1.2.1.2. ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ	16
1.2.2. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	19
2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	21
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	22
2.2.1. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ	22
2.2.2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q	24
2.2.3. ΥΛΙΚΑ	26
2.2.3.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	26
2.2.3.2. ΧΑΛΥΒΑΣ	26
2.2.4. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ	26
2.3. ΤΡΙΩΡΟΦΟ	27
2.3.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	28
2.3.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	29
2.3.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΜΕΛΩΝ	29
2.3.3.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	29
2.3.3.2. ΔΟΚΟΙ	33
2.4. ΕΞΑΩΡΟΦΟ	40
2.4.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	41
2.4.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	42
2.4.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΜΕΛΩΝ	43
2.4.3.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	43
2.4.3.2. ΔΟΚΟΙ	50
2.5. ΔΩΔΕΚΑΩΡΟΦΟ	63
2.5.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	64
2.5.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	65
2.5.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΜΕΛΩΝ	66
2.5.3.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	66
2.5.3.2. ΔΟΚΟΙ	79
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ OPENSEES	105
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	105
3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΟΡΕΑ	106
3.2.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	106
3.2.2. ΥΛΙΚΑ	107

3.2.2.1.	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	107
3.2.2.2.	ΧΑΛΥΒΑΣ	110
3.2.3.	ΔΙΑΤΟΜΕΣ	114
3.2.4.	ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	115
3.2.4.1.	ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ	115
3.2.4.2.	ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΟΚΟΥ	117
3.2.4.3.	ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	118
3.2.5.	ΜΑΖΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ – ΦΟΡΤΙΑ	118
3.2.6.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	119
3.3.	ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER	121
3.4.	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	123
4.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	125
5.	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΧΩΡΙΣ Ρ-Δ	175
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	175
5.2.	ΤΡΙΩΡΟΦΟ	176
5.2.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ	176
5.2.2.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ	178
5.2.3.	LOADCONTROL PUSHOVER	180
5.2.4.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ	181
5.2.5.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER	183
5.2.6.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	187
5.2.7.	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	189
5.2.8.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ	192
5.2.9.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $R_\mu - \mu$	194
5.3.	ΕΞΑΩΡΟΦΟ	216
5.3.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ	217
5.3.2.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ	219
5.3.3.	LOADCONTROL PUSHOVER	221
5.3.4.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ	222
5.3.5.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER	224
5.3.6.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	228
5.3.7.	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	230
5.3.8.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ	233
5.3.9.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $R_\mu - \mu$	235
5.4.	ΔΩΔΕΚΑΩΡΟΦΟ	261
5.4.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ	262
5.4.2.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ	264
5.4.3.	LOADCONTROL PUSHOVER	266
5.4.4.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ	267
5.4.5.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER	268
5.4.6.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	273
5.4.7.	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	275
5.4.8.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ	278
5.4.9.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $R_\mu - \mu$	280
6.	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΜΕ Ρ-Δ	303
6.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	303

6.2.	ΤΡΙΩΡΟΦΟ	305
6.2.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ	305
6.2.2.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ	307
6.2.3.	LOADCONTROL PUSHOVER	309
6.2.4.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ	310
6.2.5.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER	312
6.2.6.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	316
6.2.7.	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	318
6.2.8.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ	321
6.2.9.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $R_\mu - \mu$	323
6.3.	ΕΞΑΩΡΟΦΟ	345
6.3.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ	346
6.3.2.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ	348
6.3.3.	LOADCONTROL PUSHOVER	350
6.3.4.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ	351
6.3.5.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER	353
6.3.6.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	357
6.3.7.	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	359
6.3.8.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ	362
6.3.9.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $R_\mu - \mu$	364
6.4.	ΔΩΔΕΚΑΩΡΟΦΟ	390
6.4.1.	ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ	391
6.4.2.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ	393
6.4.3.	LOADCONTROL PUSHOVER	395
6.4.4.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ	396
6.4.5.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER	397
6.4.6.	ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ	402
6.4.7.	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	404
6.4.8.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ	407
6.4.9.	ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ $R_\mu - \mu$	409
7.	ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ	431
7.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	431
7.2.	ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ	432
7.3.	ΜΟΡΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER	436
7.4.	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ	442
7.5.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ	445
7.6.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΤΟΧΙΑ	448
7.7.	ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ	453
7.8.	ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ	457
7.9.	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ $R_\mu - \mu$	461
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	465
9.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	473

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της ανελαστικής συμπεριφοράς πλαισιωτών κατασκευών χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα OpenSees. Οι κατασκευές που θα μελετηθούν θεωρήθηκε σκόπιμο να καλύπτουν μεγάλο εύρος δυσκαμψιών και γι' αυτό επιλέγονται τρεις πλαισιωτές κατασκευές με 3, 6 και 12 ορόφους. Μετά τη διαστασιολόγηση των φορέων πραγματοποιείται Στατική Ανάλυση pushover και ακολουθεί μια σειρά Δυναμικών Αναλύσεων με την επιβολή κατάλληλων επιταχυνσιογραφημάτων.

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε τρεις νοηματικές ενότητες:

- **Δημιουργία του μοντέλου**
- **Αποτελέσματα των αναλύσεων**
- **Συμπεράσματα**

Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει τις βασικές αρχές του αντισεισμικού σχεδιασμού και ελέγχου (Κεφάλαιο 1) τονίζοντας την έμφαση των κανονισμών στις ισοδύναμες στατικές μεθόδους εξαιτίας πολυπλοκότητας των δυναμικών. Στη συνέχεια πραγματοποιείται διαστασιολόγηση των τριών κατασκευών με βάση τους Ευρωκώδικες μέσω του προγράμματος FESPA 10 (Κεφάλαιο 2) και παρουσιάζεται το προσομοίωμα που αναπτύχθηκε στο πρόγραμμα OpenSees (Κεφάλαιο 3). Τέλος στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η διαδικασία επιλογής των χρονοϊστοριών που θα χρησιμοποιηθούν στις εν χρόνω δυναμικές ανελαστικές αναλύσεις και δίνονται τα σχετικά επιταχυνσιογραφήματα.

Στη δεύτερη ενότητα (Κεφάλαια 5 και 6) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατικών και δυναμικών αναλύσεων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επίδραση που έχουν τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως στην απόκριση των κατασκευών και γι' αυτό αφιερώνεται ξεχωριστό κεφάλαιο στην περίπτωση ενσωμάτωσης φαινομένων P-Δ.

Τέλος στην τρίτη ενότητα γίνεται σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών κατασκευών αλλά και των αποτελεσμάτων της ενσωμάτωσης ή όχι των φαινομένων δευτέρας τάξεως σε δεδομένη κατασκευή (Κεφάλαιο 7). Προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων που δίνει το OpenSees, η εξάρωση κατασκευή προσομοιώνεται στο πρόγραμμα SAP2000 και πραγματοποιείται ιδιομορφική και pushover ανάλυση. Τα συμπεράσματα συνοψίζονται στο Κεφάλαιο 8 και αφορούν στο μοντέλο προσομοίωσης και στην απόκριση λόγω στατικών και δυναμικών δράσεων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η σεισμική δράση επάνω στις κατασκευές εξαρτάται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που αποτελούν αντικείμενο πολλών περιοχών της επιστήμης και κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τα καθαρά σεισμολογικά δεδομένα, όπως παραδείγματος χάριν το μέγεθος του σεισμού, την εστία, το μηχανισμό γενέσεως κτλ. Στη δεύτερη περιέχονται όλα εκείνα τα γεωλογικά, γεωτεκτονικά, τοπογραφικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του μέσου διάδοσης των σεισμικών κυμάτων που τροποποιούν τη μορφή της σεισμικής διέγερσης ενώ τέλος η τρίτη κατηγορία αναφέρεται στη σεισμική απόκριση της ίδιας της κατασκευής. Είναι προφανές ότι η έκταση και η ποικιλία των παραπάνω παραγόντων δίνουν στη σεισμική δράση έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα που δεν απαντάται στα υπόλοιπα είδη εξωτερικών δράσεων.

Με τον όρο **σεισμική απόκριση** εννοούμε την ταλάντωση και κατ' επέκταση την παραμόρφωση και την ένταση που εμφανίζει μια κατασκευή για δεδομένη σεισμική διέγερση της βάσεως. Η πλέον ιδανική διαδικασία υπολογισμού της σεισμικής αποκρίσεως θα όφειλε να ξεκινάει από την επιβεβλημένη παλμική μετακίνηση του βραχώδους υποβάθρου και βάσει των νόμων της Δυναμικής να καταλήγει στον υπολογισμό της ταλαντώσεως του συμπλέγματος έδαφος – θεμελίωση – κατασκευή, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα φαινόμενα – γενικά μη γραμμικά – αποσβέσεως, παραμορφώσεως και αλληλεπίδρασης του συμπλέγματος αυτού. Από τις μετακινήσεις της ανωδομής υπολογίζεται στη συνέχεια η παραμόρφωση και η ένταση των δομικών στοιχείων, χωρίς να είναι απαραίτητος σε όλη αυτή τη διαδικασία ο υπολογισμός των αναπτυσσόμενων δυνάμεων αδρανείας ή αποσβέσεως· άλλωστε, οι δυνάμεις αυτές είναι χωροχρονικά μεταβλητές και η μεγιστοποίησή τους στις διάφορες θέσεις της κατασκευής γίνεται σε διαφορετικούς χρόνους.

Η παραπάνω όμως ιδανική διαδικασία προσδιορισμού της αποκρίσεως είναι πρακτικά ανεφάρμοστη, διότι προσκρούει σε πολλά εμπόδια προσομοιώματος τόσο της διεγέρσεως όσο και της συμπεριφοράς του εδάφους και της κατασκευής. Καταρχήν η καταγραφή της σεισμικής διεγέρσεως γίνεται στην ελεύθερη επιφάνεια και όχι στο βραχώδες υπόβαθρο· αλλά και στην ελεύθερη επιφάνεια οι διατιθέμενες καταγραφές από ισχυρές σεισμικές δονήσεις είναι λίγες αν όχι ανύπαρκτες για την περιοχή της προς μελέτη κατασκευής. Επίσης η μόρφωση αξιόπιστων μοντέλων υστερητικής συμπεριφοράς των κατασκευών και του εδάφους είναι πολύ δύσκολη και ο πειραματικός τους έλεγχος στη σεισμική τράπεζα συναντά δυσχέρειες.

Για τον πρακτικό λοιπόν αντισεισμικό σχεδιασμό και την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς γίνεται μια σειρά απλοποιήσεων, οι οποίες αρχίζουν από τη χονδρική αντιμετώπιση του προβλήματος αλληλεπίδρασης εδάφους – κατασκευής και καταλήγουν στην εκτίμηση της ανελαστικής συμπεριφοράς της ανωδομής με κατάλληλη διόρθωση της γραμμικά ελαστικής συμπεριφοράς, που υπολογίζεται ευκολότερα. Σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευών μπορεί να γίνει και ακριβέστερος υπολογισμός της ανελαστικής συμπεριφοράς, ανάλογα με τα διαθέσιμα σεισμολογικά στοιχεία, τη δομή και τη σπουδαιότητα του έργου.

1.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Οι βασικές μέθοδοι υπολογισμού των σεισμικών δράσεων είναι:

- **Επαλληλία Ιδιομορφών**
- **Εν Χρόνω Δυναμική Ανελαστική Ανάλυση**

1.1.1. ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ

Η επαλληλία ιδιομορφών είναι δυναμική προσέγγιση που βασίζεται στην παραδοχή ότι η δυναμική συμπεριφορά του φορέα μπορεί να βρεθεί με την εξέταση της ανεξάρτητης απόκρισης κάθε ιδιομορφής ταλάντωσης και στη συνέχεια της σύνθεσής τους. Το πλεονέκτημά της έγκειται στο γεγονός ότι γενικά λίγες μόνο από τις χαμηλότερες ιδιομορφές ταλάντωσης έχουν σημασία για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων στις διάφορες στάθμες της κατασκευής. Στην απλούστερη της μορφή, η απόκριση σε δεδομένο επιταχυνσιογράφημα για κάθε σημαντική ιδιομορφή υπολογίζεται ως χρονική ιστορία των δυνάμεων και των μετατοπίσεων και στη συνέχεια οι αποκρίσεις αυτές συνδυάζονται για να δώσουν την πλήρη χρονική ιστορία της απόκρισης του φορέα. Η παραπάνω μέθοδος όμως εμφανίζει πολλά μειονεκτήματα που καθιστούν σπάνια την εφαρμογή της, βασικότερο των οποίων είναι ότι προϋποθέτει γραμμικά ελαστική συμπεριφορά περιορίζοντας έτσι την εφαρμογή της σε μικρούς και μέτριους σεισμούς. Στην πράξη δεν εφαρμόζεται η χρονική επαλληλία των ιδιομορφικών αποκρίσεων αλλά η επαλληλία μόνο των μέγιστων τιμών τους (φασματική επαλληλία) που ενδιαφέρουν την διαστασιολόγηση. Το μεγάλο κέρδος εν προκειμένω, έγκειται στη δυνατότητα άμεσου υπολογισμού των μεγίστων αποκρίσεων βάσει της θεωρίας των φασμάτων απόκρισης ακόμα και στην ανελαστική περιοχή με τη βοήθεια ενός κατάλληλου συντελεστή συμπεριφοράς q . Επίσης πολύ σημαντικό είναι το όφελος και από την δυνατότητα καθορισμού "σεισμικών φορτίων" για κάθε ιδιομορφή ταλαντώσεως και γενικότερα η μετατροπή του δυναμικού προβλήματος σε ένα ισοδύναμο στατικό. Οι δυσκολίες εμφανίζονται στο βήμα της επαλληλίας των μεγίστων τιμών των επιμέρους ιδιομορφικών αποκρίσεων καθώς οι τιμές αυτές δεν πραγματοποιούνται ταυτόχρονα, καθιστώντας αδύνατη την απλή άθροιση. Στην περίπτωση που η συνεισφορά των ανώτερων ιδιομορφών είναι μικρή και μπορεί να αγνοηθεί, η φασματική μέθοδος μετασχηματίζεται στην **Μέθοδο Ανάλυσης Οριζόντιας Φόρτισης** και χρησιμοποιεί μόνο τις αποκρίσεις της 1^{ης} ιδιομορφής.

1.1.2. ΕΝ ΧΡΟΝΩ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η πιο εκλεπτυσμένη μέθοδος ανάλυσης, που είναι διαθέσιμη στο μελετητή για τους σκοπούς πρόβλεψης των δυνάμεων και μετατοπίσεων σχεδιασμού υπό την επίδραση του σεισμικού πλήγματος, είναι η εν χρόνω δυναμική ανελαστική ανάλυση. Αυτή περιλαμβάνει την επίλυση με αριθμητική ολοκλήρωση μικρού βήματος της εξίσωσης κίνησης:

$$[M] \cdot \ddot{u}(t) + [C] \cdot \dot{u}(t) + [K] \cdot u(t) = p(t) \quad [1.1]$$

Ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων συντελεί στη χρονική αλλοίωση των συντελεστών δυσκαμψίας k_{ij} και αποσβέσεως c_{ij} και οδηγεί τελικά στην ακύρωση της γραμμικότητας του προβλήματος. Μεταξύ των παραγόντων αυτών προεξέχουσα θέση κατέχει η επιδίωξη της εισόδου της κατασκευής στην ανελαστική περιοχή για λόγους οικονομίας και απορρόφησης ενέργειας καθώς και τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως.

Η κυριότερη συνέπεια από τη μη γραμμικότητα ενός συστήματος συνοψίζεται στη **μη ισχύ της αρχής της επαλληλίας** με αποτέλεσμα:

- την αδυναμία χωριστής μελέτης κάθε συνιστώσας της σεισμικής διεγέρσεως
- την αδυναμία αναλύσεως της απόκρισης σε στοιχειώδεις απλές κινήσεις όπως οι ιδιομορφικές αποκρίσεις

Πέραν των μεγάλων υπολογιστικών απαιτήσεων της επίλυσης της εξίσωσης [1.1], το κύριο πρόβλημα της μεθόδου είναι μεγάλη ευαισθησία του μη γραμμικού δυναμικού υπολογισμού στην αντιπροσωπευτικότητα των επιλεγμένων επιταχυνσιογραφημάτων και στην αξιοπιστία των μοντέλων μηχανικής συμπεριφοράς.

1.2. ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Ο πλέον αξιόπιστος έλεγχος της σεισμικής συμπεριφοράς των κατασκευών μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον ακριβή υπολογισμό των μετελαστικών παραμορφώσεων και εντατικών μεγεθών για ένα σύνολο σεισμικών διεγέρσεων που είναι πιθανό να πλήξουν τη κατασκευή. Ο υπολογισμός αυτός είναι εφικτός μόνο με τη διενέργεια του ανελαστικού δυναμικού υπολογισμού με την άμεση χρονική ολοκλήρωση των δυναμικών εξισώσεων κίνησης επομένως η καταλληλότερη μέθοδος ελέγχου είναι η **Προσαυξητική Δυναμική Ανάλυση** (incremental dynamic analysis) κατά την οποία επιβάλλονται επιταχυνσιογραφήματα αυξανόμενης έντασης έως την κατάρρευση. Η παραπάνω διαδικασία έχει μεγάλες απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος ακόμα και για τις συνήθεις κατασκευές και επιπλέον προσκρούει σε προβλήματα προσομοίωσης της ανελαστικής ανακυκλιζόμενης συμπεριφοράς των μελών, ωστόσο κερδίζει ολοένα και περισσότερο έδαφος στους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς. Απλοποιητικά οι σεισμικές δράσεις μπορούν να προσομοιωθούν με στατικά επιβαλλόμενες μετατοπίσεις

ή στατικά επιβαλλόμενα φορτία, σταδιακά αυξανόμενα μέχρι την κατάρρευση. Η ανάλυση αυτού του είδους ονομάζεται **Στατική Υπερωθητική Ανάλυση** (static pushover analysis) και αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο αποτίμησης της σεισμικής συμπεριφοράς.

Λόγω της πολυπλοκότητας και του υπερβολικού υπολογιστικού χρόνου των δυναμικών μη γραμμικών αναλύσεων οι αντισεισμικοί κανονισμοί περιλαμβάνουν προσεγγιστικές μεθόδους αποτίμησης-ελέγχου της σεισμικής συμπεριφοράς, οι οποίες μετατρέπουν το ανελαστικό δυναμικό πρόβλημα σε ανελαστικό στατικό και κατόπιν υπολογίζουν τις χαρακτηριστικές παραμέτρους της απόκρισης (μετακινήσεις, εντατικά μεγέθη κτλ). Οι τιμές των παραμέτρων αυτών αντιστοιχούν στις **διατιθέμενες** τιμές της κατασκευής και συγκρίνονται με τις **απαιτούμενες** τιμές που προκύπτουν λογιστικά μέσω των κανονιστικών διατάξεων. Οι απλοποιητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εμφανίζουν σημαντική ποικιλία ως φιλοσοφία που ακολουθούν, ωστόσο όλες βασίζονται στην **Στατική Υπερωθητική Ανάλυση** καθώς και στην αναγωγή της κατασκευής σε ένα **ισοδύναμο μονοβάθμιο** σύστημα. Για τους παραπάνω λόγους θα αναλυθεί εκτενέστερα μόνο η Στατική Υπερωθητική Ανάλυση καθώς ο τρόπος κατασκευής του ισοδύναμου μονοβάθμιου.

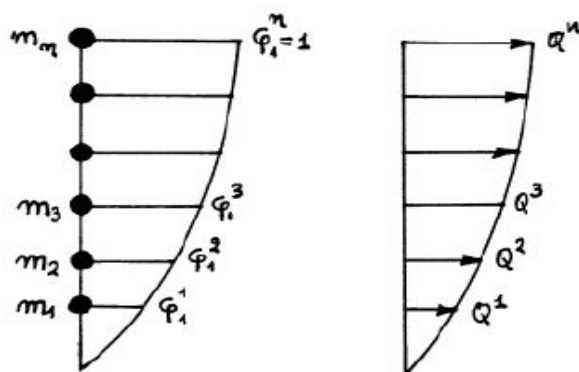
1.2.1. ΣΤΑΤΙΚΗ ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

1.2.1.1. ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

Το βασικότερο κριτήριο κατηγοριοποίησης της Σ.Υ.Α. είναι η μορφή και ο τρόπος επιβολής των οριζόντιων φορτίων. Προκύπτουν λοιπόν οι ακόλουθες κατηγορίες:

I. Σ.Υ.Α. με φορτία ιδιομορφικής κατανομής σταθερής αναλογίας

Η μέθοδος αυτή υπολογισμού των στατικών οριζόντιων φορτίων βασίζεται στις παραδοχές της μεθόδου ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης για τον αντισεισμικό σχεδιασμό κατασκευών όπου οι αδρανειακές δυνάμεις προσδιορίζονται με βάση τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της κατασκευής και το φάσμα σχεδιασμού. Οι δυνάμεις κατανέμονται καθ' ύψος κατά τρόπο που να ακολουθείται η θεμελιώδης ιδιομορφή (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: Κατανομή σεισμικών φορτίων σύμφωνα με τη θεμελιώδη ιδιομορφή

Το φορτίο που αντιστοιχεί σε όροφο k έχει τιμή:

$$Q^k = \frac{w_k \varphi_1^k}{\sum_k w_k \varphi_1^k} V_b \quad [1.2]$$

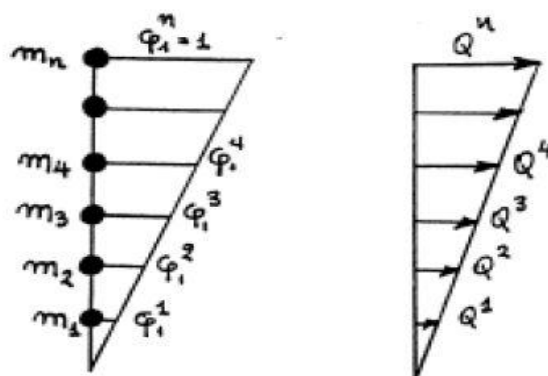
όπου

w_k το βάρος του ορόφου k

φ_1^k η συνιστώσα της θεμελιώδους ιδιομορφής στον όροφο k

V_b η τιμή της τέμνουσας βάσης

Μια προσέγγιση της καθ' ύψος κατανομής των σεισμικών φορτίων με βάση την 1^η ιδιομορφή μπορεί να γίνει από μια τριγωνική κατανομή (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Τριγωνική Κατανομή σεισμικών φορτίων

Στην περίπτωση αυτή οι συνιστώσες της 1^{ης} ιδιομορφής στους ορόφους δίνονται από τη σχέση:

$$\varphi_1^k = h_k / h_n$$

οπότε το φορτίο που αντιστοιχεί σε όροφο k έχει τιμή:

$$Q^k = \frac{w_k h_k}{\sum_k w_k h_k} V_b \quad [1.3]$$

II. Σ.Υ.Α. με φορτία ιδιομορφικής κατανομής μεταβαλλόμενης αναλογίας

Κατά την φόρτιση του φορέα με σταθερά κατακόρυφα φορτία και σταδιακά αυξανόμενα οριζόντια φορτία μεταβάλλεται τόσο η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος όσο και η θεμελιώδης ιδιομορφή λόγω του σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων. Μια ακριβέστερη προσομοίωση των σεισμικών οριζόντιων δράσεων επιτυγχάνεται με την προσαρμογή της καθ' ύψος κατανομής των φορτίων σύμφωνα με την τρέχουσα 1^η ιδιομορφή του αντίστοιχου βήματος φόρτισης λαμβάνοντας υπ' όψιν τον διαδοχικό σχηματισμό πλαστικών αρθρώσεων στον φορέα.

III. Σ.Υ.Α. με φορτία πολύ-ιδιομορφικής κατανομής σταθερής ή μεταβαλλόμενης αναλογίας

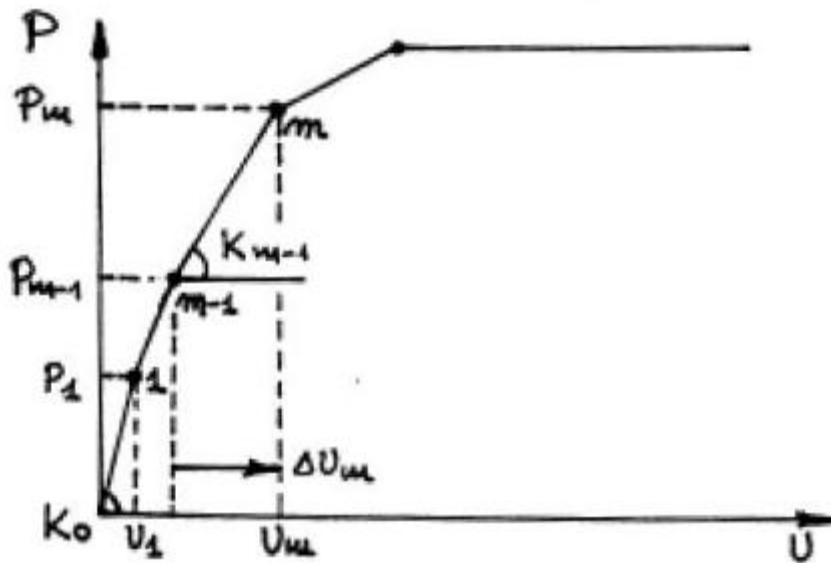
Σε φορείς των οποίων η δυναμική απόκριση επηρεάζεται σημαντικά από τις ανώτερες ιδιομορφές θα πρέπει κατά την εφαρμογή της Στατικής Υπερωθητικής Ανάλυσης να λαμβάνεται υπ' όψιν η επιρροή ικανού αριθμού ιδιομορφών. Ως κριτήριο του πλήθους των σημαντικών ιδιομορφών μπορεί να ληφθεί το ποσοστό της δρώσας ιδιομορφικής μάζας όπως ακριβώς και στην μέθοδο Φασματικής Επαλληλίας. Τα φορτία των ορόφων υπολογίζονται για κάθε ιδιομορφή όπως προηγουμένως και στη συνέχεια επαλληλίζονται κατάλληλα (με μέθοδο CQC ή SRSS) δίνοντας το συνολικό φορτίο ορόφου. Τέλος η αναλογία των υπολογισμένων φορτίων μπορεί να παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της ανάλυσης ή να προσαρμόζεται σε κάθε βήμα.

1.2.1.2. ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η ελαστοπλαστική ανάλυση πλαισιωτών φορέων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο θεωρήσεις:

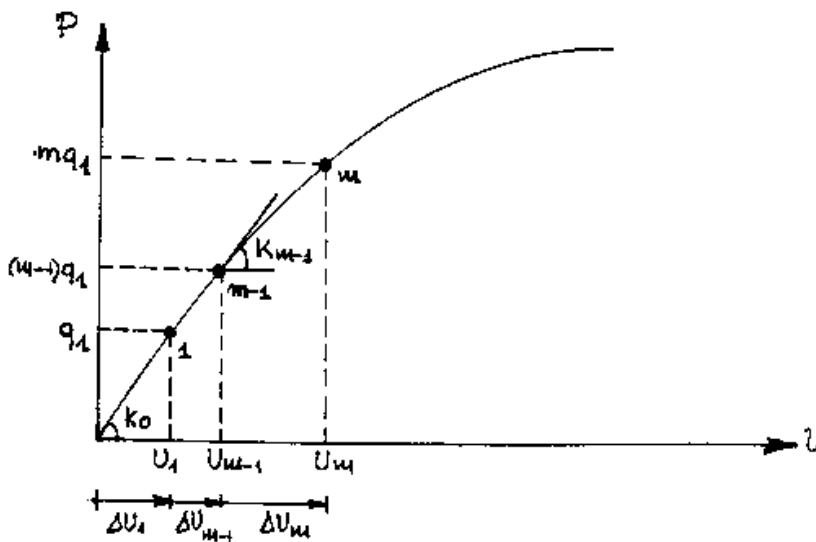
- Θεώρηση **συγκεντρωμένης πλαστικότητας** (concentrated plasticity)
- Θεώρηση **κατανεμημένης πλαστικότητας** (distributed plasticity)

Η **συγκεντρωμένη πλαστικότητα** (ή μέθοδος **πλαστικού κόμβου**) είναι η απλούστερη παραδοχή και δέχεται ότι οι πλαστικές αρθρώσεις σχηματίζονται ακαριαία αφού η διαρροή επέρχεται ταυτόχρονα σε όλα τα σημεία της διατομής μόλις τα εντατικά μεγέθη ικανοποιήσουν το κριτήριο διαρροής. Το πλεονέκτημα της θεώρησης αυτής είναι η γραμμική συμπεριφορά του φορέα μεταξύ των πλαστικών κόμβων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα εφαρμογής γραμμικοποιημένων μεθόδων υπολογισμού της καμπύλης ικανότητας (Σχήμα 1.3). Το προηγούμενο υπολογιστικό πλεονέκτημα είναι ταυτόχρονα και το βασικό μειονέκτημα καθώς είναι αδύνατο να προσομοιωθεί η πλαστικοποίηση καθ' ύψος της διατομής και κατά μήκος των μελών.



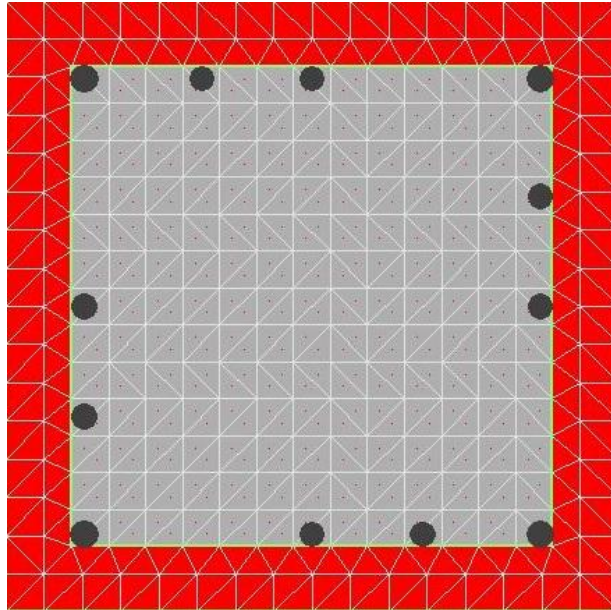
Σχήμα 1.3: Προσαυξητικά βήματα καμπύλης ικανότητας με γραμμικοποιημένη πλαστικότητα

Στην πλέον ρεαλιστική θεώρηση της **κατανεμημένης πλαστικότητας** η πλαστικοποίηση πραγματοποιείται σταδιακά καθ' ύψος της διατομής και κατά τον διαμήκη άξονα των ραβδωτών στοιχείων του φορέα, με αποτέλεσμα η συμπεριφορά να είναι μη γραμμική σε κάθε προσαυξητικό βήμα φόρτισης (Σχήμα 1.4). Στη περίπτωση αυτή ακολουθείται μια προσαυξητική-επαναληπτική διαδικασία για τον υπολογισμό της καμπύλης ικανότητας.



Σχήμα 1.4: Καμπύλη ικανότητας με μη γραμμική προσαυξητική-επαναληπτική ανάλυση

Η κατανεμημένη πλαστικότητα μπορεί να προσομοιωθεί είτε μέσω της σχέσης ροπών - καμπυλοτήτων της διατομής και τη θεώρηση ενός **ισοδύναμου ελαστικού κόμβου**, είτε μέσω της **πολυστρωματικής θεώρησης** στην οποία τα ραβδωτά στοιχεία υποδιαιρούνται σε λεπτές στρώσεις, παράλληλες προς τον διαμήκη άξονά τους, καθεμία εκ των οποίων συμπεριφέρεται ανεξάρτητα από τις άλλες (Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5: Διατομή με πολυστρωματική θεώρηση

Η θεώρηση του ισοδύναμου ελαστικού κόμβου βασίζεται σε αναλυτικές μη γραμμικές σχέσεις ροπών - καμπυλοτήτων και σε παραδοχές ως προς το μήκος της πλαστικής άρθρωσης. Πρόκειται για μια ενδιάμεση προσομοίωση, τόσο ως προς την ακρίβεια όσο και ως προς το υπολογιστικό κόστος, των θεωρήσεων του πλαστικού κόμβου και της πολυστρωματικής προσομοίωσης. Με την πολυστρωματική θεώρηση η κατανομή της πλαστικοποίησης επιτυγχάνεται τόσο καθ' ύψος όσο και κατά μήκος των μελών του φορέα. Το πλεονέκτημα της κατανεμημένης πολυστρωματικής πλαστικότητας είναι η δυνατότητα γενίκευσης τόσο σε φορείς από χάλυβα όσο και από οπλισμένο σκυρόδεμα ενώ παράλληλα μπορεί να επεκταθεί σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση, είναι όμως υπολογιστικά χρονοβόρα.

1.2.2. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Οι προσεγγιστικές μέθοδοι ελέγχου που προτείνουν οι κανονισμοί στηρίζονται στη θεωρία των φασμάτων απόκρισης επομένως είναι αναγκαίος ο μετασχηματισμός της καμπύλης αντίστασης σε διάγραμμα φασματικών συντεταγμένων S_a - S_d . Ο μετασχηματισμός αυτός είναι εφικτός μέσω της μετατροπής του πολυβάθμιου προβλήματος σε ισοδύναμο μονοβάθμιο.

Για την κατασκευή του ισοδύναμου μονοβάθμιου χρησιμοποιείται η κατανομή των φορτίων καθ' ύψος που λήφθηκε και στην καμπύλη αντίστασης, με την κατανομή σύμφωνα με την 1^η ιδιομορφή να αποτελεί τη συνηθέστερη επιλογή. Εάν ακολουθείται η κατανομή σύμφωνα με τη σχέση [1.2] και οι συντελεστές ϕ_i των μετακινήσεων είναι κανονικοποιημένοι ούτως ώστε $\phi_{top}=1$, τότε το πολυβάθμιο και το ισοδύναμο μονοβάθμιο συνδέονται με τη σχέση:

$$Q = \Gamma \cdot Q^* \quad [1.4]$$

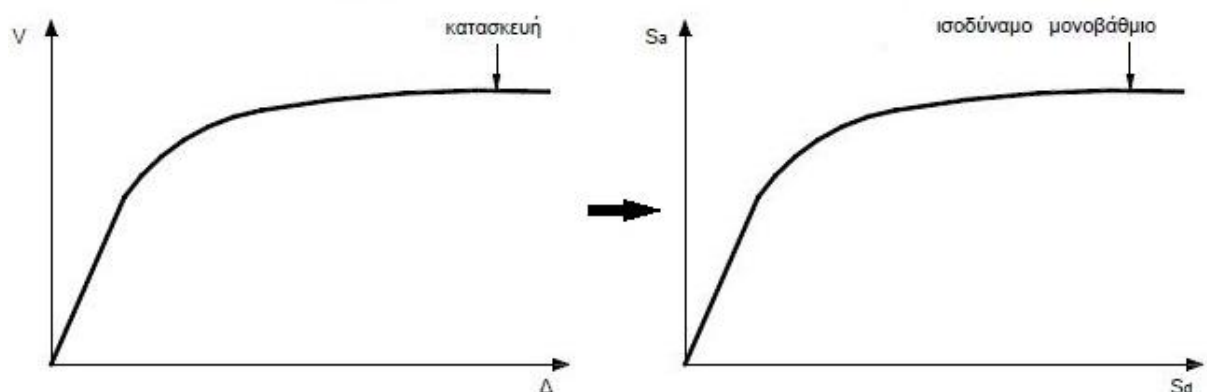
όπου

Q^* το μέγεθος (δύναμη, μετακίνηση) στο ισοδύναμο μονοβάθμιο

Q το αντίστοιχο μέγεθος στο πολυβάθμιο σύστημα

Γ ο συντελεστής συμμετοχής που δίνεται από τη σχέση:

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \phi_i}{\sum m_i \phi_i^2} \quad [1.5]$$



Σχήμα 1.6: Μετατροπή καμπύλης αντίστασης σε φάσμα αντίστασης

Να σημειωθεί ότι η ιδιοπερίοδος του ισοδύναμου μονοβάθμιου δεν ισούται με την 1^η ιδιοπερίοδο του πολυβάθμιου, ακόμη και αν η κατανομή των φορτίων ακολουθεί την 1^η ιδιομορφή.

Η μετατροπή της καμπύλης αντίστασης σε φάσμα αντίστασης μορφής ADRS του ισοδύναμου μονοβάθμιου πραγματοποιείται μέσω των σχέσεων:

$$S_a = \frac{V}{\alpha m_{o\lambda}} \quad [1.6]$$

$$S_d = \frac{\Delta}{\Gamma} \quad [1.7]$$

όπου

V η τέμνουσα βάσης του πολυβάθμιου

m_{oλ} η συνολική μάζα του πολυβάθμιου

Δ η μετακίνηση κορυφής

α το ποσοστό της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση και ισούται:

$$\alpha = \frac{[\sum m_i \varphi_i]^2}{m_{o\lambda} \cdot \sum m_i \varphi_i^2} = \frac{\Gamma \cdot \sum m_i \varphi_i}{m_{o\lambda}} = \Gamma \frac{m^*}{m_{o\lambda}} \quad [1.8]$$

Στη περίπτωση που η χρησιμοποιούμενη κατανομή φορτίων είναι η τριγωνική τότε προσεγγιστικά ισχύει:

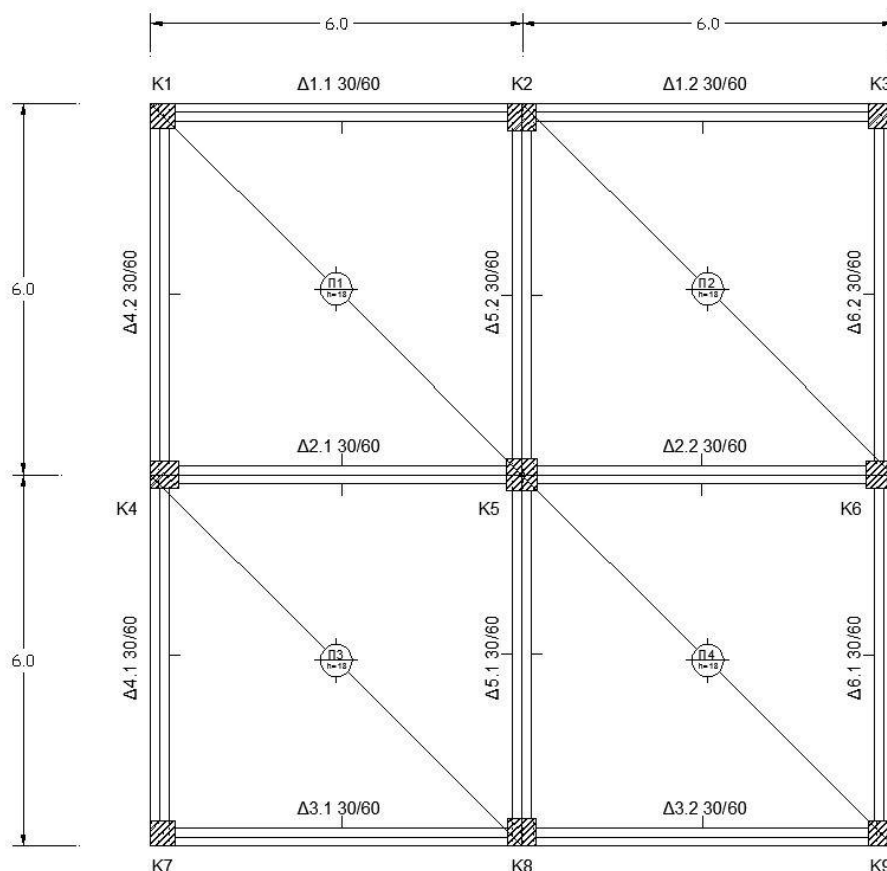
$$\Gamma \cdot \varphi_{top} \approx 1.4 \quad \text{και} \quad \alpha \approx 0.8$$

2. ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα που θα καλύπτουν ένα ευρύ πεδίο κατασκευών θεωρήθηκε σκόπιμο να μελετηθούν κατασκευές που παρουσιάζουν μικρή, μέτρια και μεγάλη δυσκαμψία. Η επιλογή των κατασκευών είναι ιδιαίτερος κρίσιμη καθώς θα πρέπει να εξασφαλίζονται επαρκείς ομοιότητες ούτως ώστε οι αιτίες διαφορετικής συμπεριφοράς να είναι συγκεκριμένες και αναγνωρίσιμες. Αποφασίστηκε λοιπόν οι κατασκευές να σχεδιαστούν με τις ίδιες παραδοχές (τύπος εδάφους, σεισμική ζώνη, στατικό σύστημα, φορτία, υλικά κτλ), με την ίδια κάτοψη τυπικού ορόφου και θεωρώντας απλοποιητικά ότι η θεμελίωση μπορεί να προσεγγιστεί με πακτώσεις. Το μόνο στοιχείο που διαφοροποιεί τις κατασκευές είναι το πλήθος των ορόφων.

Ως εκ τούτου, επιλέχθηκαν τρεις πλαίσιατες κατασκευές με 3, 6 και 12 ορόφους (ύψος ορόφου 3.0 m) και τυπικό όροφο συμμετρικής κάτοψης με 2 ανοίγματα μήκους 6.0 m σε κάθε διεύθυνση.



Σχήμα 2.1: Κάτοψη τυπικού ορόφου κατασκευής

Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε στην παρούσα εργασία είναι το **FESPA 10 (EuroCodes version)** της εταιρίας **LH Λογισμική**, το οποίο πραγματοποιεί ανάλυση, διαστασιολόγηση και σχεδίαση τρισδιάστατων κατασκευών χρησιμοποιώντας τους Ευρωκώδικες.

2.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κατά τον σχεδιασμό των τριών κατασκευών είναι απαραίτητο να περιοριστούν οι παράμετροι που διαφοροποιούνται ούτως ώστε να γίνει κατανοητή η επίδραση του καθενός στην απόκριση της κατασκευής. Από τη στιγμή λοιπόν που αποφασίστηκε ότι η κυριότερη αιτία διαφορετικής δυσκαμψίας θα είναι το πλήθος των ορόφων έπρεπε να "δεσμευτούν" παράμετροι όπως ο τύπος εδάφους και ο αντίκτυπος του στη σεισμική δράση, ο συντελεστής συμπεριφοράς q , το στατικό σύστημα της κατασκευής και προφανώς τα υλικά και τα επιβαλλόμενα φορτία. Ο καθένας από αυτούς τους παράγοντες εξετάζεται αναλυτικά παρακάτω.

2.2.1. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Οι παραδοχές σχεδιασμού έναντι σεισμού για τα συνήθη κτήρια περιγράφονται στο μέρος 1 του Ευρωκώδικα 8 και στο αντίστοιχο εθνικό προσάρτημα.

Ο **τύπος εδάφους** που χρησιμοποιήθηκε είναι ο **B**, μια συνηθισμένη επιλογή σε περιπτώσεις μελετών που η κατηγορία εδάφους δεν είναι το προς εξέταση αντικείμενο.

Οι **ιδιοπερίοδοι** T_B , T_C , T_D και ο **συντελεστής εδάφους** **S** καθορίζονται από τον τύπο εδάφους και δίνονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Τιμές T_B , T_C , T_D και S ανά τύπο εδάφους

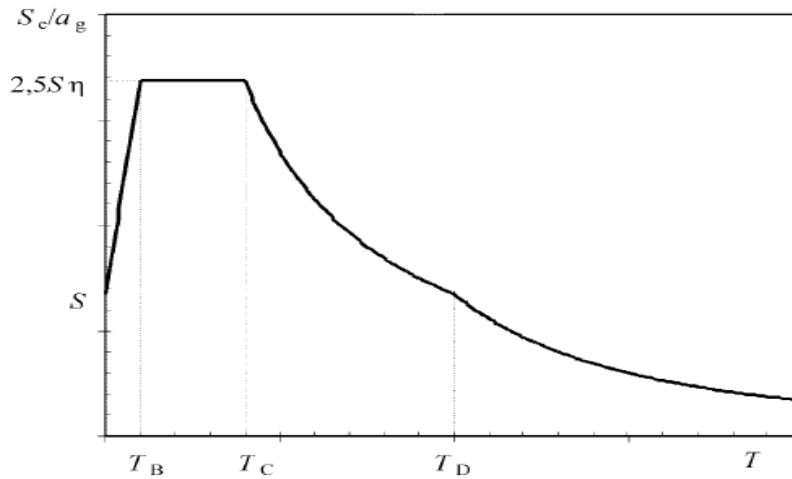
Κατηγορία Εδάφους	S	T_B [sec]	T_C [sec]	T_D [sec]
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

Δεδομένου ότι οι σεισμικές ζώνες στην Ελλάδα είναι τρεις (Z1, Z2, Z3) και προκειμένου να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα, επιλέχθηκε η δεύτερη **ζώνη Z2** με μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_{gR} = 0.24 g$.

Θεωρώντας ότι οι κατασκευές αποτελούν συνήθη (ως προς χρήση) κτήρια η **σπουδαιότητα** μπορεί να ληφθεί ίση με **κατηγορίας II ($\gamma_I = 1.00$)**.

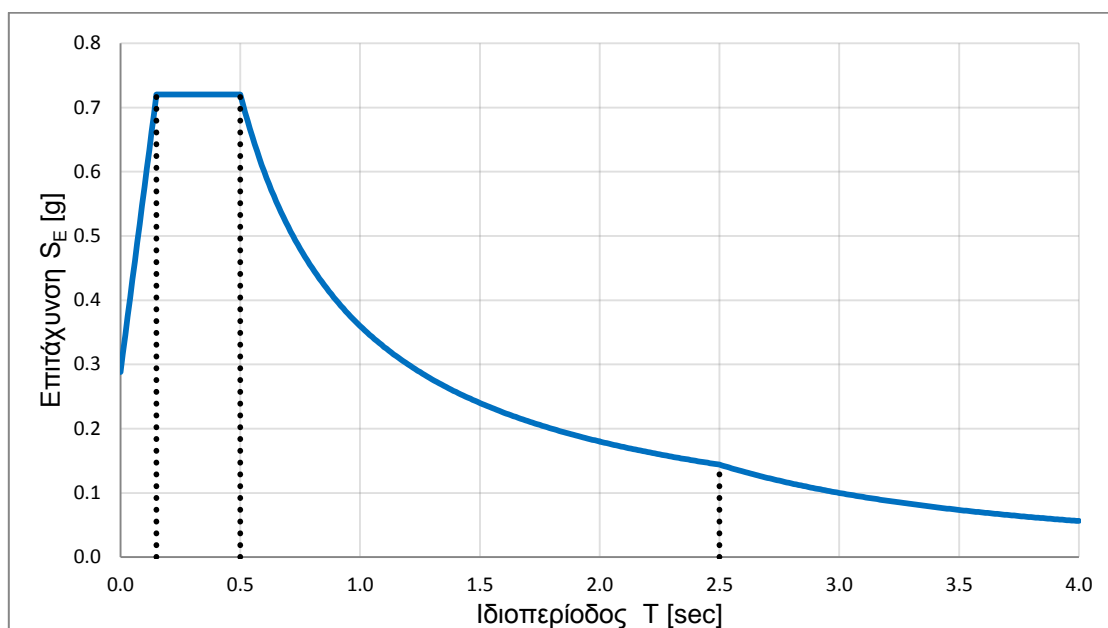
Επομένως η **μέγιστη εδαφική επιτάχυνση** είναι $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 0.24 \text{ g}$

Το ελαστικό φάσμα απόκρισης για ιξώδη απόσβεση $\zeta=5\%$ ($\eta=1.0$) είναι της μορφής:



Σχήμα 2.2: Ελαστικό φάσμα απόκρισης ($\zeta=5\%$)

Στο Σχήμα 2.3 δίνεται το ελαστικό φάσμα σχεδιασμού μετά την αντικατάσταση των παραπάνω τιμών:



Σχήμα 2.3: Ελαστικό φάσμα σχεδιασμού ($\zeta = 5\%$)

2.2.2. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ q

Η εκτίμηση του συντελεστή συμπεριφοράς q με βάση τον Ευρωκώδικα 8 είναι μια σχετικά περίπλοκη διαδικασία (συγκριτικά με την αντίστοιχη του ΕΑΚ) καθώς εξαρτάται από πλήθος παραγόντων που θα πρέπει να ελέγχονται και συχνά να αναθεωρούνται κατά τη διάρκεια της ανάλυσης.

Για κτήρια από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα ο συντελεστής συμπεριφοράς q μπορεί να ληφθεί ως:

$$q = q_o \cdot k_w \geq 1.5$$

όπου

k_w εξαρτάται από το στατικό σύστημα της κατασκευής

q_o ο βασικός συντελεστής συμπεριφοράς

Στην παρούσα εργασία το **στατικό σύστημα** που έχει χρησιμοποιηθεί είναι το **πλαισιωτό**, δηλαδή το σύστημα εκείνο που χρησιμοποιεί χωρικά πλαίσια των οποίων η διατμητική αντοχή στη βάση είναι μεγαλύτερη ή ίση του 65% της συνολικής διατμητικής αντοχής στη βάση. Το υπόλοιπο ποσοστό μπορεί να καλύπτεται με τη χρήση τοιχωμάτων.

Προκειμένου να απλοποιήσουμε τη διαδικασία σχεδιασμού και να αποφύγουμε τον επανέλεγχο του ποσοστού της διατμητικής αντοχής των πλαισίων, οι κατασκευές αποτελούνται **καθ' ολοκληρία** από πλαίσια.

Για την δεδομένη επιλογή στατικού συστήματος το k_w ισούται με τη μονάδα.

$$k_w = 1.0$$

Εφόσον οι κατασκευές μας διαθέτουν **Κατακόρυφη Κανονικότητα** (εξασφαλίζεται από τη δεδομένη επιλογή κάτοψης ορόφου και την επανάληψή του καθ' ύψος των κατασκευών) οι τιμές του συντελεστή q_o δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Τιμές συντελεστή q_o

Στατικός Τύπος	Κατηγορία Πλαστιμότητας	
	Μεσαία	Υψηλή
Πλαισιωτό Σύστημα	3.0 a_u / a_1	4.5 a_u / a_1

Ο λόγος a_u / a_1 εκφράζει την αντοχή την κατασκευής πέραν την 1^{ης} διαρροής καθώς:

- Ο όρος a_1 υποδηλώνει τον απαιτούμενο συντελεστή επαύξησης των οριζοντίων φορτίων προκειμένου να δημιουργηθεί η 1^η πλαστική άρθρωση στην κατασκευή

- Ο όρος α_u υποδηλώνει τον απαιτούμενο συντελεστή επαύξησης των οριζοντίων φορτίων προκειμένου να προκληθεί μηχανισμός κατάρρευσης.

Σε περίπτωση που οι συντελεστές δεν προσδιορίζονται με τη χρήση μη γραμμικής ανάλυσης *rushover*, ο Ευρωκώδικας προτείνει τιμές μεταξύ 1.1 και 1.3 ανάλογα το στατικό σύστημα.

Για την περίπτωση (όπως στη δική μας) **πολυώροφων κτηρίων από πλαίσια ενός ή περισσότερων ανοιγμάτων** ο λόγος ισούται με:

$$\alpha_u / \alpha_1 = 1.3$$

Λόγω της **Κανονικότητας σε Κάτοψη** που χαρακτηρίζει τις κατασκευές ο λόγος δεν απομειώνεται.

Ιδιαίτερα σημαντική για τον προσδιορισμό του συντελεστή συμπεριφοράς είναι η επιλογή της **κατηγορίας πλαστιμότητας**. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 και το Εθνικό Προσάρτημα, τα κτήρια από Ω.Σ. κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες πλαστιμότητας σύμφωνα με την ικανότητα υστερητικής απορρόφησης ενέργειας:

- **Κατηγορία Πλαστιμότητας Μεσαία** (ΚΠΜ)
- **Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή** (ΚΠΥ)

Η επιλογή της κατηγορίας πλαστιμότητας επιβάλλει λιγότερο ή περισσότερο αυστηρές κατασκευαστικές διατάξεις καθορίζοντας τη στάθμη του φορτίου σχεδιασμού.

Παρά το γεγονός ότι η ΚΠΥ καθιστά τη μελέτη και την κατασκευή δυσχερέστερη λόγω της πολυπλοκότητας και του πλήθους των ελέγχων, η επιλογή της κρίνεται πιο συμφέρουσα έναντι της ΚΠΜ καθώς εξασφαλίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη σωστή συμπεριφορά της κατασκευής σε μεγάλες παραμορφώσεις και επιπλέον επιτρέπει τη σημαντική μείωση των διατομών λόγω του μικρότερου φορτίου σχεδιασμού.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας επιλέχθηκε η **Κατηγορία Πλαστιμότητας Υψηλή** (ΚΠΥ). Επομένως ο συντελεστής q_o ισούται με:

$$q_o = 4.5 \cdot \alpha_u / \alpha_1 = 4.5 \cdot 1.3 = 5.85$$

Ο τελικός **συντελεστής συμπεριφοράς q** ισούται με:

$$q = q_o \cdot k_w = 5.85 \cdot 1.0 = 5.85$$

2.2.3. ΥΛΙΚΑ

2.2.3.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Για κατασκευές ανάλογες με αυτές που μελετώνται οι συνηθέστερες κατηγορίες σκυροδέματος που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρότινος ήταν οι C20/25 και C25/30. Αυτό συνέβαινε γιατί το κέρδος από τη μείωση των διατομών όταν χρησιμοποιούνταν υψηλότερες κατηγορίες ήταν συγκρίσιμο με την επιβάρυνση από το μεγαλύτερο κόστος των κατηγοριών αυτών. Ωστόσο η εφαρμογή των Ευρωκωδίκων και η υιοθέτηση Κατηγορίας Πλαστιμότητας Υψηλή επιβάλλει περισσότερους και αυστηρότερους ελέγχους από αυτούς που προέβλεπε ο ΕΚΩΣ και ο ΕΑΚ. Οι έλεγχοι αυτοί (με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον **έλεγχο κόμβου**) συνήθως απαιτούν την αύξηση των διατομών ή της ποιότητας σκυροδέματος προκειμένου να ικανοποιούνται. Στα πλαίσια λοιπόν της αρτιότερης (και από οικονομικής πλευράς) μελέτης θεωρείται ότι οι υψηλότερες κατηγορίες σκυροδέματος θα αρχίσουν να χρησιμοποιούνται περισσότερο και γι' αυτό στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε η κατηγορία **C30/37**.

2.2.3.2. ΧΑΛΥΒΑΣ

Για τον διαμήκη και τον εγκάρσιο οπλισμό χρησιμοποιήθηκε ενιαία κατηγορία χάλυβα με χαρακτηριστική αντοχή **$f_{yk}=500 \text{ MPa}$** .

2.2.4. ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα κατακόρυφα φορτία εφαρμόζονται στις πλάκες ως κατανεμημένα με τιμές:

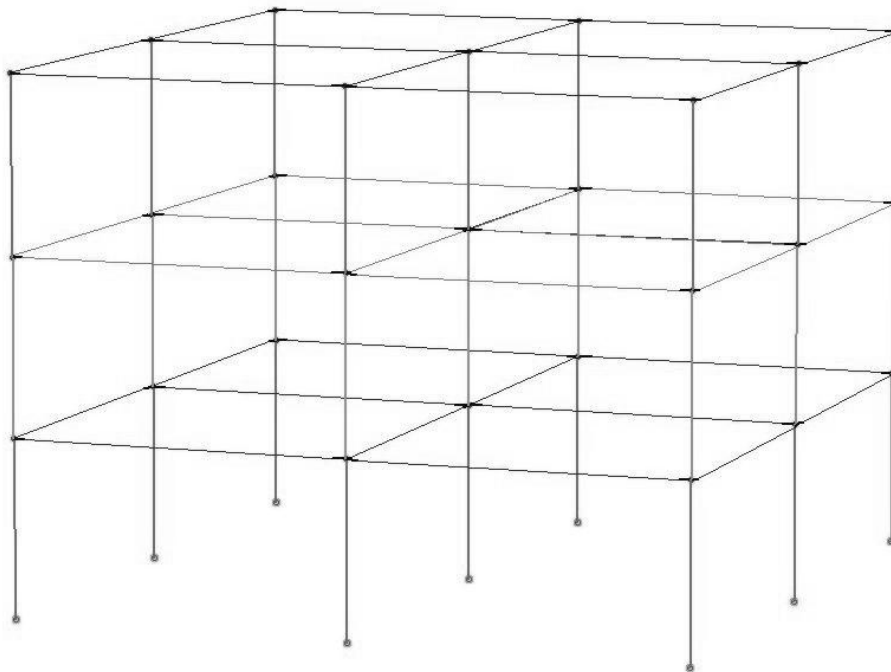
- **$g = 1.00 \text{ KN/m}^2$** για τα μόνιμα
- **$q = 2.00 \text{ KN/m}^2$** για τα κινητά

2.3. ΤΡΙΩΡΟΦΟ

Η πρώτη κατασκευή που μελετήθηκε αποτελείται από **τρεις ορόφους-διαφράγματα** και έχει συνολικό ύψος

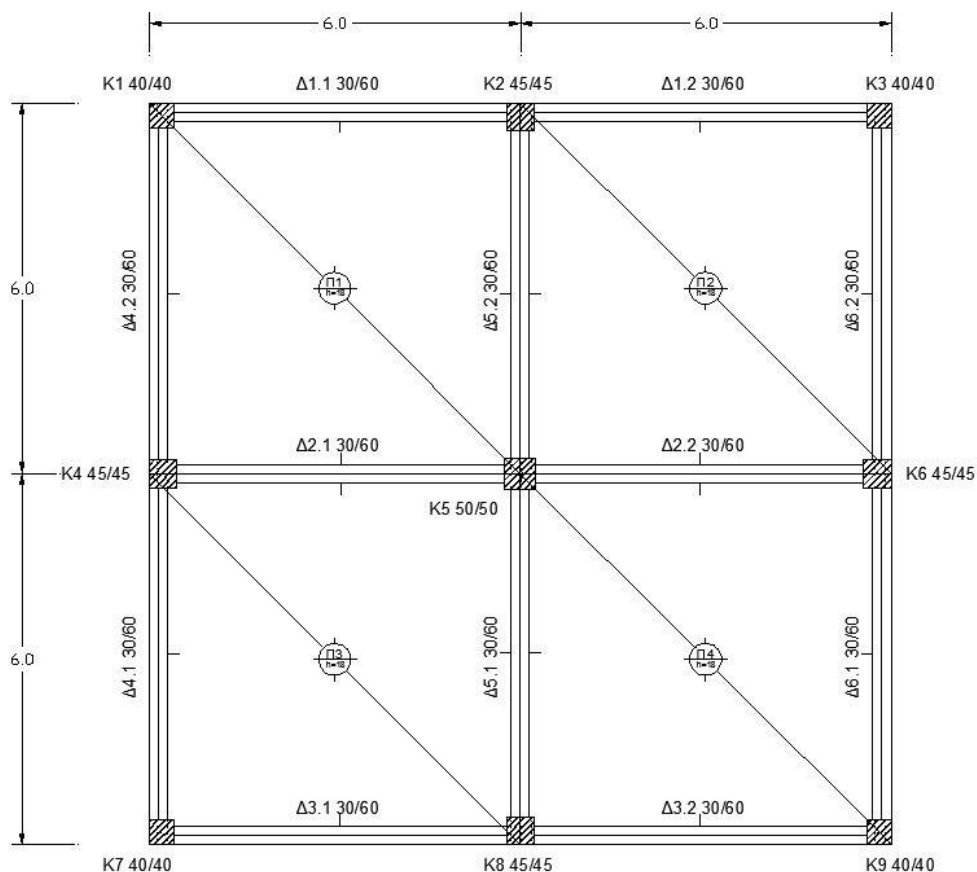
$$H_{\text{ολικό}} = 9.0 \text{ m}$$

καθώς κάθε όροφος έχει ύψος 3.0 m.



Σχήμα 2.4: Τριώροφη κατασκευή

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως η κάτοψη είναι συμμετρική και αποτελείται από πλαίσια 2 ανοιγμάτων μήκους 6.0 m έκαστο. Τα ανοίγματα και οι διατομές (μόνο όσον αφορά τις διαστάσεις) φαίνονται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Κάτοψη τυπικού ορόφου τριώροφου

2.3.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το βάρος της κατασκευής και η μάζα κάθε επιπέδου δίνεται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3: Βάρος κατασκευής και μάζα επιπέδων

Επίπεδο	Υψόμετρο [m]	Συνολικό Βάρος Υπερκείμενων Επιπέδων [KN]	Μάζα Επιπέδου [ton]
1	3.00	3.58E+03	1.22E+02
2	6.00	2.39E+03	1.22E+02
3	9.00	1.19E+03	1.15E+02

2.3.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η κατασκευή διαθέτει 9 ιδιομορφές, με τις τιμές των ιδιοπεριόδων και τα αντίστοιχα ποσοστά της δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας για σεισμό κατά X και Y να δίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4: Ιδιοπερίοδοι και ποσοστά δρώσας Ιδιομορφικής μάζας σεισμών X και Y

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]	Ποσοστό Δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας [%]	
		Σεισμός X	Σεισμός Y
1	0.4388	0.000	77.130
2	0.4302	88.348	0.000
3	0.3823	0.000	11.219
4	0.1462	0.000	8.337
5	0.1432	9.629	0.000
6	0.1276	0.000	1.291
7	0.0926	0.000	1.728
8	0.0906	2.023	0.000
9	0.0812	0.000	0.295

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5 και 7-8. Για τα ζεύγη αυτά θα ήταν αναμενόμενο τα ποσοστά δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας για Σεισμό κατά X να ταυτίζονται με τα ποσοστά για Σεισμό κατά Y, κάτι που ωστόσο δεν επαληθεύεται, πιθανότατα λόγω αριθμητικής αστάθειας.

2.3.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΜΕΛΩΝ

2.3.3.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

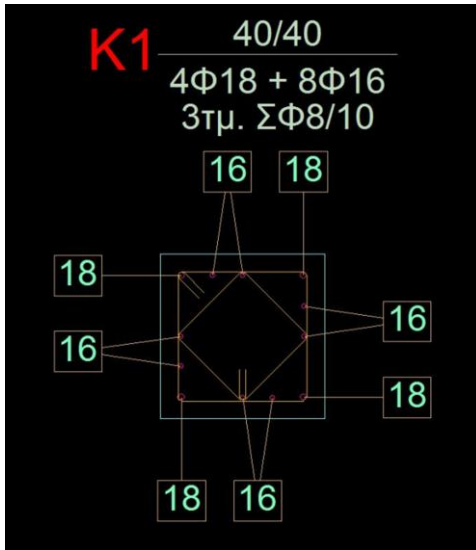
Κάθε όροφος διαθέτει 9 υποστυλώματα τοποθετημένα σε κάρναβο ανοίγματος 6 m (Σχήματα 2.1 και 2.5). Λόγω συμμετρίας διακρίνονται 3 ομάδες υποστυλωμάτων με πανομοιότυπη γεωμετρία και όπλιση:

- Υποστυλώματα **K1, K3, K7, K9**
- Υποστυλώματα **K2, K4, K6, K8**
- Υποστυλώμα **K5**

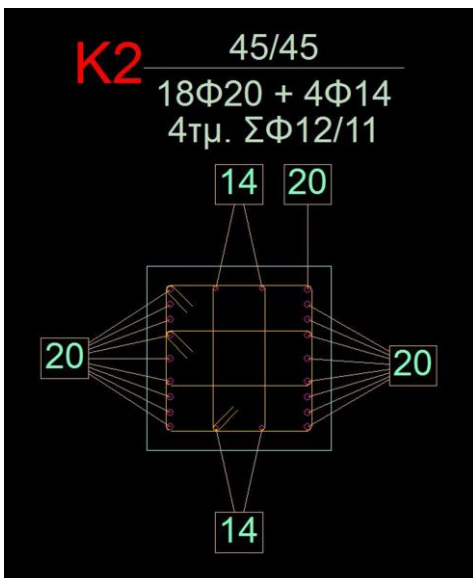
Στο εξής η αναφορά στα υποστυλώματα K1, K2 και K5 θα υποδηλώνει ολόκληρη την αντίστοιχη ομάδα.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι διατομές των υποστυλωμάτων ανά όροφο.

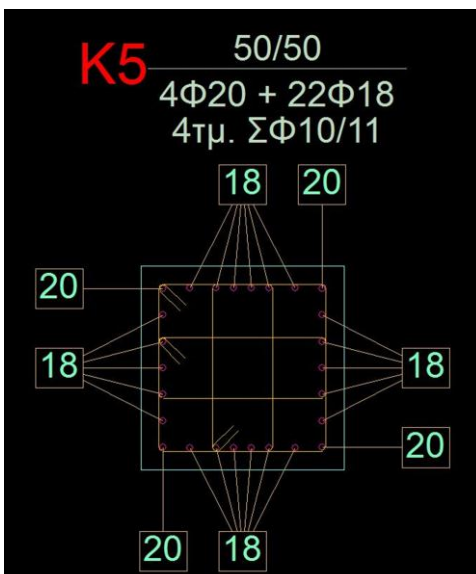
- **ΟΡΟΦΟΣ 1**



Σχήμα 2.6: Υποσύλωμα K1, Όροφος 1

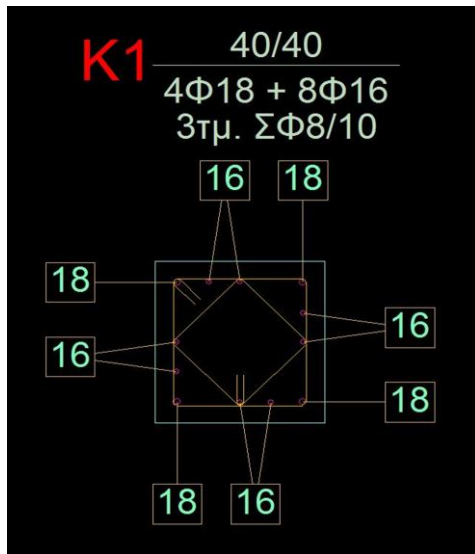


Σχήμα 2.7: Υποσύλωμα K2, Όροφος 1

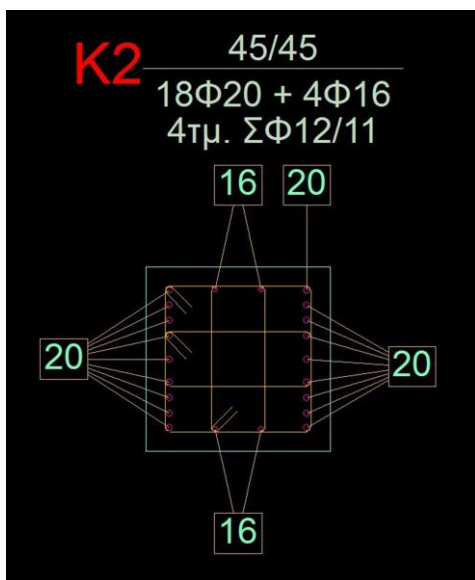


Σχήμα 2.8: Υποσύλωμα K5, Όροφος 1

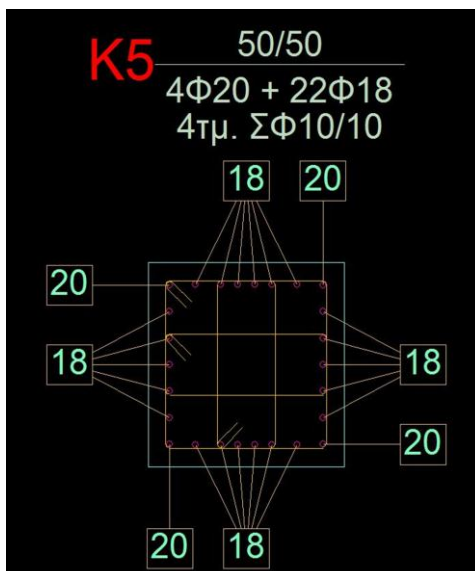
• ΟΡΟΦΟΣ 2



Σχήμα 2.9: Υποσύλωμα K1, Όροφος 2

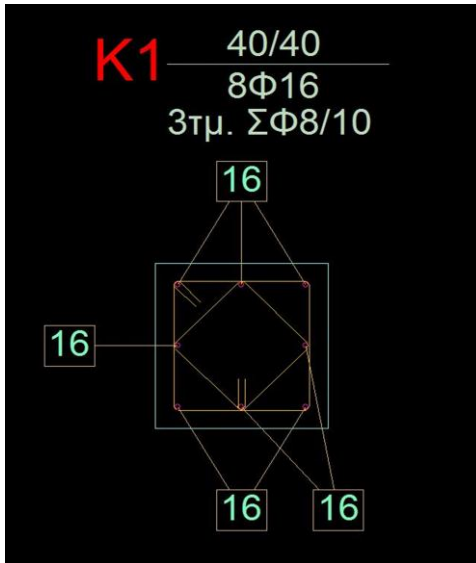


Σχήμα 2.10: Υποσύλωμα K2, Όροφος 2

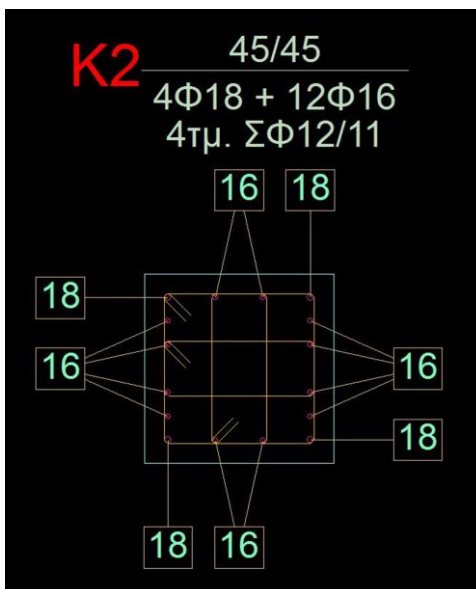


Σχήμα 2.11: Υποσύλωμα K5, Όροφος 2

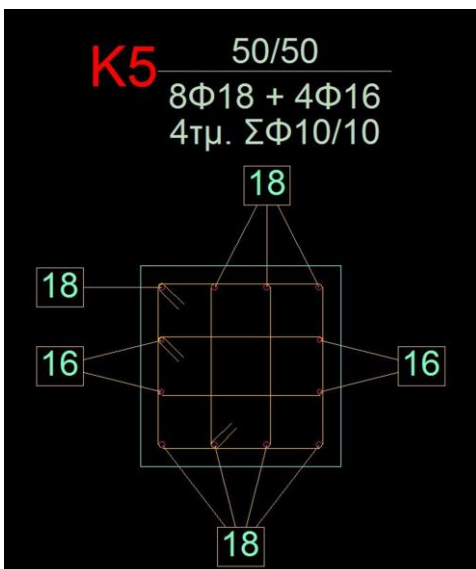
- ΟΡΟΦΟΣ 3



Σχήμα 2.12: Υποστύλωμα K1, Όροφος 3



Σχήμα 2.13: Υποστύλωμα K2, Όροφος 3

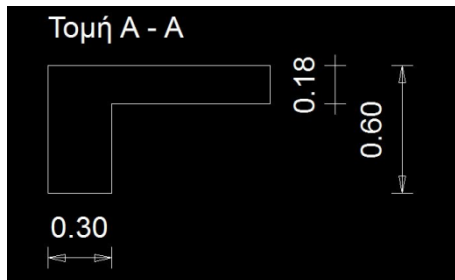


Σχήμα 2.14: Υποστύλωμα K5, Όροφος 3

2.3.3.2. ΔΟΚΟΙ

Κάθε όροφος διαθέτει 6 δοκούς δύο ανοιγμάτων με διατομή 30/60 cm και συνολικό μήκος 12.0 m.

Καθ' ύψος της κατασκευής όλες οι **ακρικές δοκοί** έχουν τομή:



Σχήμα 2.15: Τομή ακρικών δοκών

Καθ' ύψος της κατασκευής όλες οι **εσωτερικές δοκοί** έχουν τομή:



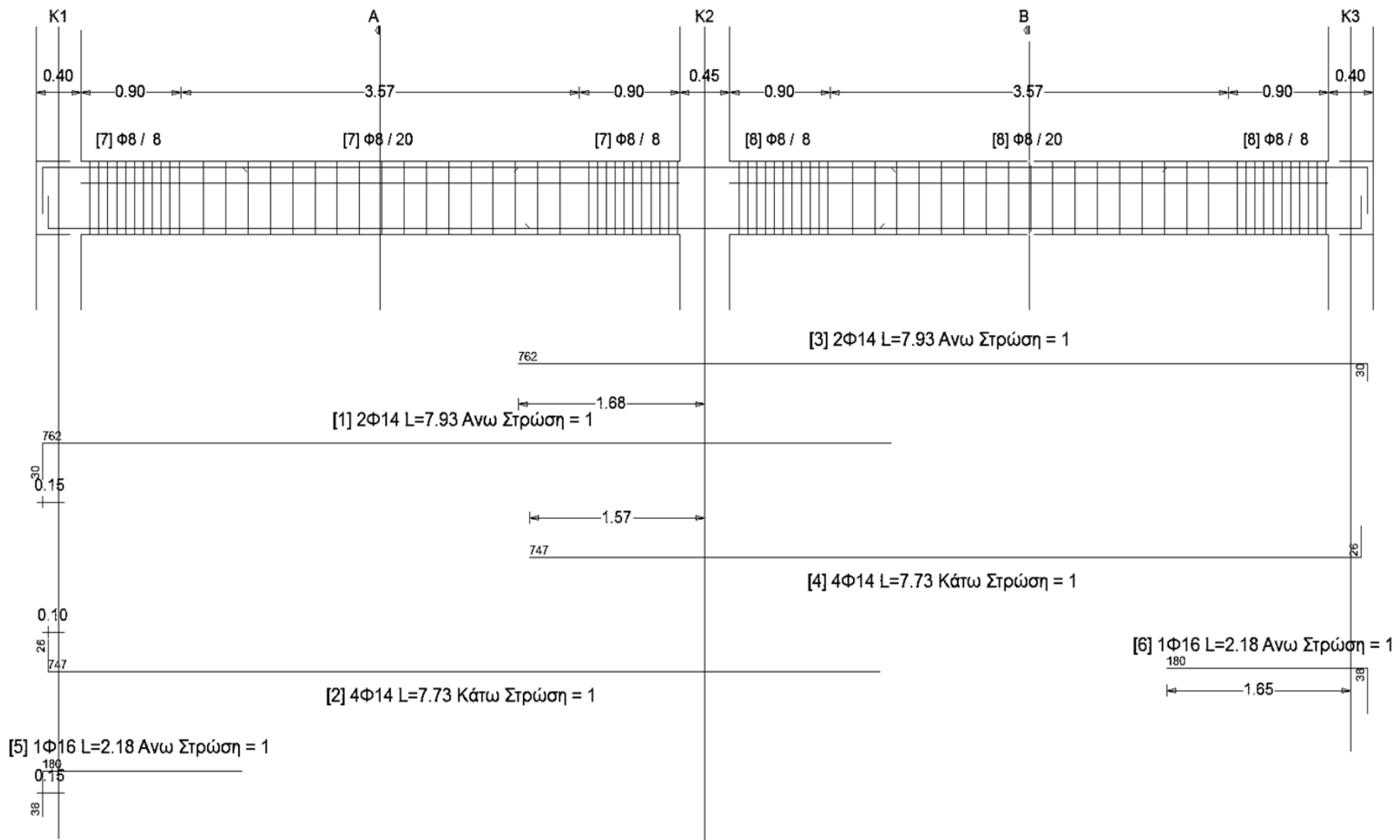
Σχήμα 2.16: Τομή εσωτερικών δοκών

Λόγω της συμμετρίας του φορέα και της φόρτισης κάθε δοκός είναι συμμετρικά οπλισμένη ενώ παράλληλα διακρίνονται 2 ομάδες δοκών με πανομοιότυπη γεωμετρία και όπλιση:

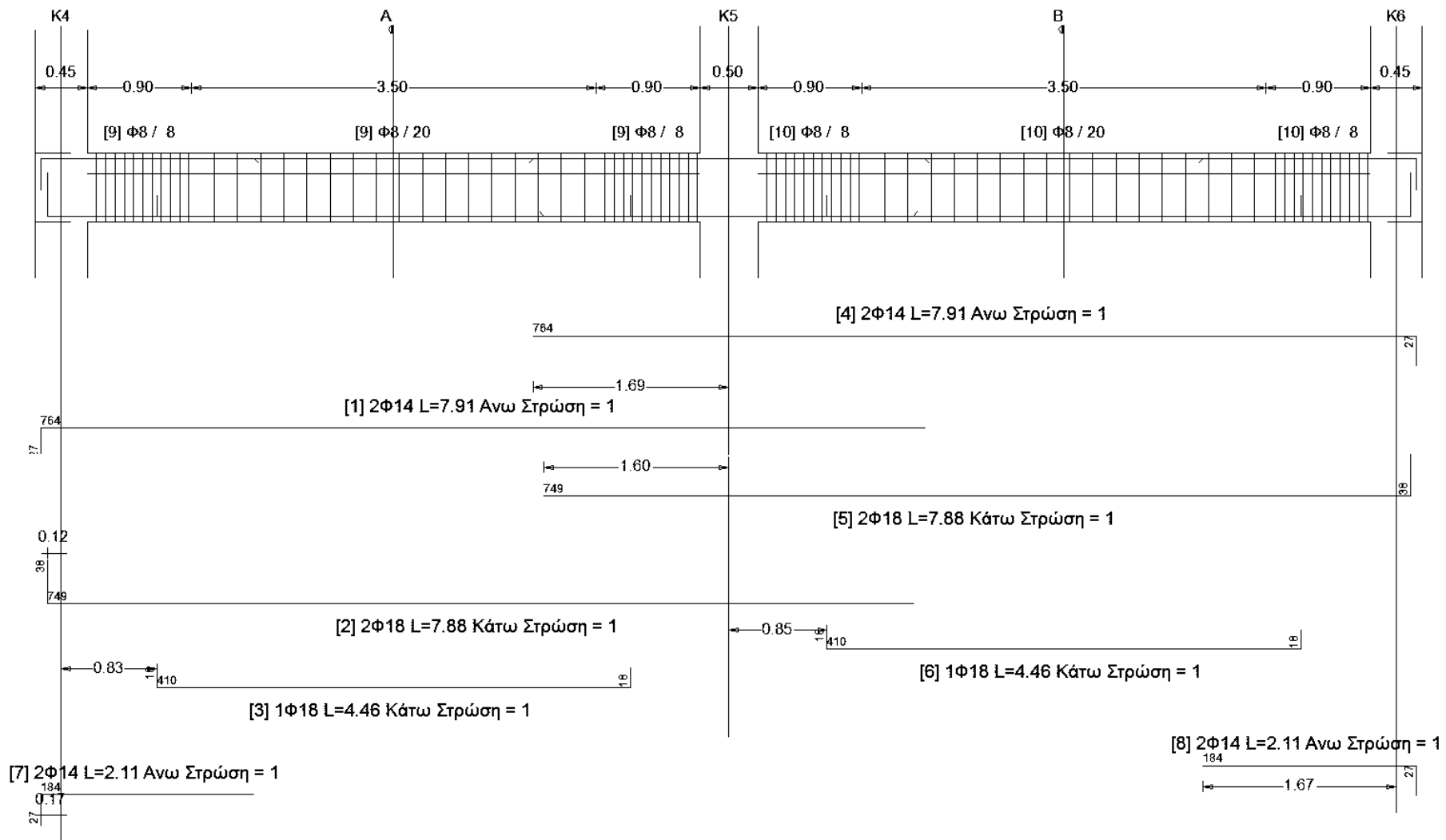
- Δοκοί **Δ1, Δ3, Δ4, Δ6**
- Δοκοί **Δ2, Δ5**

Στο εξής η αναφορά στις δοκούς Δ1 και Δ2 θα υποδηλώνει ολόκληρη την αντίστοιχη ομάδα.

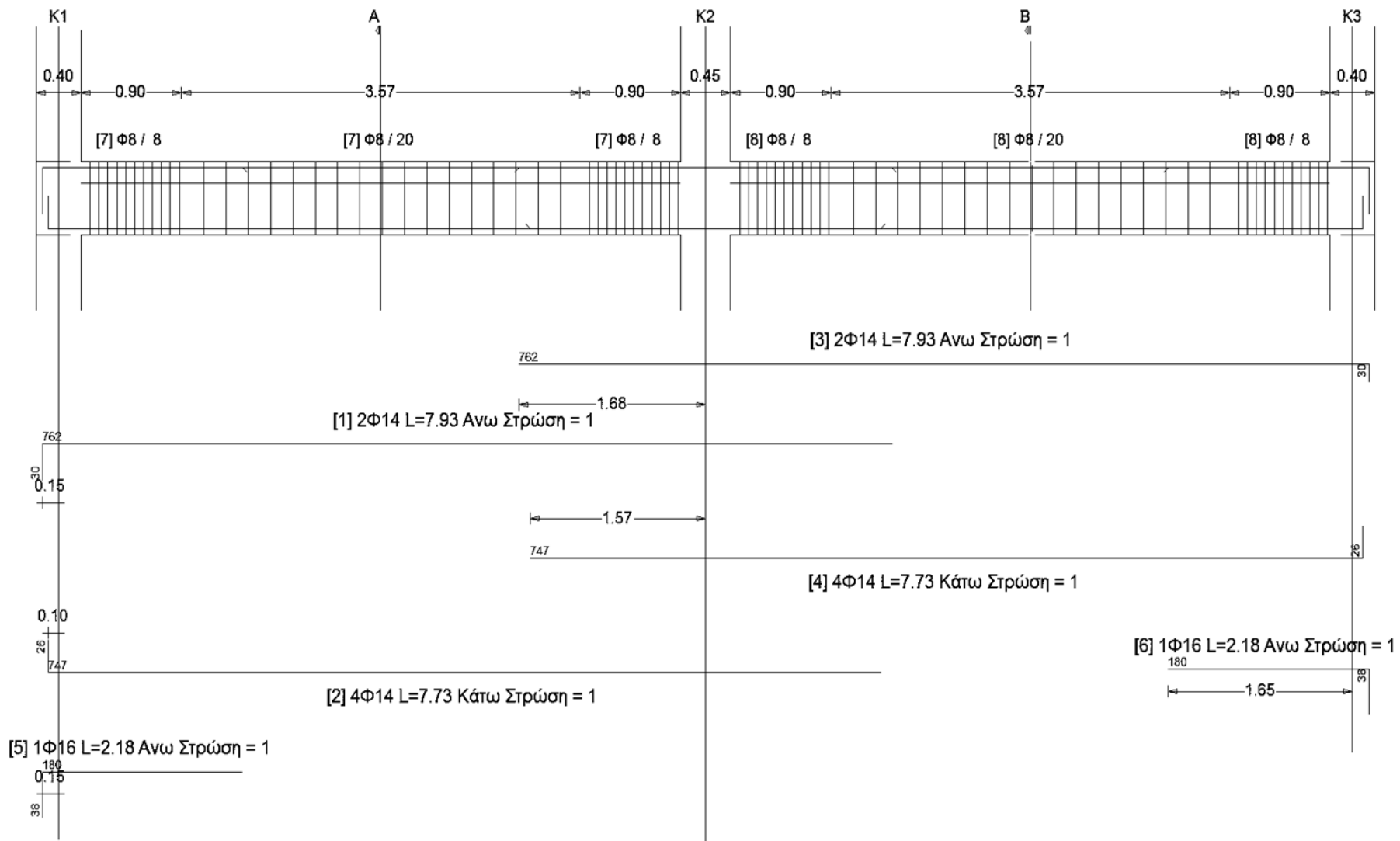
Στη συνέχεια παρατίθενται οι διατομές δοκών ανά όροφο.



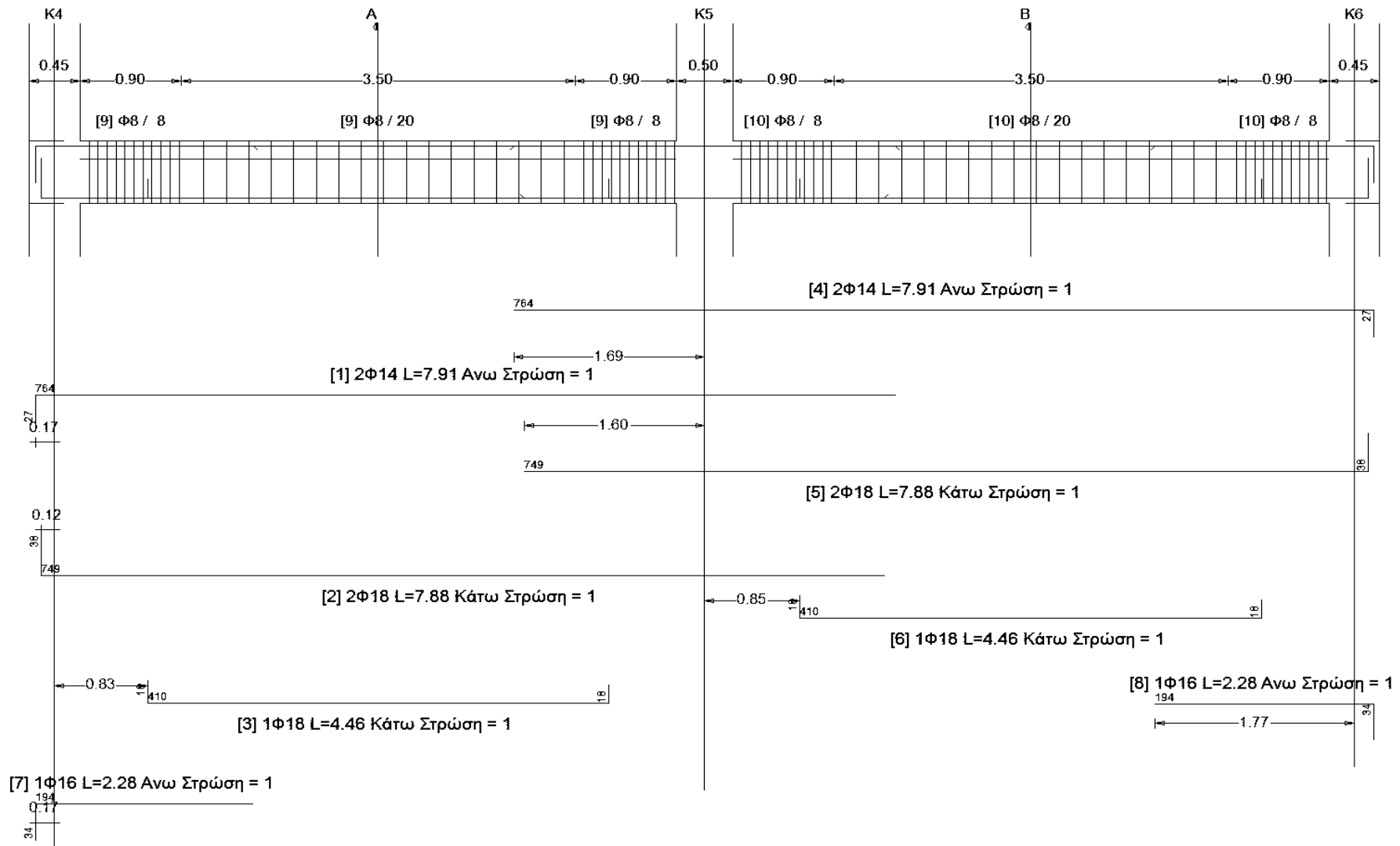
Σχήμα 2.17: Δοκός Δ1, Όροφος 1



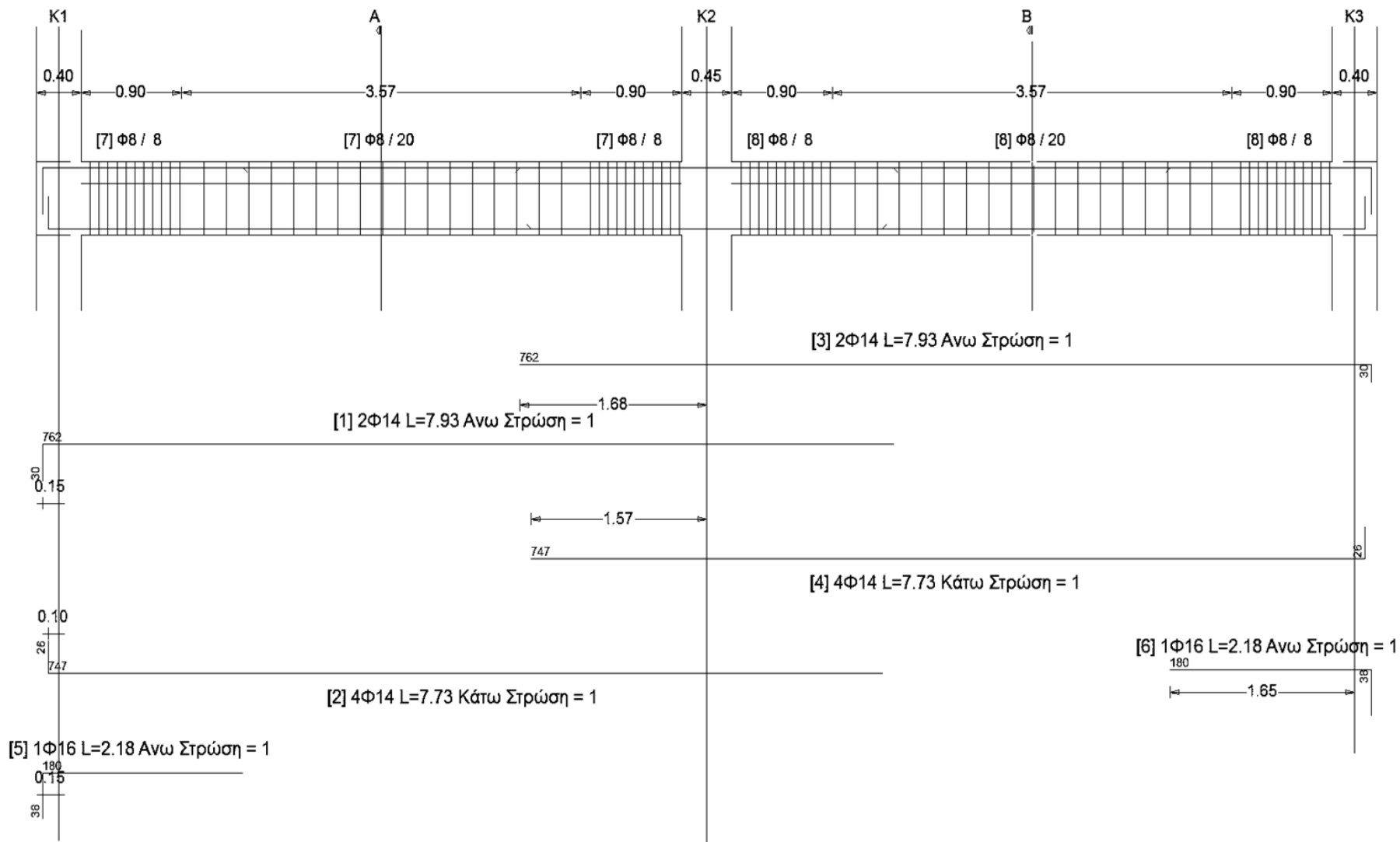
Σχήμα 2.18: Δοκός Δ2, Όροφος 1



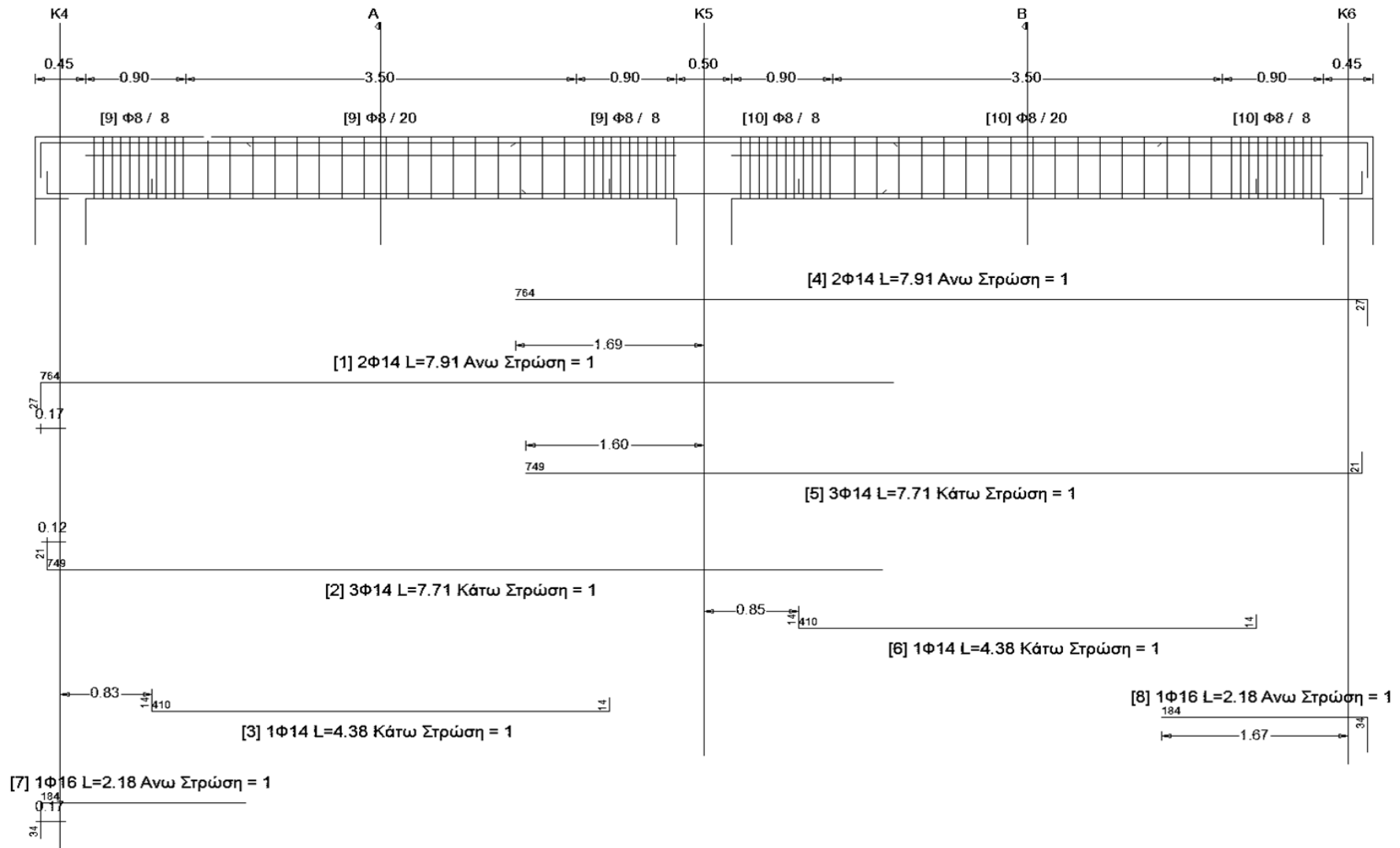
Σχήμα 2.19: Δοκός Δ1, Όροφος 2



Σχήμα 2.20: Δοκός Δ2, Όροφος 2



Σχήμα 2.21: Δοκός Δ1, Όροφος 3



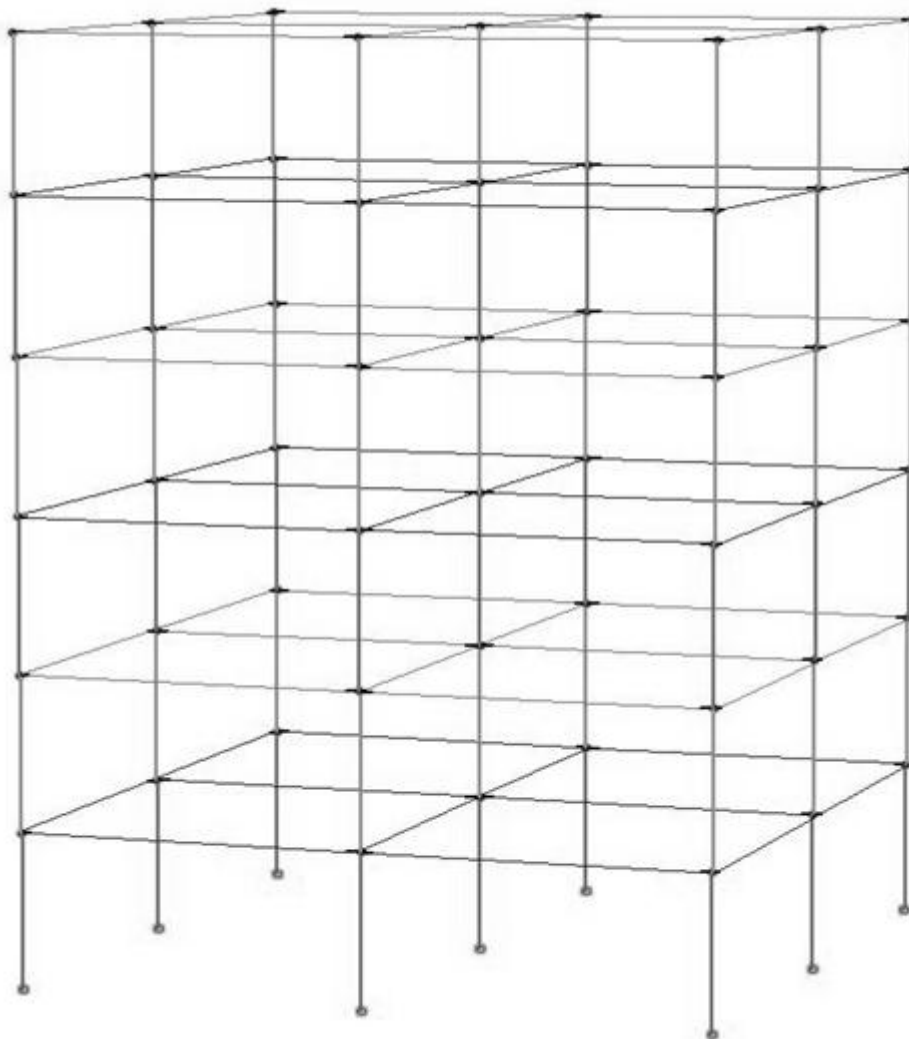
Σχήμα 2.22: Δοκός Δ2, Όροφος 3

2.4. ΕΞΑΩΡΟΦΟ

Η δεύτερη κατασκευή που μελετήθηκε αποτελείται από **έξι ορόφους-διαφράγματα** και έχει συνολικό ύψος

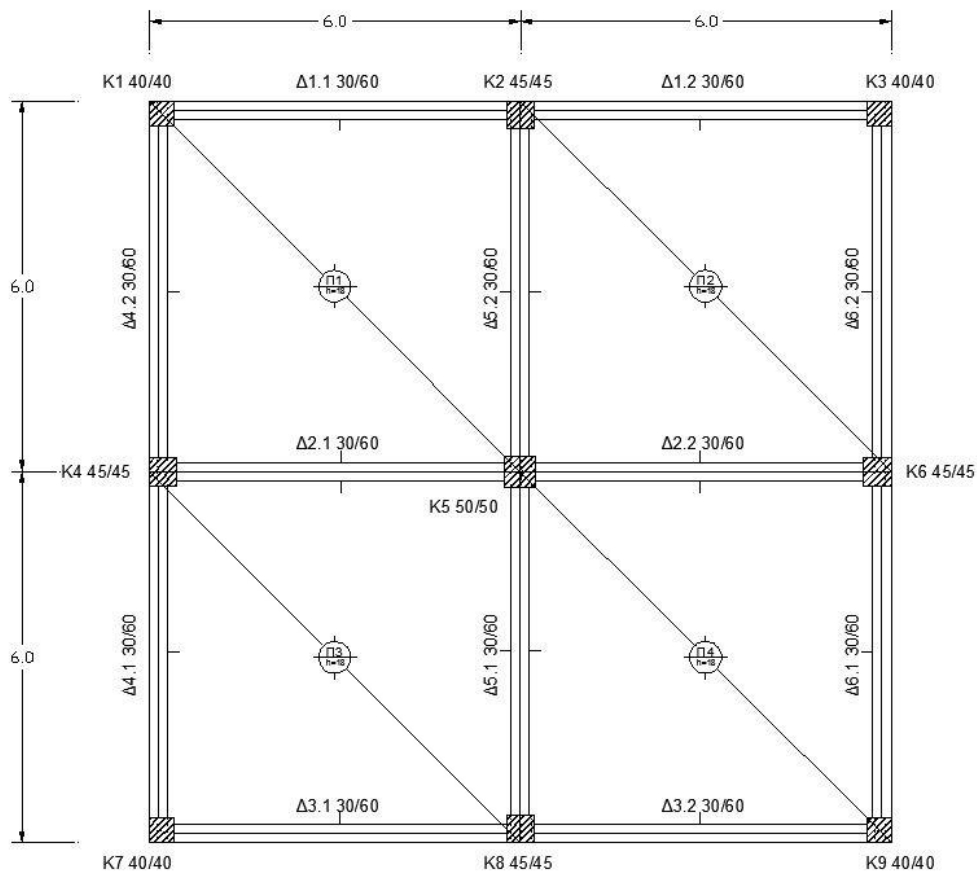
$$H_{\text{ολικό}} = 18.0 \text{ m}$$

καθώς κάθε όροφος έχει ύψος 3.0 m.



Σχήμα 2.23: Εξαώροφη κατασκευή

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως η κάτοψη είναι συμμετρική και αποτελείται από πλαίσια 2 ανοιγμάτων μήκους 6.0 m έκαστο. Τα ανοίγματα και οι διατομές (μόνο όσον αφορά τις διαστάσεις) φαίνονται στο Σχήμα 2.24.



Σχήμα 2.24: Κάτοψη τυπικού ορόφου εξώροφου

2.4.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το βάρος της κατασκευής και η μάζα κάθε επιπέδου δίνεται στον Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5: Βάρος κατασκευής και μάζα επιπέδων

Επίπεδο	Υψόμετρο [m]	Συνολικό Βάρος Υπερκείμενων Επιπέδων [kN]	Μάζα Επιπέδου [ton]
1	3.00	7.16E+03	1.22E+02
2	6.00	5.97E+03	1.22E+02
3	9.00	4.77E+03	1.22E+02
4	12.00	3.58E+03	1.22E+02
5	15.00	2.39E+03	1.22E+02
6	18.00	1.19E+03	1.15E+02

2.4.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η κατασκευή διαθέτει 18 ιδιομορφές, με τις τιμές των ιδιοπεριόδων και τα αντίστοιχα ποσοστά της δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας για σεισμό κατά X και Y να δίνονται στον Πίνακα 2.6.

Πίνακας 2.6: Ιδιοπερίοδοι και ποσοστά δρώσας ιδιομορφικής μάζας για σεισμούς X & Y

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]	Ποσοστό Δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας [%]	
		Διεύθυνση X	Διεύθυνση Y
1	0.8554	0.000	75.687
2	0.8405	84.336	0.000
3	0.7366	0.000	8.649
4	0.2826	0.000	8.761
5	0.2775	9.823	0.000
6	0.2440	0.000	1.061
7	0.1673	0.000	2.995
8	0.1640	3.417	0.000
9	0.1455	0.000	0.422
10	0.1197	0.000	1.363
11	0.1173	1.570	0.000
12	0.1045	0.000	0.206
13	0.0957	0.000	0.583
14	0.0937	0.677	0.000
15	0.0839	0.000	0.124
16	0.0838	0.000	0.121
17	0.0821	0.176	0.000
18	0.0736	0.000	0.026

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5, 7-8, 10-11, 13-14 και 16-17. Για τα ζεύγη αυτά θα ήταν αναμενόμενο τα ποσοστά δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας για Σεισμό κατά X να ταυτίζονται με τα ποσοστά για Σεισμό κατά Y, κάτι που ωστόσο δεν επαληθεύεται, πιθανότατα λόγω αριθμητικής αστάθειας.

2.4.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΜΕΛΩΝ

2.4.3.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

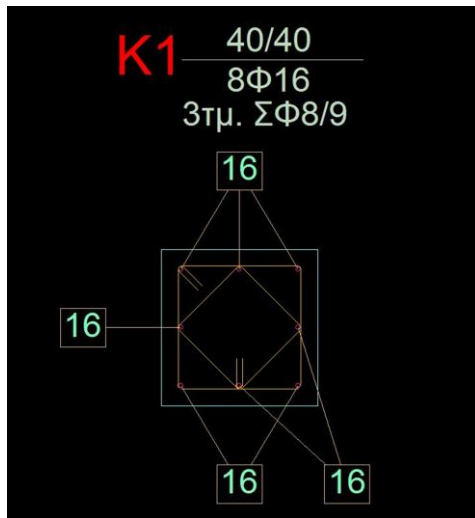
Κάθε όροφος διαθέτει 9 υποστυλώματα τοποθετημένα σε κάρναβο ανοίγματος 6 m (Σχήματα 2.1 και 2.24). Λόγω συμμετρίας διακρίνονται 3 ομάδες υποστυλωμάτων με πανομοιότυπη γεωμετρία και όπλιση:

- Υποστυλώματα **K1, K3, K7, K9**
- Υποστυλώματα **K2, K4, K6, K8**
- Υποστυλώμα **K5**

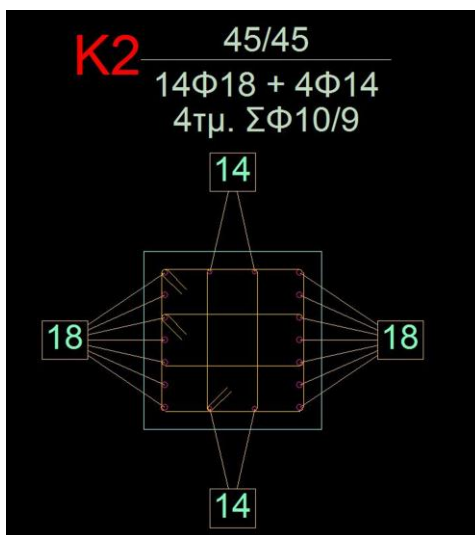
Στο εξής η αναφορά στα υποστυλώματα K1, K2 και K5 θα υποδηλώνει ολόκληρη την αντίστοιχη ομάδα.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι διατομές των υποστυλωμάτων ανά όροφο.

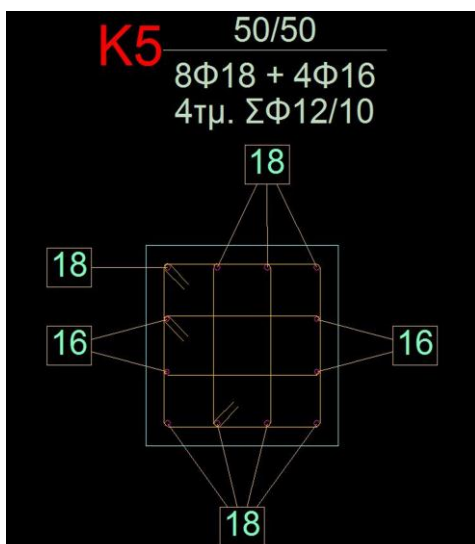
- ΟΡΟΦΟΣ 1



Σχήμα 2.25: Υποστύλωμα K1, Όροφος 1

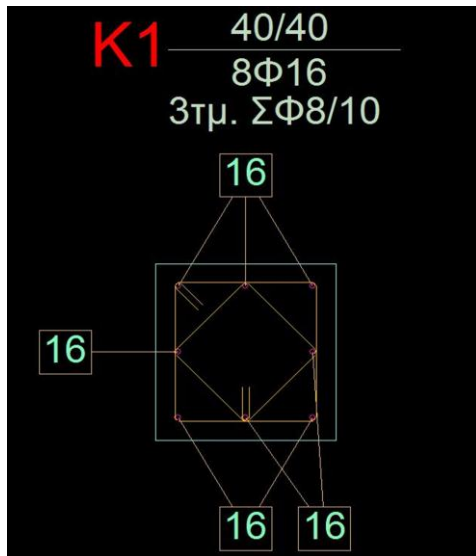


Σχήμα 2.26: Υποστύλωμα K2, Όροφος 1

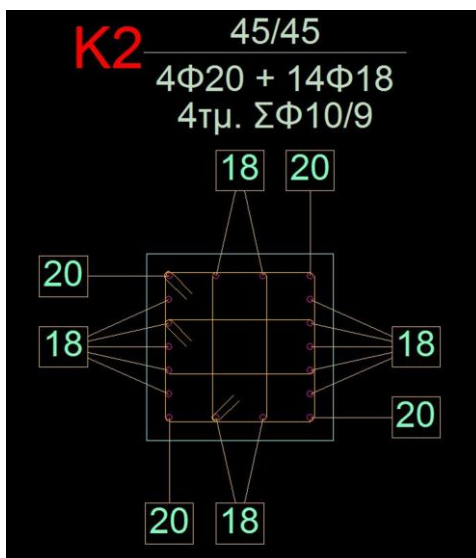


Σχήμα 2.27: Υποστύλωμα K5, Όροφος 1

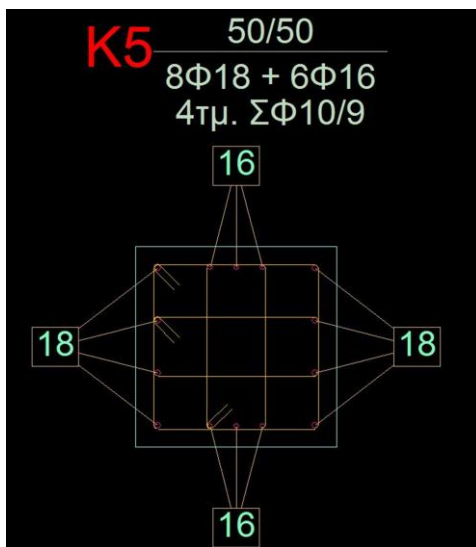
• ΟΡΟΦΟΣ 2



Σχήμα 2.28: Υποσύλωμα K1, Όροφος 2

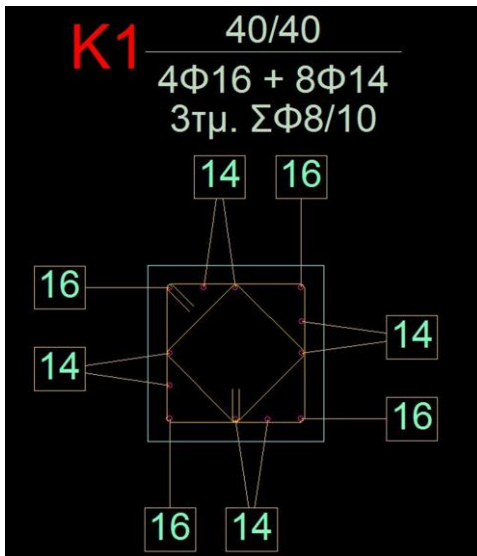


Σχήμα 2.29: Υποσύλωμα K2, Όροφος 2

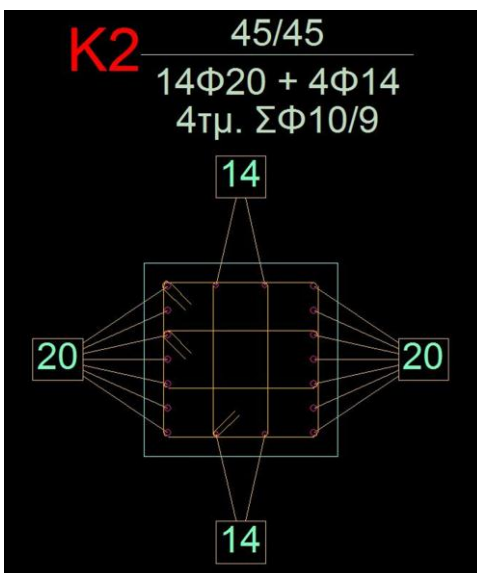


Σχήμα 2.30: Υποσύλωμα K5, Όροφος 2

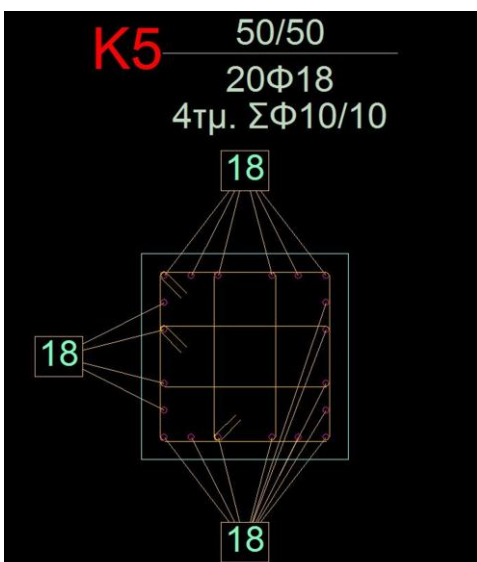
- ΟΡΟΦΟΣ 3



Σχήμα 2.31: Υποστύλωμα K1, Όροφος 3

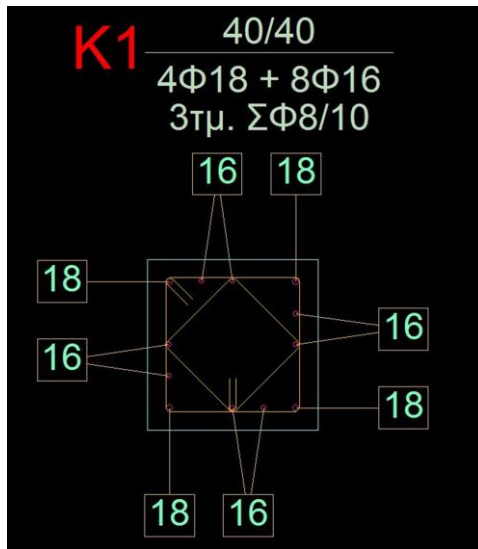


Σχήμα 2.32: Υποστύλωμα K2, Όροφος 3

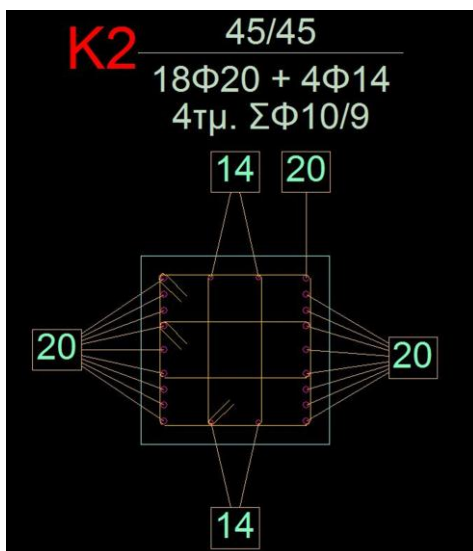


Σχήμα 2.33: Υποστύλωμα K5, Όροφος 3

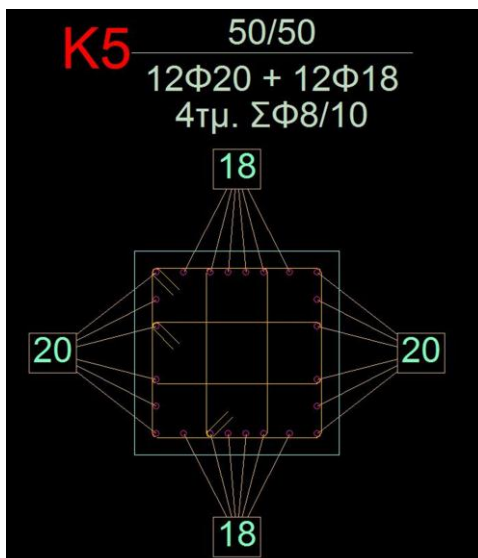
• ΟΡΟΦΟΣ 4



Σχήμα 2.34: Υποστύλωμα K1, Όροφος 4

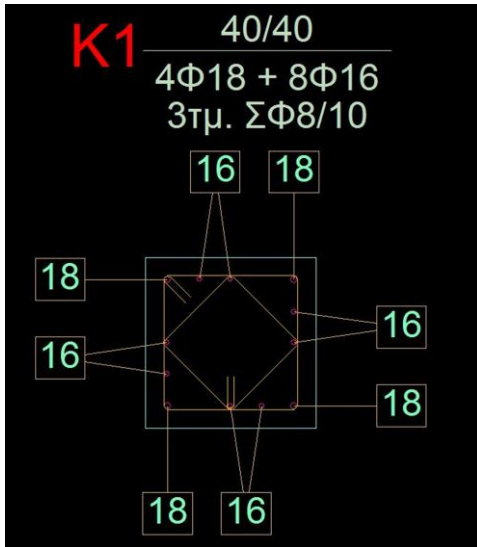


Σχήμα 2.35: Υποστύλωμα K2, Όροφος 4

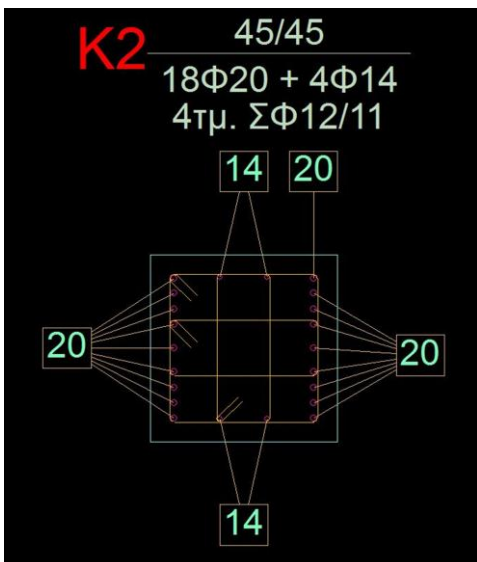


Σχήμα 2.36: Υποστύλωμα K5, Όροφος 4

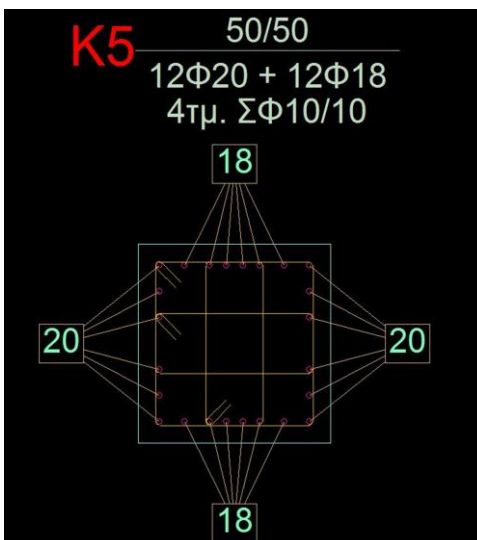
- ΟΡΟΦΟΣ 5



Σχήμα 2.37: Υποσύλωμα K1, Όροφος 5

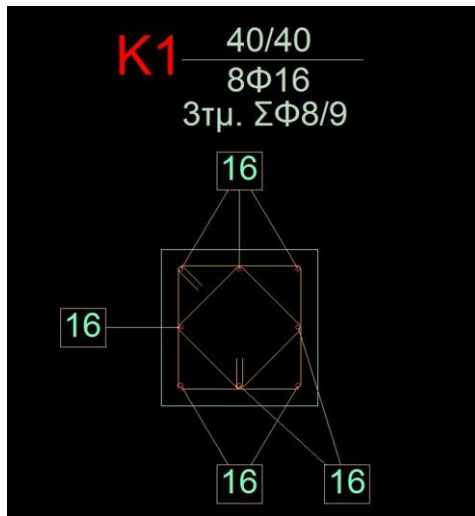


Σχήμα 2.38: Υποσύλωμα K2, Όροφος 5

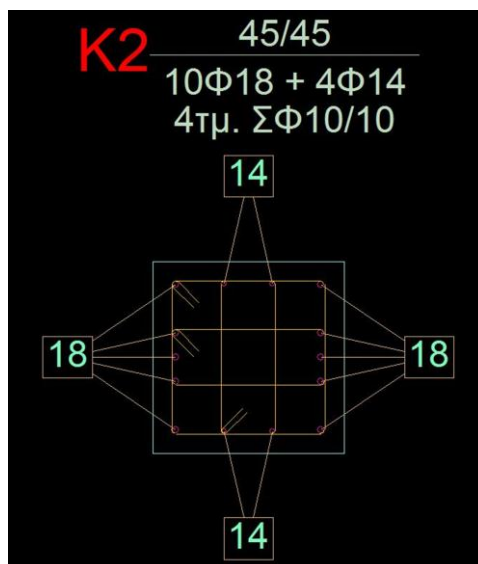


Σχήμα 2.39: Υποσύλωμα K5, Όροφος 5

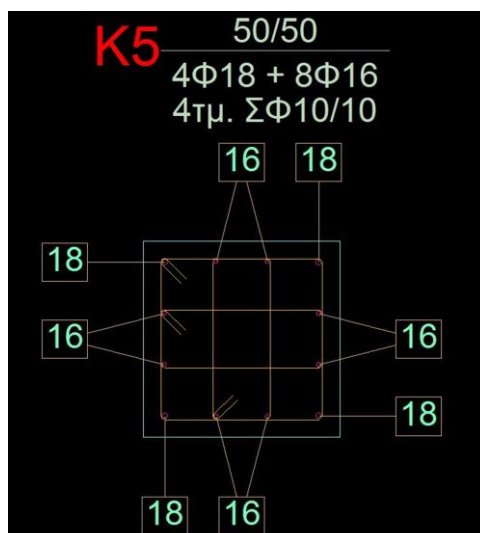
• ΟΡΟΦΟΣ 6



Σχήμα 2.40: Υποστύλωμα K1, Όροφος 6



Σχήμα 2.41: Υποστύλωμα K2, Όροφος 6

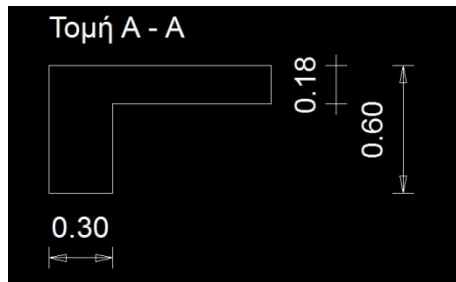


Σχήμα 2.42: Υποστύλωμα K5, Όροφος 6

2.4.3.2. ΔΟΚΟΙ

Κάθε όροφος διαθέτει 6 δοκούς δύο ανοιγμάτων με διατομή 30/60 cm και συνολικό μήκος 12.0 m.

Καθ' ύψος της κατασκευής όλες οι **ακραιές δοκοί** έχουν τομή:



Σχήμα 2.43: Τομή ακραιών δοκών

Καθ' ύψος της κατασκευής όλες οι **εσωτερικές δοκοί** έχουν τομή:



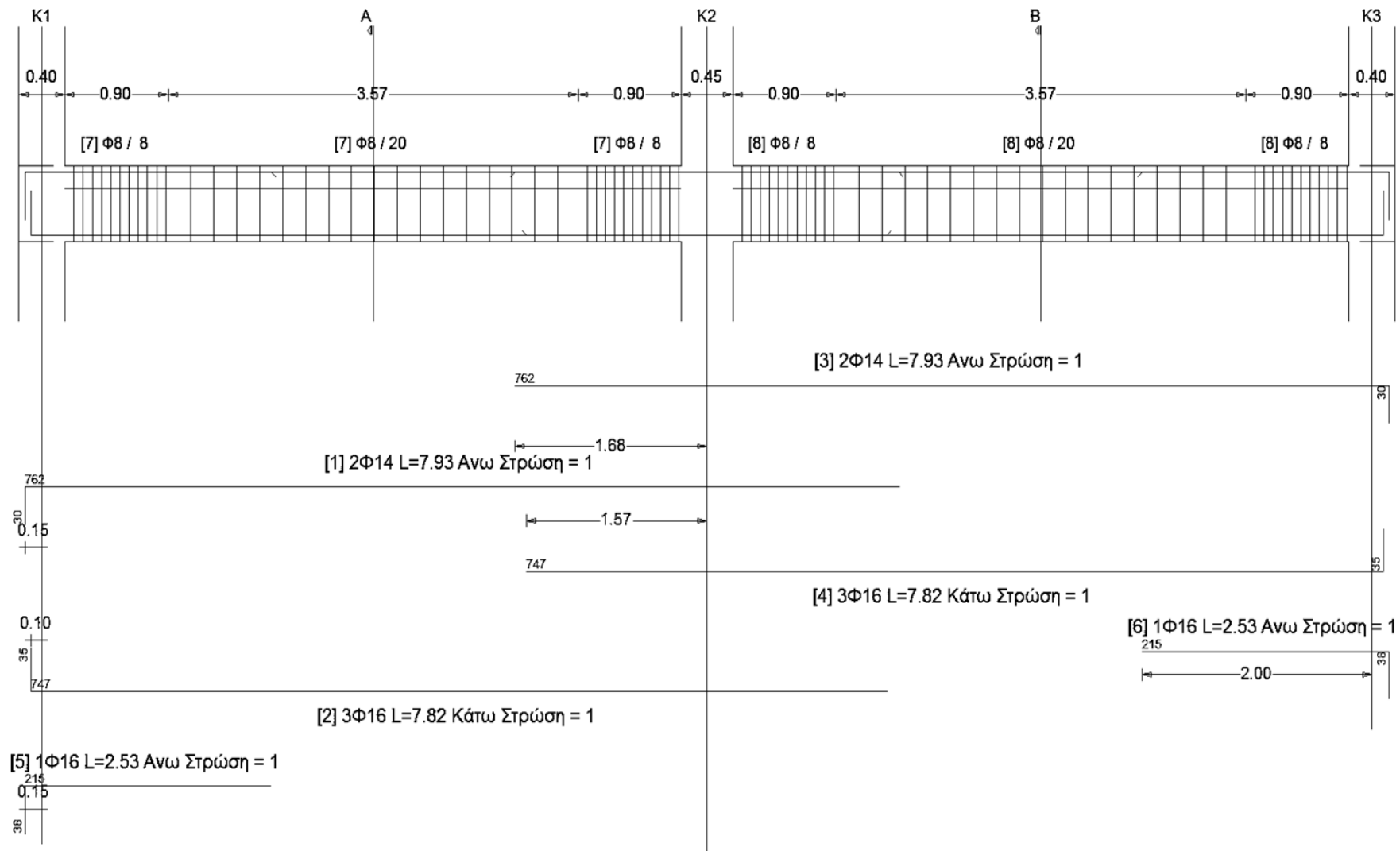
Σχήμα 2.44: Τομή εσωτερικών δοκών

Λόγω της συμμετρίας του φορέα και της φόρτισης κάθε δοκός είναι συμμετρικά οπλισμένη ενώ παράλληλα διακρίνονται 2 ομάδες δοκών με πανομοιότυπη γεωμετρία και όπλιση:

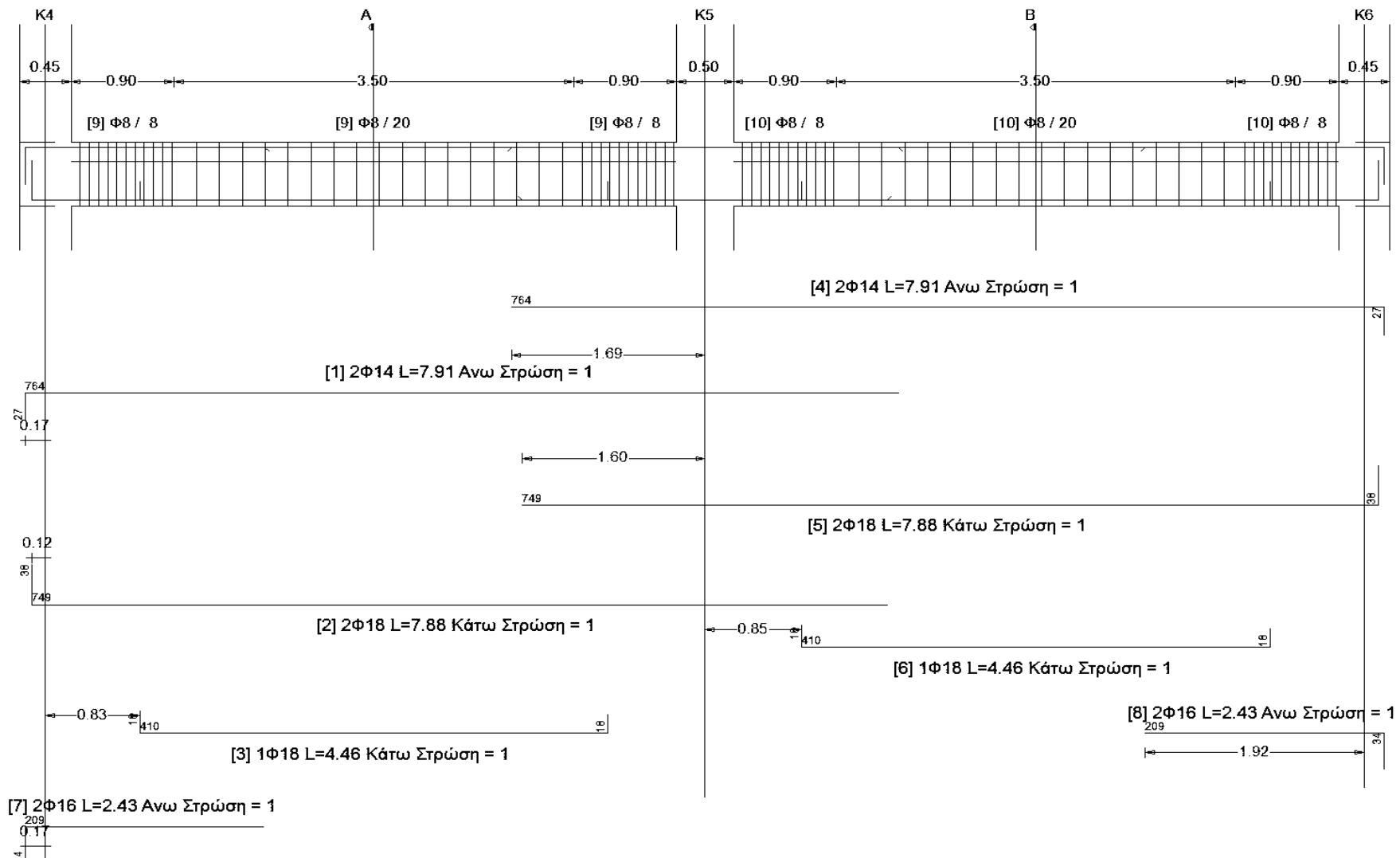
- Δοκοί **Δ1, Δ3, Δ4, Δ6**
- Δοκοί **Δ2, Δ5**

Στο εξής η αναφορά στις δοκούς Δ1 και Δ2 θα υποδηλώνει ολόκληρη την αντίστοιχη ομάδα.

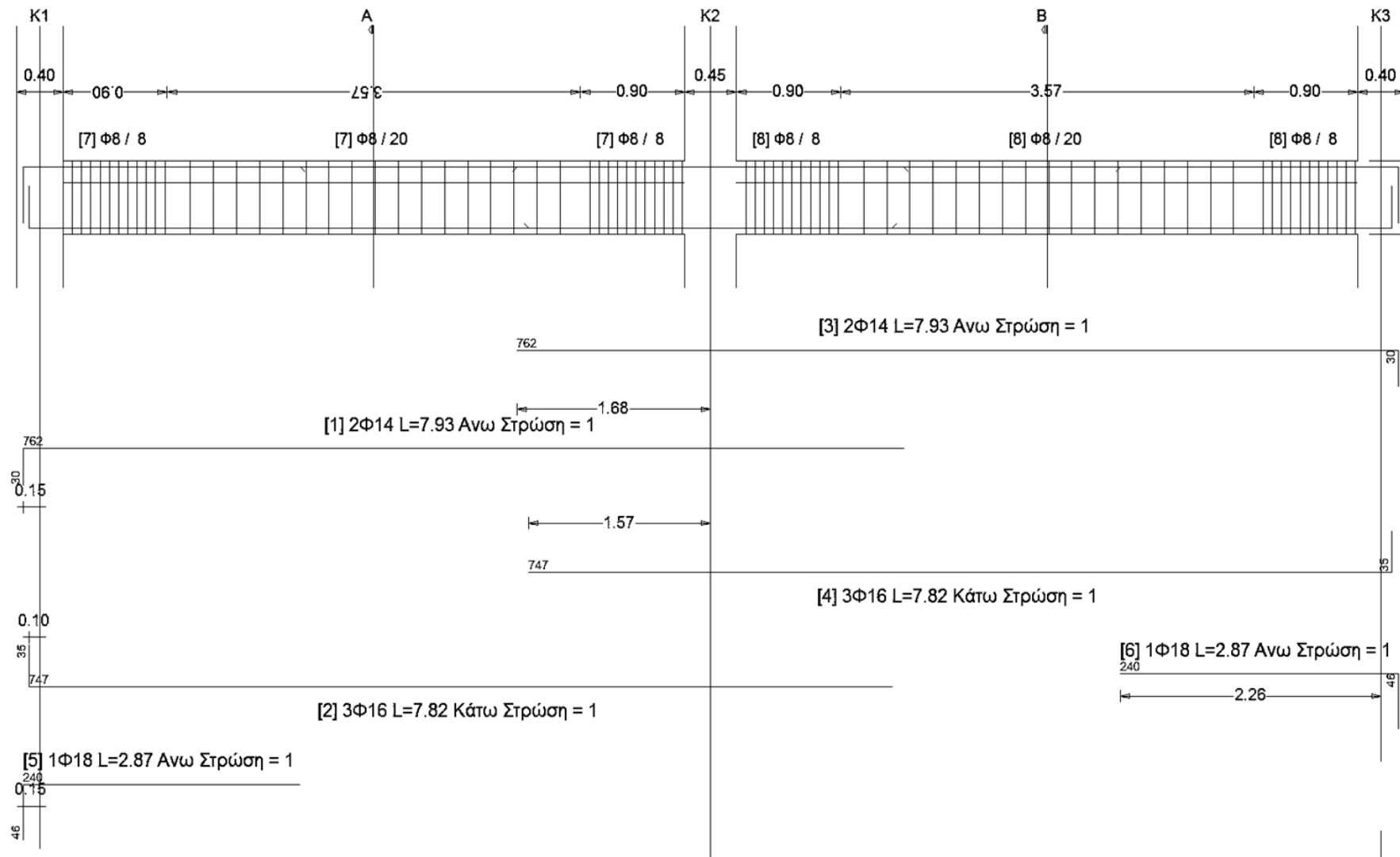
Στη συνέχεια παρατίθενται οι διατομές των δοκών ανά όροφο.



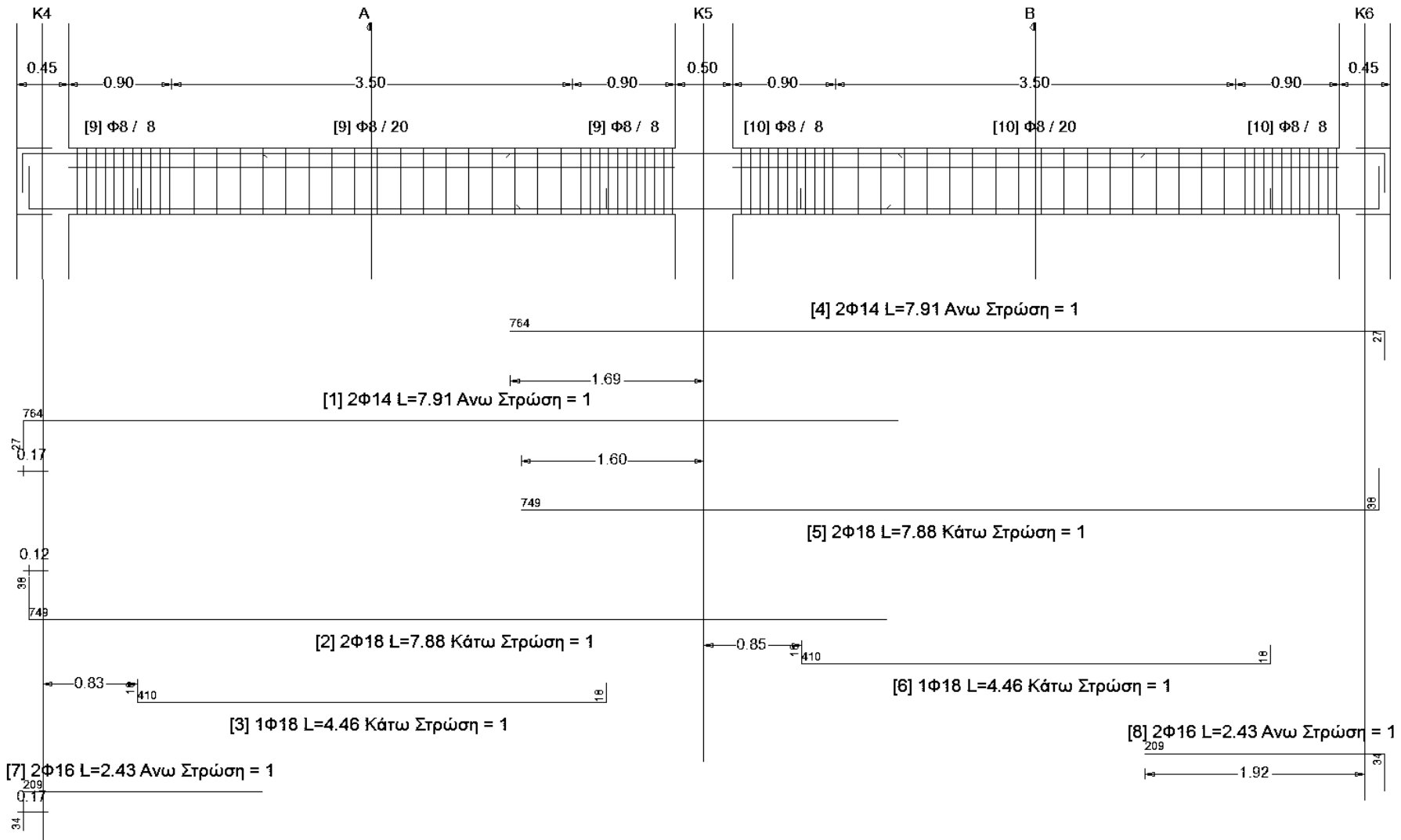
Σχήμα 2.45: Δοκός Δ1, Όροφος 1



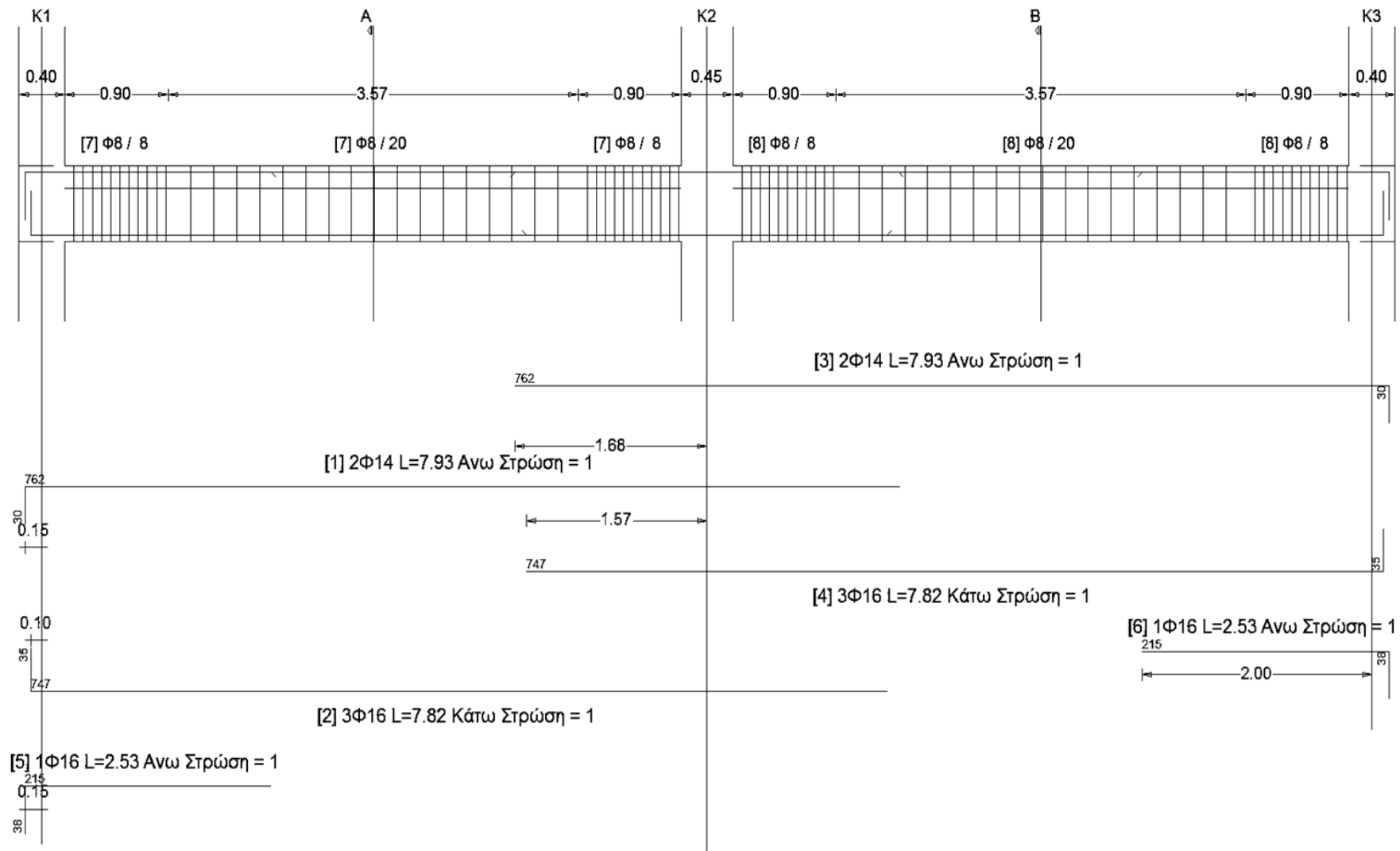
Σχήμα 2.46: Δοκός Δ2, Όροφος 1



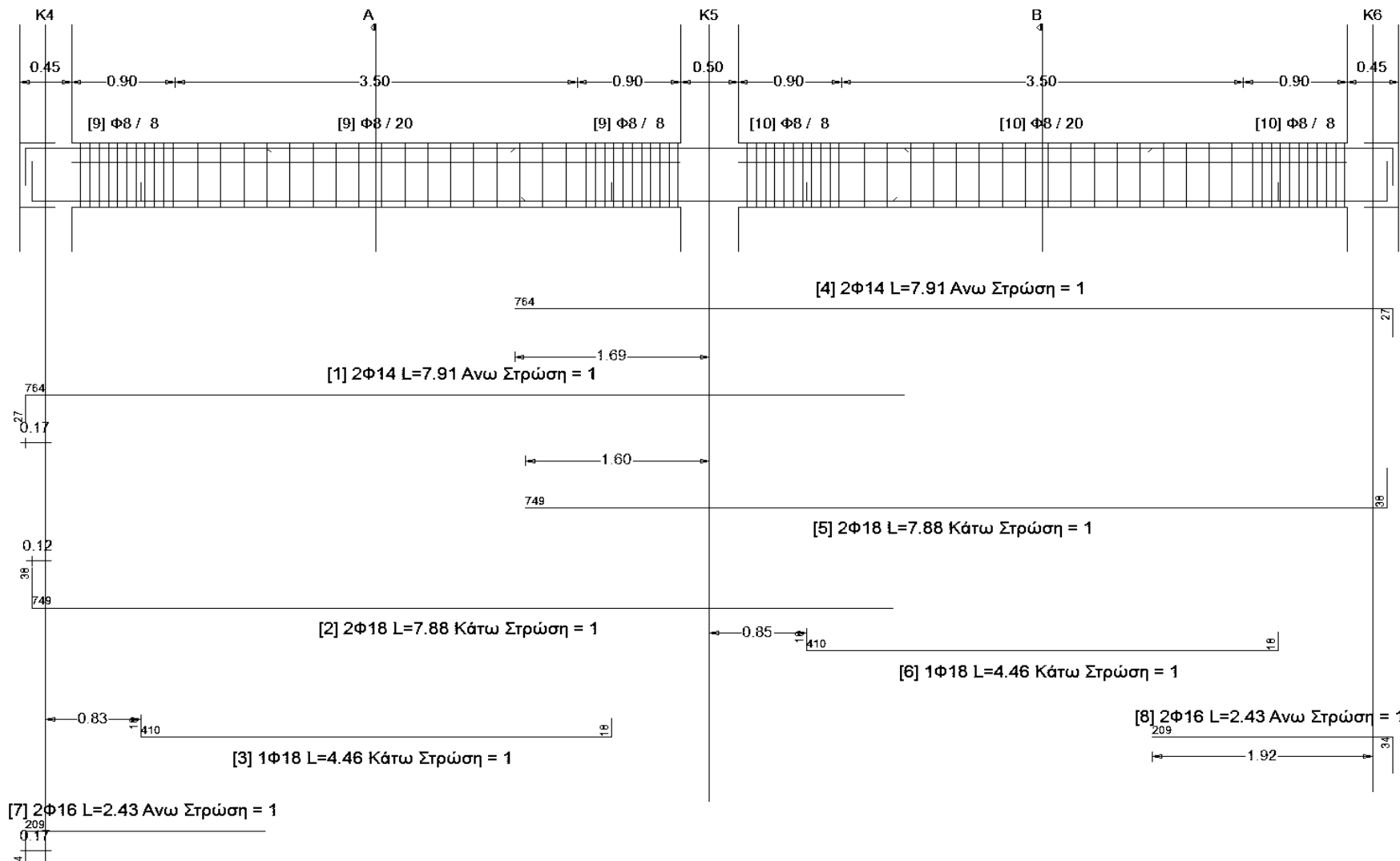
Σχήμα 2.47: Δοκός Δ1, Όροφος 2



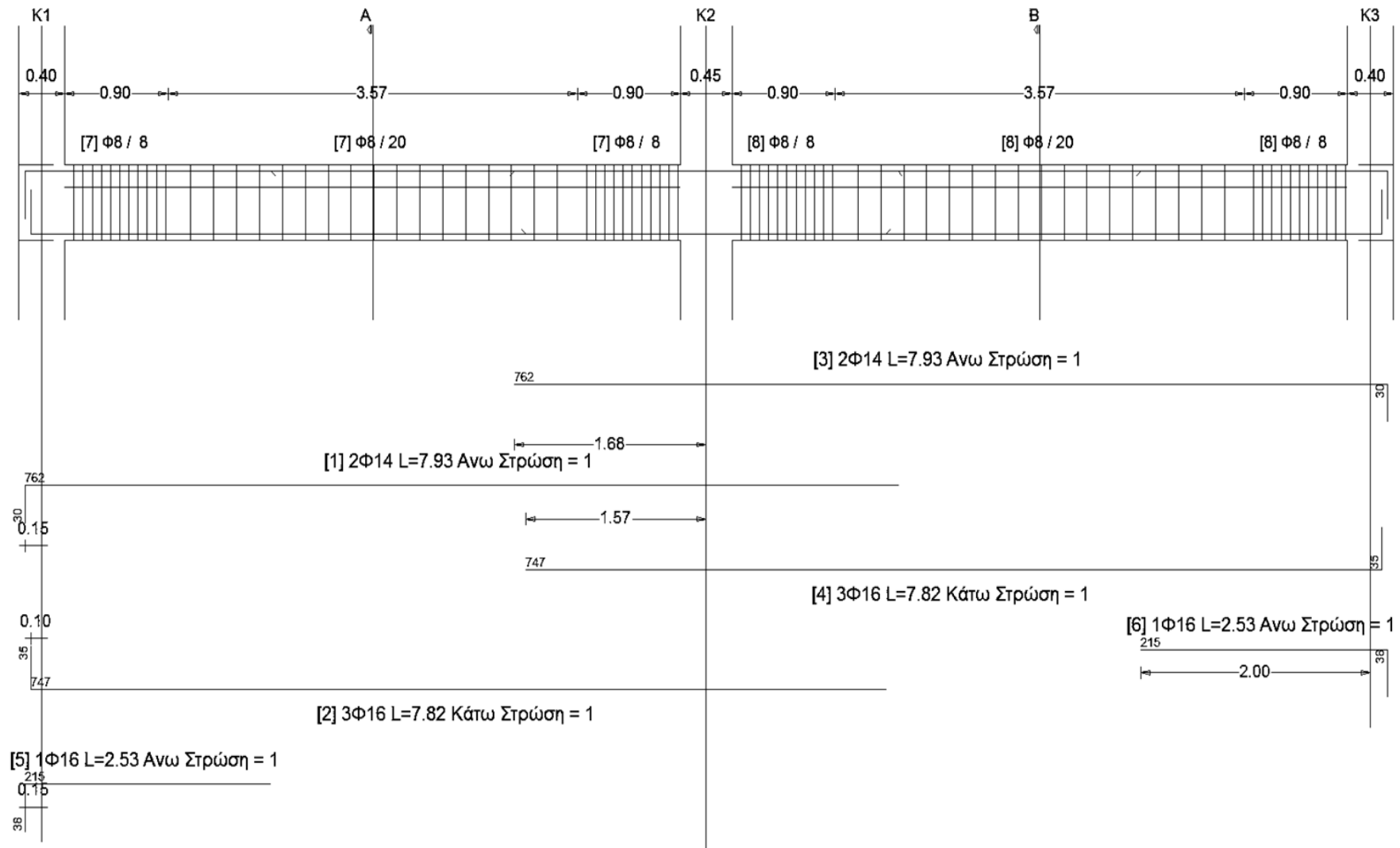
Σχήμα 2.48: Δοκός Δ2, Όροφος 2



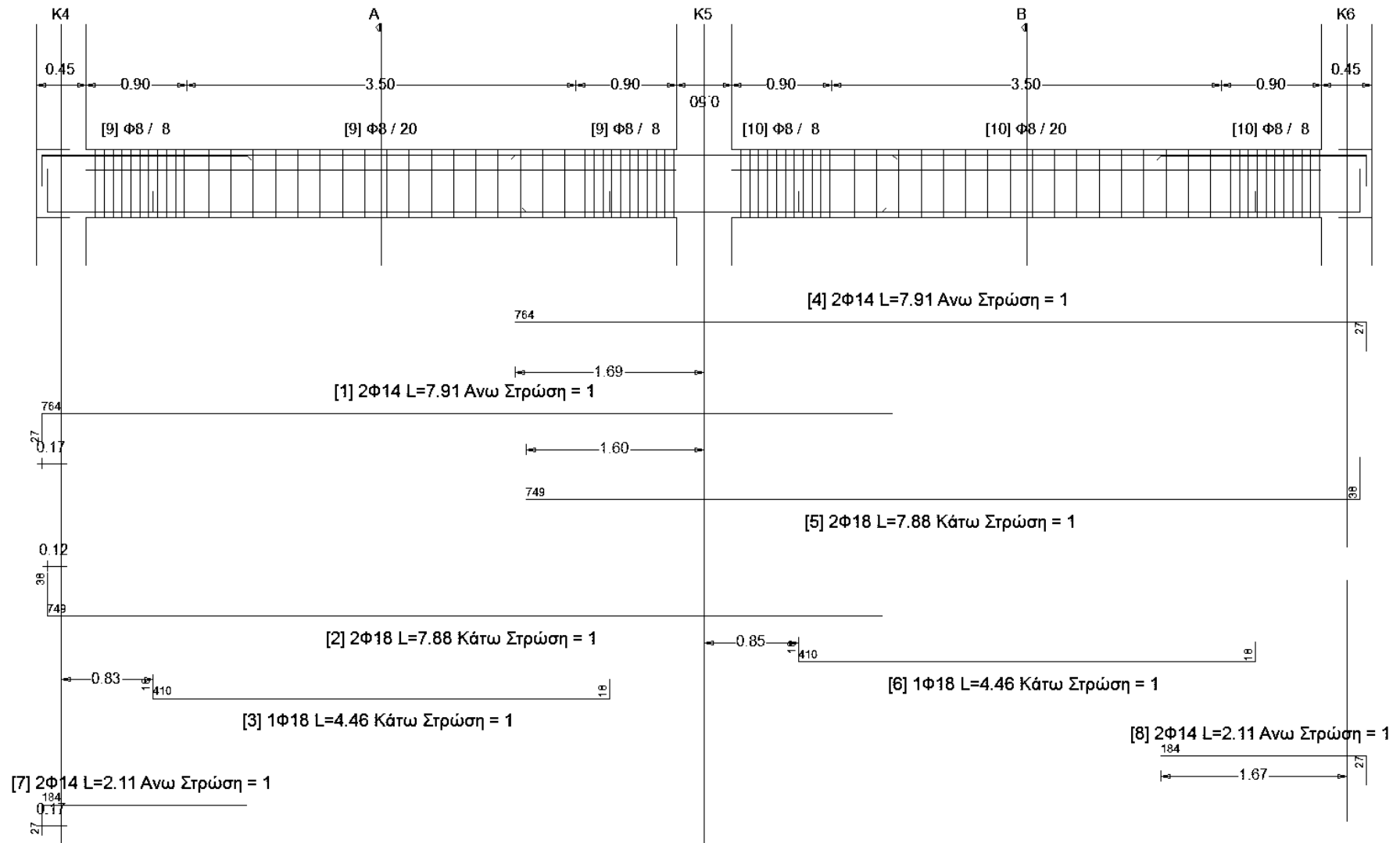
Σχήμα 2.49: Δοκός Δ1, Όροφος 3



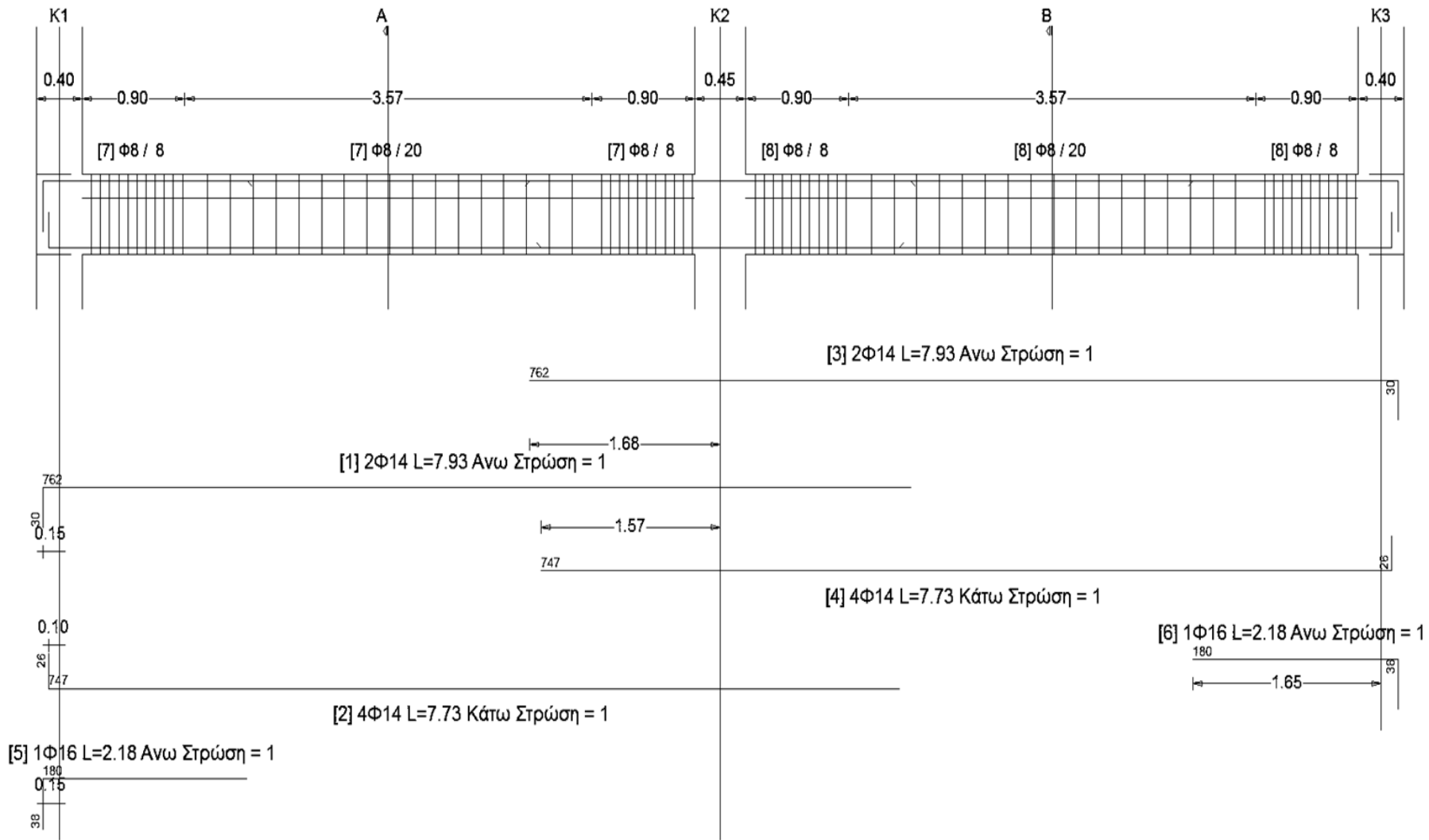
Σχήμα 2.50: Δοκός Δ2, Όροφος 3



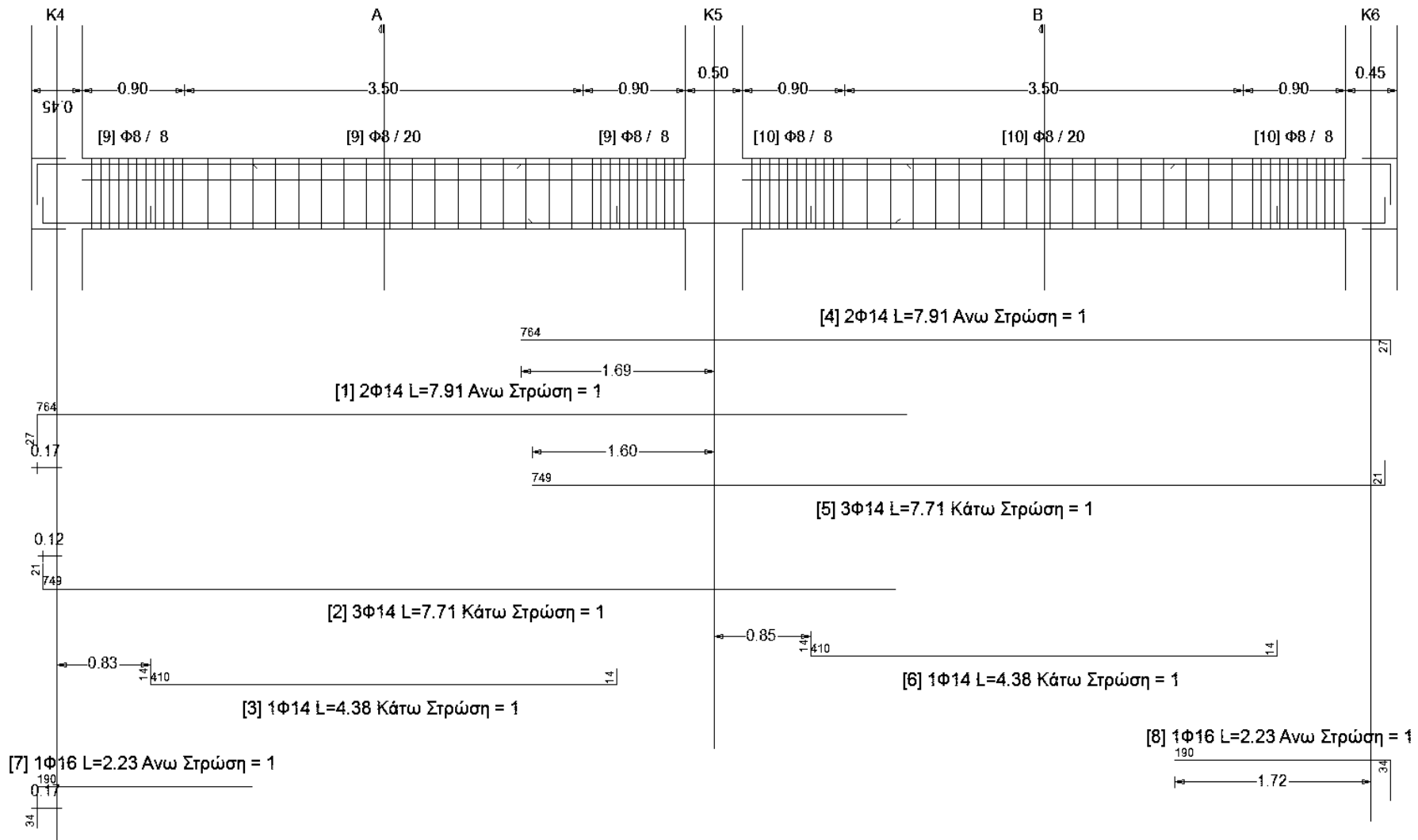
Σχήμα 2.51: Δοκός Δ1, Όροφος 4



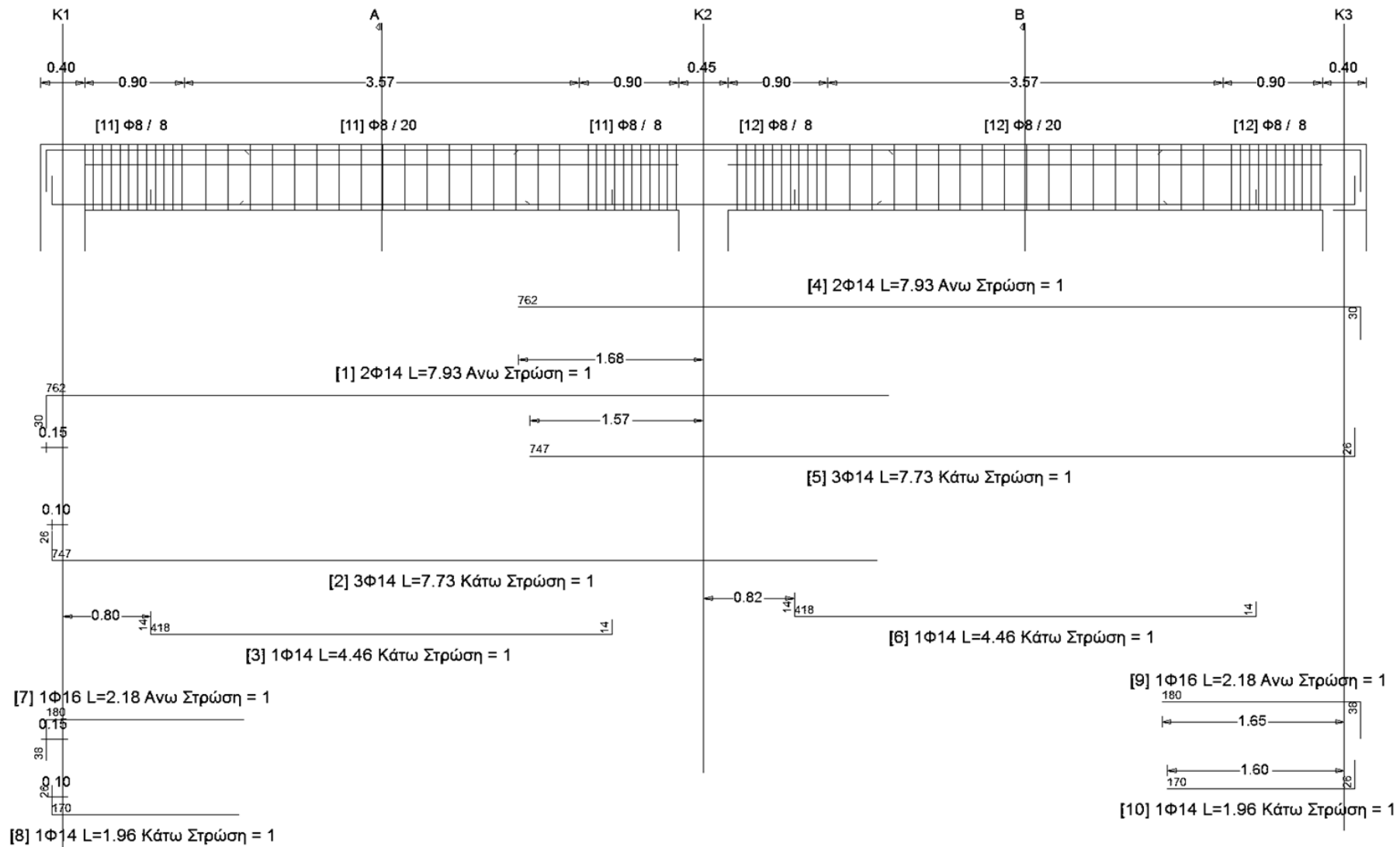
Σχήμα 2.52: Δοκός Δ2, Όροφος 4



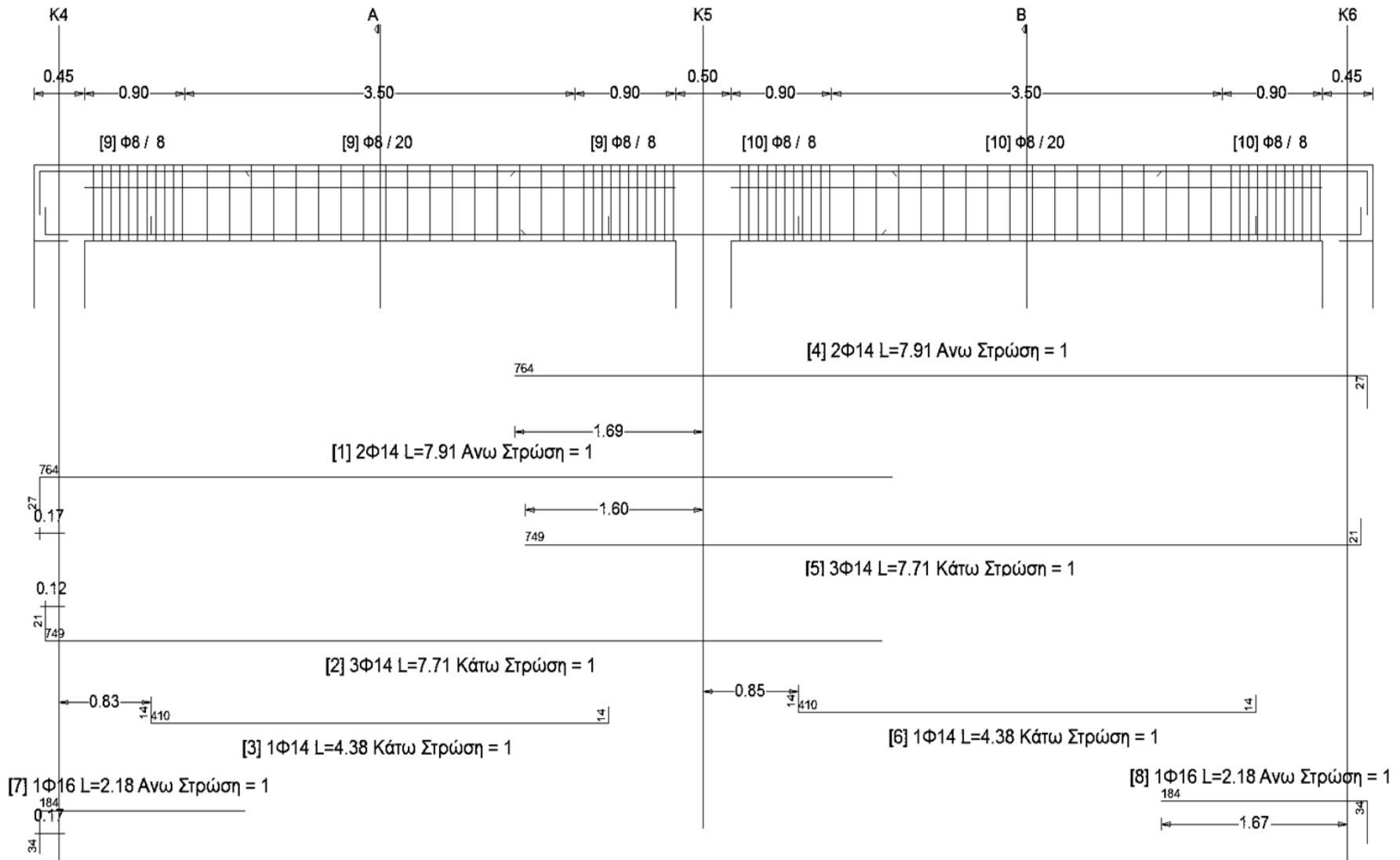
Σχήμα 2.53: Δοκός Δ1, Όροφος 5



Σχήμα 2.54: Δοκός Δ2, Όροφος 5



Σχήμα 2.55: Δοκός Δ1, Όροφος 6



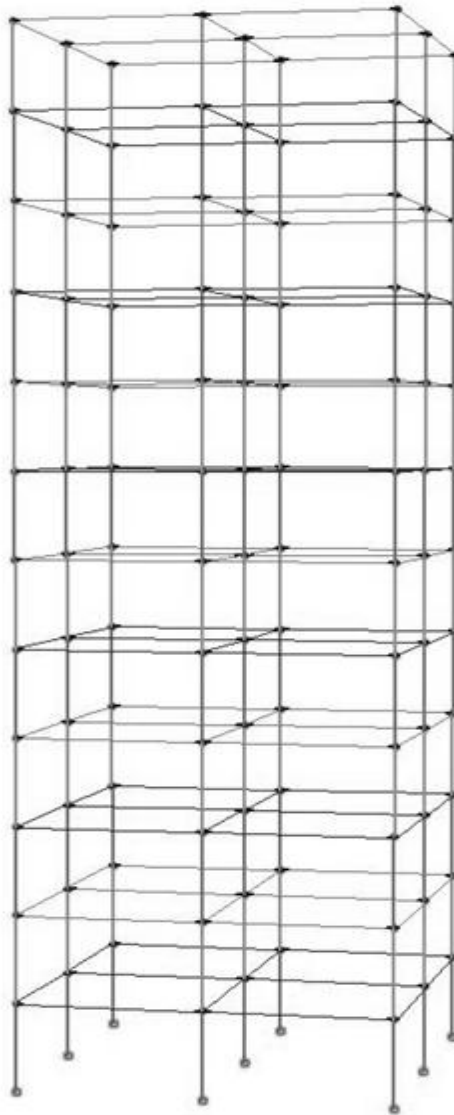
Σχήμα 2.56: Δοκός Δ2, Όροφος 6

2.5. ΔΩΔΕΚΑΩΡΟΦΟ

Η τρίτη κατασκευή που μελετήθηκε αποτελείται από **δώδεκα ορόφους-διαφράγματα** και έχει συνολικό ύψος

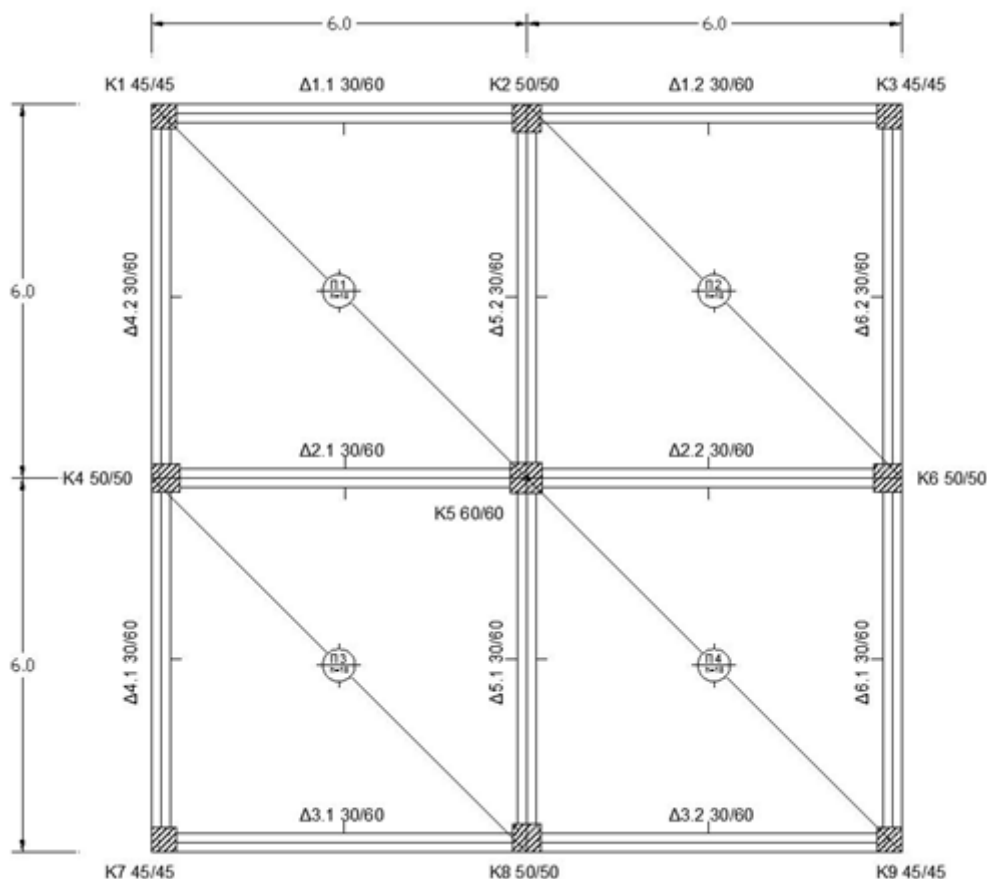
$$H_{\text{ολικό}} = 36.0 \text{ m}$$

καθώς κάθε όροφος έχει ύψος 3.0 m.



Σχήμα 2.57: Δωδεκαώροφη κατασκευή

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως η κάτοψη είναι συμμετρική και αποτελείται από πλαίσια 2 ανοιγμάτων μήκους 6.0 m έκαστο. Τα ανοίγματα και οι διατομές (μόνο όσον αφορά τις διαστάσεις) φαίνονται στο Σχήμα 2.58.



Σχήμα 2.58: Κάτοψη τυπικού ορόφου δωδεκαώροφου

2.5.1. ΒΑΡΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Το βάρος της κατασκευής και η μάζα κάθε επιπέδου δίνεται στον Πίνακα 2.7.

Πίνακας 2.7: Βάρος κατασκευής και μάζα επιπέδων

Επίπεδο	Υψόμετρο [m]	Συνολικό Βάρος Υπερκείμενων Επιπέδων [KN]	Μάζα Επιπέδου [ton]
1	3.00	1.47E+04	1.25E+02
2	6.00	1.35E+04	1.25E+02
3	9.00	1.22E+04	1.25E+02
4	12.00	1.10E+04	1.25E+02
5	15.00	9.79E+04	1.25E+02
6	18.00	8.57E+04	1.25E+02
7	21.00	7.34E+04	1.25E+02
8	24.00	6.12E+04	1.25E+02
9	27.00	4.90E+04	1.25E+02
10	30.00	3.67E+04	1.25E+02
11	33.00	2.45E+04	1.25E+02
12	36.00	1.22E+04	1.17E+02

2.5.2. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η κατασκευή διαθέτει 36 ιδιομορφές, με τις τιμές των ιδιοπεριόδων και τα αντίστοιχα ποσοστά της δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας για σεισμό κατά Χ και Υ να δίνονται στον Πίνακα 2.8.

Πίνακας 2.8: Ιδιοπερίοδοι και ποσοστά δρώσας ιδιομορφικής μάζας σεισμών Χ & Υ

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]	Ποσοστό Δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας [%]	
		Διεύθυνση Χ	Διεύθυνση Υ
1	1.5258	0.000	76.718
2	1.5063	81.126	0.000
3	1.2568	0.000	4.405
4	0.5020	0.000	9.727
5	0.4952	10.340	0.000
6	0.4165	0.000	0.612
7	0.2914	0.000	3.216
8	0.2867	3.497	0.000
9	0.2469	0.000	0.281
10	0.2044	0.000	1.669
11	0.2010	1.827	0.000
12	0.1741	0.000	0.157
13	0.1558	0.000	1.013
14	0.1531	1.116	0.000
15	0.1334	0.000	0.103
16	0.1253	0.000	0.677
17	0.1230	0.749	0.000
18	0.1077	0.000	0.070
19	0.1045	0.000	0.469
20	0.1025	0.520	0.000
21	0.0903	0.000	0.027
22	0.0899	0.000	0.349
23	0.0881	0.361	0.000
24	0.0795	0.000	0.203
25	0.0780	0.000	0.048
26	0.0778	0.239	0.000
27	0.0722	0.000	0.122
28	0.0706	0.142	0.000
29	0.0692	0.000	0.031
30	0.0673	0.000	0.057
31	0.0658	0.067	0.000
32	0.0646	0.000	0.015
33	0.0631	0.017	0.000
34	0.0630	0.000	0.020
35	0.0589	0.000	0.009
36	0.0566	0.000	0.003

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5, 7-8, 10-11, 13-14, 16-17, 19-20, 22-23, 25-26, 28-29, 31-32 και 34-35. Για τα ζεύγη αυτά θα ήταν αναμενόμενο τα ποσοστά δρώσας Ιδιομορφικής Μάζας για Σεισμό κατά Χ να ταυτίζονται με τα ποσοστά για Σεισμό κατά Υ, κάτι που ωστόσο δεν επαληθεύεται, πιθανότατα λόγω αριθμητικής αστάθειας.

2.5.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΜΕΛΩΝ

2.5.3.1. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

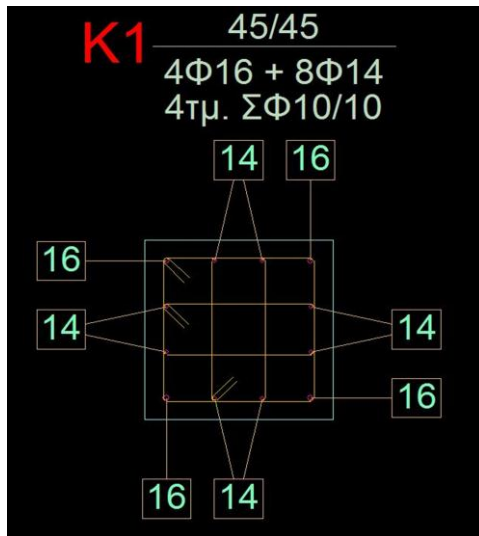
Κάθε όροφος διαθέτει 9 υποστυλώματα τοποθετημένα σε κάρναβο ανοίγματος 6 m (Σχήματα 2.1 και 2.58). Λόγω συμμετρίας διακρίνονται 3 ομάδες υποστυλωμάτων με πανομοιότυπη γεωμετρία και όπλιση:

- Υποστυλώματα **K1, K3, K7, K9**
- Υποστυλώματα **K2, K4, K6, K8**
- Υποστυλώμα **K5**

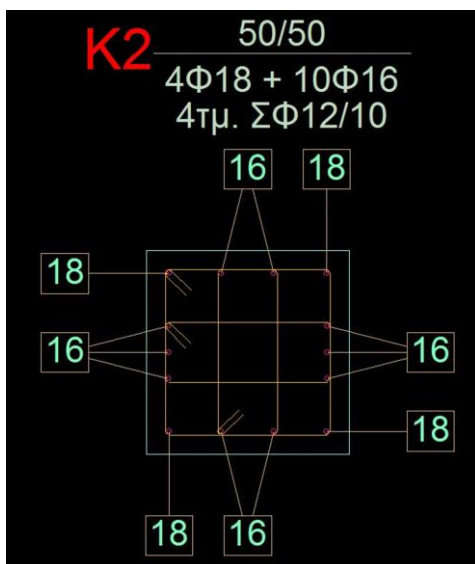
Στο εξής η αναφορά στα υποστυλώματα K1, K2 και K5 θα υποδηλώνει ολόκληρη την αντίστοιχη ομάδα.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι διατομές των υποστυλωμάτων ανά όροφο.

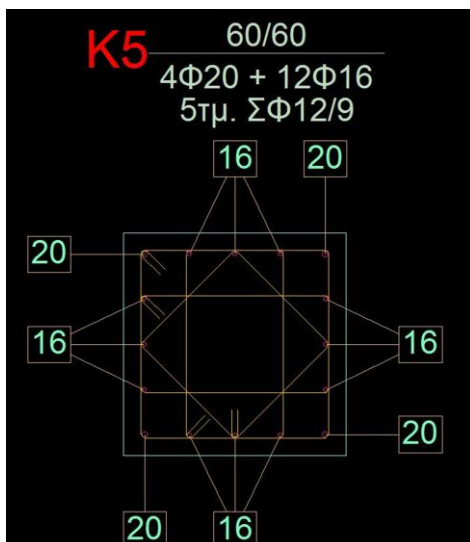
• ΟΡΟΦΟΣ 1



Σχήμα 2.59: Υποστύλωμα K1, Όροφος 1

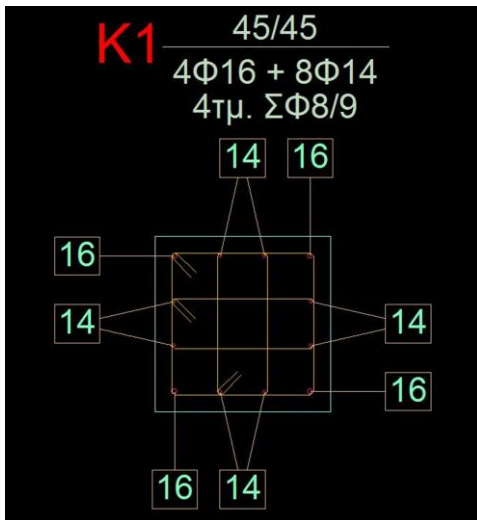


Σχήμα 2.60: Υποστύλωμα K2, Όροφος 1

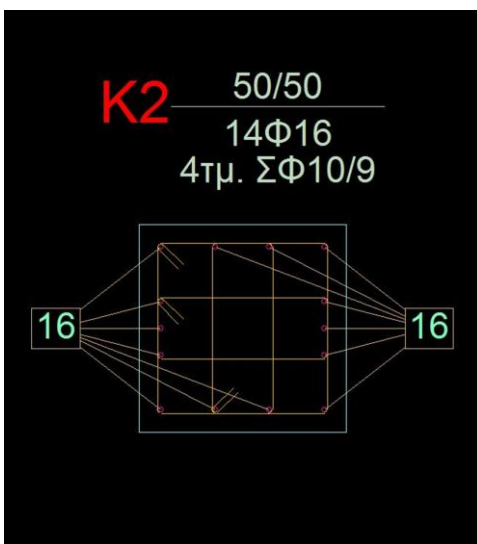


Σχήμα 2.61: Υποστύλωμα K5, Όροφος 1

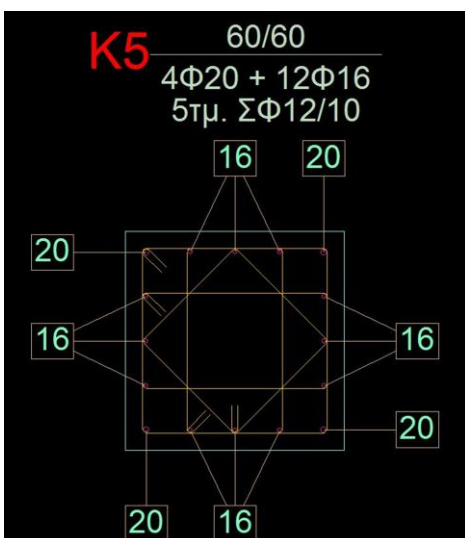
- ΟΡΟΦΟΣ 2



Σχήμα 2.62: Υποσύλωμα K1, Όροφος 2

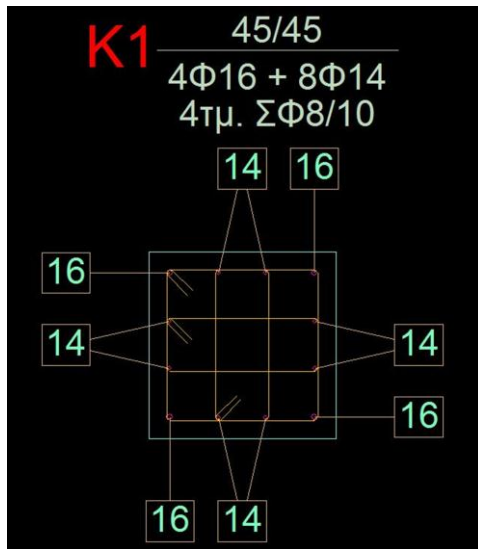


Σχήμα 2.63: Υποσύλωμα K2, Όροφος 2

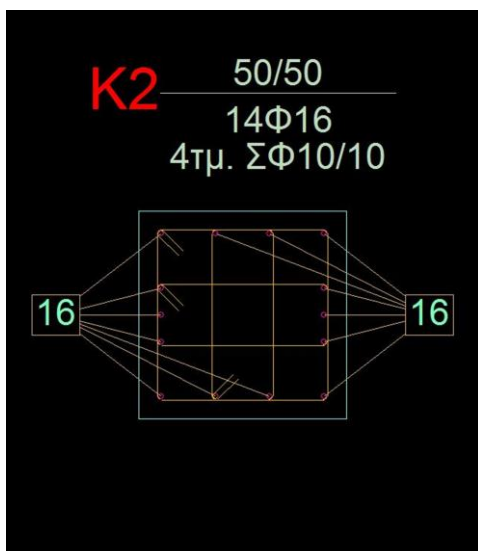


Σχήμα 2.64: Υποσύλωμα K5, Όροφος 2

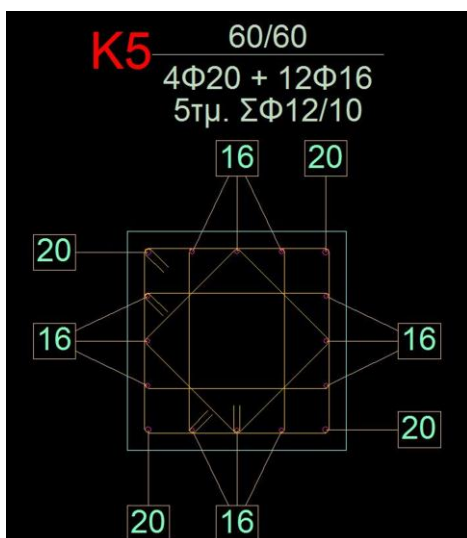
• ΟΡΟΦΟΣ 3



Σχήμα 2.65: Υποστύλωμα K1, Όροφος 3

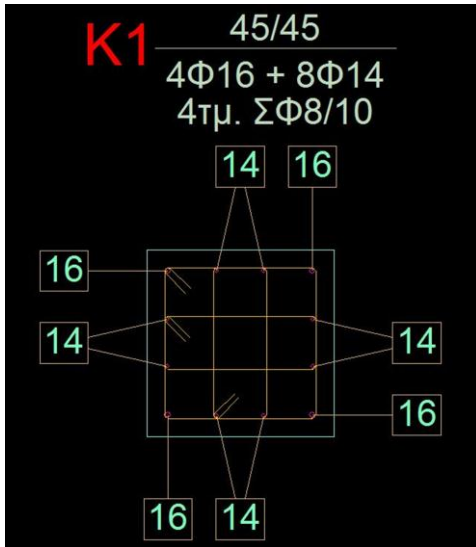


Σχήμα 2.66: Υποστύλωμα K2, Όροφος 3

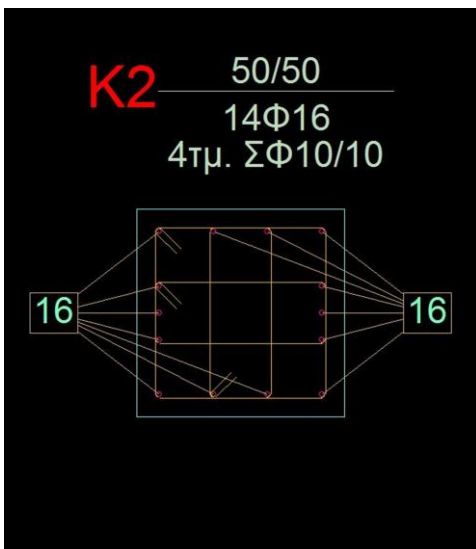


Σχήμα 2.67: Υποστύλωμα K5, Όροφος 3

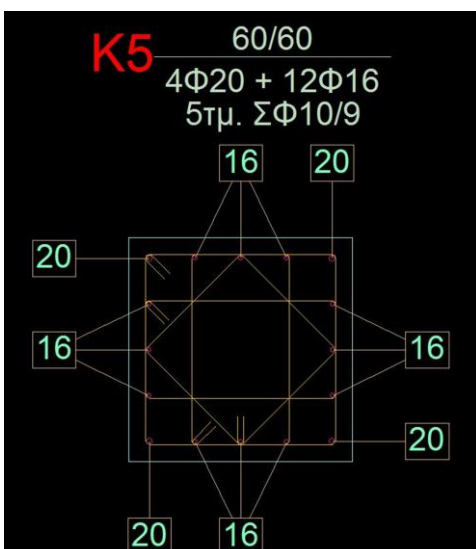
- ΟΡΟΦΟΣ 4



Σχήμα 2.68: Υποσύλωμα K1, Όροφος 4

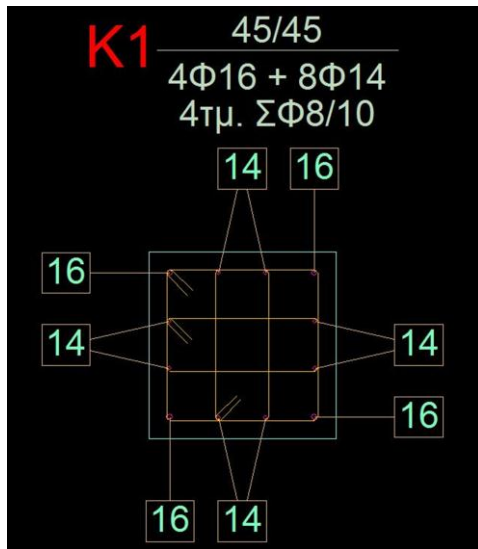


Σχήμα 2.69: Υποσύλωμα K2, Όροφος 4

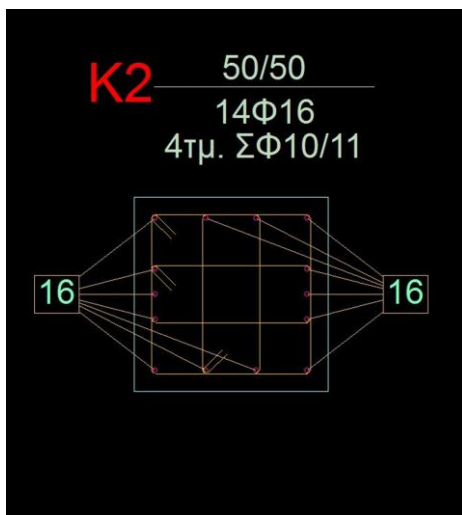


Σχήμα 2.70: Υποσύλωμα K5, Όροφος 4

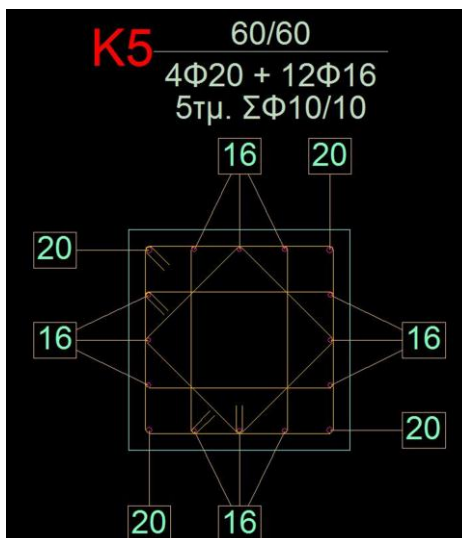
• ΟΡΟΦΟΣ 5



Σχήμα 2.71: Υποστύλωμα K1, Όροφος 5

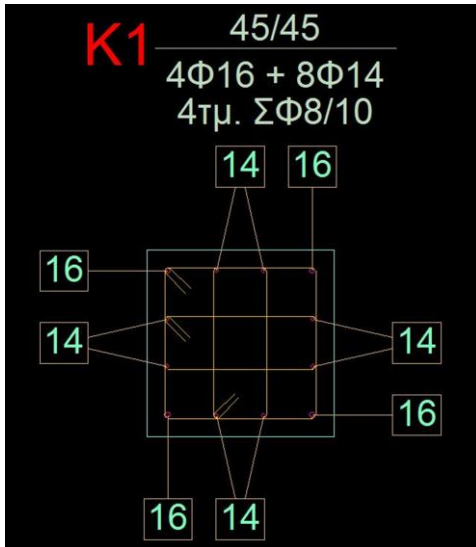


Σχήμα 2.72: Υποστύλωμα K2, Όροφος 5

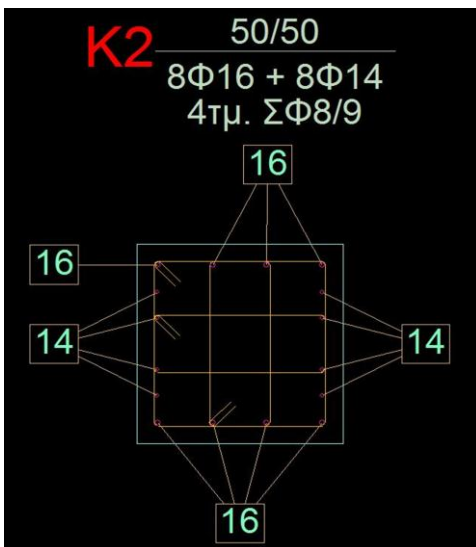


Σχήμα 2.73: Υποστύλωμα K5, Όροφος 5

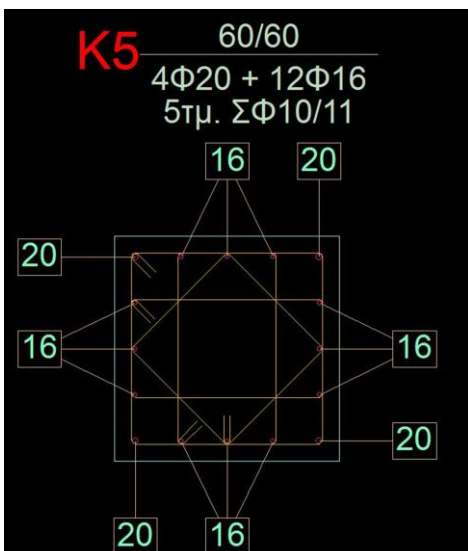
- ΟΡΟΦΟΣ 6



Σχήμα 2.74: Υποστύλωμα K1, Όροφος 6

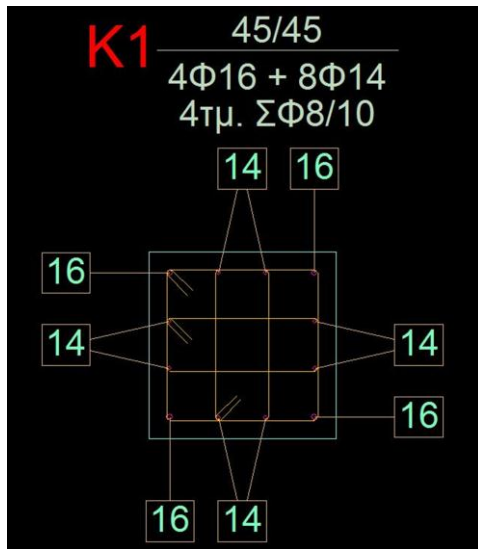


Σχήμα 2.75: Υποστύλωμα K2, Όροφος 6

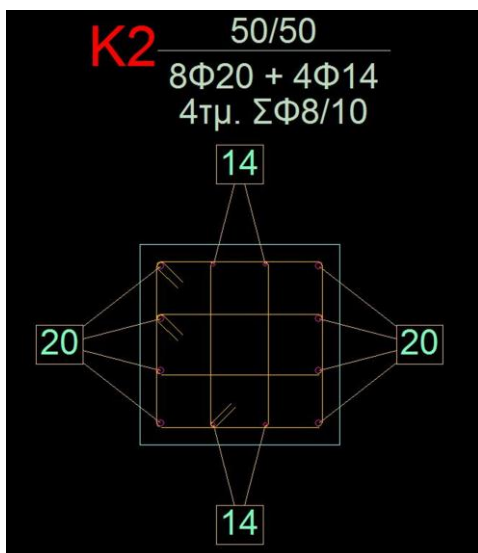


Σχήμα 2.76: Υποστύλωμα K5, Όροφος 6

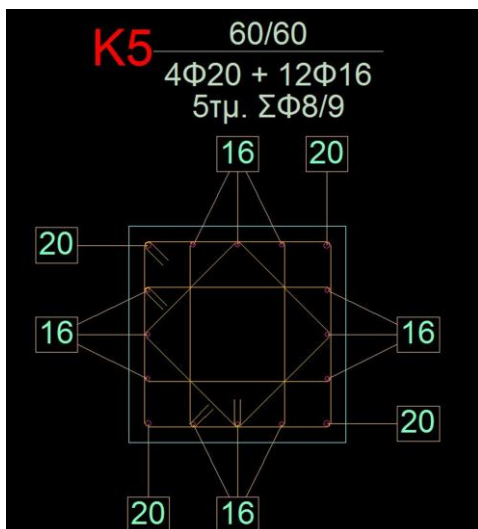
• ΟΡΟΦΟΣ 7



Σχήμα 2.77: Υποσύλωμα K1, Όροφος 7

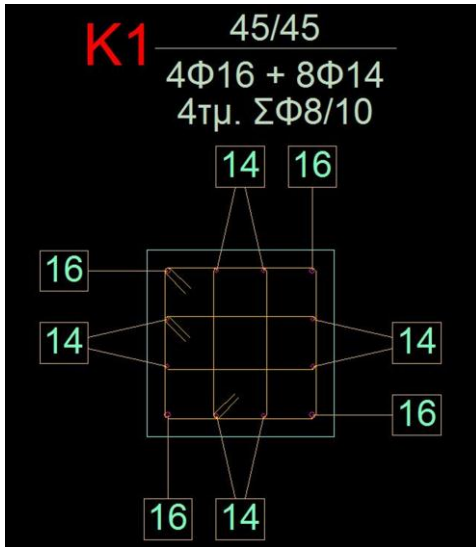


Σχήμα 2.78: Υποσύλωμα K2, Όροφος 7

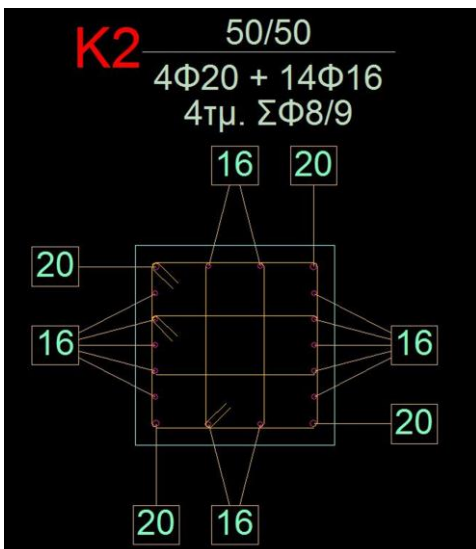


Σχήμα 2.79: Υποσύλωμα K5, Όροφος 7

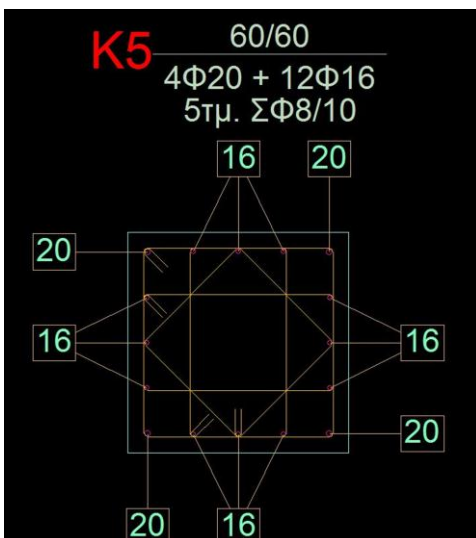
- **ΟΡΟΦΟΣ 8**



Σχήμα 2.80: Υποστύλωμα K1, Όροφος 8

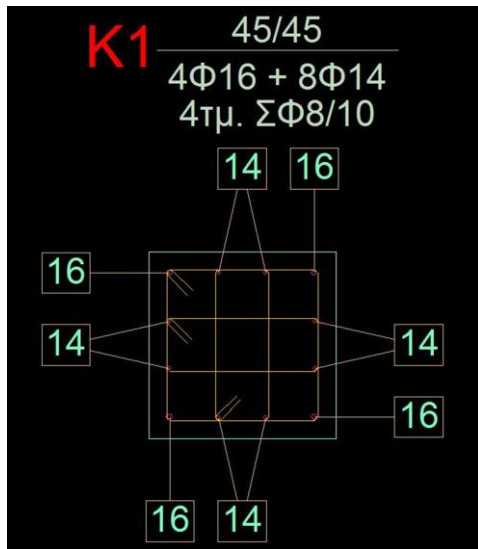


Σχήμα 2.81: Υποστύλωμα K2, Όροφος 8

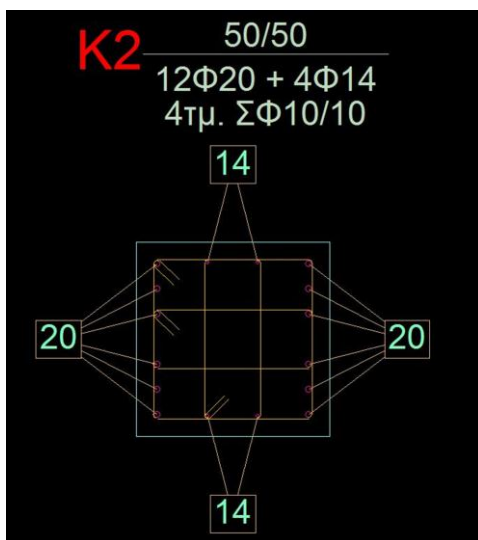


Σχήμα 2.82: Υποστύλωμα K5, Όροφος 8

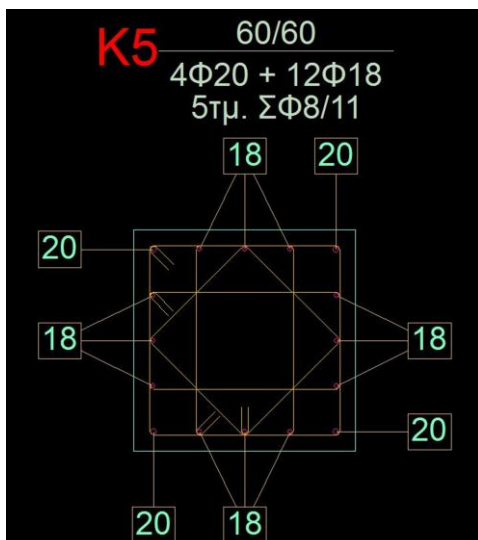
• ΟΡΟΦΟΣ 9



Σχήμα 2.83: Υποστύλωμα K1, Όροφος 9

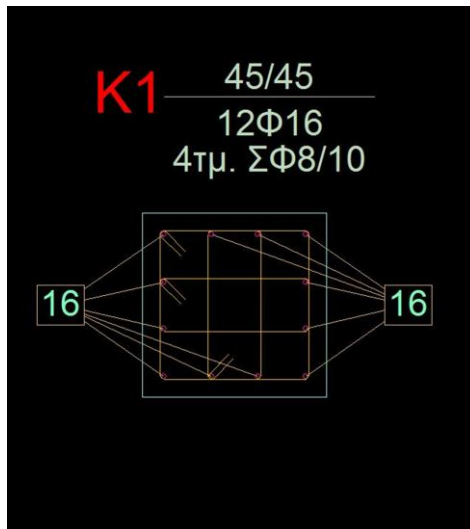


Σχήμα 2.84: Υποστύλωμα K2, Όροφος 9

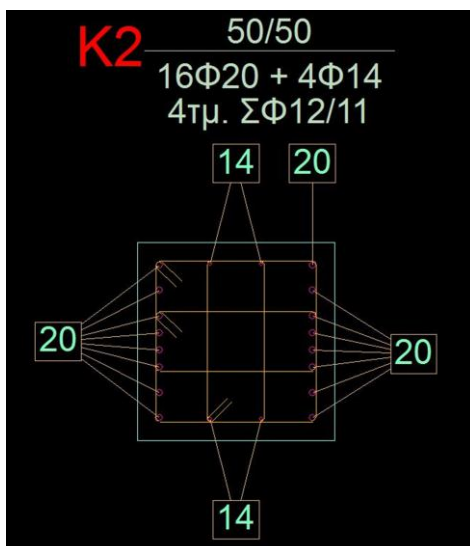


Σχήμα 2.85: Υποστύλωμα K5, Όροφος 9

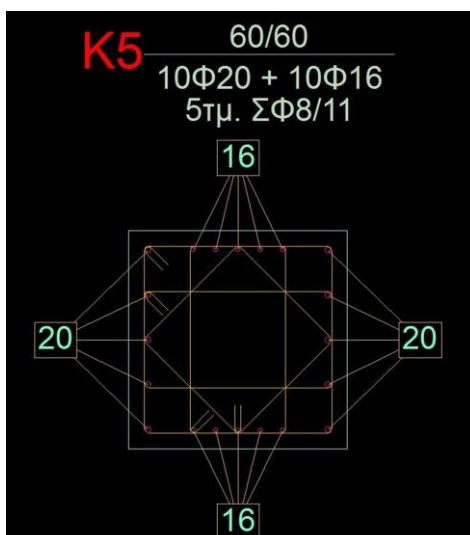
- **ΟΡΟΦΟΣ 10**



Σχήμα 2.86: Υποσύλωμα K1, Όροφος 10

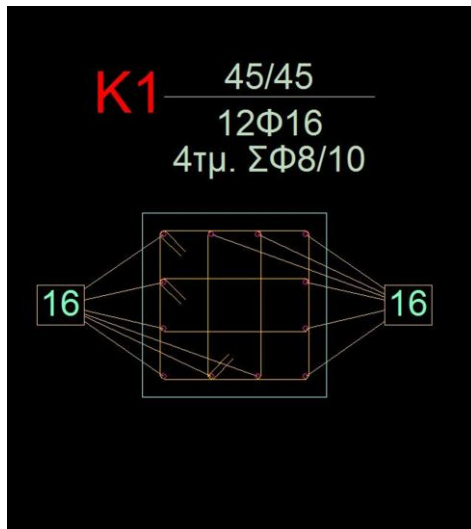


Σχήμα 2.87: Υποσύλωμα K2, Όροφος 10

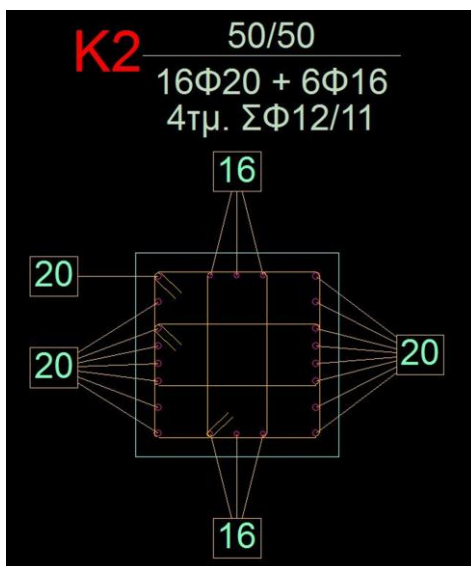


Σχήμα 2.88: Υποσύλωμα K5, Όροφος 10

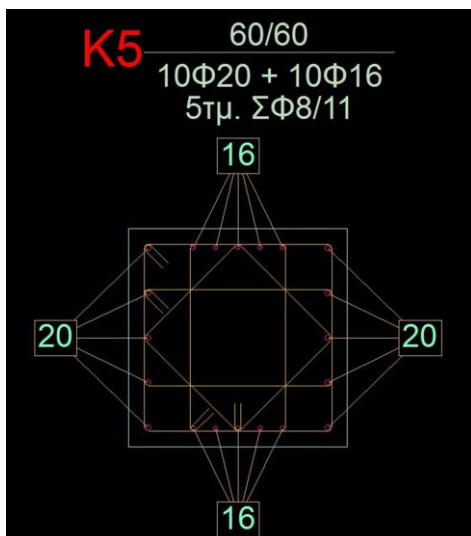
• ΟΡΟΦΟΣ 11



Σχήμα 2.89: Υποσύλωμα K1, Όροφος 11

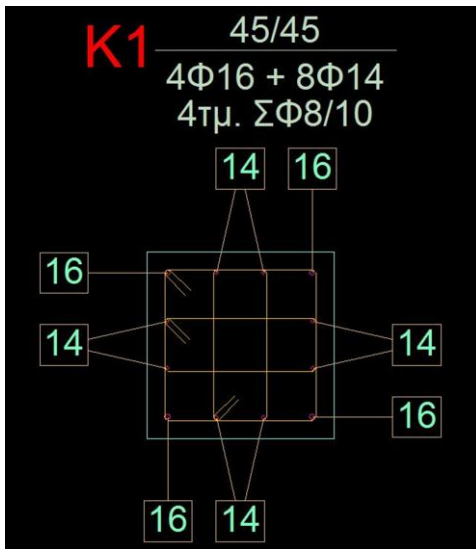


Σχήμα 2.90: Υποσύλωμα K2, Όροφος 11

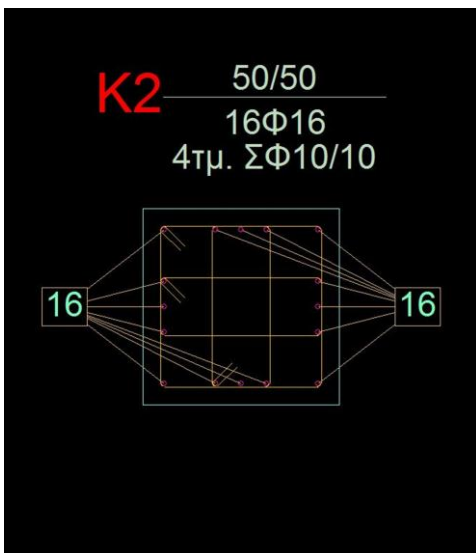


Σχήμα 2.91: Υποσύλωμα K5, Όροφος 11

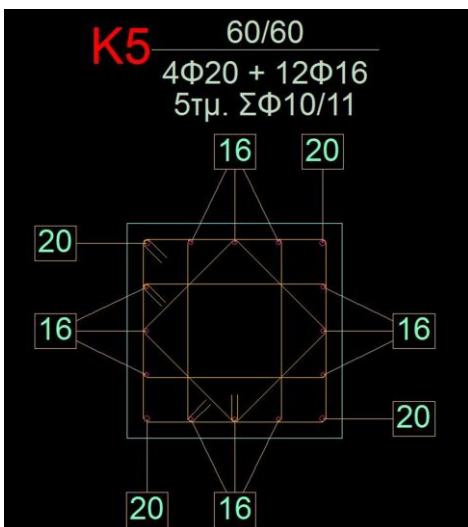
- ΟΡΟΦΟΣ 12



Σχήμα 2.92: Υποσύλωμα K1, Όροφος 12



Σχήμα 2.93: Υποσύλωμα K2, Όροφος 12

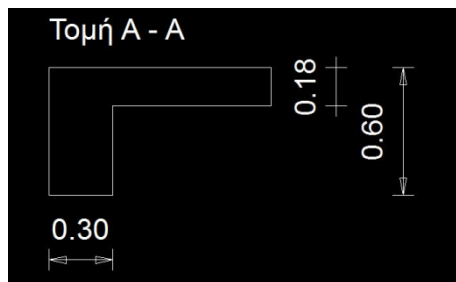


Σχήμα 2.94: Υποσύλωμα K5, Όροφος 12

2.5.3.2. ΔΟΚΟΙ

Κάθε όροφος διαθέτει 6 δοκούς δύο ανοιγμάτων με διατομή 30/60 cm και συνολικό μήκος 12.0 m.

Καθ' ύψος της κατασκευής όλες οι **ακραίες δοκοί** έχουν τομή:



Σχήμα 2.95: Τομή ακραίων δοκών

Καθ' ύψος της κατασκευής όλες οι **εσωτερικές δοκοί** έχουν τομή:



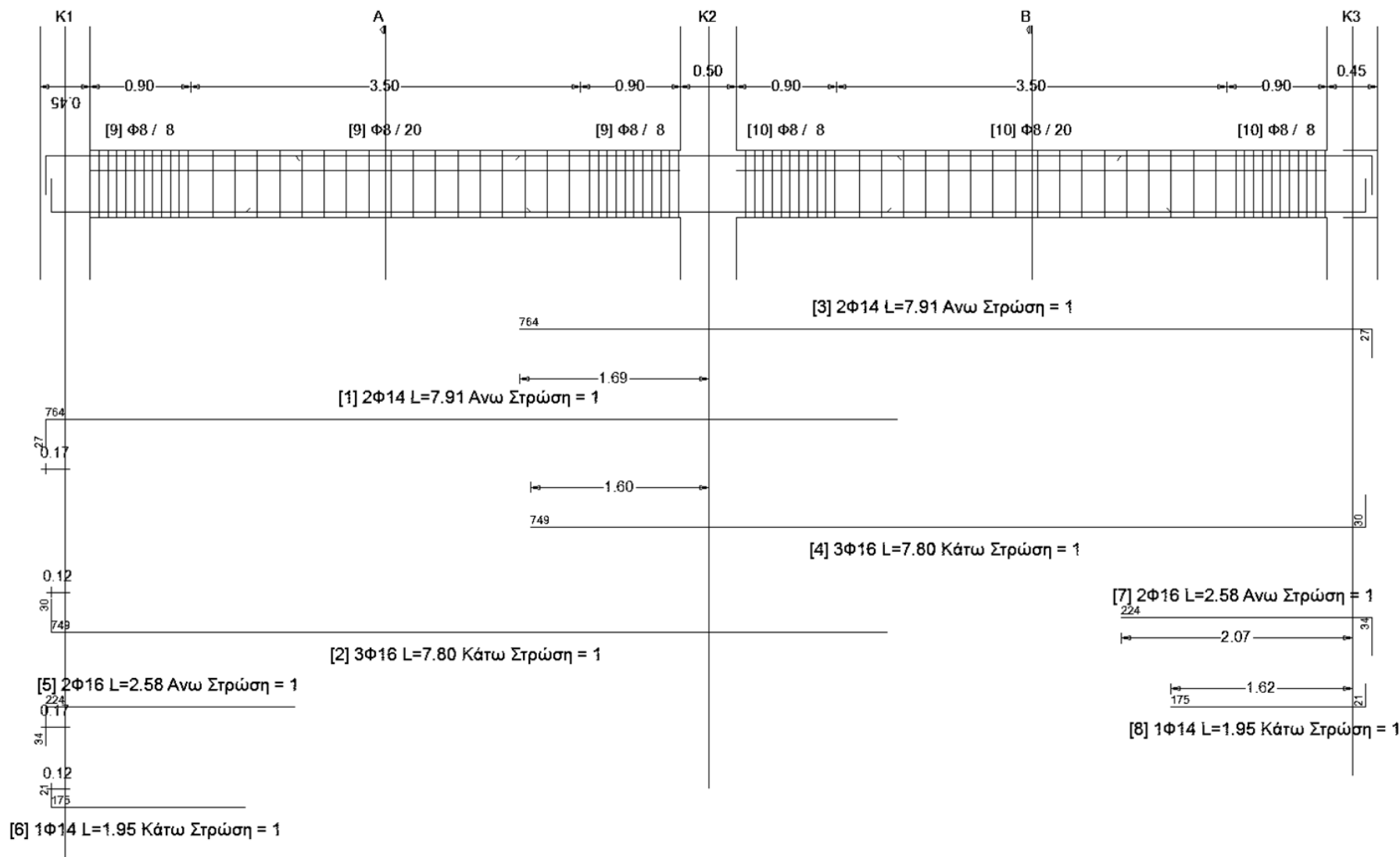
Σχήμα 2.96: Τομή εσωτερικών δοκών

Λόγω της συμμετρίας του φορέα και της φόρτισης κάθε δοκός είναι συμμετρικά οπλισμένη ενώ παράλληλα διακρίνονται 2 ομάδες δοκών με πανομοιότυπη γεωμετρία και όπλιση:

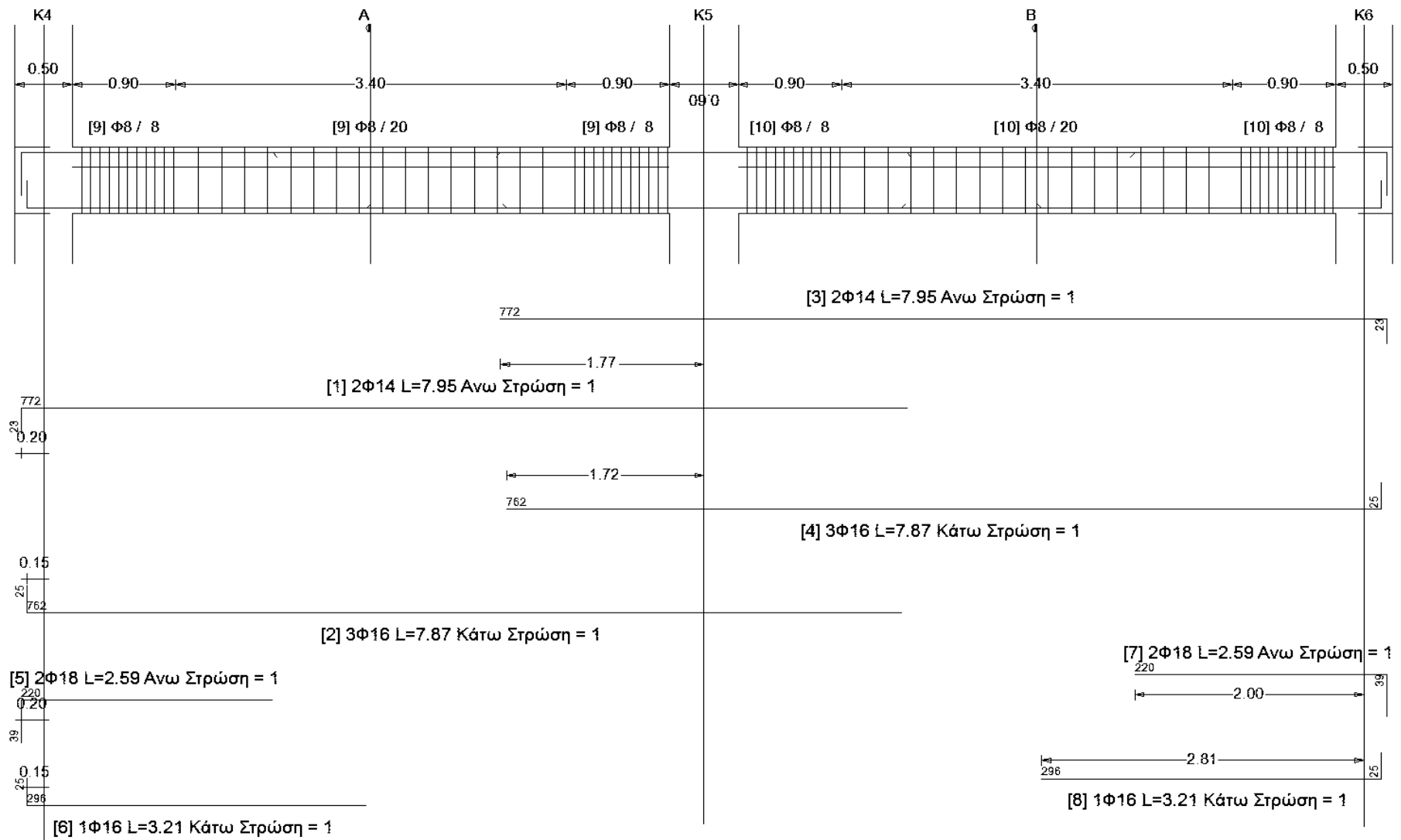
- Δοκοί **Δ1, Δ3, Δ4, Δ6**
- Δοκοί **Δ2, Δ5**

Στο εξής η αναφορά στις δοκούς Δ1 και Δ2 θα υποδηλώνει ολόκληρη την αντίστοιχη ομάδα.

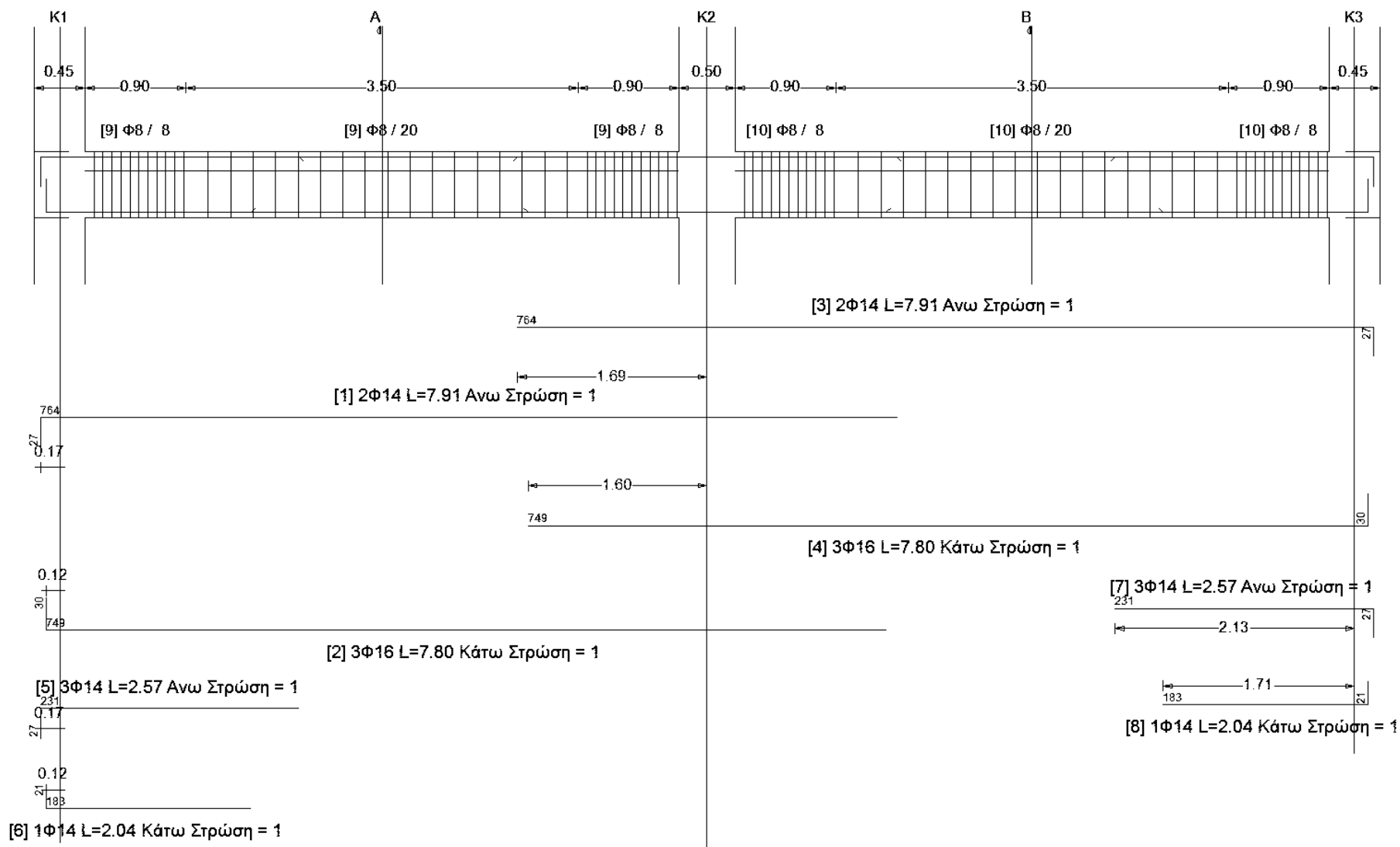
Στη συνέχεια παρατίθενται οι διατομές των δοκών ανά όροφο.



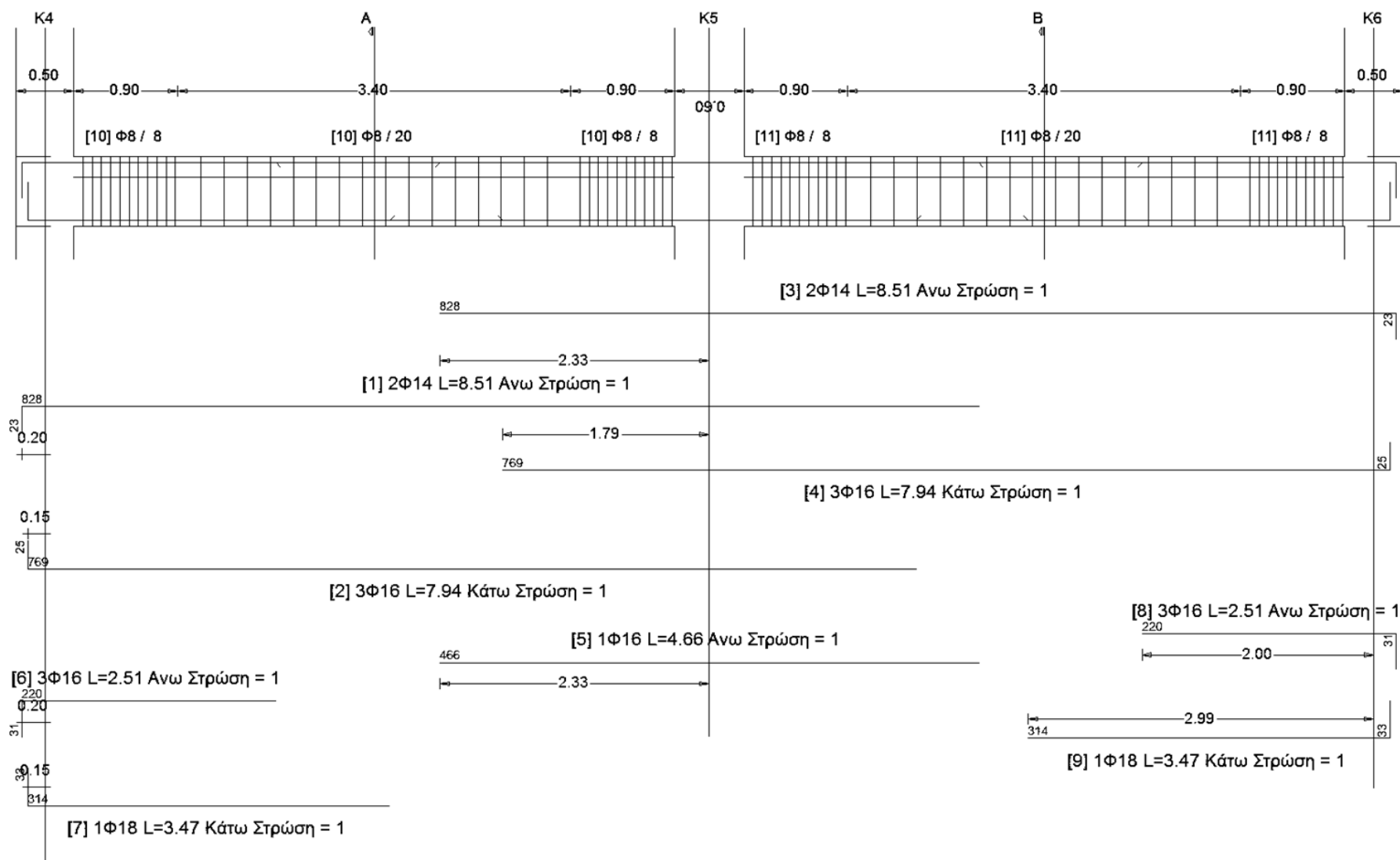
Σχήμα 2.97: Δοκός Δ1, Όροφος 1



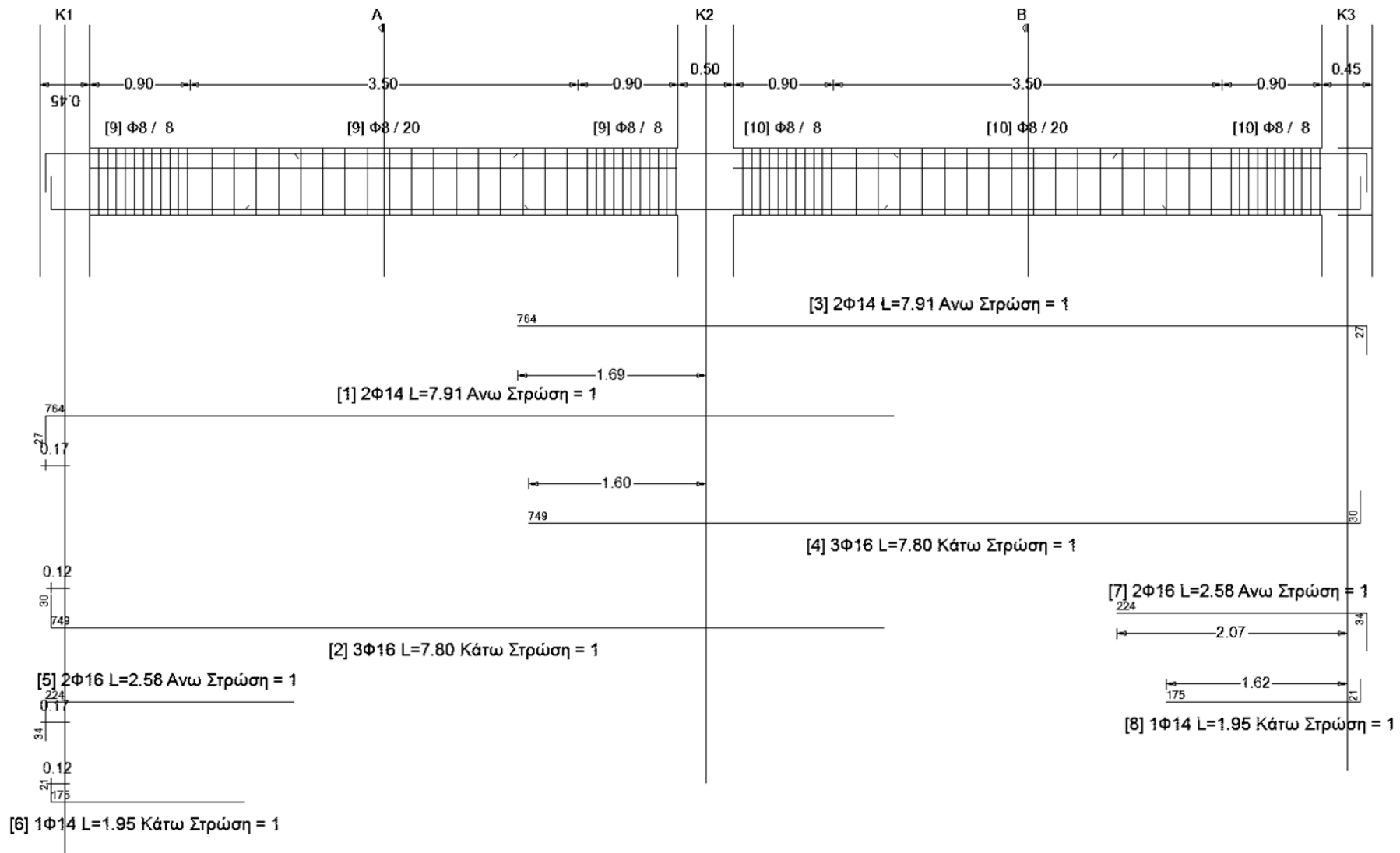
Σχήμα 2.98: Δοκός Δ2, Όροφος 1



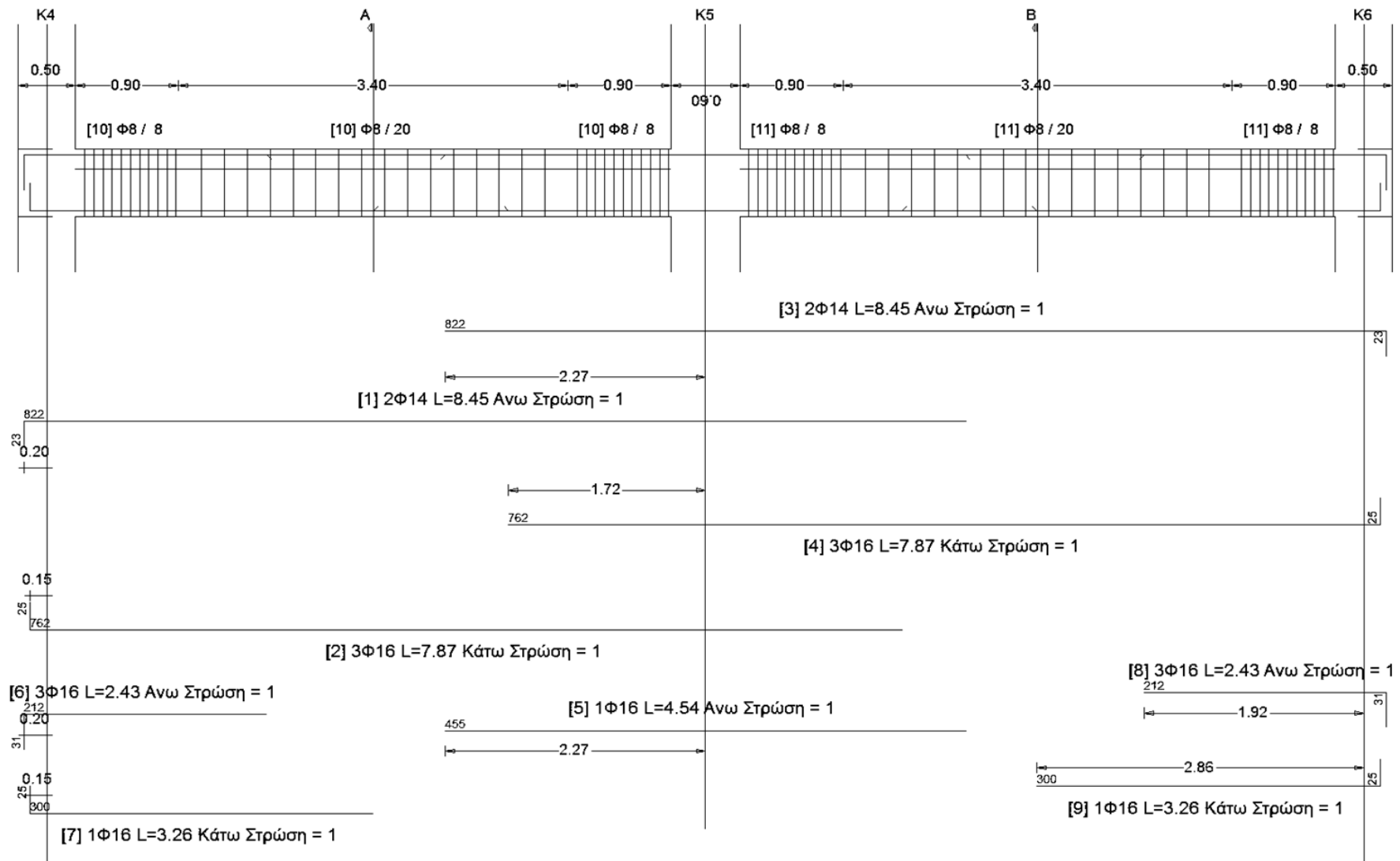
Σχήμα 2.99: Δοκός Δ1, Όροφος 2



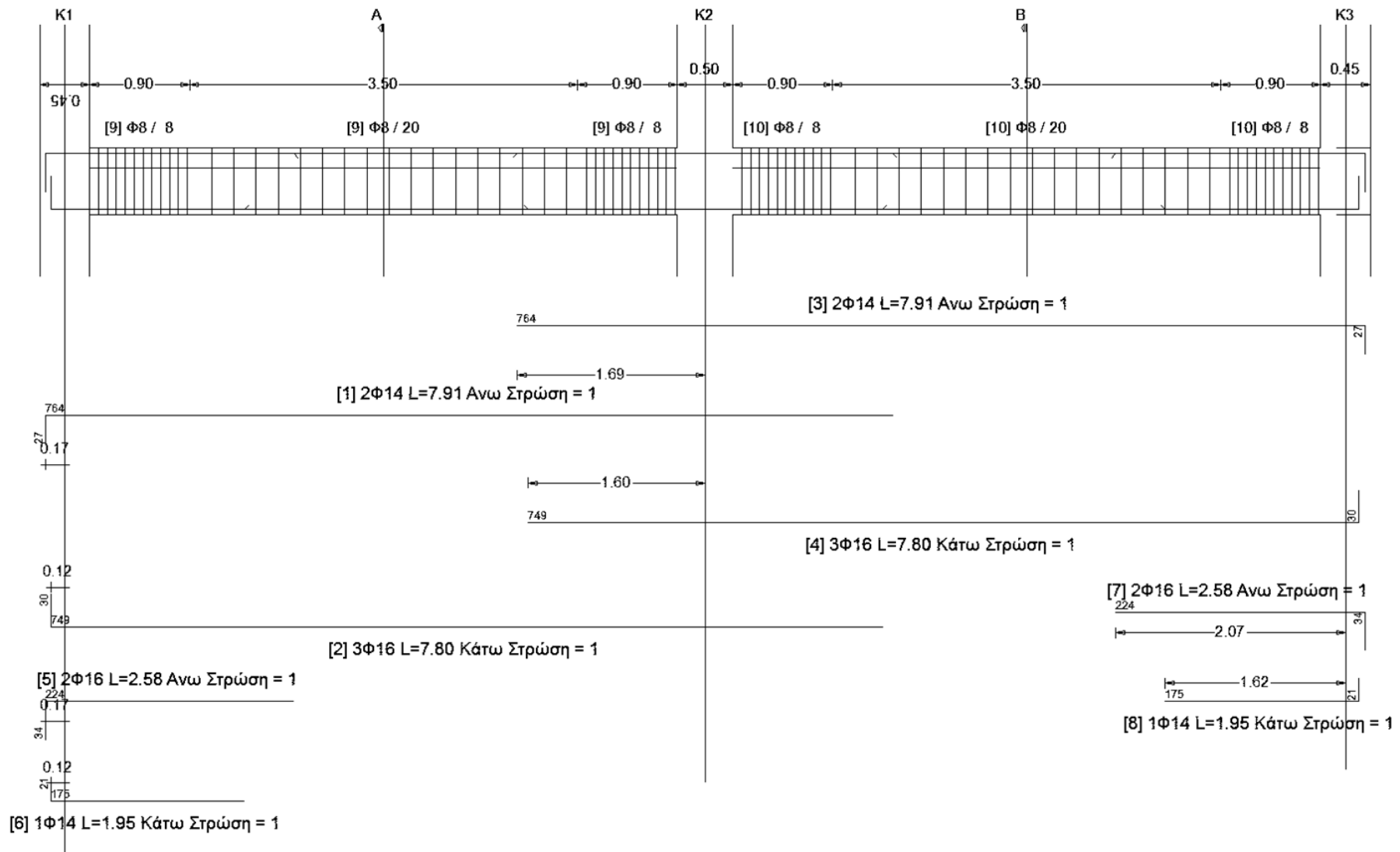
Σχήμα 2.100: Δοκός Δ2, Όροφος 2



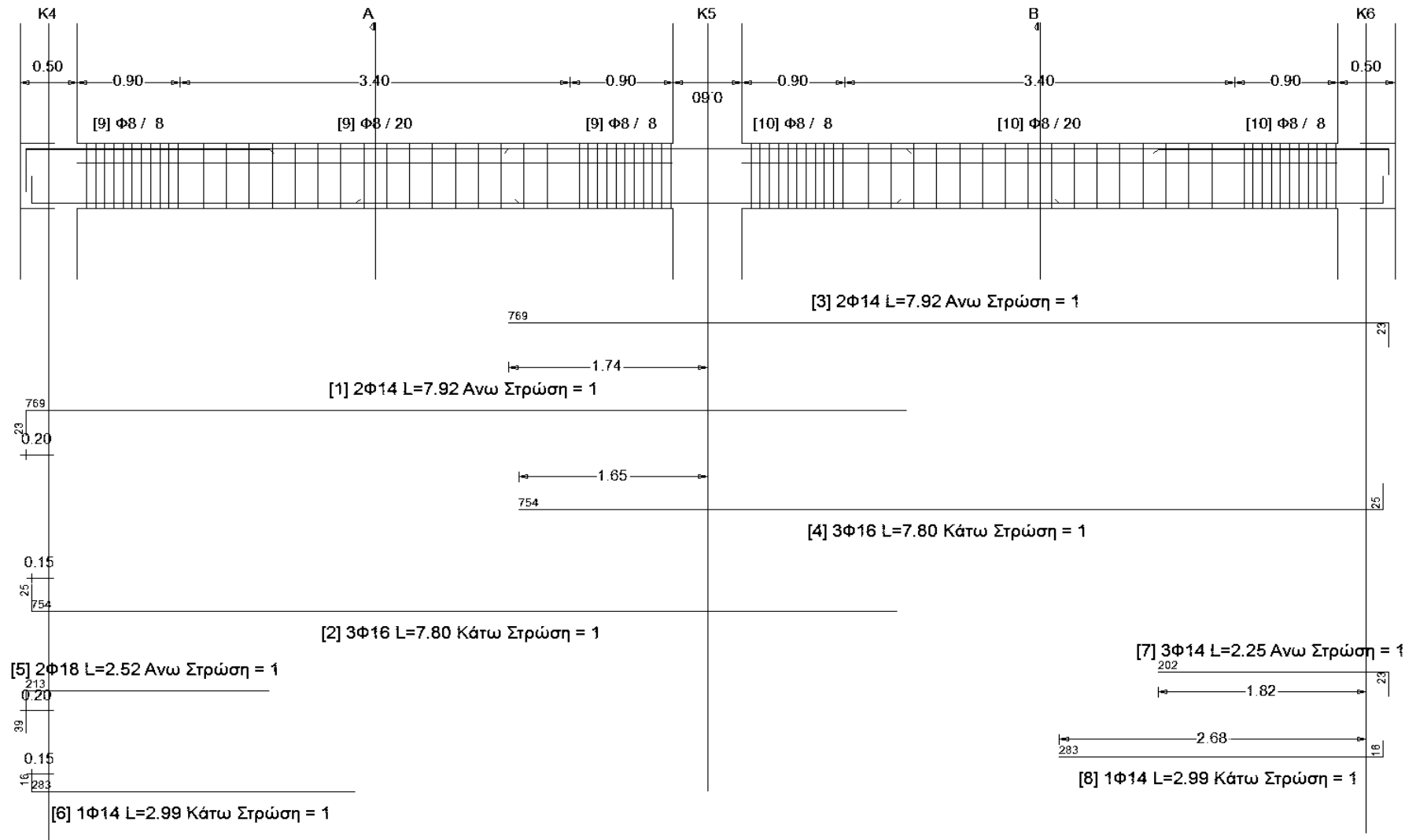
Σχήμα 2.101: Δοκός Δ1, Όροφος 3



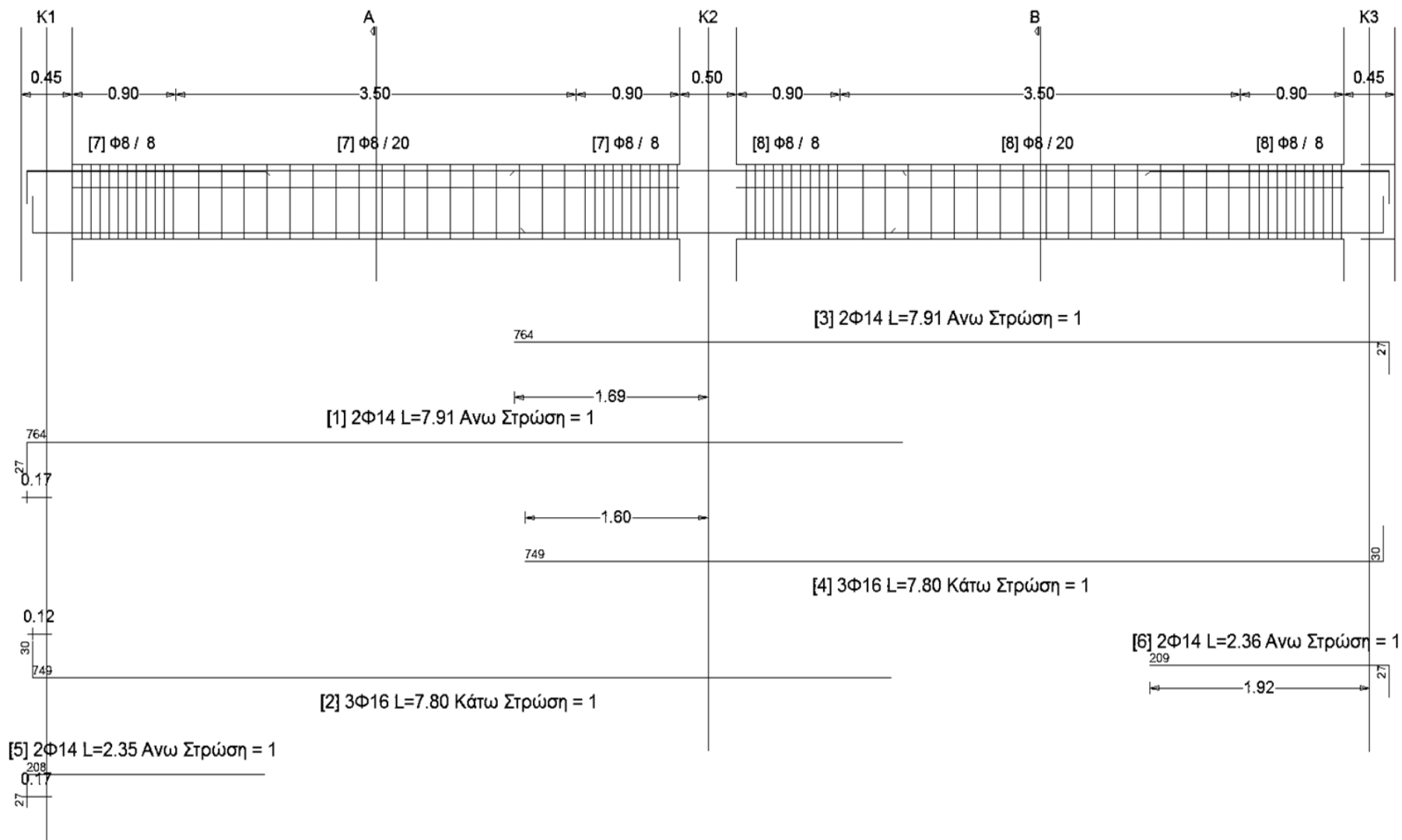
Σχήμα 2.102: Δοκός Δ2, Όροφος 3



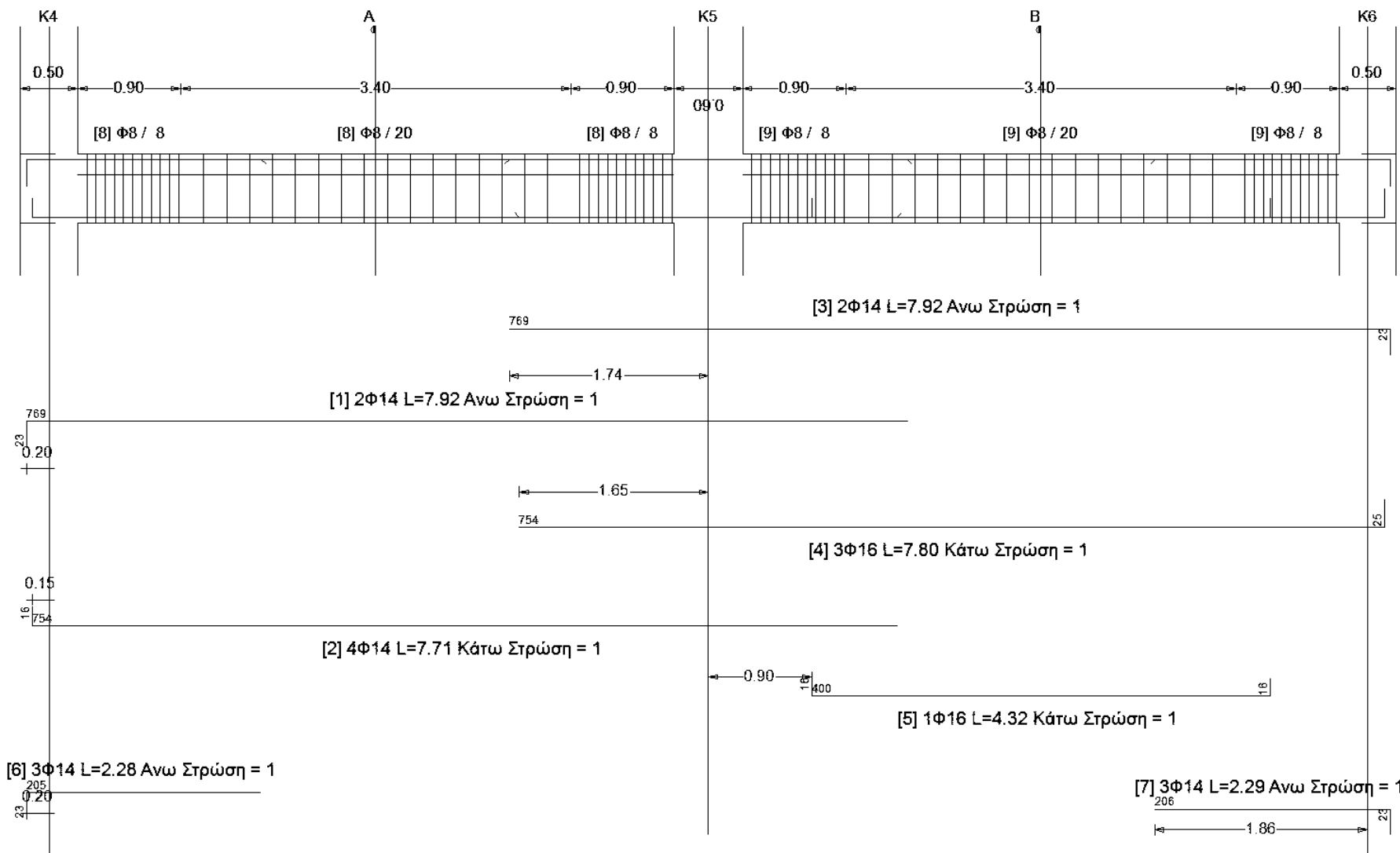
Σχήμα 2.103: Δοκός Δ1, Όροφος 4



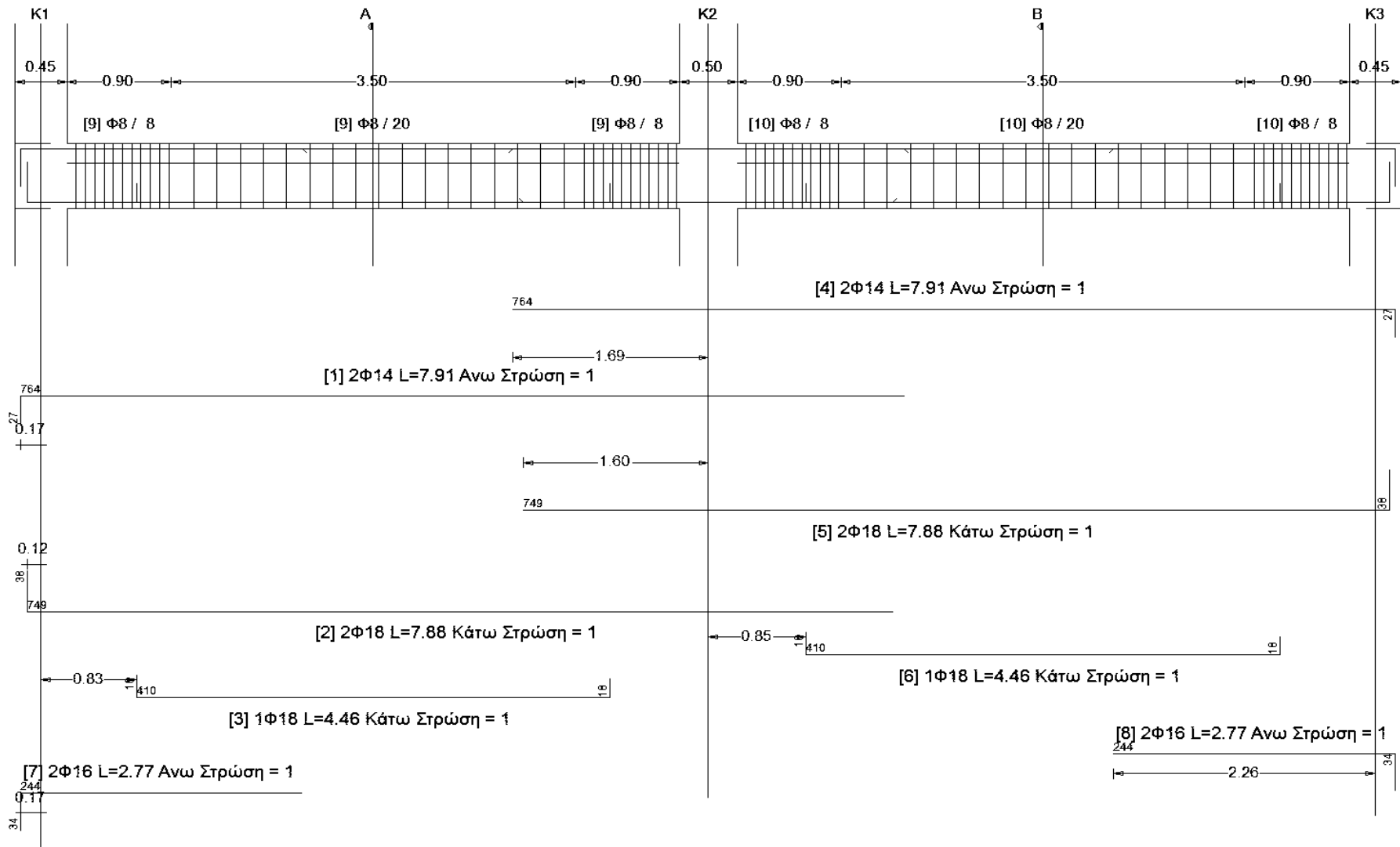
Σχήμα 2.104: Δοκός Δ2, Όροφος 4



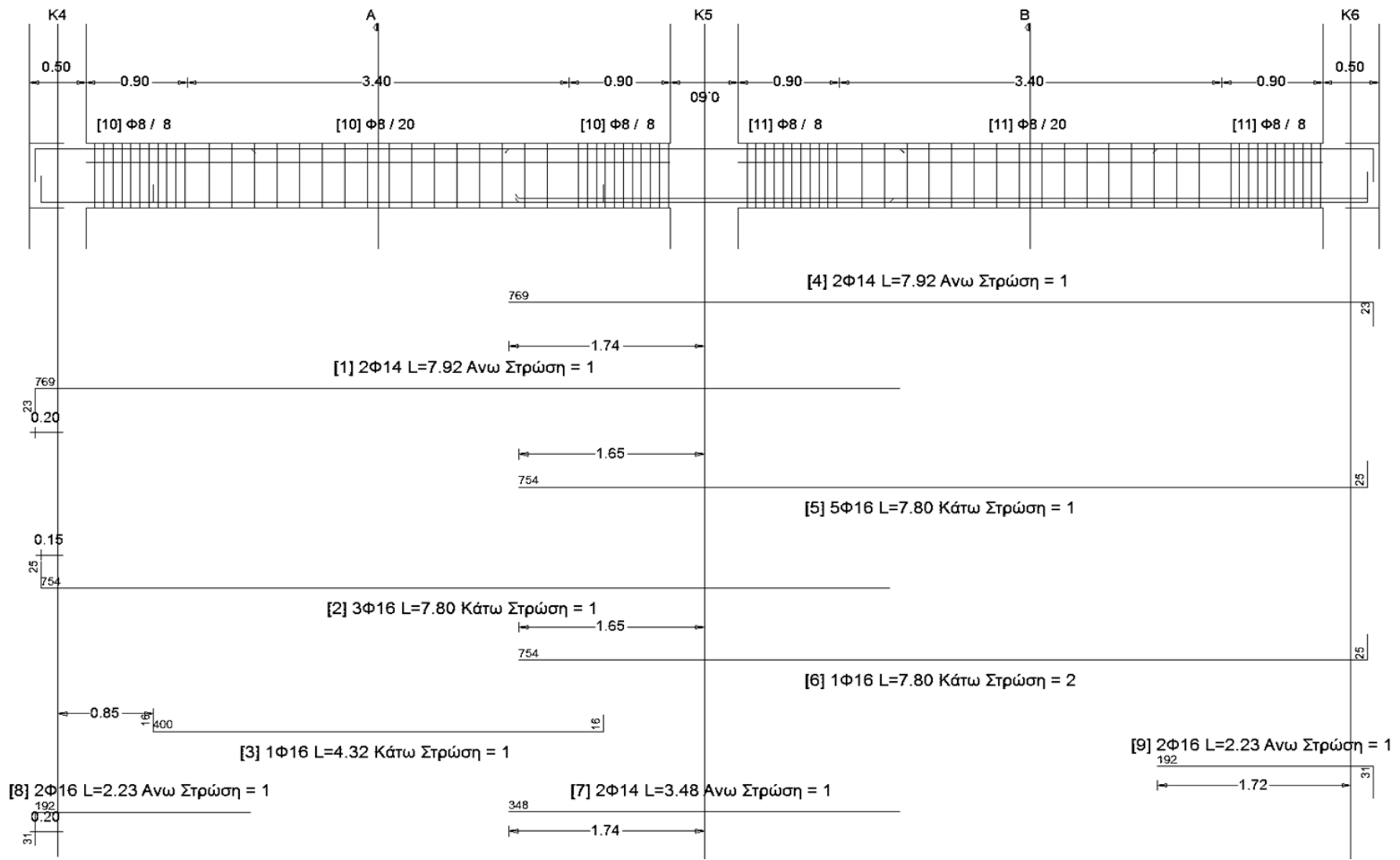
Σχήμα 2.105: Δοκός Δ1, Όροφος 5



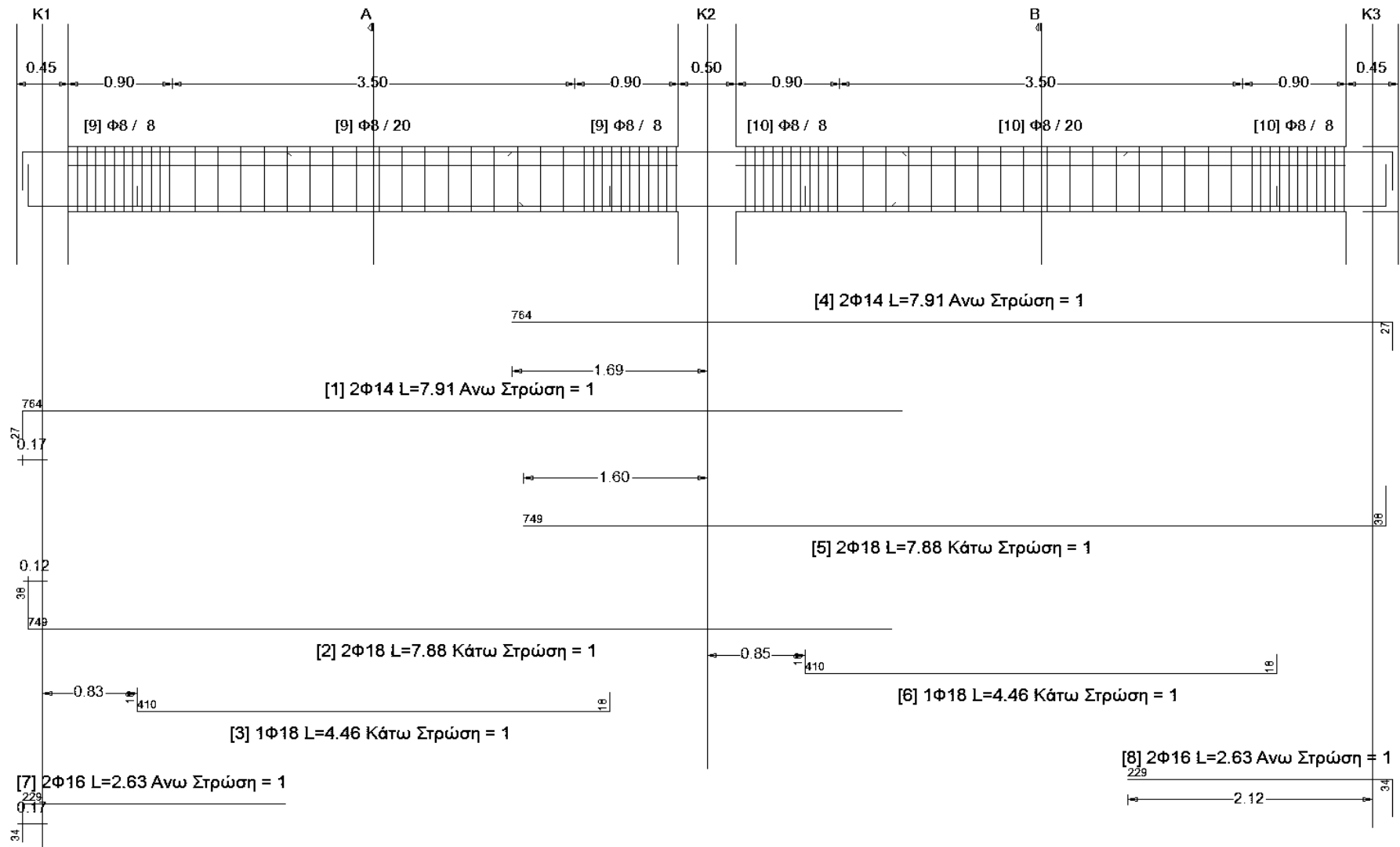
Σχήμα 2.106: Δοκός Δ2, Όροφος 5



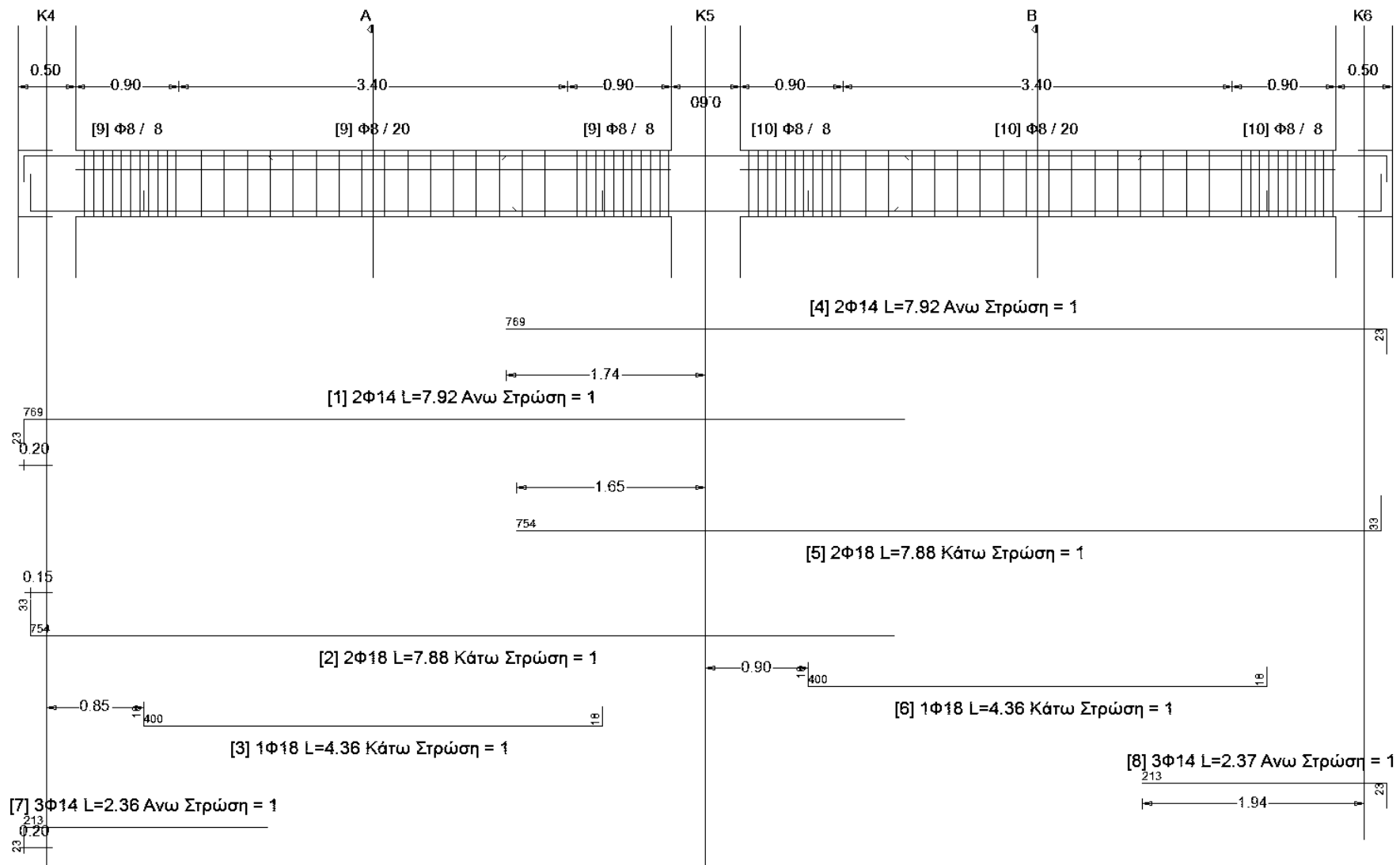
Σχήμα 2.107: Δοκός Δ1, Όροφος 6



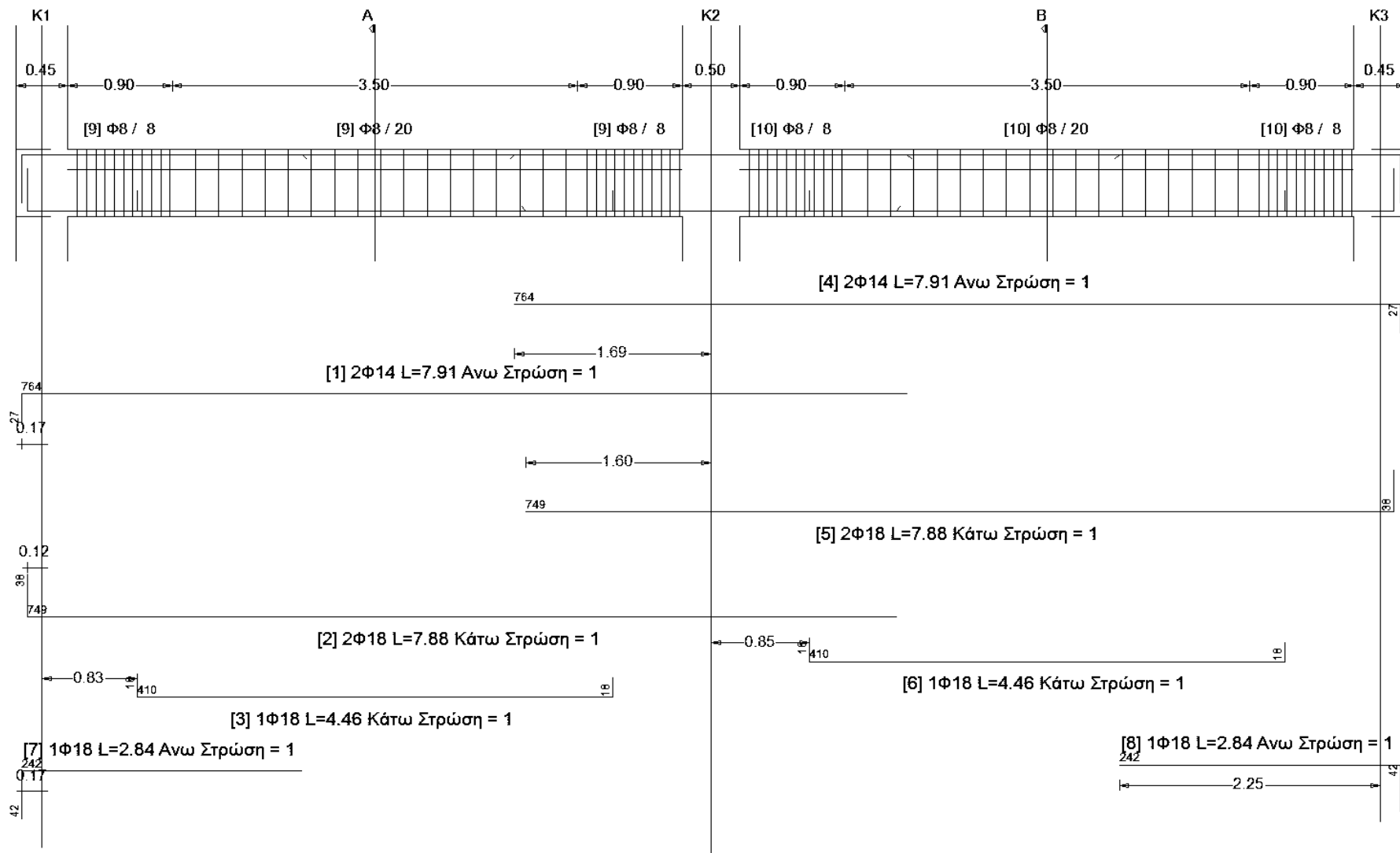
Σχήμα 2.108: Δοκός Δ2, Όροφος 6



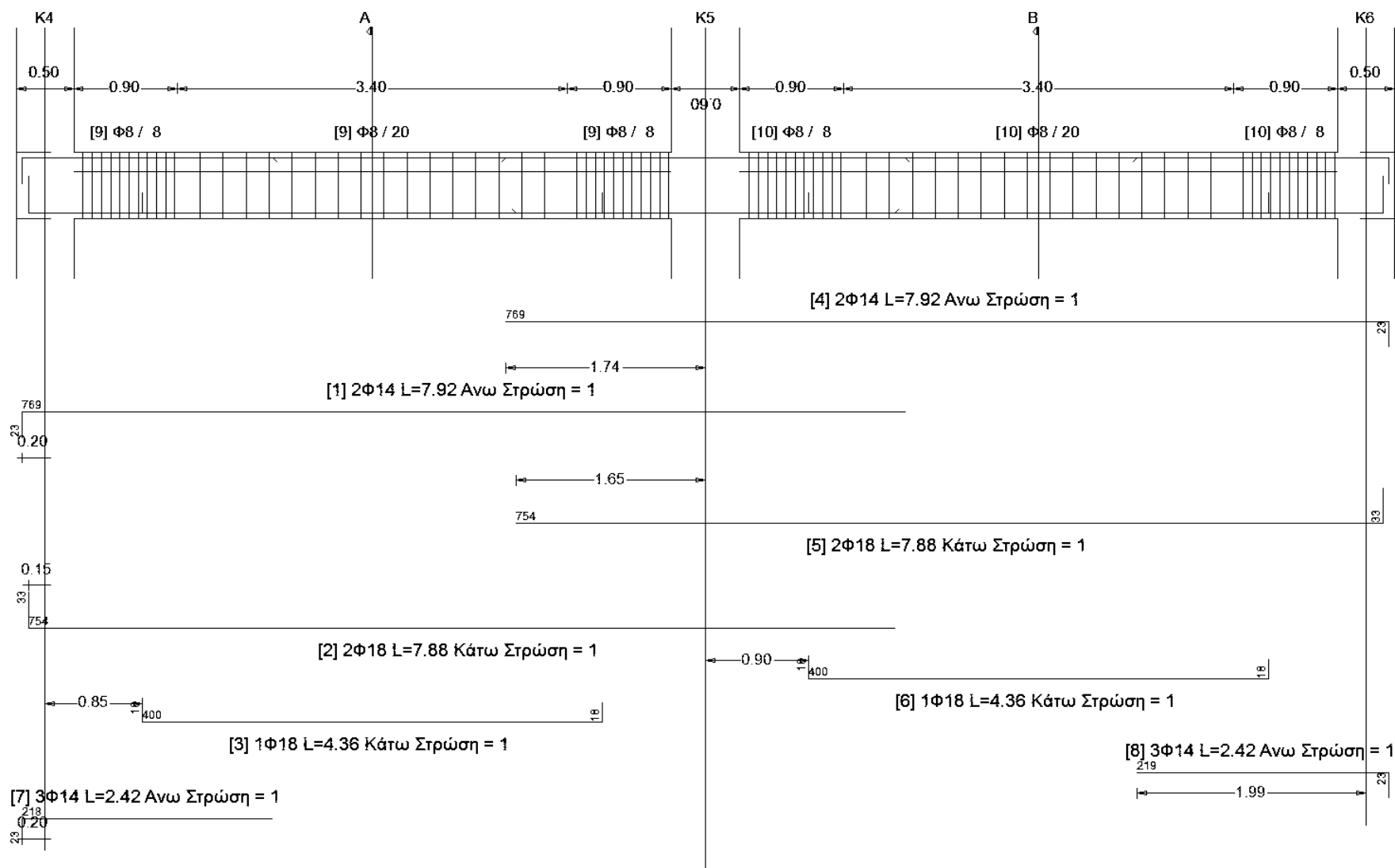
Σχήμα 2.109: Δοκός Δ1, Όροφος 7



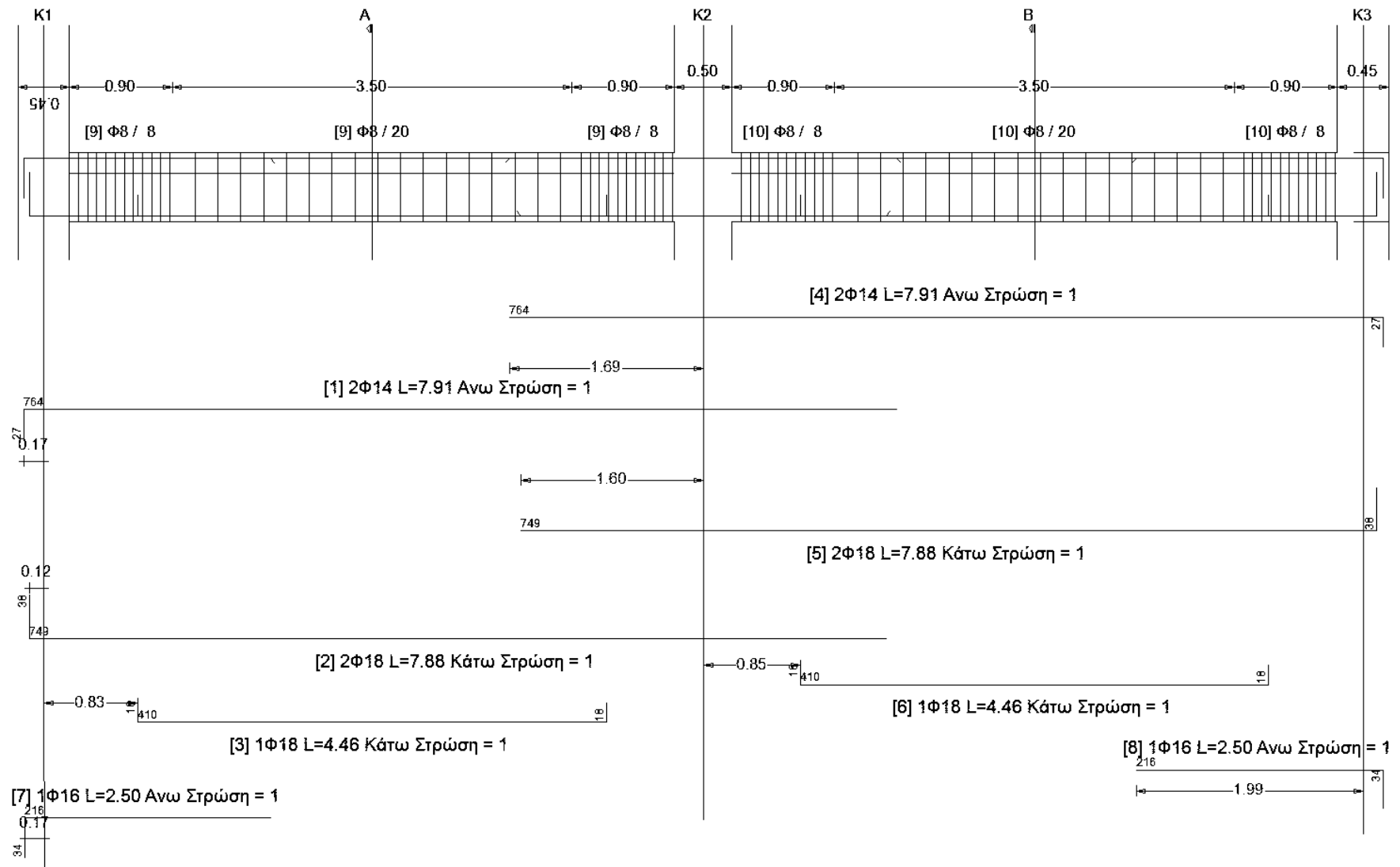
Σχήμα 2.110: Δοκός Δ2, Όροφος 7



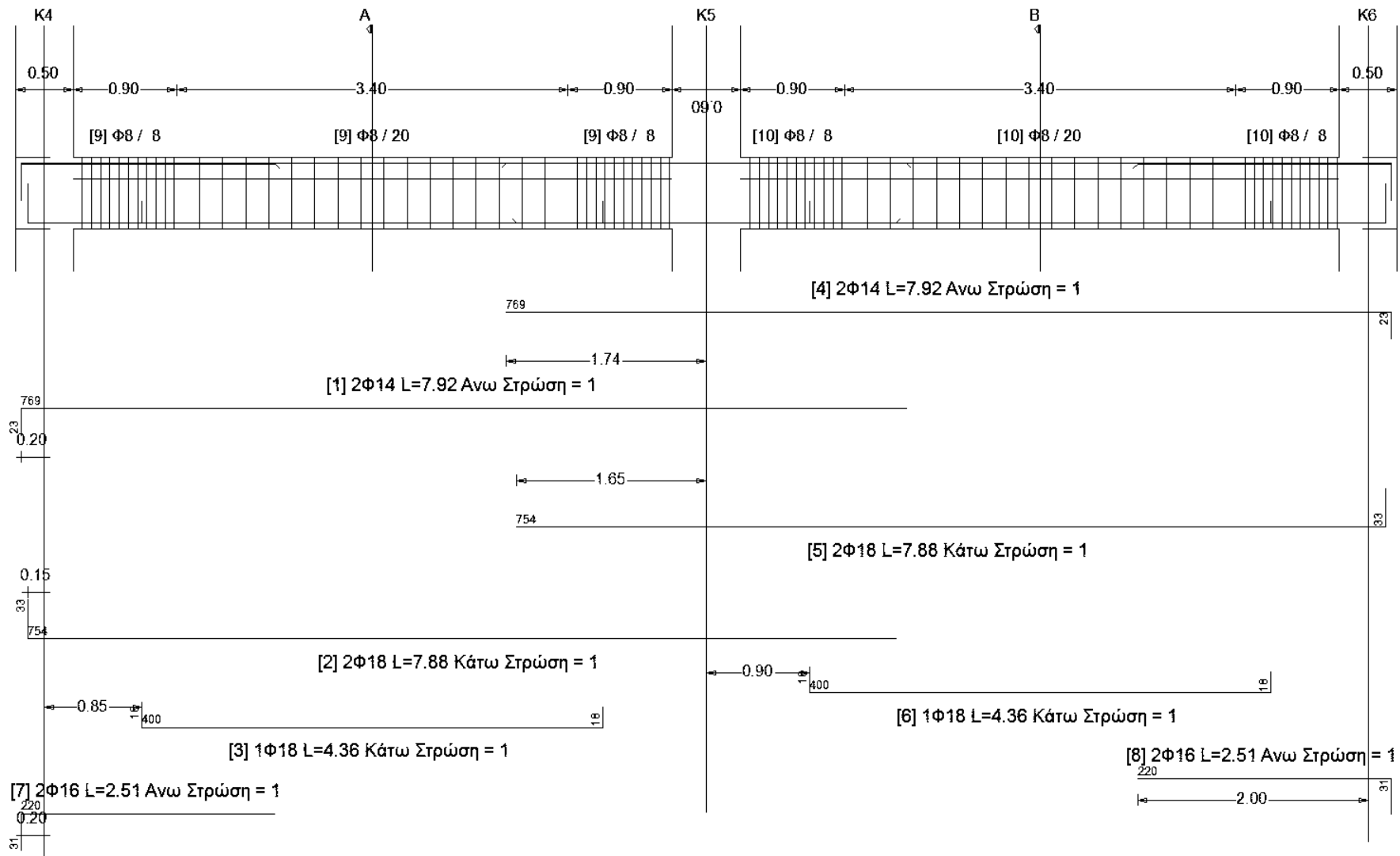
Σχήμα 2.111: Δοκός Δ1, Όροφος 8



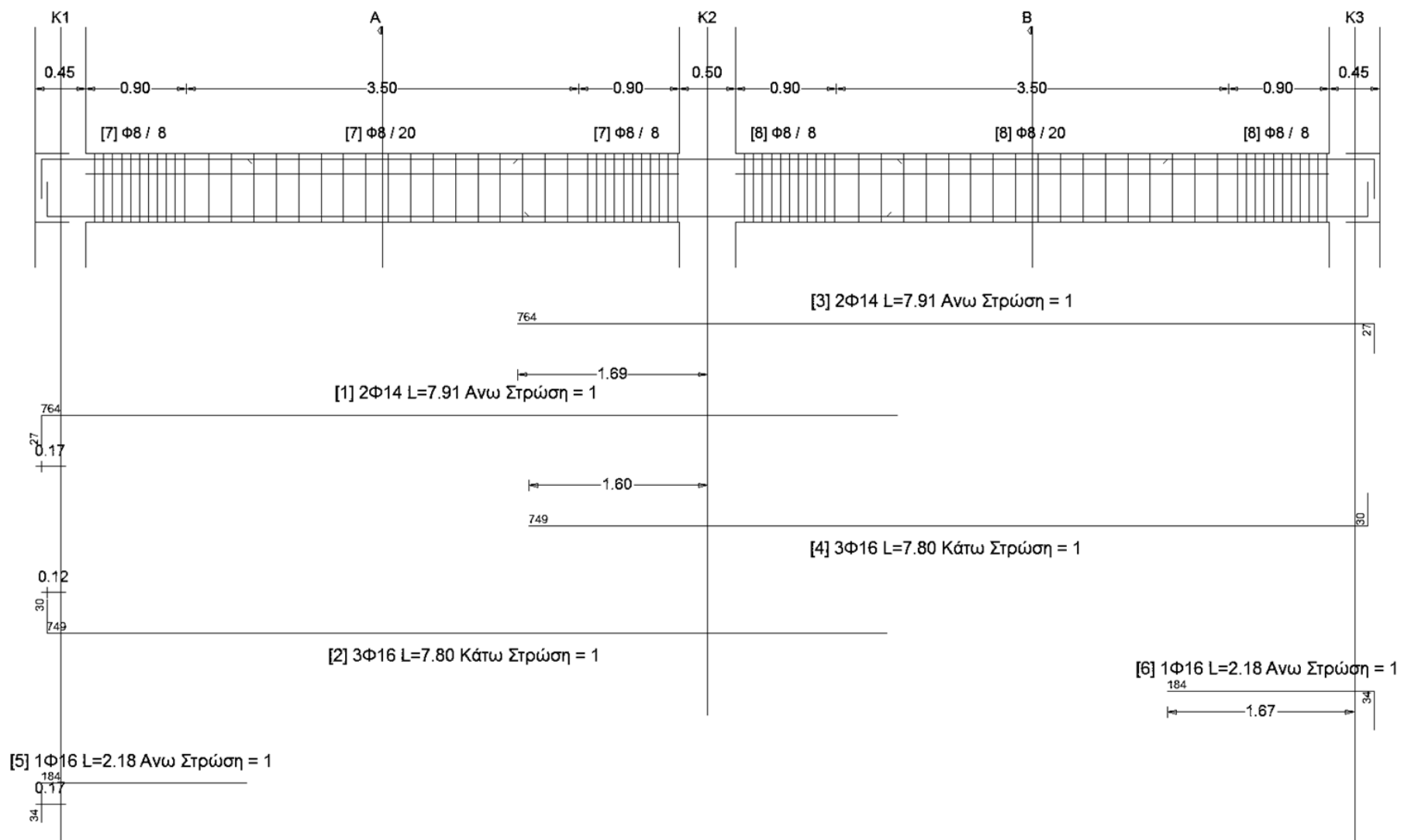
Σχήμα 2.112: Δοκός Δ2, Όροφος 8



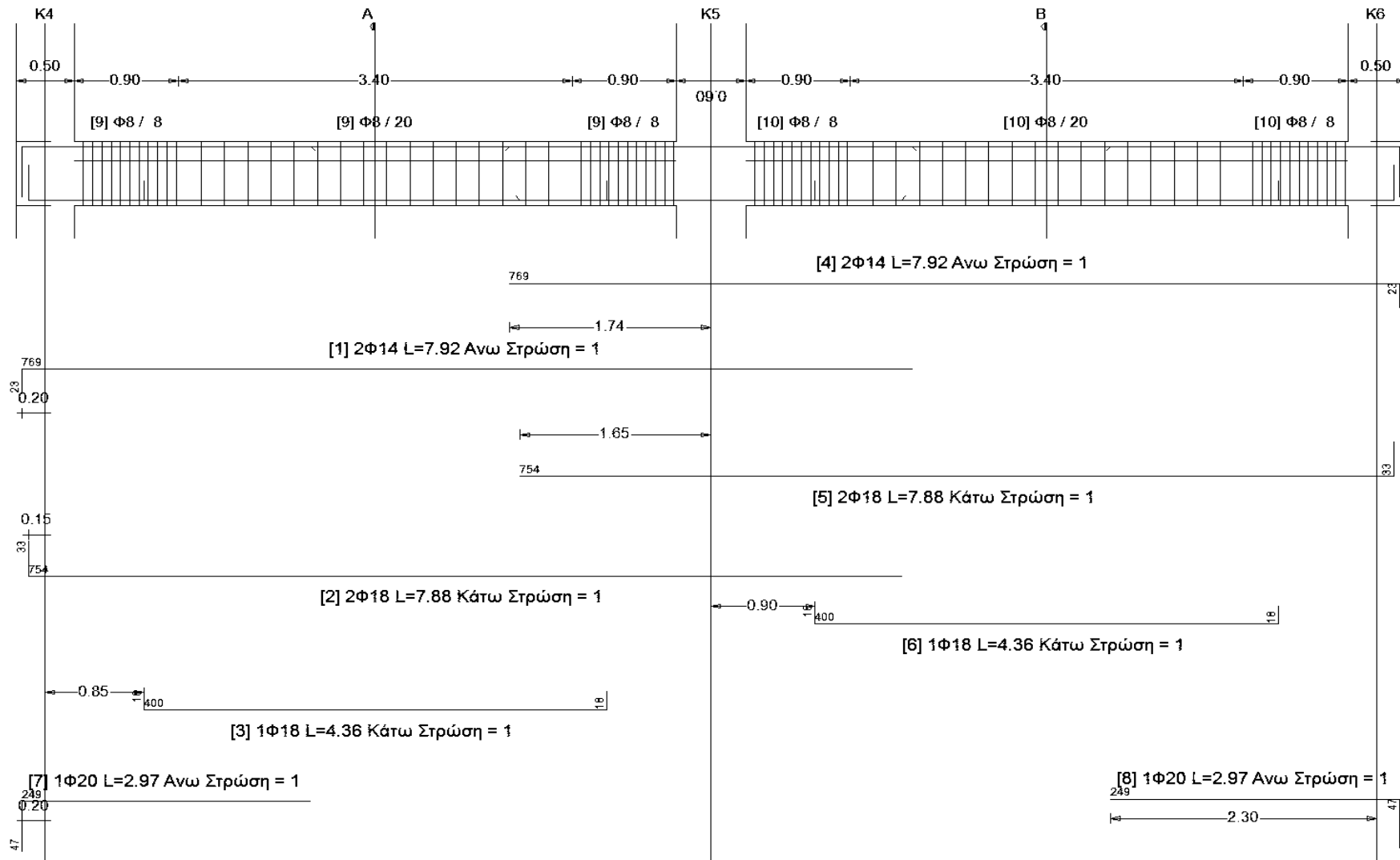
Σχήμα 2.113: Δοκός Δ1, Όροφος 9



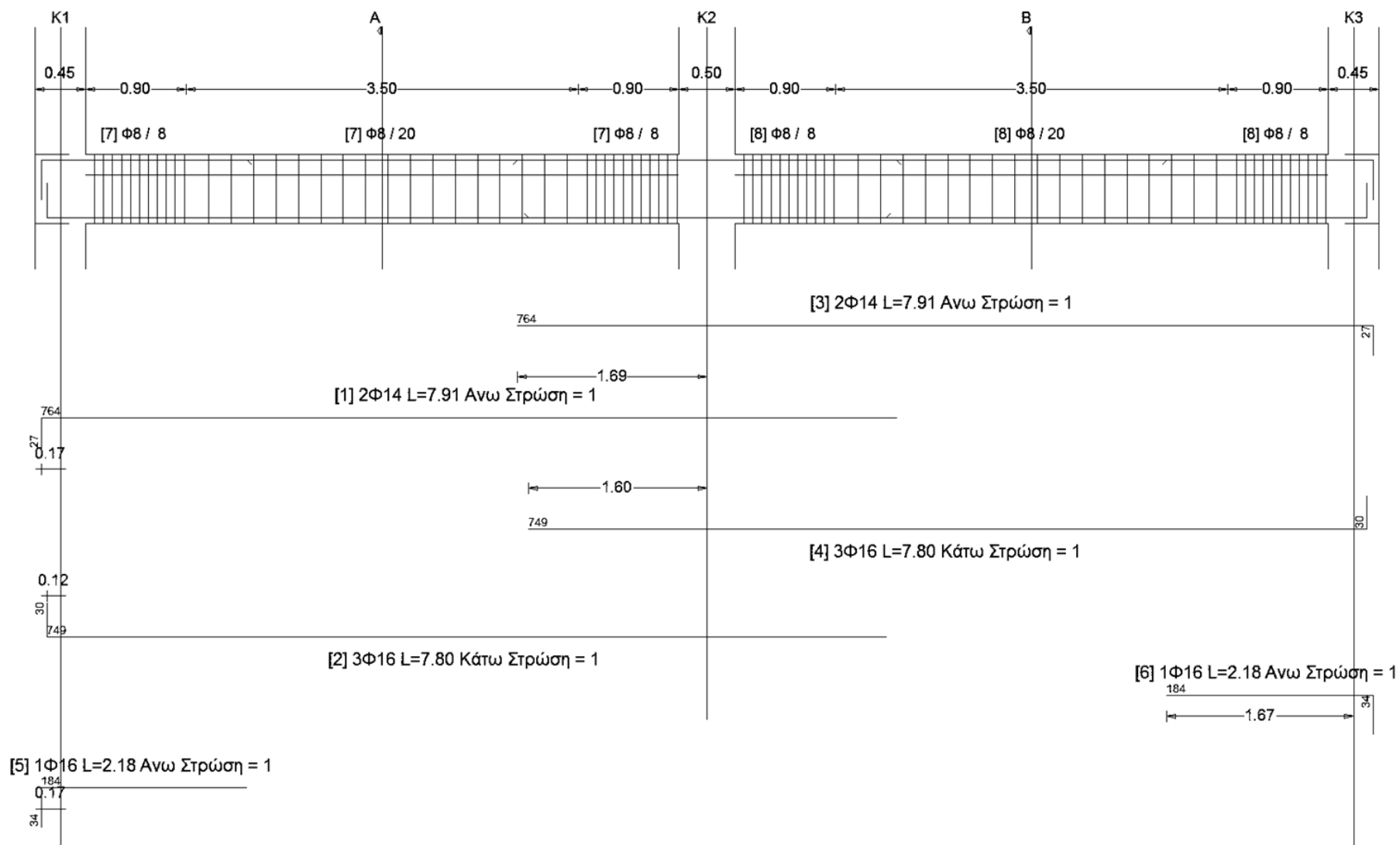
Σχήμα 2.114: Δοκός Δ2, Όροφος 9



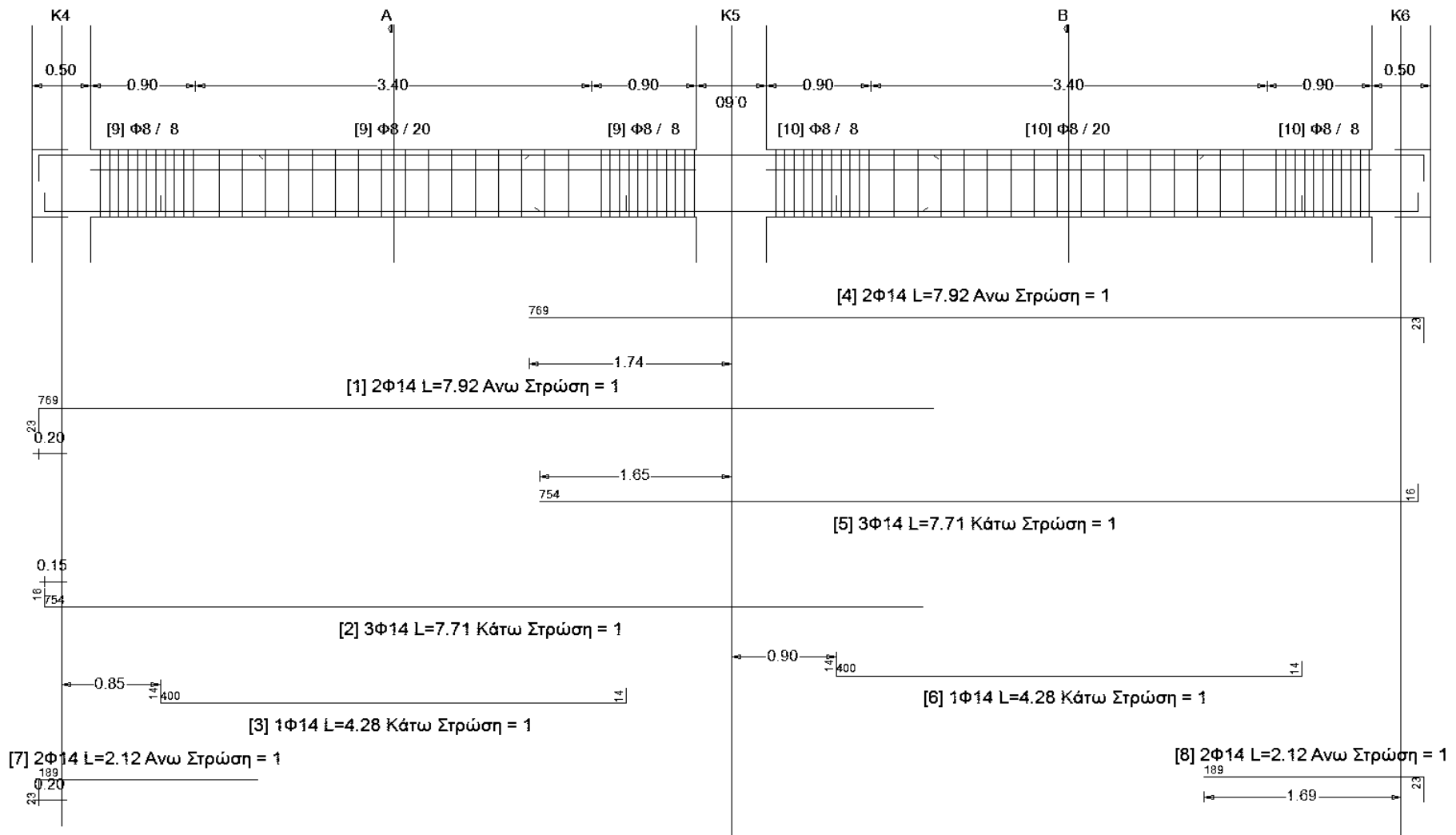
Σχήμα 2.115: Δοκός Δ1, Όροφος 10



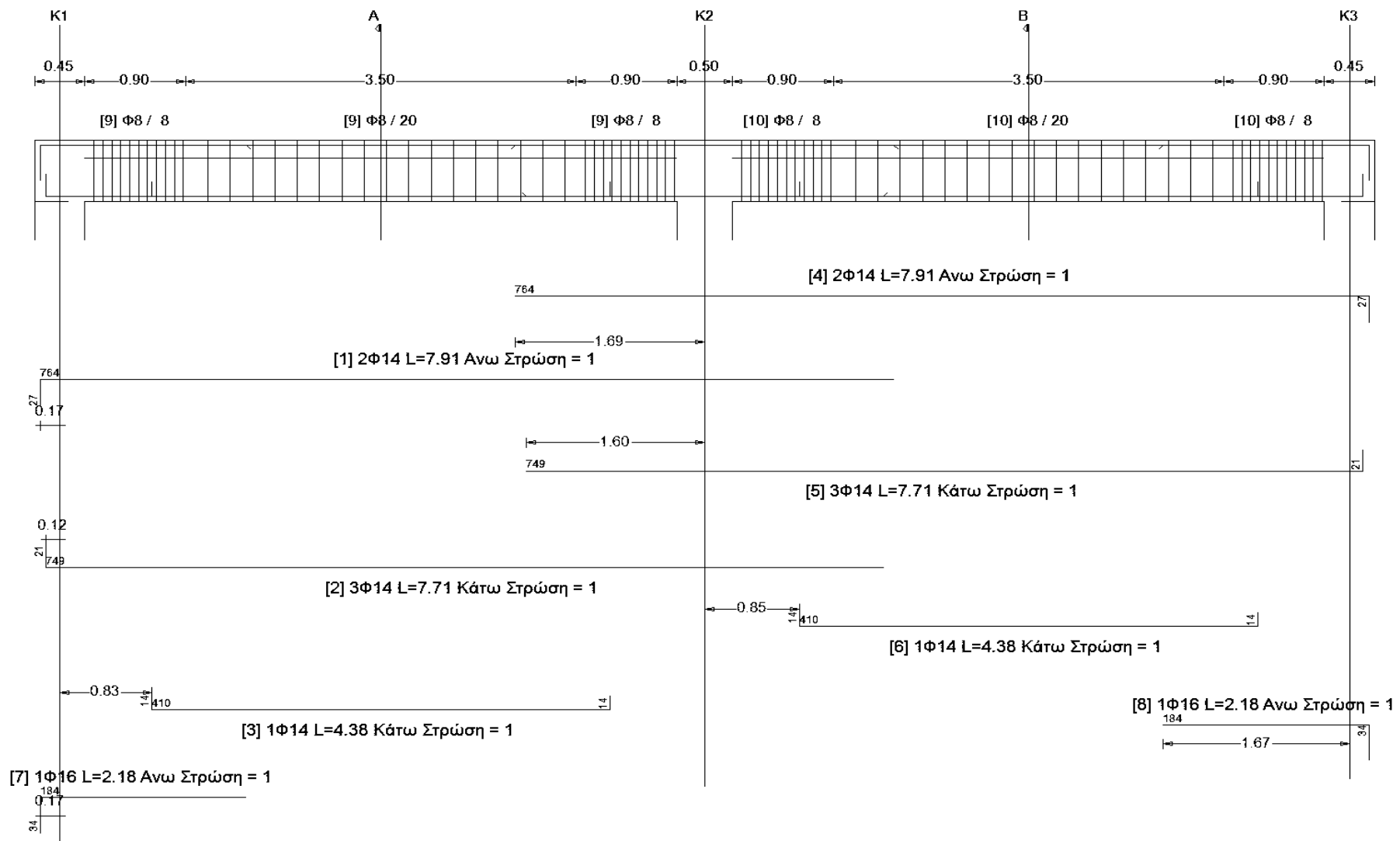
Σχήμα 2.116: Δοκός Δ2, Όροφος 10



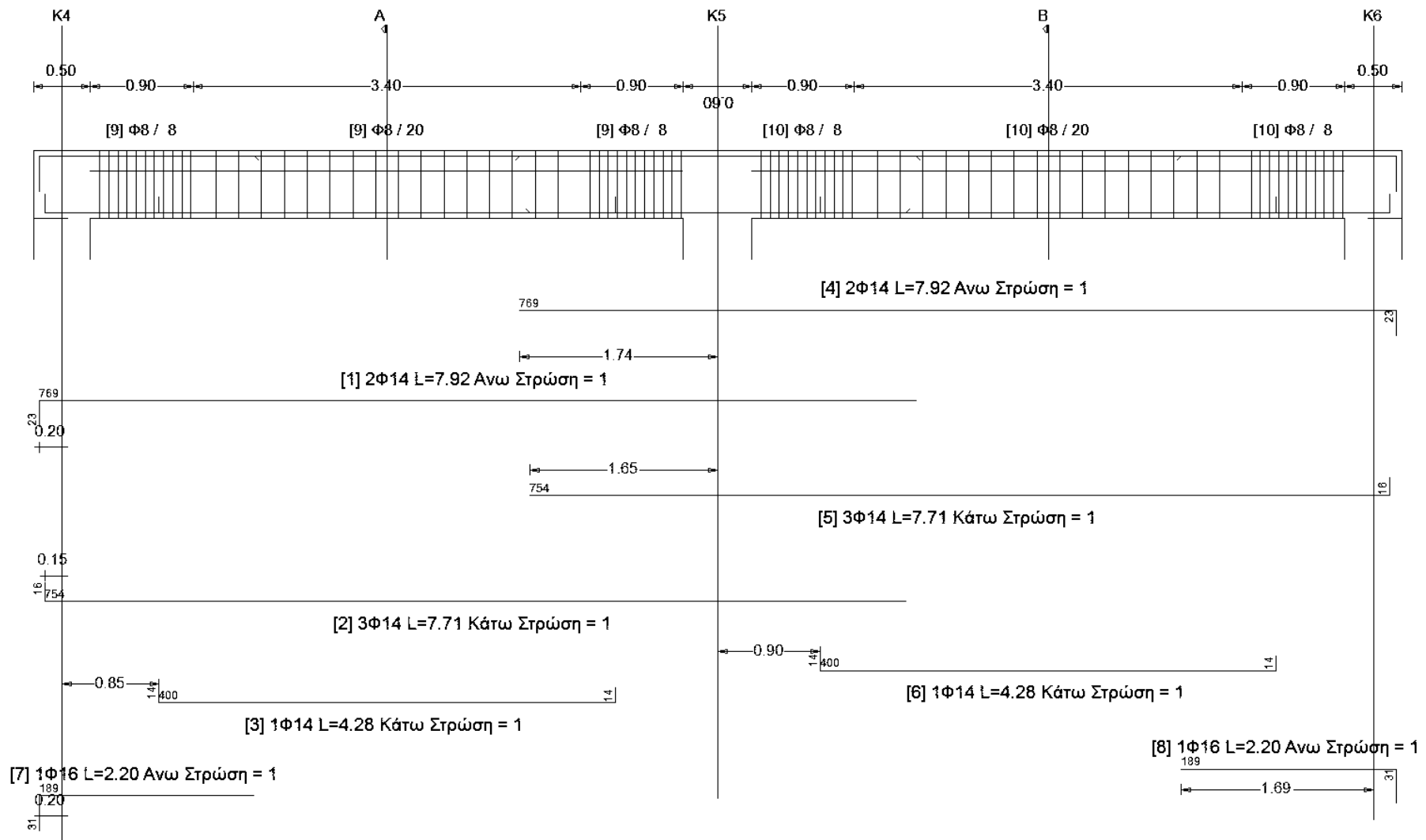
Σχήμα 2.117: Δοκός Δ1, Όροφος 11



Σχήμα 2.118: Δοκός Δ2, Όροφος 11



Σχήμα 2.119: Δοκός Δ1, Όροφος 12



Σχήμα 2.120: Δοκός Δ2, Όροφος 1

3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ OPENSEES

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καθοριστική επίδραση των σεισμικών διεγέρσεων στη συμπεριφορά των κατασκευών έχει οδηγήσει στη δημιουργία εξειδικευμένων λογισμικών μη γραμμικής ανάλυσης που επικεντρώνονται στα φαινόμενα αυτά. Ένα τέτοιο λογισμικό είναι και το **Open System for Earthquake Engineering Simulation** ή εν συντομία **OpenSees** που αναπτύχθηκε από το *Pacific Earthquake Engineering Research Center* (PEER) σε γλώσσα *Tcl*.

Βασικό χαρακτηριστικό του εν λόγω προγράμματος είναι ότι πρόκειται για πρόγραμμα ανοικτού κώδικα παρέχοντας έτσι στον μελετητή την ελευθερία να το χρησιμοποιήσει χωρίς να υπόκειται σε νομικής φύσεως περιορισμούς ενώ παράλληλα προάγει τη συνεργασία μεταξύ ερευνητών απ' όλο τον κόσμο στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν και να βελτιώσουν τον τρόπο λειτουργίας του.

Η προτίμησή του έναντι άλλων λογισμικών μπορεί καταρχάς να δικαιολογηθεί από το πλήθος των μοντέλων προσομοίωσης των υλικών και των δομικών μελών, από το πλήθος των αλγορίθμων επίλυσης και από πολλούς δυνατούς συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων. Επιπλέον, το γεγονός ότι προσφέρεται η δυνατότητα επέμβασης στον παρεχόμενο κώδικα και η δημιουργία νέου, θέτει στην διακριτική ευχέρεια του χρήστη την ανάπτυξη εξειδικευμένων – ως προς το μοντέλο του – εφαρμογών τόσο στο τμήμα της ανάλυσης όσο και της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων. Καταλήγοντας, η μικρή απαίτηση σε υπολογιστικό χρόνο δεν μπορεί παρά να εκτιμηθεί, δεδομένου του πλήθους των αναλύσεων - και δει δυναμικών - που σύγχρονος μελετητής καλείται να εκτελέσει.

Παρά τα προτερήματα που διαθέτει το OpenSees, τη χρήση του συχνά αποθαρρύνει η απουσία γραφικού περιβάλλοντος. Το στοιχείο αυτό αποτελεί αναμφίβολα ένα μειονέκτημα του εν λόγω λογισμικού καθώς δυσχεραίνει τον έλεγχο της ορθότητας του φορέα και περιορίζει την εποπτεία επί των αποτελεσμάτων.

Το παρόν κεφάλαιο έχει σκοπό να παρουσιάσει τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την προσομοίωση του φορέα και της σεισμικής φόρτισης με το λογισμικό **OpenSees (version 2.2.2)** και σε καμία περίπτωση δεν αποσκοπεί στην υποκατάσταση του εγχειριδίου χρήσης.

Αρχικά θα περιγραφεί η δημιουργία του φορέα και η επιβολή των φορτίων βαρύτητας ενώ στη συνέχεια θα ακολουθήσει μη γραμμική Στατική Ανάλυση pushover. Τέλος θα πραγματοποιηθούν Δυναμικές Αναλύσεις με την επιβολή κατάλληλων σεισμικών καταγραφών.

3.2. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΟΡΕΑ

3.2.1. ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία του προσομοιώματος είναι ο καθορισμός του **πλήθους των διαστάσεων** που έχει το μοντέλο καθώς επίσης και των βαθμών ελευθερίας κάθε κόμβου. Αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή:

$$\text{model BasicBuilder -ndm 3 -ndf 6} \quad [3.1]$$

που υποδηλώνει ότι το μοντέλο είναι τρισδιάστατο και κάθε κόμβος διαθέτει 6 β.ε.

Στη συνέχεια πρέπει να οριστούν οι **συντεταγμένες** των κόμβων. Η μορφή της κατασκευής και συγκεκριμένα το σταθερό ύψος των ορόφων και η τοποθέτηση των υποστυλωμάτων σε κάρναβο, δίνει τη δυνατότητα παραμετροποίησης του προβλήματος και ορισμού των συντεταγμένων συναρτήσει των παρακάτω σταθερών:

$$L_{Column} = 3.0 \text{ m}$$

$$L_{Beam} = 6.0 \text{ m}$$

$$L_{Girder} = 6.0 \text{ m}$$

Αν παραδείγματος χάριν ο κόμβος βάσης του υποστυλώματος K1 είναι η αρχή των αξόνων και έχει αύξοντα αριθμό 1, ενώ η κορυφή του υποστυλώματος έχει αύξοντα αριθμό 2 τότε ισχύει:

$$\text{node1 0.0 0.0 0.0} \quad [3.2]$$

$$\text{node2 0.0 } L_{Column} \text{ 0.0} \quad [3.3]$$

Σχόλιο: Η πραγματική αρίθμηση στο μοντέλο είναι πιο σύνθετη και ακολουθεί ορισμένους κανόνες ώστε να αποφευχθούν λάθη και να υπάρχει μεγαλύτερη εποπτεία.

Οι κατασκευές διαστασιολογήθηκαν θεωρώντας τις στηρίξεις ως **πλήρεις πακτώσεις**, επομένως πρέπει να δεσμευτούν όλοι οι βαθμοί ελευθερίας των κόμβων του επιπέδου έδρασης ($Y=0.0$). Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή:

$$\text{fixY 0.0 1 1 1 1 1} \quad [3.4]$$

Τέλος, είναι αναγκαία η εξασφάλιση **διαφραγματικής λειτουργίας** κάθε ορόφου ούτως ώστε η συμπεριφορά του μοντέλου να προσεγγίζει την πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής.

Το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα ορισμού άκαμπτου διαφράγματος μέσω της εντολής **rigidDiaphragm**, η οποία δημιουργεί σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των κόμβων

του ορόφου. Ωστόσο η συγκεκριμένη εντολή κρίθηκε ακατάλληλη καθώς εμπόδιζε τη σωστή λειτουργία του προγράμματος λόγω της εμπλοκής της με κάποια από τις υπόλοιπες εντολές (bug).

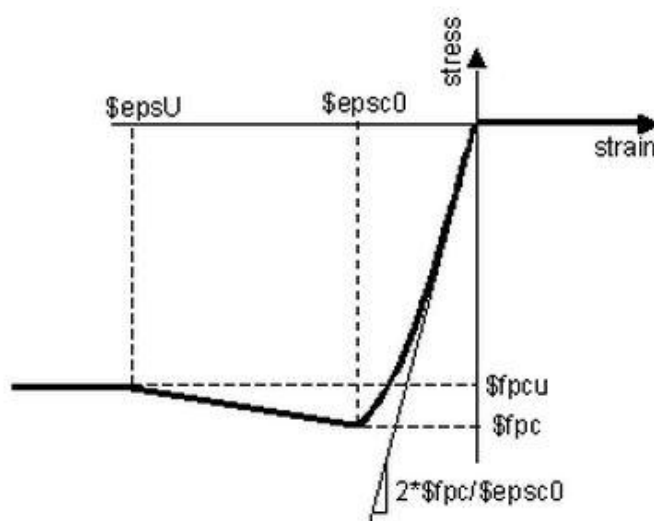
Η λύση που βρέθηκε περιλάμβανε τη χρήση οριζοντίων συνδέσμων δυσκαμψίας, οι οποίοι προσομοιώθηκαν με στοιχεία δικτυώματος τετραγωνικής διατομής (60/60) από υλικό με ελαστική συμπεριφορά. Κατόπιν διαδοχικών αναλύσεων διαπιστώθηκε ότι μέτρο Ελαστικότητας 10000 μεγαλύτερο του μέτρου Ελαστικότητας του σκυροδέματος (E_c) εξασφάλιζε την επιθυμητή άκαμπτη συμπεριφορά.

3.2.2. ΥΛΙΚΑ

3.2.2.1. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η ποικιλία στη γεωμετρία και την όπλιση των διατομών δημιουργεί την ανάγκη για προσομοίωση πολλών ομάδων σκυροδέματος με διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά όπως το αρχικό μέτρο Ελαστικότητας, η θλιπτική αντοχή και η οριακή παραμόρφωση. Προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερος έλεγχος της περισφιγξης που επιβάλλεται, προτιμήθηκε ο ανεξάρτητος υπολογισμός της σε φύλλο Excel και στη συνέχεια η προσομοίωση της ως απερίσφικτο σκυρόδεμα υψηλότερων αντοχών.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι το **Concrete01-Zero Tensile Strength** (Σχήμα 3.1) που θεωρεί ότι το σκυρόδεμα δεν διαθέτει εφελκυστικές αντοχές και ότι ακολουθεί το νόμο που προτάθηκε από τους Kent-Scott-Park.



Σχήμα 3.1: Προσομοίωση σκυροδέματος με το μοντέλο **Concrete01**

Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

- η θλιπτική αντοχή
- η παραμόρφωση για τη μέγιστη αντοχή
- η τελική αντοχή πριν την “κατάρρευση”
- η παραμόρφωση στη θέση “κατάρρευσης”

Η εντολή που ενεργοποιεί το υλικό είναι:

uniaxialMaterial Concrete01 \$matTag \$fpc \$epsc0 \$fpcu \$epsU [3.5]

όπου:

\$matTag είναι ο αύξων αριθμός του υλικού

\$fpc είναι η θλιπτική αντοχή (αρνητική)

\$epsc0 είναι η παραμόρφωση για τη μέγιστη αντοχή

\$fpcu είναι η τελική αντοχή πριν την “κατάρρευση” (αρνητική)

\$epsU είναι η παραμόρφωση για τη τελική αντοχή

Η τελική αντοχή ***\$fpcu*** μπορεί να ληφθεί ως 85% της μέγιστης αντοχής, δηλαδή:

$$\mathbf{\$fpcu = 0.85 \cdot \$fpc}$$

Για το απερίσφικτο σκυρόδεμα **C30/37** οι τιμές είναι: ***\$fpc = 30 MPa***

$$\mathbf{\$epsc0 = 0.0022}$$

$$\mathbf{\$fpcu = 0.85 \cdot 30 = 25.5 MPa}$$

$$\mathbf{\$epsU = 0.0035}$$

Όσον αφορά στη περίσφιγξη, ακολουθώντας τις υποδείξεις του ΕΑΚ/EC2/ΚΑΝΕΠΕ η μέγιστη θλιπτική αντοχή f_{cc}^* λαμβάνει τιμές:

$$f_{cc}^* = f_{cc} \cdot (1 + 2.50 \cdot \alpha \omega_w) \text{ για } \alpha \omega_w \leq 0.10$$

$$f_{cc}^* = f_{cc} \cdot (1.125 + 1.25 \cdot \alpha \omega_w) \text{ για } \alpha \omega_w > 0.10$$

Η παραμόρφωση για τη μέγιστη αντοχή ε_{co}^* είναι:

$$\varepsilon_{co}^* = \varepsilon_{co} \cdot \left(\frac{f_{cc}^*}{f_{cc}} \right)^2$$

Η παραμόρφωση για την τελική αντοχή είναι:

$$\varepsilon_{c,max}^* = 0.0035 + 0.1 \cdot \alpha \omega_w$$

Το μειονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι μετά την παραμόρφωση **\$epsU** η αντοχή δεν μηδενίζεται αλλά διατηρείται σταθερή. Η παραπάνω ιδιότητα θέτει ερωτηματικά σχετικά με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων οπότε εξετάστηκε τροποποίηση του μοντέλου **Concrete01** ακόμα και αντικατάστασή του. Μερικές ενδεικτικές δοκιμές είναι οι ακόλουθες:

1^η Δοκιμή

Αλλαγή της τελικής αντοχής σε 20% της μέγιστης ή μηδενισμό της, για την ίδια όμως τιμή τελικής παραμόρφωσης. Αυτή η προσέγγιση προκαλούσε απότομη πτώση των αντοχών και δεν έδινε ρεαλιστικά αποτελέσματα.

2^η Δοκιμή

Ορισμός κατάλληλου **\$epsU** ώστε να διατηρείται η κλίση του γραμμικού κλάδου που συνδέει τη μέγιστη αντοχή με το 85% της μέγιστης ενώ παράλληλα η τελική αντοχή να έχει τιμή 20% της μέγιστης ή να μηδενίζεται. Αυτή η εναλλακτική οδηγούσε σε τεράστιες τιμές παραμόρφωσης που δεν ήταν δυνατό να επιτευχθούν και ως εκ τούτου απορρίφθηκε.

3^η Δοκιμή

Αντικατάσταση του μοντέλου με το **Concrete04-Popovics Concrete Material**. Το εν λόγω μοντέλο δεν έδινε την δυνατότητα επέμβασης στην τιμή της τελικής αντοχής οπότε απορρίφθηκε.

4^η Δοκιμή

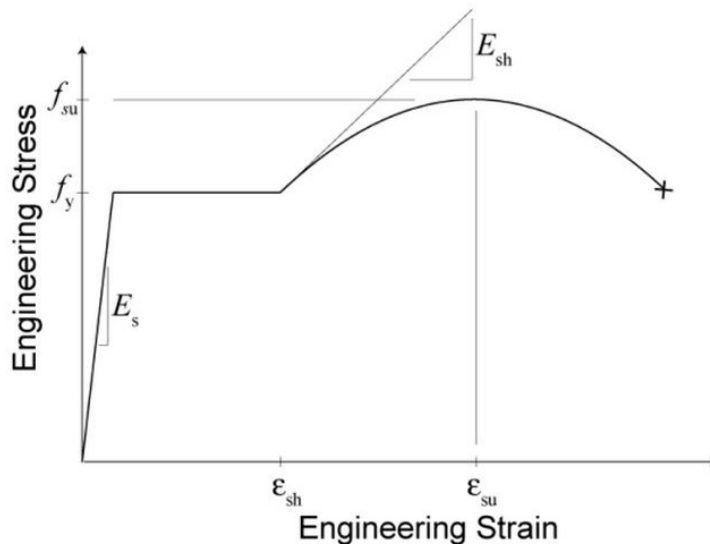
Η καμπύλη του σκυροδέματος προσεγγίστηκε με το τριγωνικό **Hysteretic Material** (δες κεφάλαιο 3.2.2.2) ωστόσο εντοπίστηκαν προβλήματα ευαισθησίας ακόμα και για μικρή αλλαγή των παραμέτρων που εισάγονταν. Τα προβλήματα αυτά ήταν εντονότερα στις εφελκυστικές αντοχές, η ύπαρξη των οποίων ήταν επιβεβλημένη.

Λόγω έλλειψης ορθότερου μοντέλου σκυροδέματος υιοθετείται το **Concrete01**.

3.2.2.2. ΧΑΛΥΒΑΣ

Εκ των δύο κατηγοριών οπλισμού εντός της διατομής, του διαμήκους και του εγκάρσιου, ως ράβδος εισάγεται μόνο ο διαμήκης ενώ ο εγκάρσιος θεωρείται ότι συμμετέχει μόνο στην περισφιγξη της διατομής.

Το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα δίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων χάλυβα

Ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο **B500C** ο οποίος σύμφωνα με το Πρότυπο **ΕΛΟΤ 1421-3** έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά χάλυβα B500C σύμφωνα με ΕΛΟΤ 1421-3

ΕΛΟΤ 1421- 3	B500C
Όριο διαρροής f_y [MPa]	≥ 500
Εφελκυστική αντοχή f_s [MPa]	-
Λόγος της πραγματικής τιμής ορίου διαρροής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής, $f_{y,act}/f_{y,nom}$	≤ 1.25
Λόγος αντοχής προς όριο διαρροής, f_s/f_y	≥ 1.15 ≤ 1.35
Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο $\epsilon_{u,k}$ [%]	≥ 7.5
Επιμήκυνση μετά τη θραύση ϵ_5 [%]	-

Η επιμήκυνση κατά τη θραύση (ϵ_5) δεν ορίζεται αλλά μπορεί να εκτιμηθεί ως:

$$\epsilon_5 \approx 2.5 \cdot \epsilon_{su}$$

Οι τιμές των χαρακτηριστικών που υιοθετήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 3.2:

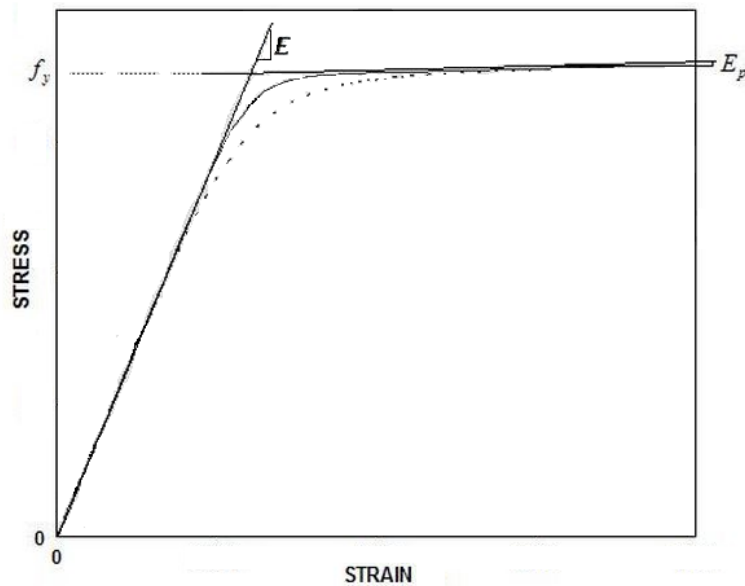
Πίνακας 3.2: : Χαρακτηριστικά χάλυβα B500C

f_y [MPa]	500
f_s [MPa]	600
$k = f_s/f_y$	1.20
$\epsilon_{u,k}$ (%)	7.5

Λόγω της δυσκολίας στην εκτίμηση της παραμόρφωσης ϵ_{sh} που σηματοδοτεί την έναρξη της κράτυνσης, αποφασίστηκε το πραγματικό διάγραμμα να προσεγγιστεί με ένα διγραμμικό στο οποίο:

- το **1^ο σημείο** είναι το σημείο **διαρροής** (ϵ_y, f_y)
- το **2^ο σημείο** είναι η θέση **μέγιστης αντοχής** (ϵ_{su}, f_{su})

Το μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.3: Μοντέλο χάλυβα steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto

Η εντολή με την οποία εισάγεται το υλικό είναι:

uniaxialMaterial Steel02 \$matTag \$fy \$E \$b \$R0 \$cR1 \$cR2 [3.6]

όπου:

\$matTag είναι ο αύξων αριθμός του υλικού

\$fy είναι η τάση διαρροής (500 MPa)

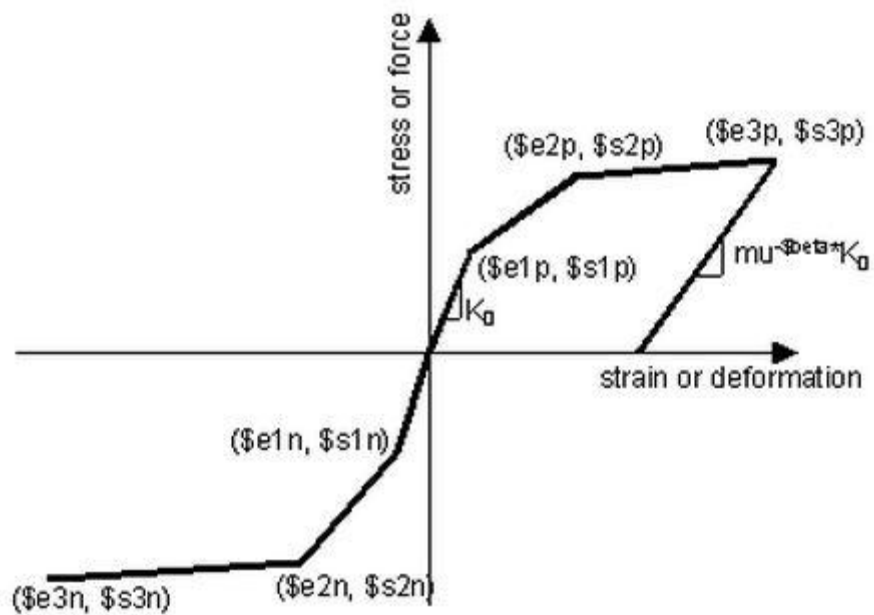
\$E είναι το μέτρο Ελαστικότητας του χάλυβα (200 GPa)

\$R0 \$cR1 \$cR2 είναι παράμετροι που ελέγχουν τη μετάβαση από τον ελαστικό στον κρατυνόμενο κλάδο

\$b είναι η δυσκαμψία του κρατυνόμενου κλάδου ως ποσοστό της ελαστικής

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση υπέρβασης της οριακής παραμόρφωσης ϵ_{su} ο χάλυβας δεν χάνει τις αντοχές του (έως μηδενισμού) όπως είναι η πραγματικότητα αλλά αντιθέτως συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία έχοντας δυσκαμψία E_p .

Εξαιτίας αυτής της ιδιαιτερότητας σε ορισμένες καμπύλες pushover δεν εμφανιζόταν πτωτικός κλάδος, αντιθέτως η τέμνουσα αυξανόταν έως ότου η παραμόρφωση να λάβει πολύ μεγάλες τιμές. Θεωρήθηκε λοιπόν σκόπιμο να δοκιμαστεί ένα μοντέλο χάλυβα το οποίο θα προσομοίωνε καλύτερα τον πτωτικό κλάδο. Το μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το ***Hysteretic Material***.



Σχήμα 3.4: Προσομοίωση χάλυβα με *Hysteretic Material*

Πρόκειται για ένα τριγραμμικό μοντέλο στο οποίο:

- το **1^ο σημείο** είναι το σημείο **διαρροής** (ϵ_y, f_y)
- το **2^ο σημείο** είναι η **θέση μέγιστης αντοχής** (ϵ_{su}, f_{su})
- το **3^ο σημείο** είναι η **θέση μηδενισμού της αντοχής** ($\epsilon_5, 0$)

Λόγω της όμοιας συμπεριφοράς του χάλυβα σε θλίψη και εφελκυσμό αρκεί να οριστεί ο εφελκυσόμενος κλάδος και έπειτα να δοθεί ο συμμετρικός του ως προς το (0,0).

Όπως αναφέρεται παραπάνω, η παραμόρφωση θραύσης εκτιμάται ως $\epsilon_5 \approx 2.5 \cdot \epsilon_{su}$ επομένως λαμβάνεται:

$$\epsilon_5 \approx 2.5 \cdot \epsilon_{su} = 2.5 \cdot 0.075 = 0.1875 \approx 0.20$$

Η εντολή που ενεργοποιεί το υλικό είναι:

uniaxialMaterial Hysteretic \$matTag \$s1p \$e1p \$s2p \$e2p \$s3p \$e3p \$s1n \$e1n \$s2n \$e2n \$s3n \$e3n \$pinchX \$pinchY \$damage1 \$damage2 [3.7]

όπου:

\$matTag είναι ο αύξων αριθμός του υλικού

\$sip είναι οι τεταγμένες των τριών σημείων που ορίστηκαν προηγουμένως

\$eip είναι οι τετμημένες των τριών σημείων που ορίστηκαν προηγουμένως

(\$sin,\$ein) είναι σημεία συμμετρικά των ***(\$sip,\$eip)*** και ορίζουν τον θλιβόμενο κλάδο

\$pinchX, \$pinchY, \$damage1, \$damage2 είναι παράμετροι που ελέγχουν την ανακυκλιζόμενη συμπεριφορά

Το μεγάλο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι σε περίπτωση

$$\mathbf{\$s3p} \leq \mathbf{\$s2p} \text{ και } |\mathbf{\$s3n}| \leq |\mathbf{\$s2n}|$$

για υπέρβαση των οριακών παραμορφώσεων ***\$e3p*** ή ***\$e3n*** η αντοχή διατηρείται ίση με τις τιμές ***\$s3p*** ή ***\$s3n*** αντίστοιχα.

3.2.3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ

Η ακρίβεια της ελαστοπλαστικής ανάλυσης πλαισιωτών κατασκευών μπορεί να αυξηθεί εφόσον υιοθετείται η παραδοχή της κατανεμημένης πλαστικότητας με πολυστρωματική θεώρηση. Με αυτήν την προσέγγιση, η διατομή χωρίζεται σε στρώσεις ή ίνες και σε κάθε μια αποδίδονται ιδιότητες ενός συγκεκριμένου υλικού. Κατ' αυτόν τον τρόπο προσομοιώνεται καλύτερα η πλαστικοποίηση καθ' ύψος των διατομών και κατά μήκος των μελών έχοντας όμως σημαντική υπολογιστική επιβάρυνση. Στο OpenSees η διατομή που επιτρέπει την πολυστρωματική θεώρηση είναι η διατομή **Fiber**.

Προκειμένου να οριστεί σωστά μια Fiber διατομή πρέπει να οριστούν:

- 1ον. **Μεμονωμένες ίνες** (συνήθως προσομοιώνουν ράβδους οπλισμού)
- 2ον. **Ζώνες-περιοχές** με συγκεκριμένο υλικό και να χωριστούν σε ίνες μέσω ενός καννάβου (συνήθως προσομοιώνουν ζώνες σκυροδέματος)
- 3ον. **Ομάδες ισαπέχουσων ινών** (συνήθως προσομοιώνουν στρώσεις οπλισμού)

Η εντολή του προγράμματος είναι:

```
section Fiber $secTag {  
  fiber  
  patch [3.8]  
  layer  
}
```

όπου:

\$secTag είναι ο αύξων αριθμός της διατομής

fiber είναι η εντολή για τις μεμονωμένες ίνες

patch είναι η εντολή για τις ζώνες

layer είναι η εντολή για τις ομάδες ισαπέχουσων ινών

Λόγω της ποικιλίας στη γεωμετρία και την όπλιση των διατομών καθίσταται αναγκαία η εύρεση ενός τρόπου αυτοματοποίησης της διαδικασίας κατασκευής. Αναπτύχθηκε λοιπόν μια εφαρμογή σε γλώσσα Tcl η οποία διαβάζει τις απαιτούμενες πληροφορίες (διαστάσεις, αριθμό και θέση ράβδων, ύπαρξη ή όχι συμμετρίας κτλ) που έχουν καταγραφεί σε μια βάση δεδομένων και αυτόματα κατασκευάζει τις διατομές.

3.2.4. ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο τρόπος που προσομοιώνονται τα δομικά στοιχεία εξαρτάται αφενός από το είδος του μέλους και αφετέρου από τους στόχους της εκάστοτε μελέτης. Η κατηγορίες μελών στη παρούσα εργασία είναι:

- **Στοιχείο Υποστυλώματος**
- **Στοιχείο Δοκού**
- **Στοιχεία Διαφράγματος**

3.2.4.1. ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

Τα υποστυλώματα προσομοιώνονται με γραμμικά στοιχεία θεωρώντας ότι η πλαστικότητα είναι συγκεντρωμένη σε δύο περιοχές στα άκρα (Πλαστικές Αρθρώσεις). Οι περιοχές αυτές διαθέτουν διατομή **Fiber** και έχουν μήκος **L_p** που υπολογίζεται σύμφωνα με τους **Paulay & Priestley** από τη σχέση:

$$L_p = 0.08 \cdot L_{tot} + 0.022 \cdot d_b \cdot f_y$$

όπου:

L_{tot} [m] είναι το συνολικό μήκος του στοιχείου

d_b [m] είναι η διάμετρος των ράβδων οπλισμού

f_y [MPa] είναι η τάση διαρροής του χάλυβα του οπλισμού

Όπως είναι προφανές, η όπλιση δεν μεταβάλλεται κατά μήκος των υποστυλωμάτων επομένως η διατομή και το μήκος της Π.Α. είναι κοινά για τα δύο άκρα.

Το ενδιάμεσο τμήμα συμπεριφέρεται ελαστικά και για την πλήρη περιγραφή του απαιτούνται τα εξής μηχανικά χαρακτηριστικά:

- το μέτρο Ελαστικότητας **E**
- το μέτρο Διάτμησης **G**
- η επιφάνεια **A**
- η ροπή αδρανείας **I_y**
- η ροπή αδρανείας **I_z**
- η στρεπτική ροπή αδρανείας **J**

Τα παραπάνω μεγέθη έχουν υπολογιστεί ως προς την **ισοδύναμη διατομή σκυροδέματος**. Ισχύει λοιπόν:

$$\alpha = E_s / E_c = 6.06$$

$$E = 33.0 \text{ MPa}$$

$$G \approx 0.4 \cdot E = 13.2 \text{ GPa}$$

$$A = A_c + (\alpha - 1) \cdot \sum A_s$$

$$I_{eff,y} = 0.5 \cdot I_y = 0.5 \cdot [I_{cy} + (\alpha - 1) \cdot \sum A_{si} \cdot (z_{\kappa\beta,i} - z_{s,i})^2]$$

$$I_{eff,z} = 0.5 \cdot I_z = 0.5 \cdot [I_{cz} + (\alpha - 1) \cdot \sum A_{si} \cdot (y_{\kappa\beta,i} - y_{s,i})^2]$$

$$J \approx \frac{H^4}{7.10}$$

1° Σχόλιο: Οι τιμές των ροπών αδρανείας απομειώθηκαν στο 50% ώστε να υπάρχει συμβατότητα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα.

2° Σχόλιο: Οι διατομές είναι τετραγωνικές οπότε η στρεπτική ροπή αδρανείας J υπολογίζεται από τη προσεγγιστική σχέση που δόθηκε προηγουμένως.

Η εντολή του OpenSees που δημιουργεί το συγκεκριμένο τύπο στοιχείου είναι στη γενική της μορφή η εξής:

***element beamWithHinges \$eleTag \$iNode \$jNode \$secTagI
\$Lpi \$secTagJ \$Lpj \$E \$A \$Iz \$Iy \$G \$J \$transfTag*** [3.9]

Ο μόνος όρος στο οποίο δεν έχουμε αναφερθεί είναι ο ***\$transfTag*** ο οποίος παραπέμπει σε μια ξεχωριστή εντολή που λέγεται ***geomTransf*** και μετασχηματίζει τις τοπικές συντεταγμένες σε καθολικές. Επιπλέον η εν λόγω εντολή καθορίζει αν θα ληφθούν υπ' όψιν στο συγκεκριμένο στοιχείο φαινόμενα δευτέρας τάξεως. Πιο συγκεκριμένα δίνονται οι επιλογές:

- **Linear Transformation:** δεν δέχεται φαινόμενα 2ας τάξεως
- **PDelta Transformation:** δέχεται προσέγγιση των φαινομένων 2ας τάξεως
- **Corotational Transformation:** δέχεται τα ακριβή φαινόμενα 2ας τάξεως

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δοκιμάστηκαν και οι τρεις επιλογές και τα συμπεράσματα παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

3.2.4.2. ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΟΚΟΥ

Για την προσομοίωση των δοκών χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος τύπος στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε και για τα υποστυλώματα και σε γενικές γραμμές ισχύουν όσα προαναφέρθηκαν. Ωστόσο συναντώνται οι εξής διαφορές:

1ον. Οι διατομές στα άκρα είναι κατά κανόνα διαφορετικές.

2ον. Οι ροπές αδρανείας **I_y** και **I_z** στο ελαστικό τμήμα του στοιχείου έχουν υπολογιστεί μόνο από τη διατομή σκυροδέματος.

3ον. Η στρεπτική ροπή αδρανείας έχει τιμή:

$$J \approx \alpha \cdot b^3 \cdot \left[\frac{1}{3} - 0.21 \cdot \frac{b}{\alpha} \cdot \left(1 - \frac{b^4}{12 \cdot \alpha^4} \right) \right]$$

με **a** τη μεγαλύτερη διάσταση

και **b** τη μικρότερη

4ον. Δεν λαμβάνονται ποτέ φαινόμενα 2ας τάξης

3.2.4.3. ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο η εντολή **rigidDiaphragm** δεν λειτουργεί σωστά με αποτέλεσμα να μην εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία που είναι απαραίτητη για την ορθότητα του προσομοιώματος. Τα άκαμπτα διαφράγματα τελικά προσομοιώθηκαν με τη χρήση ράβδων δικτυώματος από υλικό μεγάλη δυσκαμψίας.

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

element truss \$eleTag \$iNode \$jNode \$A \$matTag [3.10]

όπου

\$eleTag είναι ο αύξων αριθμός του στοιχείου

\$iNode είναι ο κόμβος αρχής του στοιχείου

\$jNode είναι ο κόμβος τέλους του στοιχείου

\$A είναι η επιφάνεια της διατομής

\$matTag είναι ο αύξων αριθμός του ελαστικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε

3.2.5. ΜΑΖΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ - ΦΟΡΤΙΑ

Το επόμενο βήμα για την δημιουργία του προσομοιώματος είναι καθορισμός των επικόμβιων μαζών. Στο OpenSees οι μάζες δεν λαμβάνονται αυτόματα εκ των ιδίων βαρών και των φορτίων αλλά πρέπει να προσδιοριστούν από τον χρήστη. Οι απαιτούμενες ενέργειες είναι οι ακόλουθες:

- Καταρχάς υπολογίζονται τα ίδια βάρη των στοιχείων (ανά μονάδα μήκους) ως το γινόμενο της επιφάνειάς τους επί το ειδικό βάρος του σκυροδέματος. Απλοποιητικά λαμβάνεται **$\gamma=25\text{KN/m}^3$** ώστε να συνεκτιμηθεί και ο οπλισμός.
- Έπειτα καθορίζονται τα συνολικά κατανεμημένα φορτία ως άθροισμα των ιδίων βαρών και των εξωτερικών φορτίων (μόνιμα και κινητά) με τους συντελεστές που ορίζει ο κανονισμός. Στην παρούσα εργασία ελήφθησαν τα φορτία **G+0.3Q**.
- Στη συνέχεια ορίζεται η μάζα κάθε κόμβου ως το άθροισμα των ημίσεων βαρών των στοιχείων που συντρέχουν σε αυτών δια την επιτάχυνση της βαρύτητας.
- Τέλος η μάζα εφαρμόζεται στο μοντέλο με την εντολή:

mass \$nodeTag \$M 0 \$M 0 0 0 [3.11]

Με την εντολή αυτή στον κόμβο ***\$nodeTag*** εφαρμόζεται μάζα M που ενεργοποιείται (έχοντας υπ' όψιν τα σεισμικά φορτία) για κίνηση στους βαθμούς ελευθερίας 1 και 3.

Τον καθορισμό των μαζών ακολουθεί η επιβολή των φορτίων (εξωτερικών και μη) ως κατανεμημένα στο μήκος κάθε στοιχείου με χρήση της εντολής:

eleLoad – ele \$Tag – type – beamUniform \$qy \$qz \$qx [3.12]

όπου

\$Tag είναι ο αύξων αριθμός του στοιχείου

\$qy είναι η τιμή του ομοιόμορφου φορτίου στον τοπικό άξονα y

\$qz είναι η τιμή του ομοιόμορφου φορτίου στον τοπικό άξονα z

\$qx είναι η τιμή του ομοιόμορφου φορτίου στον τοπικό άξονα x

3.2.6. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το τελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση του στατικού φορέα είναι η επιλογή των παραμέτρων ανάλυσης. Η επιλογή αυτή δεν μπορεί να προαποφασιστεί καθώς οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητά της είναι πολλοί. Υπάρχουν βέβαια εντολές που είναι γνωστό εξ' αρχής σε ποιο πεδίο εφαρμόζονται καλύτερα αλλά κατά κανόνα πρέπει να γίνονται δοκιμές. Το βασικό για τον χρήστη είναι να γνωρίζει τις κατηγορίες των εντολών και το μερίδιο της ανάλυσης που κάθε κατηγορία έχει αναλάβει και όχι τις ίδιες τις εντολές.

- Η πρώτη κατηγορία εντολών (***constraints Command***) αφορά στον τρόπο που αντιμετωπίζονται οι δεσμεύσεις από την ανάλυση και στην επίδραση αυτών πάνω στους βαθμούς ελευθερίας. Η εντολή που επιλέχθηκε είναι:

constraints Transformation [3.13]

- Η δεύτερη κατηγορία (***numberer Command***) αφορά στον τρόπο που οι εξισώσεις αριθμούνται και αντιστοιχίζονται στους βαθμούς ελευθερίας. Επιλέχθηκε ο κώδικας Reverse Cuthill-McKee:

numberer RCM [3.14]

- Η τρίτη κατηγορία εντολών (***system Command***) πραγματεύεται τον τρόπο αποθήκευσης και επίλυσης των εξισώσεων. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η εντολή:

system UmfPack [3.15]

- Η τέταρτη κατηγορία (**test Command**) είναι πάρα πολύ σημαντική αφού καθορίζει τη μέθοδο με την οποία ελέγχεται αν έχει πραγματοποιηθεί σύγκλιση στο τέλος κάθε δοκιμής. Δεδομένου ότι η ανάλυση που πραγματοποιούμε είναι στατική η πιο συμφέρουσα εντολή είναι η:

testNormDisplncr \$Tol [3.16]

Εάν η εξίσωση είναι $K\Delta U^i = R(U^i)$ τότε ο έλεγχος που πραγματοποιείται είναι:

$$\|\Delta U^i\| < Tol$$

- Η πέμπτη κατηγορία (**algorithm Command**) καθορίζει τον αλγόριθμο εντοπισμού της τιμής δοκιμής. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε είναι ο Newton-Raphson.

algorithm Newton [3.17]

- Με την έκτη κατηγορία εντολών (**integrator Command**) επιλέγεται ο στόχος του επόμενου βήματος (π.χ. δεδομένη μετακίνηση). Στο παρόν στάδιο του μοντέλου τα μόνα φορτία που επιβάλλονται είναι τα φορτία βαρύτητας επομένως επιτρέπεται η επιβολή της φόρτισης σε 10 βήματα.

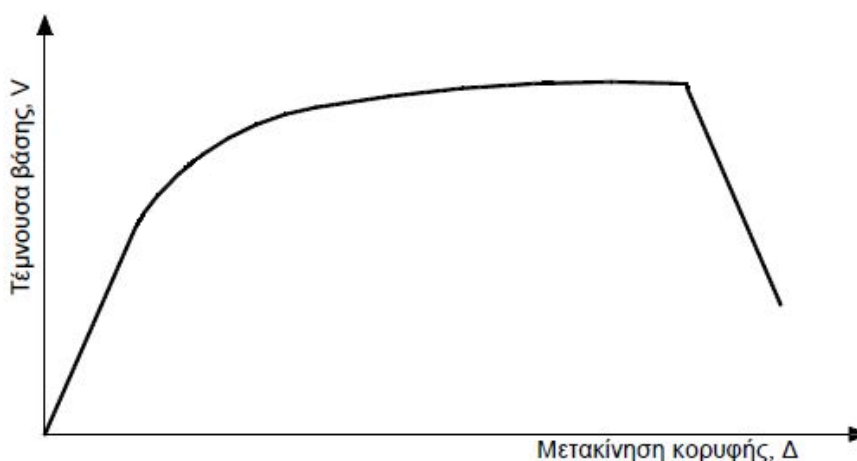
integrator LoadControl 10 [3.18]

- Τέλος η έβδομη κατηγορία εντολών (**analysis Command**) ρυθμίζει εάν η ανάλυση είναι στατική ή δυναμική. Τα φορτία σε αυτή τη φάση είναι στατικά οπότε:

analysis Static [3.19]

3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ PUSHOVER

Η μη γραμμική στατική ανάλυση Pushover δεν διαφέρει αισθητά από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τα φορτία βαρύτητας. Οι διαφορές που εντοπίζονται αφορούν αφενός στη **μορφή των φορτίων** (οριζόντια και επικόμβια ενώ προηγουμένως ήταν κατακόρυφα και κατανεμημένα) και αφετέρου στη **μέθοδο επιλογής του επόμενου βήματος** της φόρτισης. Εξ' ορισμού η Pushover προσπαθεί να αποτυπώσει την ενδοτικότητα του φορέα υπό διαρκώς αυξανόμενα φορτία δεδομένης κατανομής (σταθερής ή όχι) και υπό αυτήν την έννοια είναι ορθότερο η ανάλυση να στοχεύει σε βήματα σταθερής μετακίνησης παρά σε βήματα σταθερού φορτίου. Μια τέτοια επιλογή καθιστά δυνατή την καταγραφή της πραγματικής μορφής "κατάρρευση", η οποία περιλαμβάνει έναν πτωτικό κλάδο (Σχήμα 3.5) και η οποία χάνεται όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος σταθερά αυξανόμενου φορτίου.



Σχήμα 3.5: Μορφή καμπύλης pushover

Η κατανομή των οριζόντιων φορτίων βασίζεται στην **1^η ιδιομορφή** (βλ. κεφάλαιο 1) και έτσι σε κάθε όροφο k αντιστοιχεί δύναμη:

$$Q^k = \frac{w_k \phi_1^k}{\sum_k w_k \phi_1^k} V_b$$

όπου

w_k το βάρος του ορόφου k

ϕ_1^k η συνιστώσα της θεμελιώδους ιδιομορφής στον όροφο k

V_b η τιμή της τέμνουσας βάσης

Σε κατασκευές που συνδυάζουν πλαίσια και τοιχώματα η τριγωνική κατανομή αποτελεί καλή προσέγγιση της 1^{ης} ιδιομορφής, ωστόσο στις κατασκευές που εξετάζει η παρούσα εργασία το στατικό σύστημα αποτελείται εξ' ολοκλήρου από πλαίσια, με αποτέλεσμα το τριγωνικό προφίλ να μην είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική προσέγγιση. Γνωρίζοντας ότι η μορφή της *rushover* δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην κατανομή των φορτίων και χάριν απλότητας, επιλέγεται η τριγωνική, επομένως σε κάθε όροφο k αντιστοιχεί δύναμη:

$$Q^k = \frac{w_k h_k}{\sum_k w_k h_k} V_b$$

με h_k το ύψος στο οποίο βρίσκεται ο όροφος k

Το φορτίο Q^k διαμοιράζεται μεταξύ των κόμβων του ορόφου με εντολή ανάλογη της [3.12].

Οι παράμετροι ανάλυσης δεν αλλάζουν με εξαίρεση την εντολή [3.18] η οποία τροποποιείται για να εξασφαλίσει ότι η φόρτιση θα πραγματοποιηθεί σε βήματα σταθερής μετακίνησης.

integrator DisplacementControl \$IDctrlNode \$IDctrlDOF \$Dincr [3.18']

όπου

\$IDctrlNode είναι ο κόμβος του οποίου η μετακίνηση ελέγχεται

\$IDctrlDOF είναι ο βαθμός ελευθερίας που αντιστοιχεί στην ελεγχόμενη μετακίνηση

\$Dincr είναι το μέγεθος κάθε βήματος [m]

Η μεγάλη εξάρτηση των αποτελεσμάτων από τις επιλεγμένες παραμέτρους ανάλυσης τα καθιστά ευαίσθητα σε φαινόμενα αριθμητικής αστάθειας κυρίως κοντά στην περιοχή δημιουργίας μηχανισμού. Είναι αναγκαία λοιπόν την παρουσία μιας υποστηρικτικής ρουτίνας επίλυσης που θα ενεργοποιείται όταν παρουσιάζονται δυσκολίες σύγκλισης και θα τροποποιεί την 5^η κατηγορία εντολών έως ότου η σύγκλιση να γίνει αδύνατη. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε μια τέτοια ρουτίνα.

3.4. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Με την ολοκλήρωση του στατικού μοντέλου και την πραγματοποίηση ανάλυσης pushover, πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας προκειμένου να προσομοιωθεί η πραγματική απόκριση της κατασκευής στην επιβαλλόμενη σεισμική διέγερση.

- **Σεισμικές καταγραφές**

Οι καταγραφές μπορεί να έχουν τιμές επιτάχυνσης ή μετακίνησης και να επιβάλλονται ομοιόμορφα σε όλες τις στηρίξεις ή σε ορισμένες. Στη παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε η επιβολή επιταχυνσιογραφημάτων κοινών για όλες τις στηρίξεις μέσω της εντολής **pattern UniformExcitation**.

- **Απόσβεση**

Χρησιμοποιείται η **απόσβεση Rayleigh** σύμφωνα με την οποία το μητρώο απόσβεσης **[C]** ισούται με:

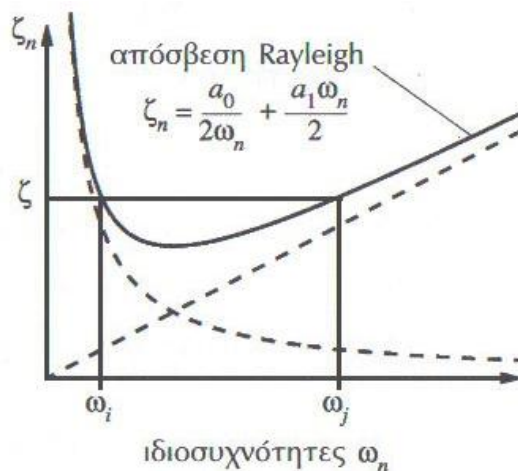
$$[C] = \alpha_0 [M] + \alpha_1 [K]$$

όπου

[M] το μητρώο μάζας

[K] το μητρώο δυσκαμψίας

Ο λόγος απόσβεσης της n-οστής ιδιομορφής είναι $\zeta_n = \frac{\alpha_0}{2\omega_n} + \frac{\alpha_1 \omega_n}{2}$



Σχήμα 3.6: Λόγος Απόσβεσης $\zeta(\omega_n)$ για απόσβεση Rayleigh

Θεωρώντας ότι οι ιδιομορφές i και j έχουν ίδιο λόγο απόσβεσης και επιλύοντας το σύστημα προκύπτουν οι εξής τιμές των συντελεστών:

$$\alpha_0 = \zeta \frac{2\omega_i\omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad \text{και} \quad \alpha_1 = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

Η ιδιομορφές που επιλέχθηκαν είναι η $1^{\text{η}}$ και η $2^{\text{η}}$ σημαντικότερη για την εξεταζόμενη διεύθυνση σεισμού καθώς οι επόμενες έχουν πολύ μικρούς συντελεστές συμμετοχής.

Το μητρώο απόσβεσης υπολογίζεται από το πρόγραμμα δίνοντας τους συντελεστές α_0 και α_1 με την εντολή:

$$\text{rayleigh } \$\alpha_0 \ \$\alpha_1 \ 0 \ 0 \quad [3.20]$$

- **Παράμετροι ανάλυσης**

Η ανάλυση που χρησιμοποιείται είναι δυναμική με σταθερό χρονικό βήμα οπότε

$$\text{analysis Transient} \quad [3.19']$$

επομένως απαιτείται αριθμητική ολοκλήρωση της εξισώσεως κίνησης.

Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο **Newmark** η οποία απαιτεί τις παραμέτρους β , γ ώστε να επιλυθούν οι εξισώσεις:

$$\begin{aligned} U_{t+\Delta t} &= U_t + \Delta t \dot{U}_t + [(0.5 - \beta)\Delta t^2] \ddot{U}_t + [\beta\Delta t^2] \ddot{U}_{t+\Delta t} \\ \dot{U}_{t+\Delta t} &= \dot{U}_t + [(1 - \gamma)\Delta t] \ddot{U}_t + [\gamma\Delta t] \ddot{U}_{t+\Delta t} \end{aligned}$$

Η απαιτούμενη εντολή είναι:

$$\text{integrator Newmark } \$\text{NewmarkGamma } \$\text{NewmarkBeta} \quad [3.21]$$

Οι παράμετροι των κατηγοριών 4 και 5 διαφέρουν από την ανάλυση των φορτίων βαρύτητας αλλά δεν έχει νόημα να αναφερθούν καθώς δεν διατηρούνται σταθεροί σε όλη την επίλυση. Αλλάζουν στα πλαίσια μιας υποστηρικτικής ρουτίνας αντίστοιχης με αυτήν της ανάλυσης `pushover`, που ενεργοποιείται όταν παρουσιάζονται δυσκολίες σύγκλισης και χρησιμοποιείται έως ότου να διαπιστωθεί ότι είναι αδύνατη η περαιτέρω σύγκλιση.

4. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Η εδαφική κίνηση λόγω ενός σεισμικού γεγονότος εξαρτάται και από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που αφορούν στα χαρακτηριστικά του σεισμού και στις ιδιότητες του μέσου διάδοσης των κυμάτων. Είναι λοιπόν επόμενο να παρουσιάζει τεράστια ποικιλία δυσκολεύοντας τον μηχανικό τόσο στο σχεδιασμό όσο και στην αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς.

Για να μπορέσει να καλυφθεί το ευρύ φάσμα σεισμικών διεγέρσεων που περιγράφεται παραπάνω και να εξαχθούν έγκυρα αποτελέσματα στις δυναμικές αναλύσεις χρονοϊστοριών απαιτείται η χρήση μεγάλου αριθμού καταγραφών. Το κρίσιμο λοιπόν ερώτημα είναι ποιες καταγραφές αξίζει να χρησιμοποιηθούν. Το πρώτο και σπουδαιότερο κριτήριο για να αξιολογήσουμε μια καταγραφή είναι να εξετάσουμε την τιμή της **φασματικής επιτάχυνσης SA** και της **φασματικής μετακίνησης SD** του ελαστικού φάσματος για έναν μονοβάθμιο ταλαντωτή με ιδιοπερίοδο ίση με την θεμελιώδη ιδιοπερίοδο (T_1) της κατασκευής. Αποδεκτή θεωρείται η καταγραφή που για $T=T_1$ δίνει μεγάλες τιμές SA και πρωτίστως μεγάλες τιμές SD. Οι τιμές αυτές προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την πραγματική απόκριση και παρέχουν επαρκή εικόνα για να επιλέξουμε ή να απορρίψουμε την συγκεκριμένη χρονοϊστορία.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το κριτήριο επιλογής είναι αυτό που περιγράφηκε προηγουμένως και οι τιμές των ιδιοπεριόδων που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές που υπολογίζει το πρόγραμμα FESPA. Με την ολοκλήρωση της ιδιομορφικής ανάλυσης από το πρόγραμμα OpenSees διαπιστώθηκε ότι οι τιμές των ιδιοπεριόδων διαφέρουν αισθητά (θα αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο) οπότε αναζητήθηκαν και νέες καταγραφές. Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι του PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) και του NGA (Next Generation Attenuation).

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται όλες οι σεισμικές καταγραφές που εξετάστηκαν και για κάθε μία δίνεται το μέγεθος M του σεισμού, η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση PGA, η μικρότερη απόσταση R από την επιφάνεια διάρρηξης και η διεύθυνση της σεισμικής συνιστώσας.

Στη συνέχεια για κάθε χρονοϊστορία παρουσιάζονται το επιταχυνσιογράφημα και το ελαστικό φάσμα για απόσβεση 5%.

Πίνακας 4.1: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Όνομα καταγραφής	M	R [Km]	Φ°	PGA [g]
1	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET000	7.01	8.18	0	0.59
2	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET090	7.01	8.18	90	0.66
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	CHY028	ChiChiCHY028_090	7.62	3.14	90	0.64
4	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	CHY102	ChiChiCHY102_360	7.62	37.72	360	0.17
5	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_090	7.62	0.66	90	0.34
6	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_360	7.62	0.66	360	0.41
7	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU068	ChiChiTCU068_090	7.62	0.32	90	0.56
8	Erzincan	13/03/92	Erzincan	ErzincanERZ000	6.69	4.38	0	0.51
9	Imperial Valley	15/10/79	El Centro Array #5	ImperialValleyE05230	6.53	3.95	230	0.38
10	Imperial Valley	15/10/79	El Centro Array #6	ImperialValleyE06230	6.53	1.35	230	0.45
11	Imperial Valley	15/10/79	Aeropuerto Mexicali	IV158H-AEP045	6.53	0.35	45	0.33
12	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ000	6.90	0.27	0	0.69
13	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090	6.90	0.27	90	0.69
14	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK000	6.90	1.47	0	0.60
15	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090	6.90	1.47	90	0.60
16	Loma Prieta	18/10/89	Los Gatos Presentation Center	LomaPrietaLGP000	6.93	3.88	0	0.55
17	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN000	6.93	10.72	0	0.48
18	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN090	6.93	10.72	90	0.53
19	Loma Prieta	18/10/89	Capitola	LP752CAP000	6.93	15.23	0	0.53
20	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS000	6.93	3.85	0	0.64
21	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS090	6.93	3.85	90	0.48
22	Loma Prieta	18/10/89	Gilroy-Historic Bldg.	LP764GOF160	6.93	10.97	160	0.28
23	Loma Prieta	18/10/89	Gilroy Array #1	LP765G01090	6.93	9.64	190	0.47

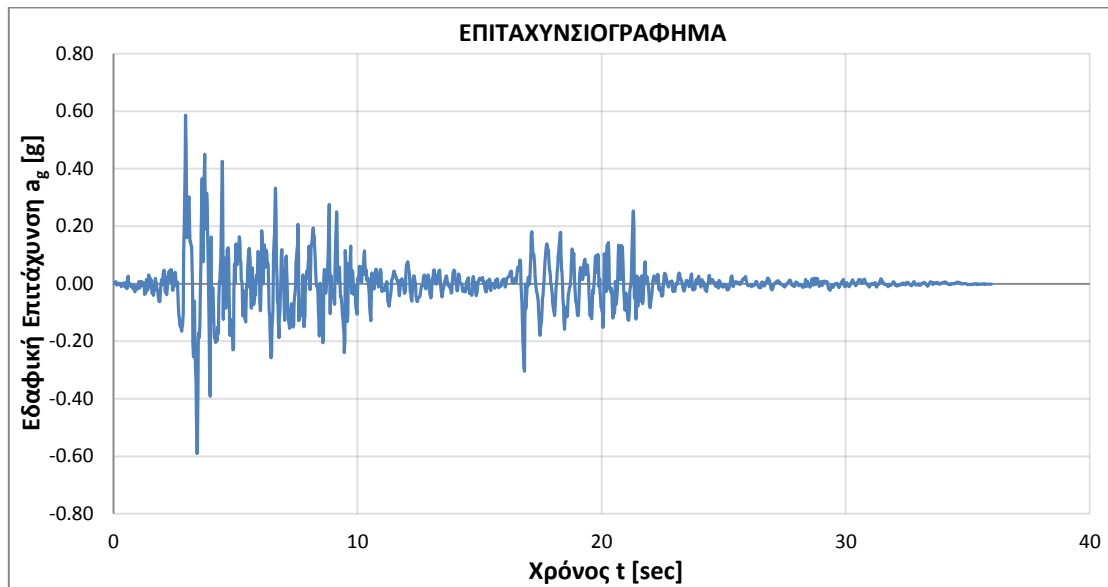
Πίνακας 4.1: Λίστα Σεισμικών καταγραφών (Συνέχεια)

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Όνομα καταγραφής	M	R [Km]	φ°	PGA [g]
24	Morgan Hill	24/04/84	Coyote Lake Dam (SW Abut)	MH451CYC285	6.19	0.53	285	1.30
25	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT180	6.06	6.04	180	0.49
26	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT270	6.06	6.04	270	0.61
27	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT000	6.69	13.42	0	0.88
28	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT090	6.69	13.42	90	0.64
29	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS052	6.69	5.35	52	0.61
30	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS142	6.69	5.35	142	0.90
31	Northridge	17/01/94	Canyon Country-W Lost Cany	North960LOS000	6.69	12.44	0	0.41
32	Northridge	17/01/94	Canyon Country-W Lost Cany	North960LOS270	6.69	12.44	270	0.48
33	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA022	6.69	5.43	22	0.41
34	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA292	6.69	5.43	292	0.62
35	Northridge	17/01/94	Newhall-Fire Station	NorthridgeNWH360	6.69	5.92	360	0.58
36	Northridge	17/01/94	Newhall-W Pico Canyon Rd.	NorthridgeNWS046	6.69	5.48	46	0.44
37	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228	6.69	6.5	228	0.89
38	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG052	6.69	5.35	52	0.59
39	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG142	6.69	5.35	142	0.74
40	Northridge	17/01/94	Sylmar Country Hospital	NorthridgeSYH360	6.69	-	360	0.83
41	Sierra Madre	28/06/91	Altadena-Eaton Canyon	SM1641altde000	5.61	13.17	0	0.45
42	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP045	6.54	5.61	45	0.68
43	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP135	6.54	5.61	135	0.89
44	Superstition Hills	24/11/87	Parachute Test Site	SuperstitionHillsPTS225	6.54	0.95	225	0.45
45	Tabas	16/09/78	Tabas	Tabas074	7.35	2.05	74	0.84
46	Whittier Narrows	01/10/87	Altadena-Eaton Canyon	WN590A-ALT000	5.99	19.52	0	0.30

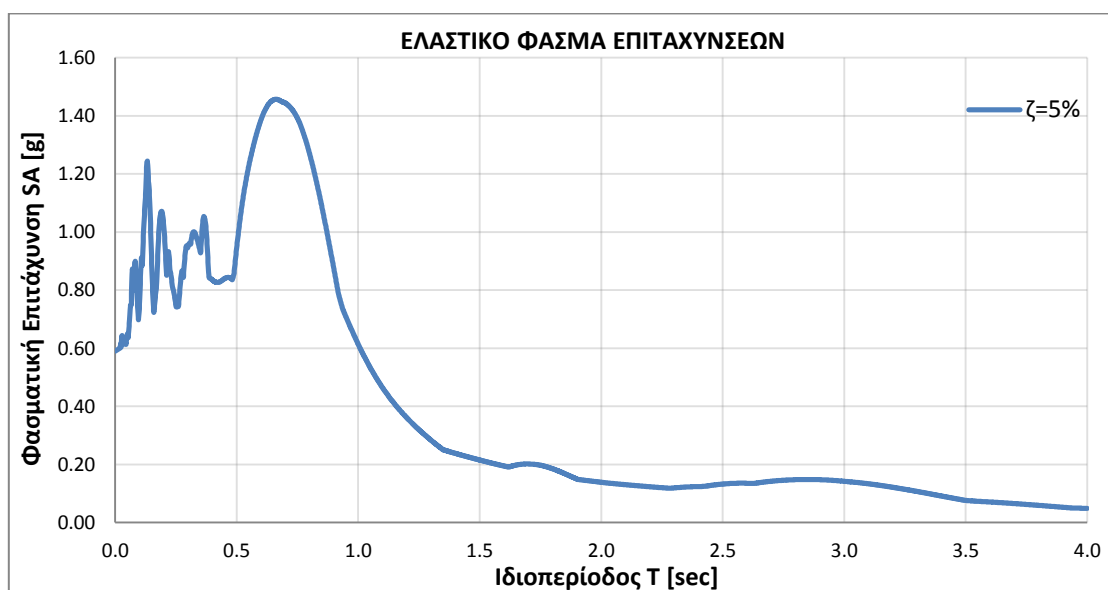
1

ΣΕΙΣΜΟΣ: Cape Mendocino

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: CM828PET000



Σχήμα 4.1 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 1

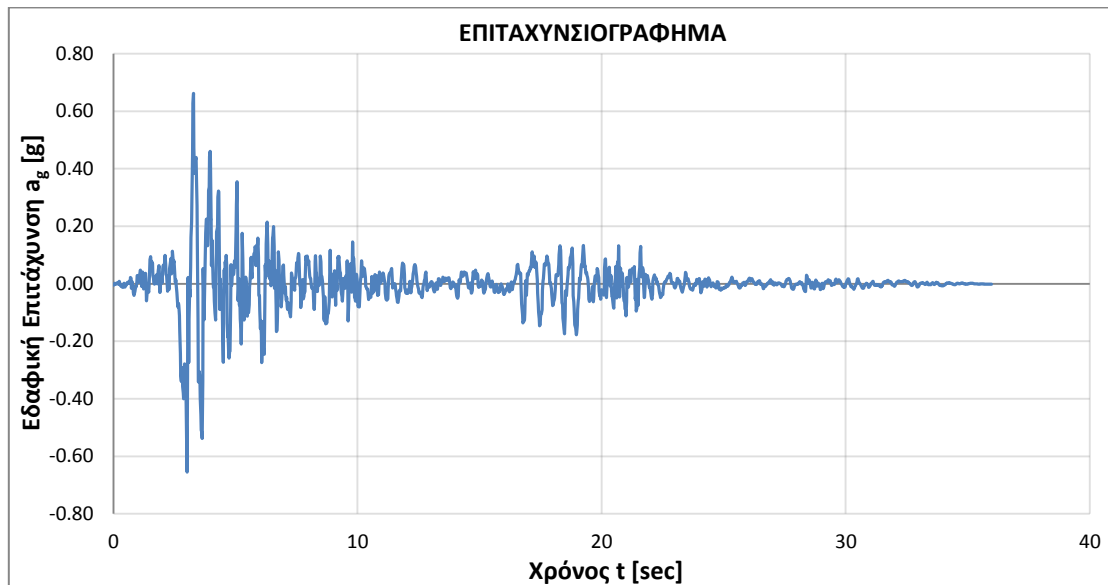


Σχήμα 4.1 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 1

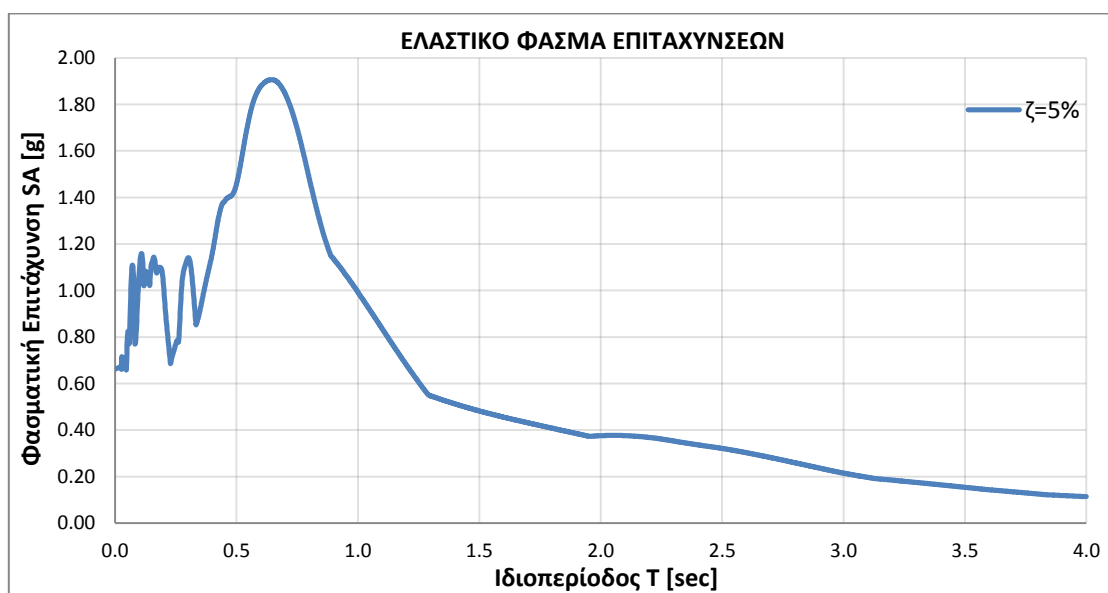
2

ΣΕΙΣΜΟΣ: Cape Mendocino

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: CM828PET090



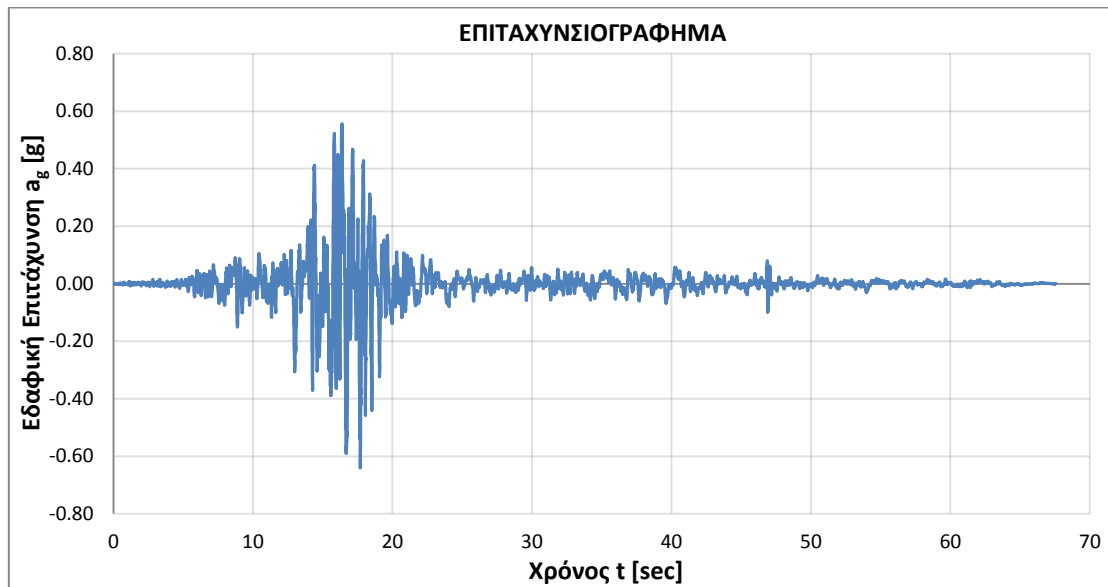
Σχήμα 4.2 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 2



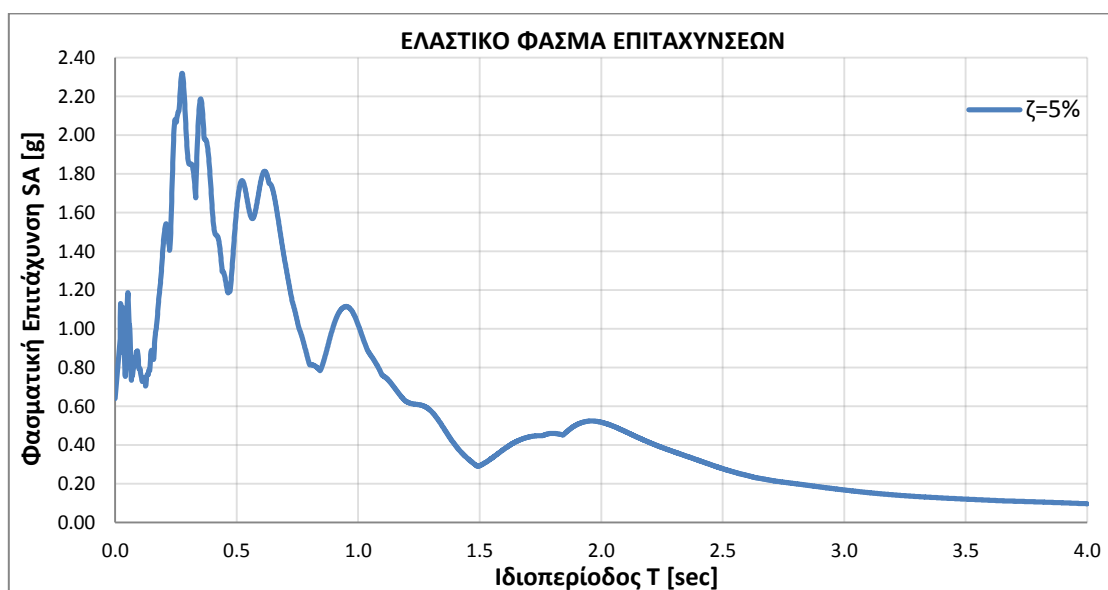
Σχήμα 4.2 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 2

3

ΣΕΙΣΜΟΣ: Chi-Chi, Taiwan
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ChiChiCHY028_090



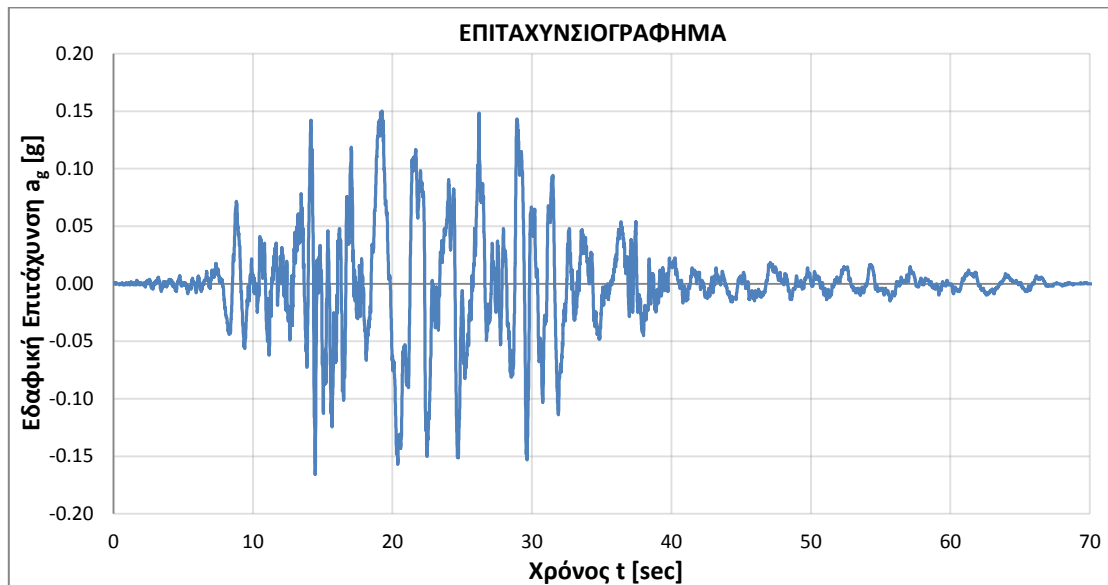
Σχήμα 4.3 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 3



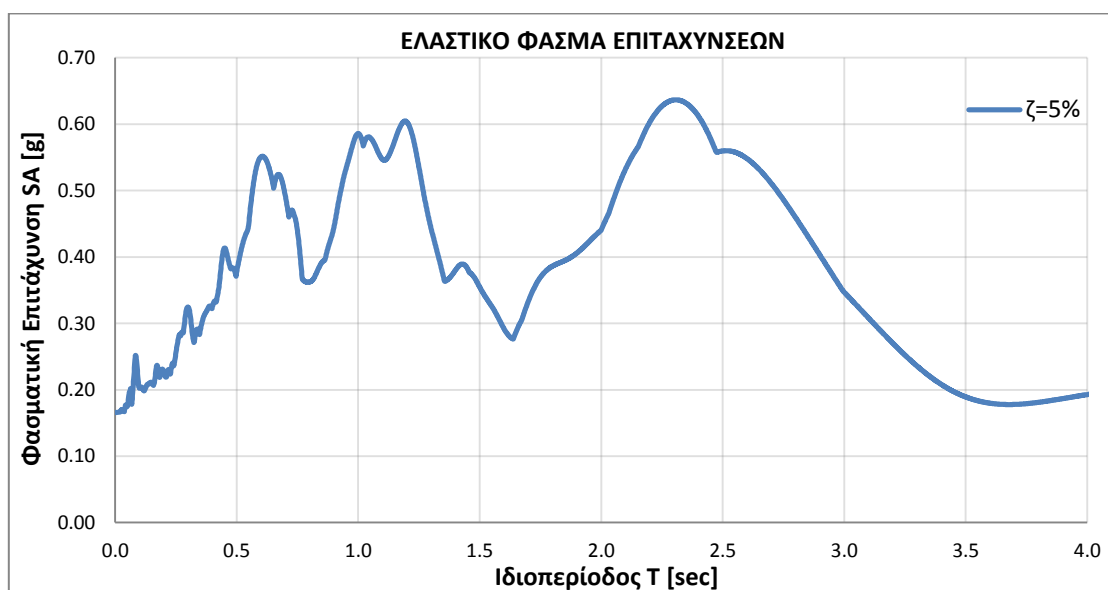
Σχήμα 4.3 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 3

4

ΣΕΙΣΜΟΣ: Chi-Chi, Taiwan
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ChiChiCHY102_360



Σχήμα 4.4 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 4

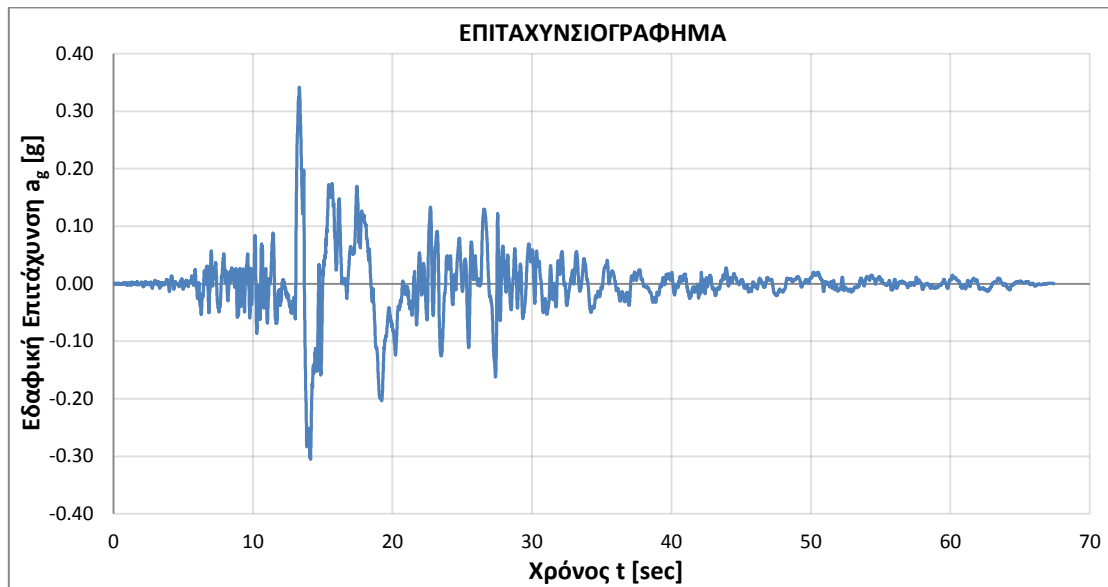


Σχήμα 4.4 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 4

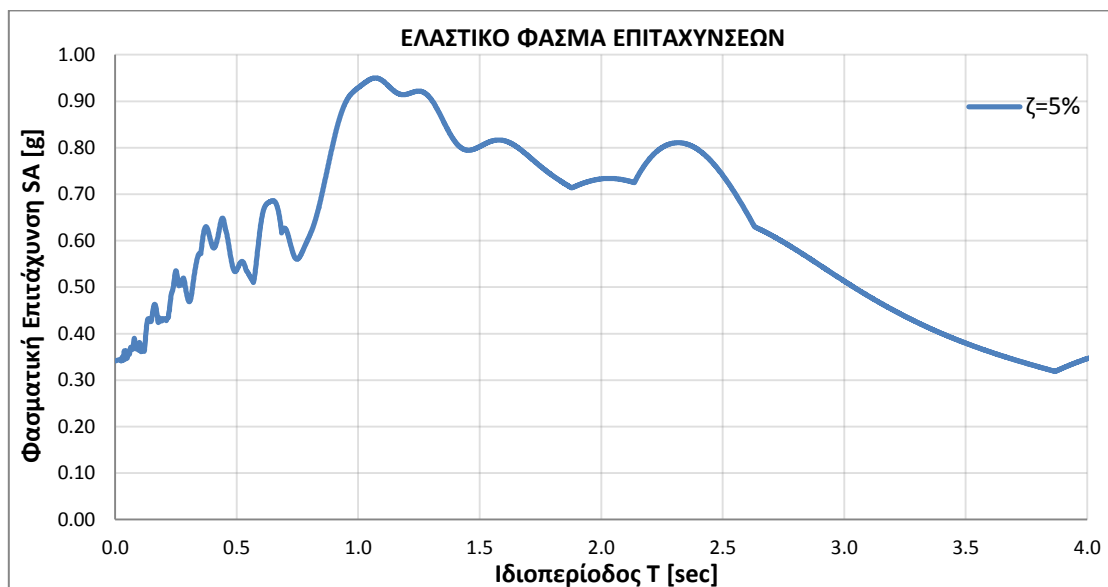
5

ΣΕΙΣΜΟΣ: Chi-Chi, Taiwan

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ChiChiTCU052_090



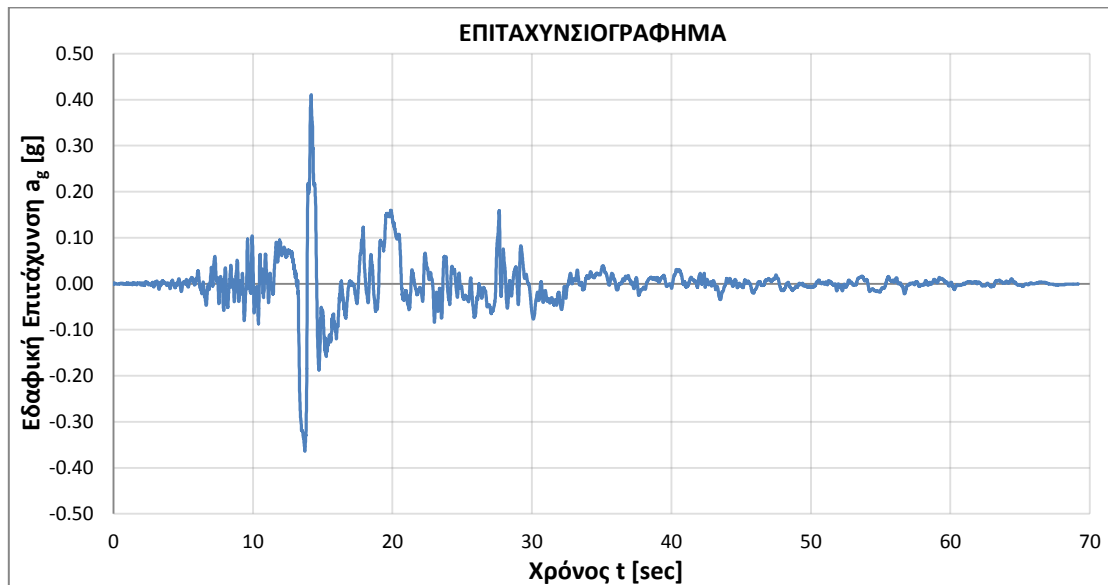
Σχήμα 4.5 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 5



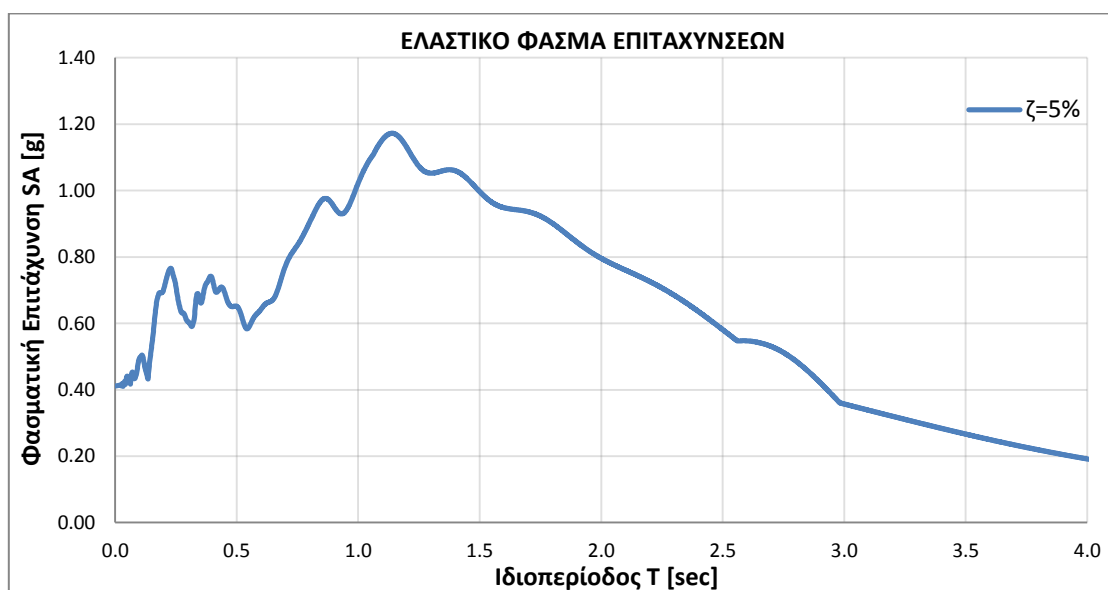
Σχήμα 4.5 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 5

6

ΣΕΙΣΜΟΣ: Chi-Chi, Taiwan
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ChiChiTCU052_360



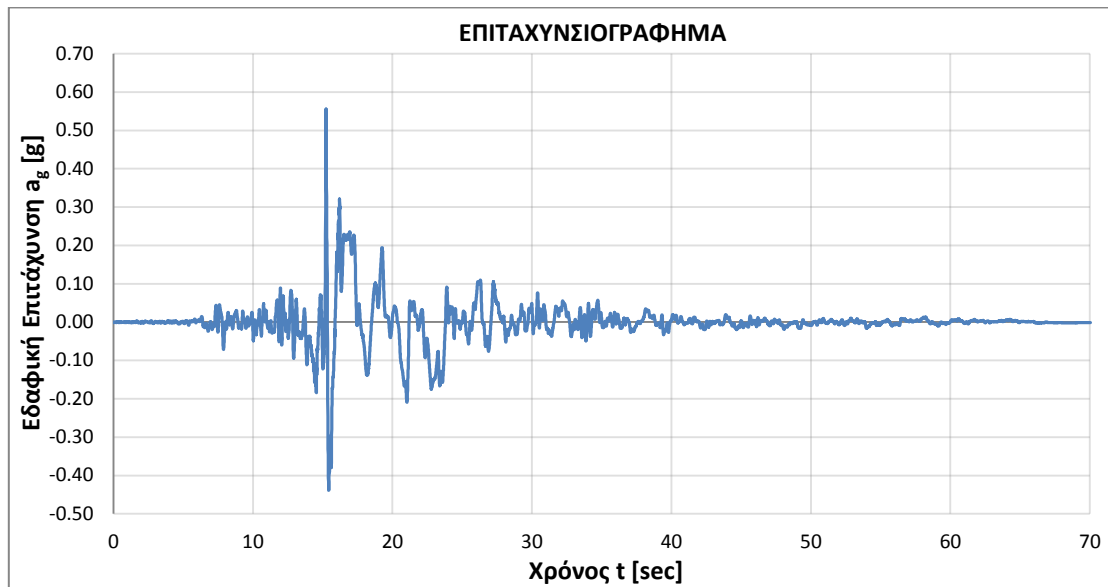
Σχήμα 4.6 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 6



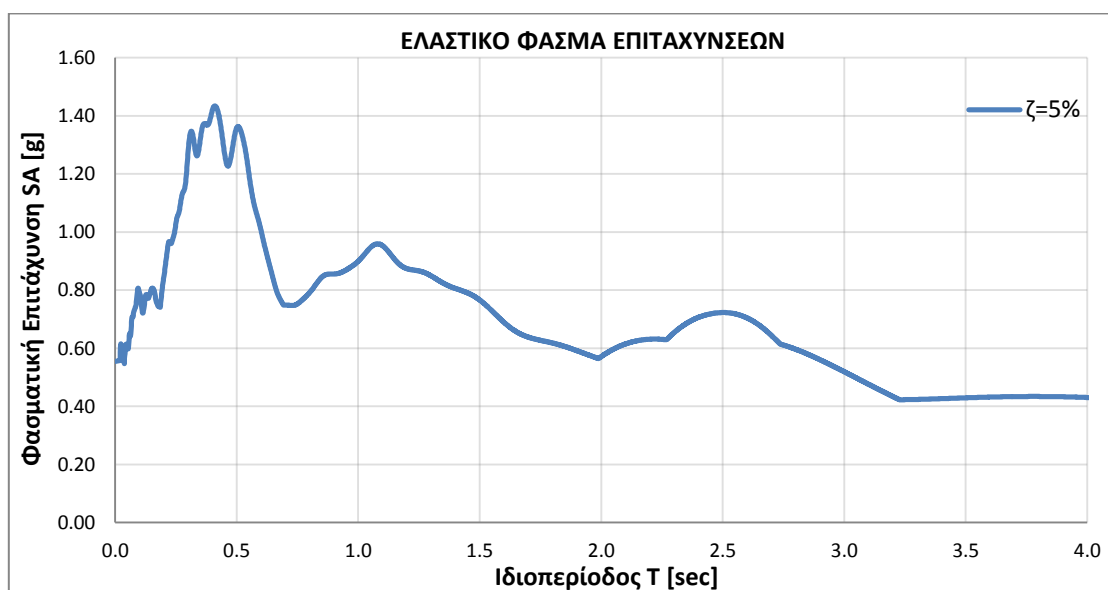
Σχήμα 4.6 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 6

7

ΣΕΙΣΜΟΣ: Chi-Chi, Taiwan
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ChiChiTCU068_090



Σχήμα 4.7 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 7



Σχήμα 4.7 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 7

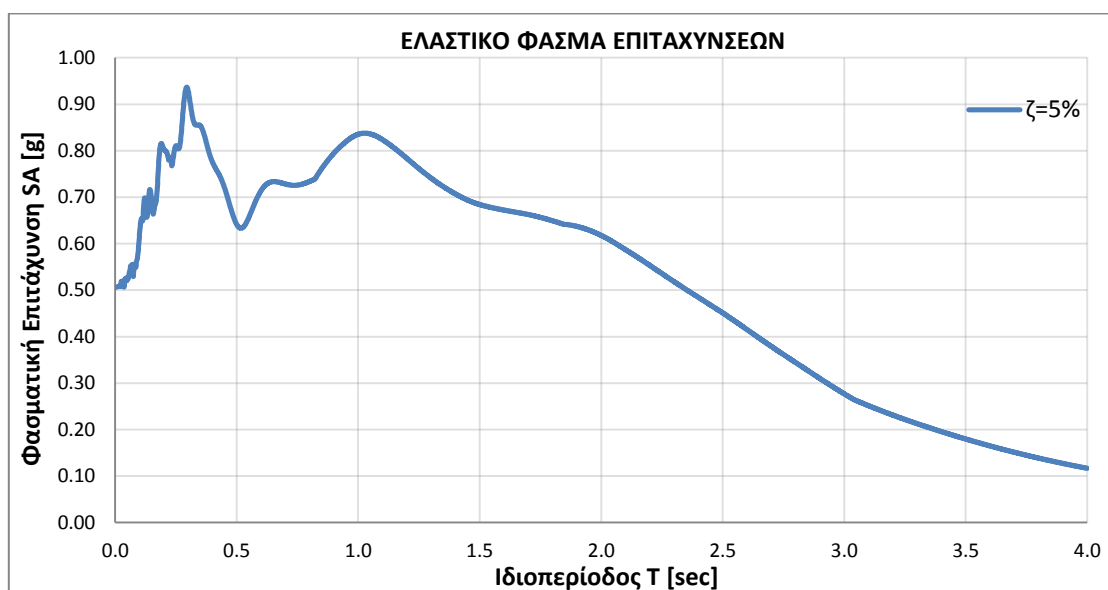
8

ΣΕΙΣΜΟΣ: Erzincan

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ErzincanERZ000

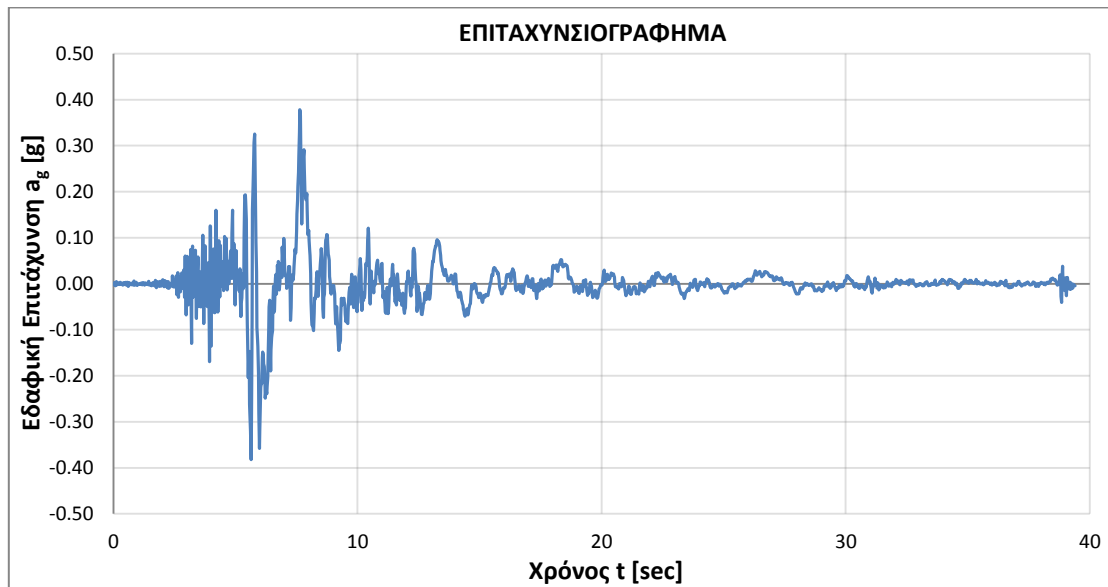


Σχήμα 4.8 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 8

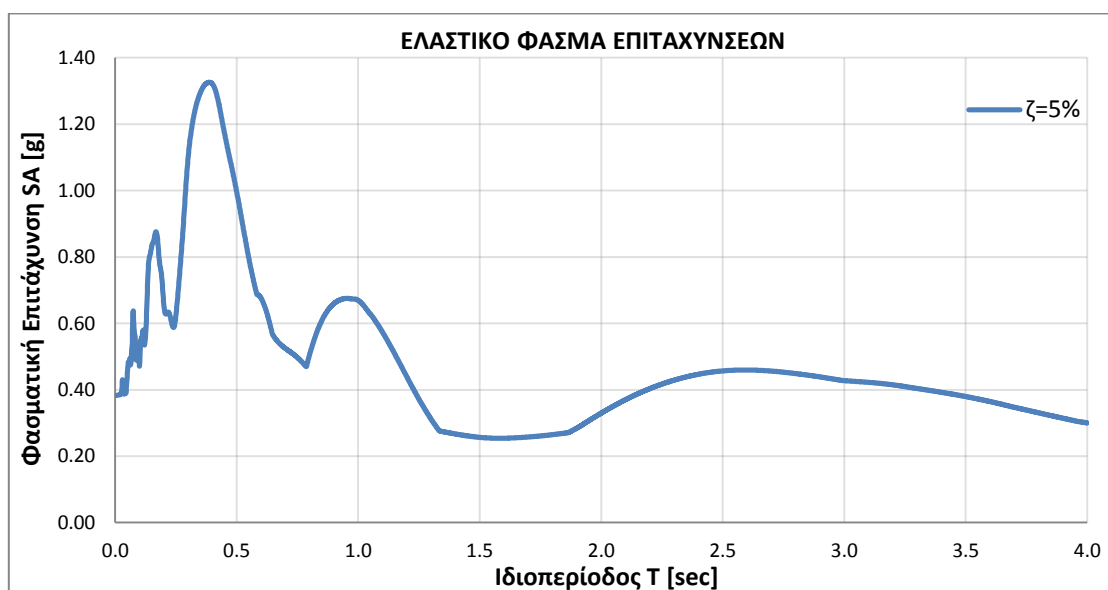


Σχήμα 4.8 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 8

9

ΣΕΙΣΜΟΣ: Imperial Valley**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:** ImperialValleyE05230

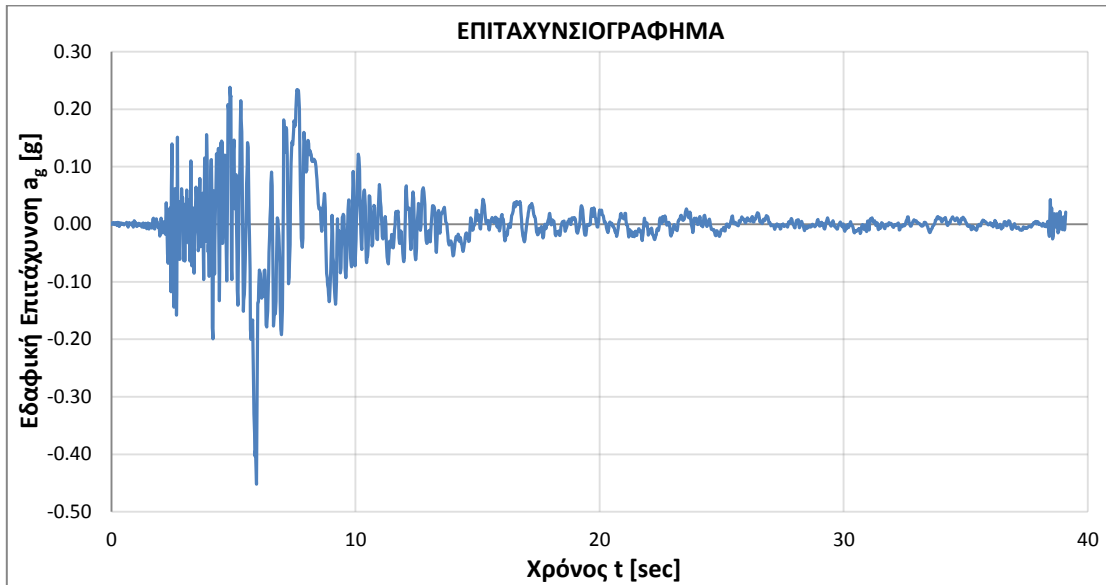
Σχήμα 4.9 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 9



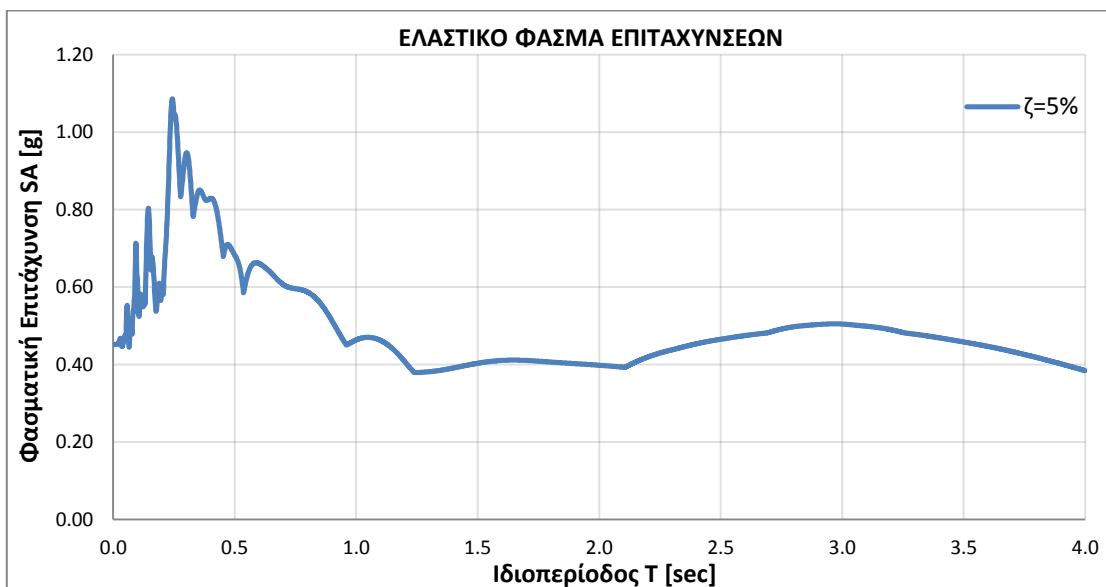
Σχήμα 4.9 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 9

10

ΣΕΙΣΜΟΣ: Imperial Valley
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ImperialValleyE06230



Σχήμα 4.10 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 10



Σχήμα 4.10 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 10

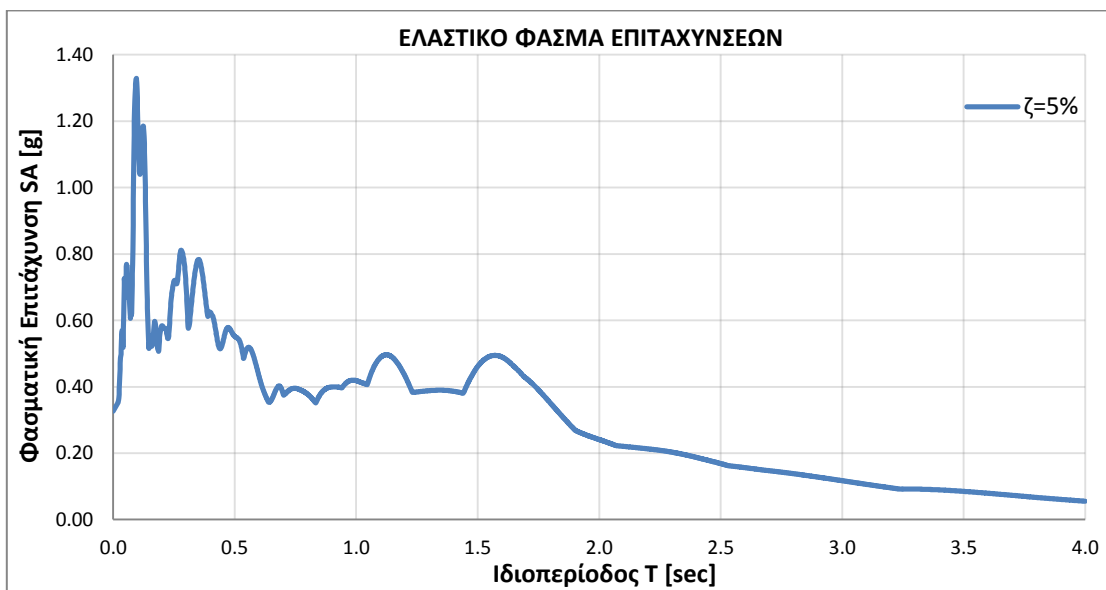
11

ΣΕΙΣΜΟΣ: Imperial Valley

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: IV158H-AEP045



Σχήμα 4.11 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 11



Σχήμα 4.11 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 11

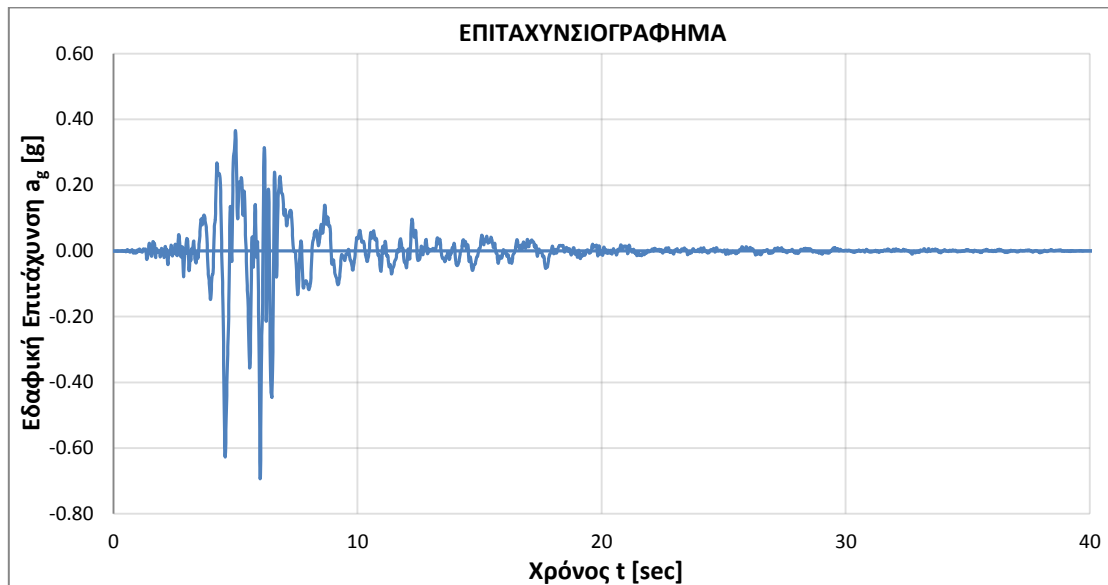
12

ΣΕΙΣΜΟΣ:

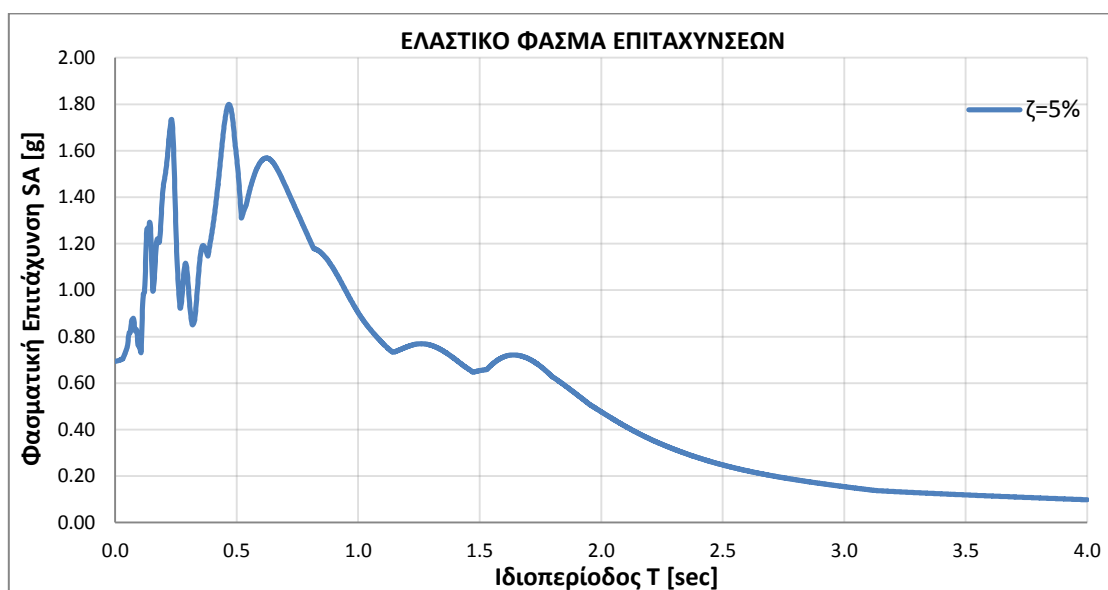
Kobe

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:

Kobe1119TAZ000



Σχήμα 4.12 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 12



Σχήμα 4.12 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 12

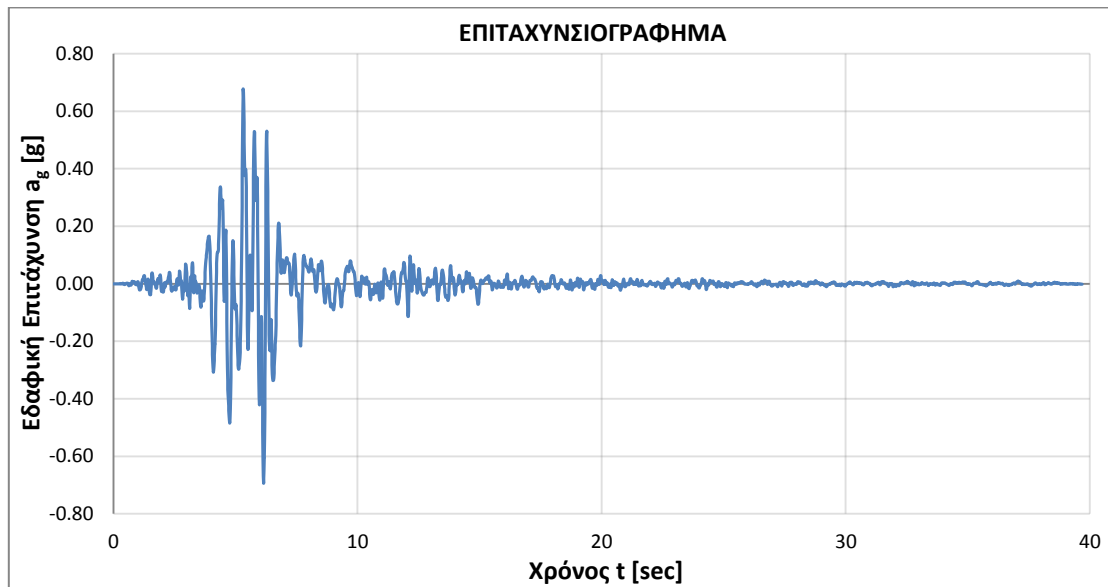
13

ΣΕΙΣΜΟΣ:

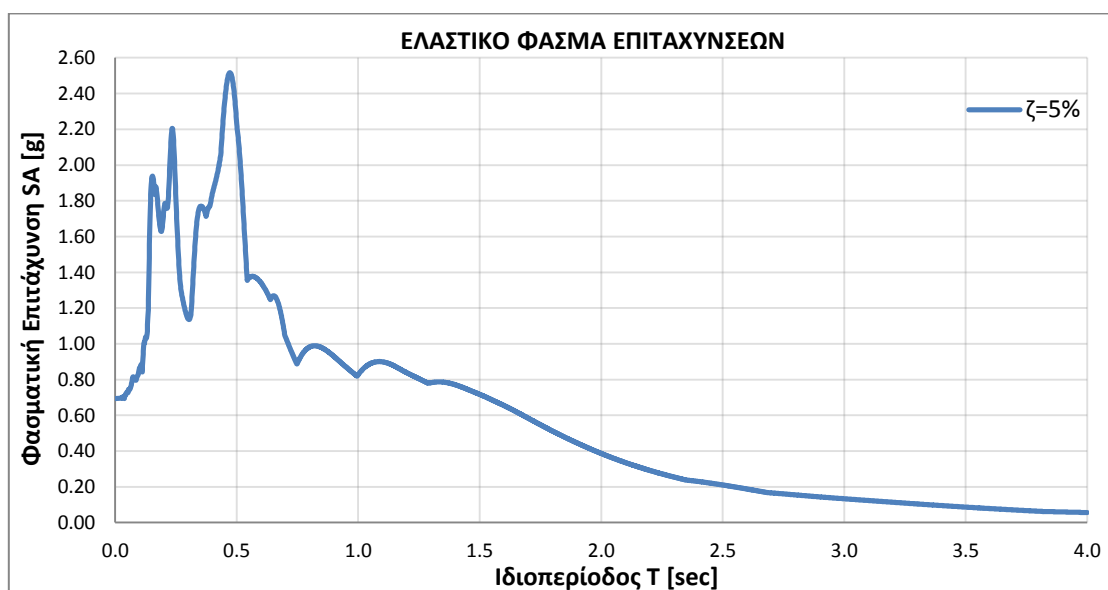
Kobe

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:

Kobe1119TAZ090



Σχήμα 4.13 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 13

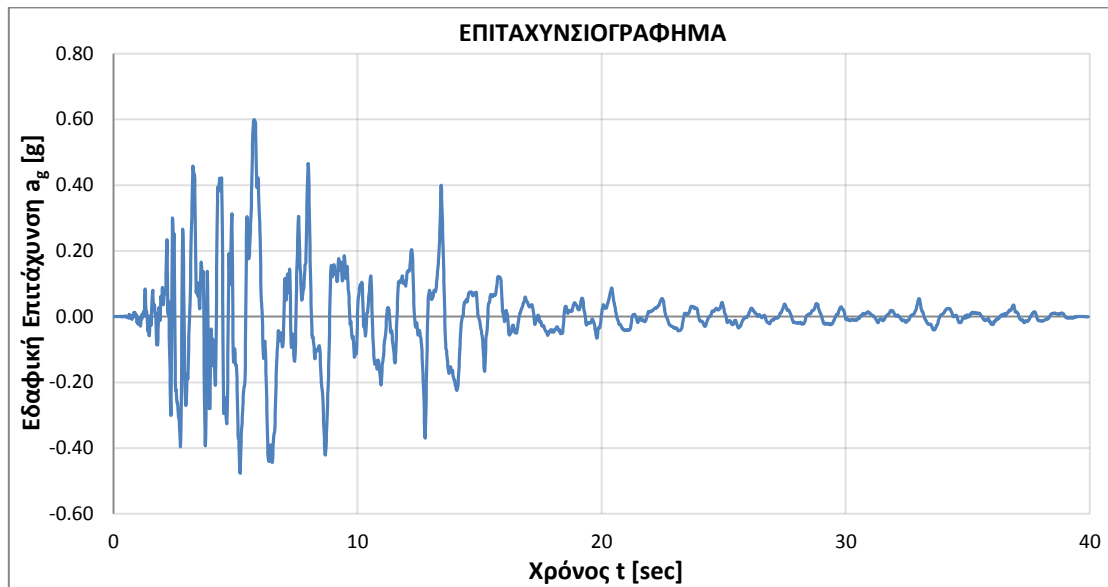


Σχήμα 4.13 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 13

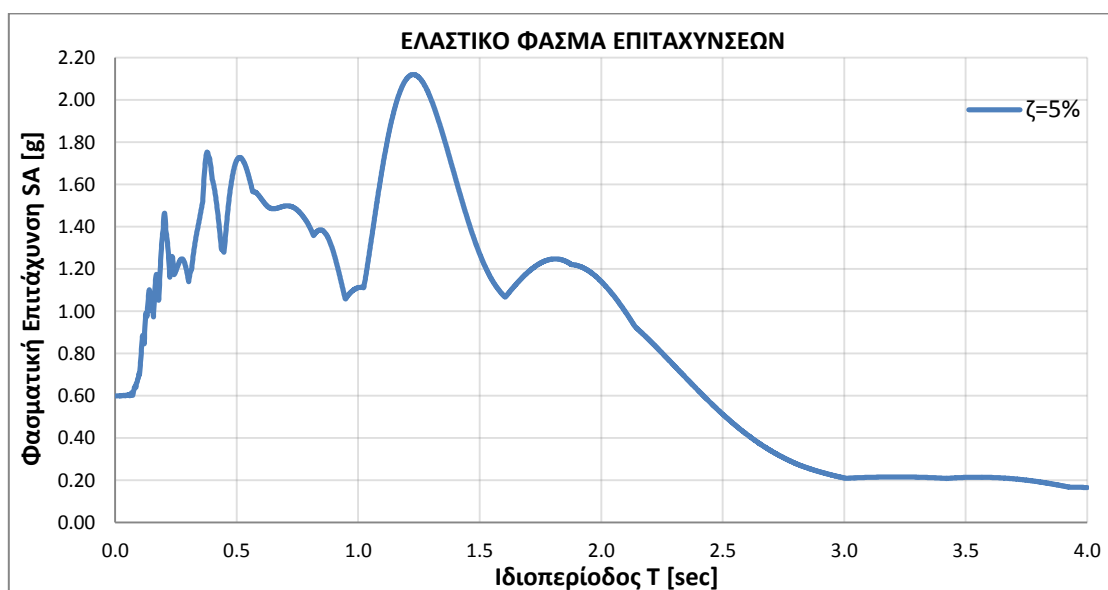
14

ΣΕΙΣΜΟΣ: Kobe

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: KobeTAK000



Σχήμα 4.14 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 14

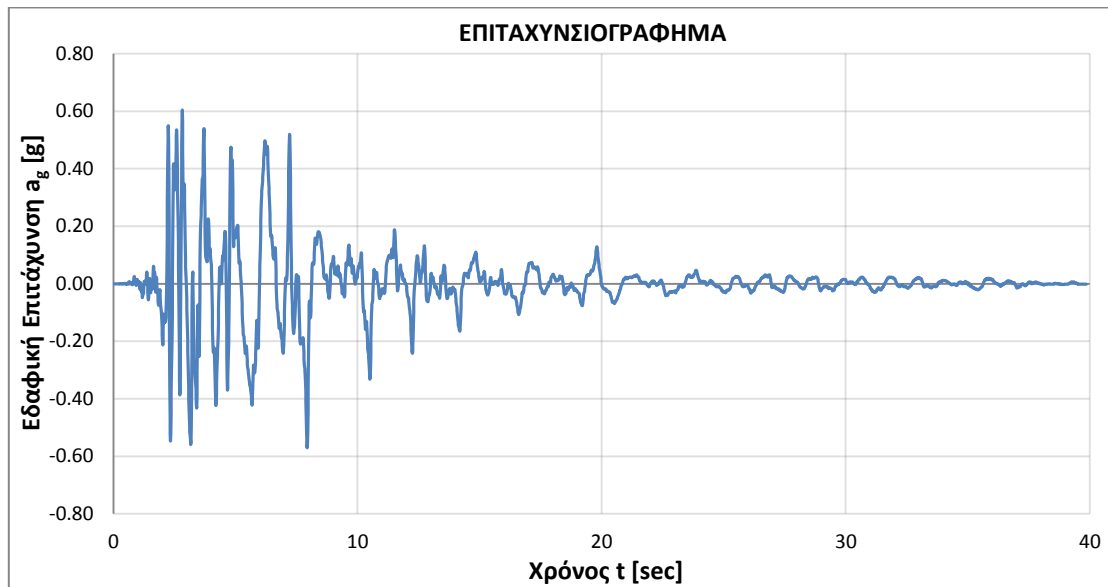


Σχήμα 4.14 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 14

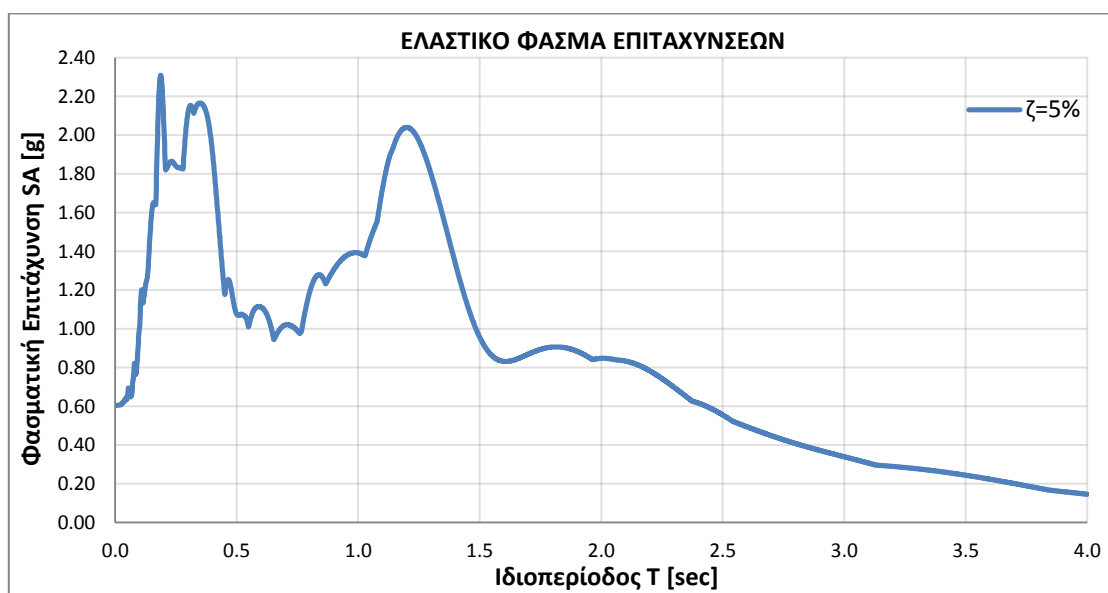
15

ΣΕΙΣΜΟΣ: Kobe

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: KobeTAK090



Σχήμα 4.15 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 15



Σχήμα 4.15 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 15

16

ΣΕΙΣΜΟΣ:

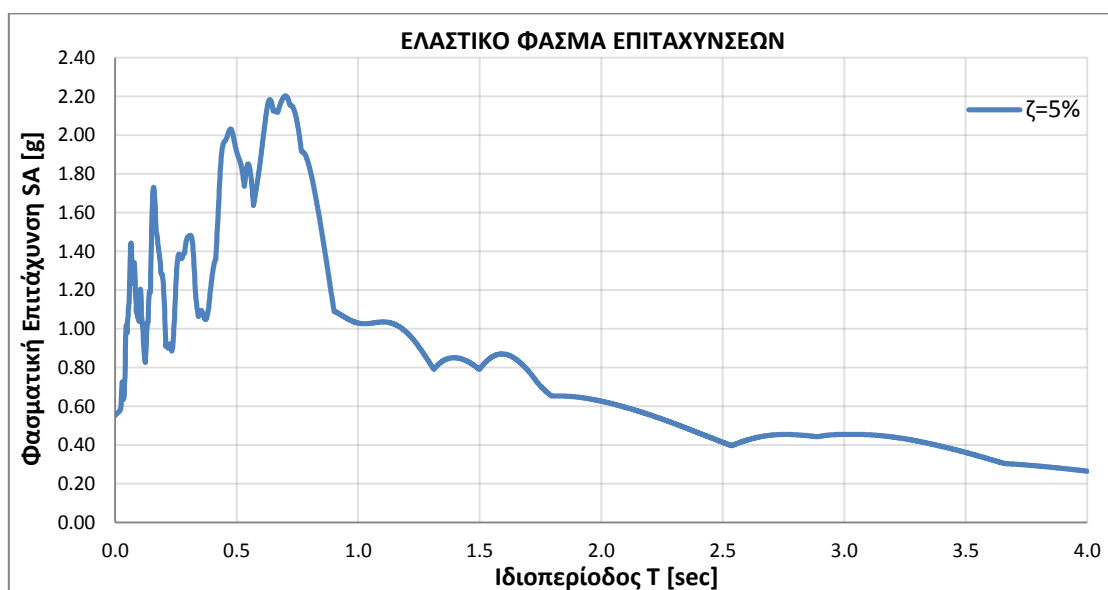
Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:

LomaPrietaLGP000



Σχήμα 4.16 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 16

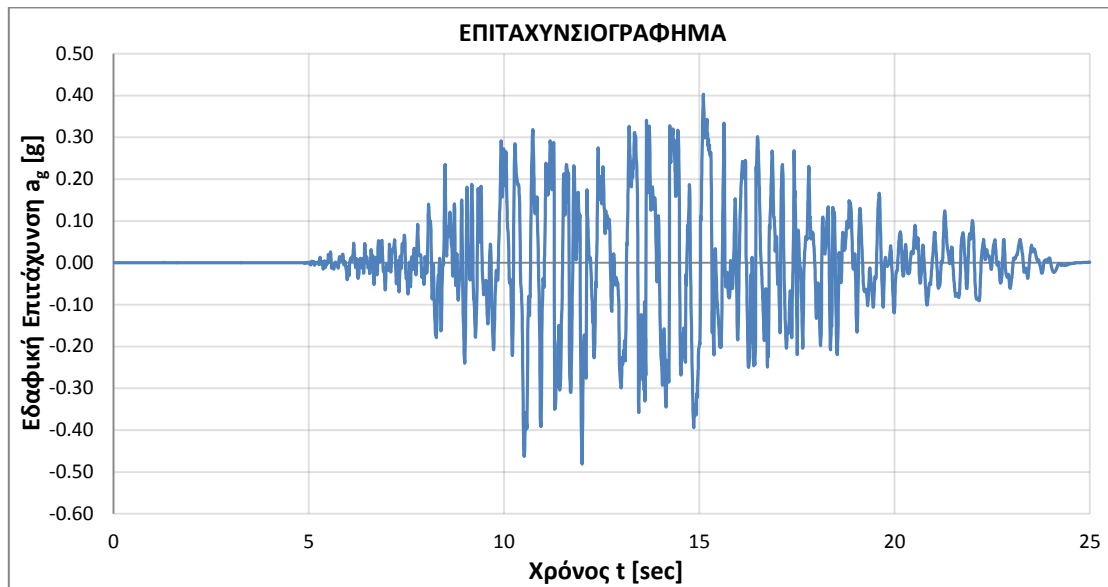


Σχήμα 4.16 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 16

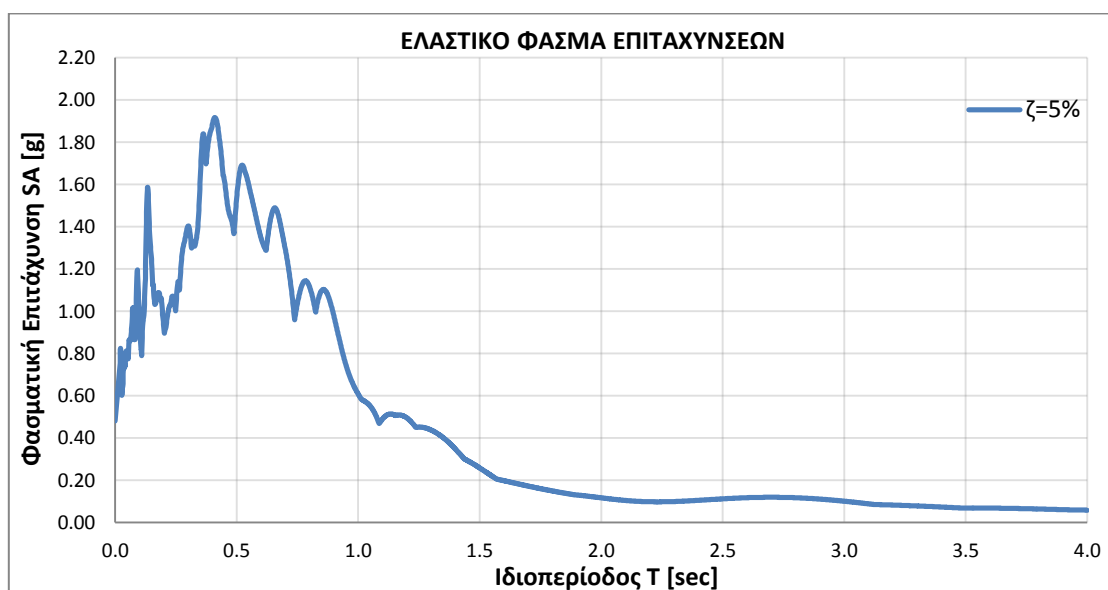
17

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP741BRN000



Σχήμα 4.17 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 17

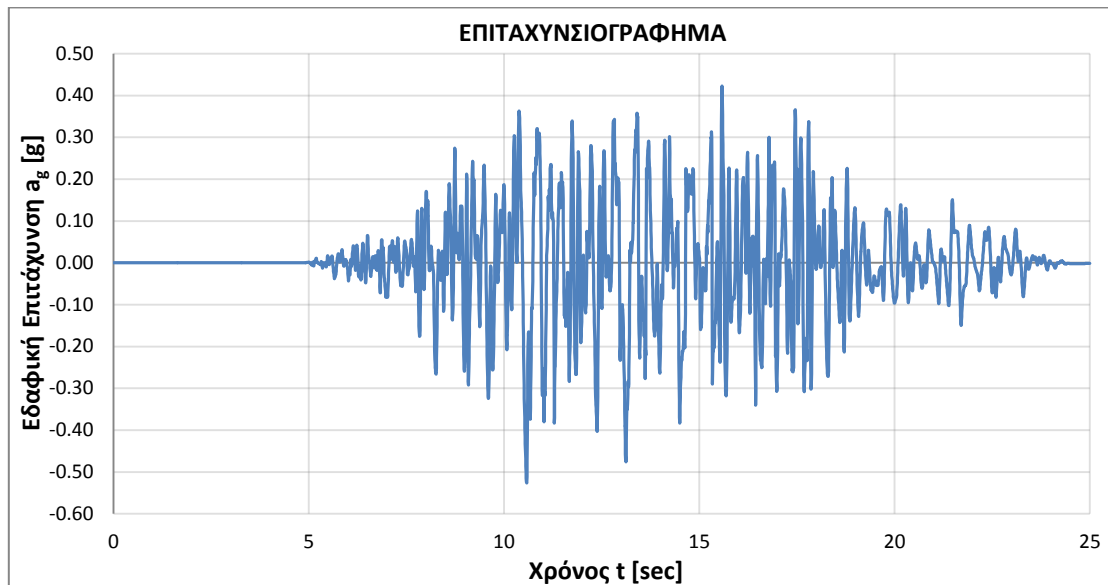


Σχήμα 4.17 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 17

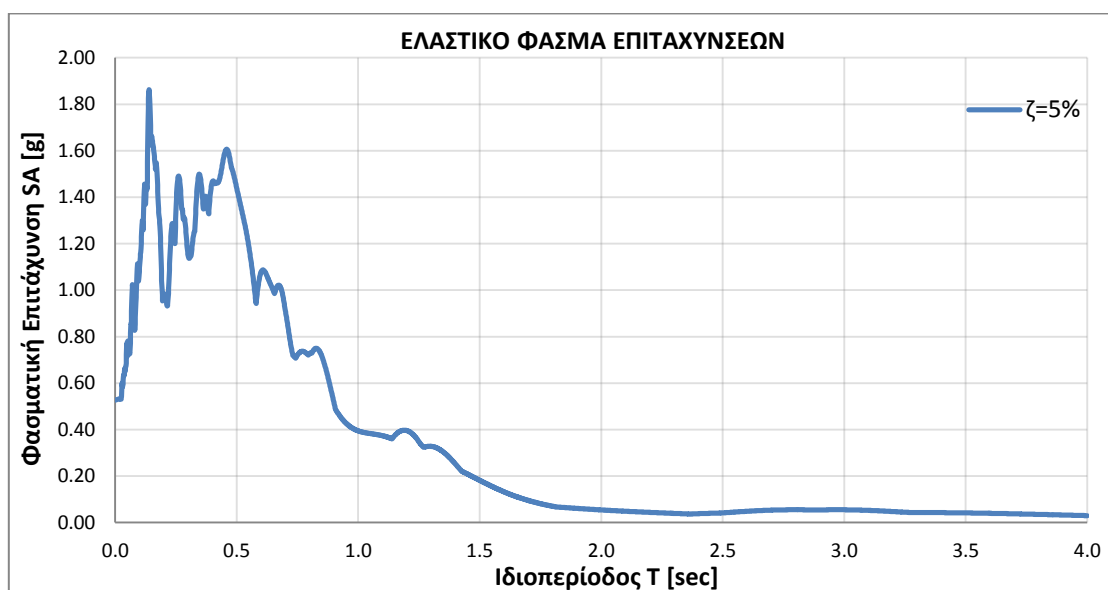
18

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP741BRN090



Σχήμα 4.18 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 18

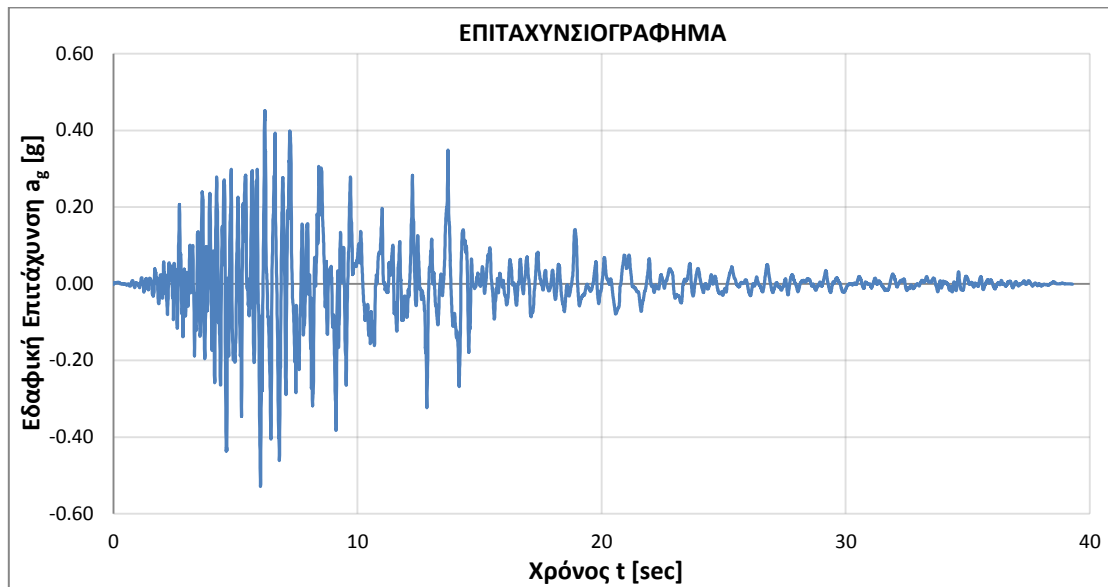


Σχήμα 4.18 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 18

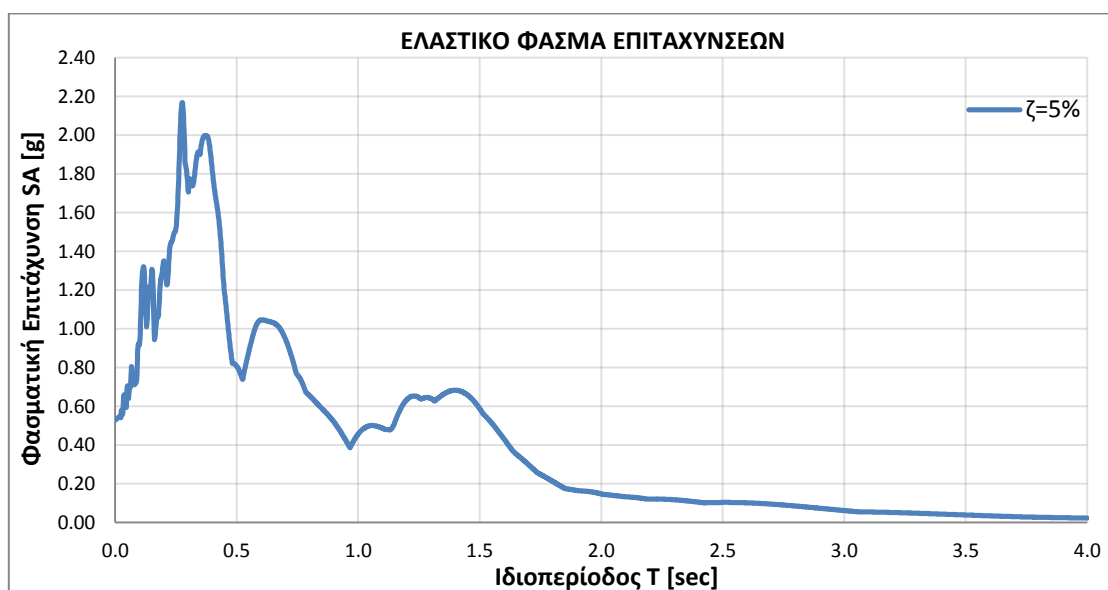
19

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP752CAP000



Σχήμα 4.19 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 19

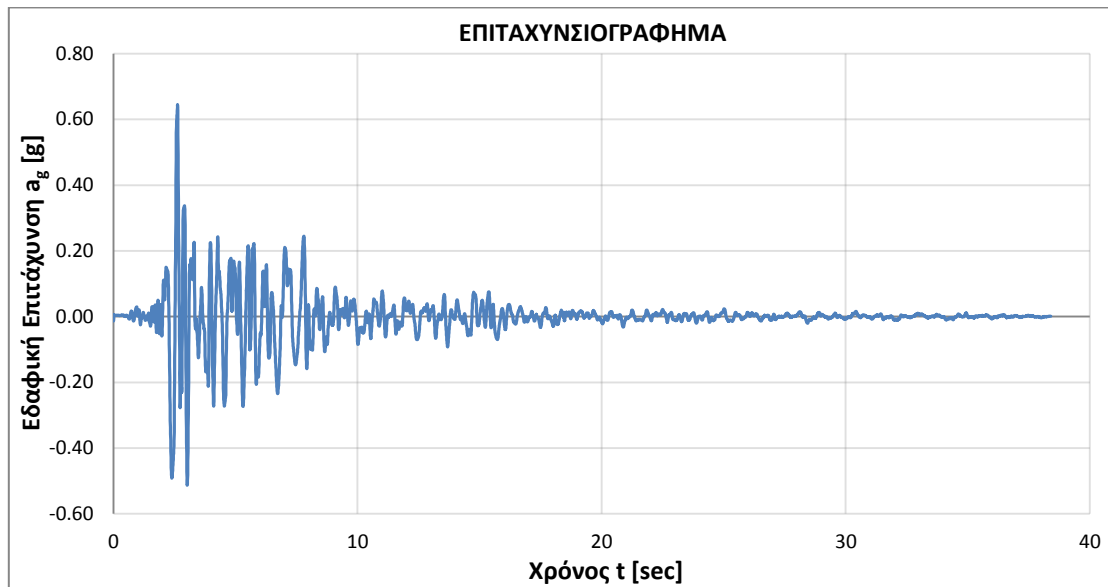


Σχήμα 4.19 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 19

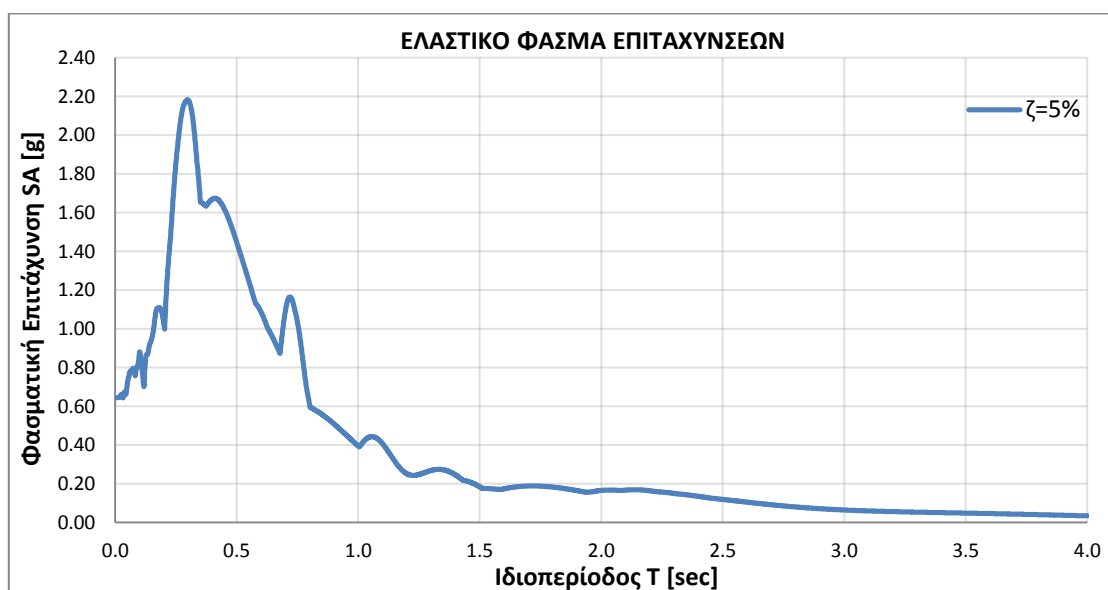
20

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP753CLS000



Σχήμα 4.20 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 20

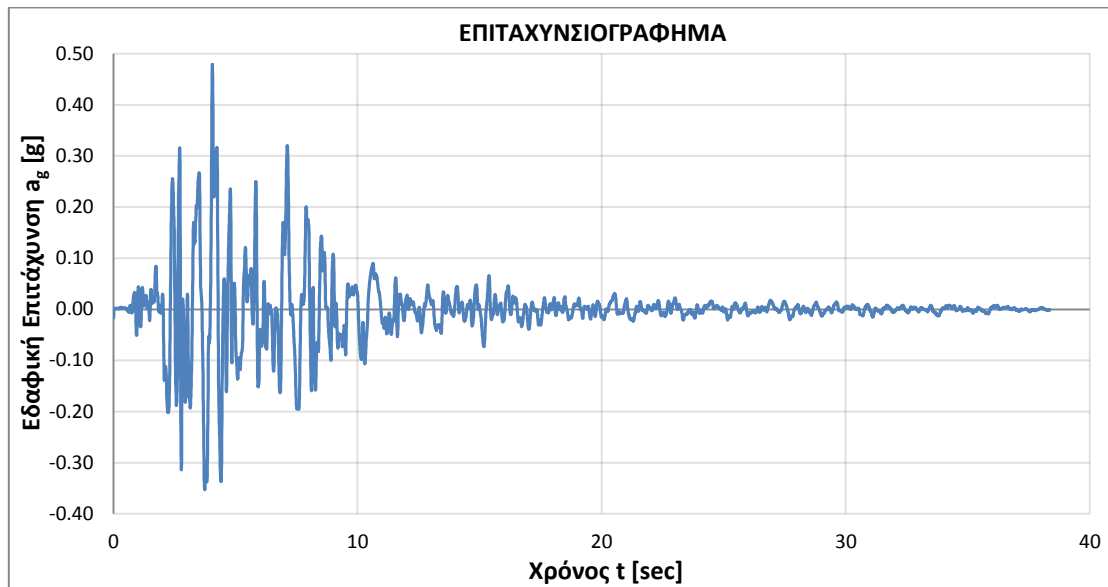


Σχήμα 4.20 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 20

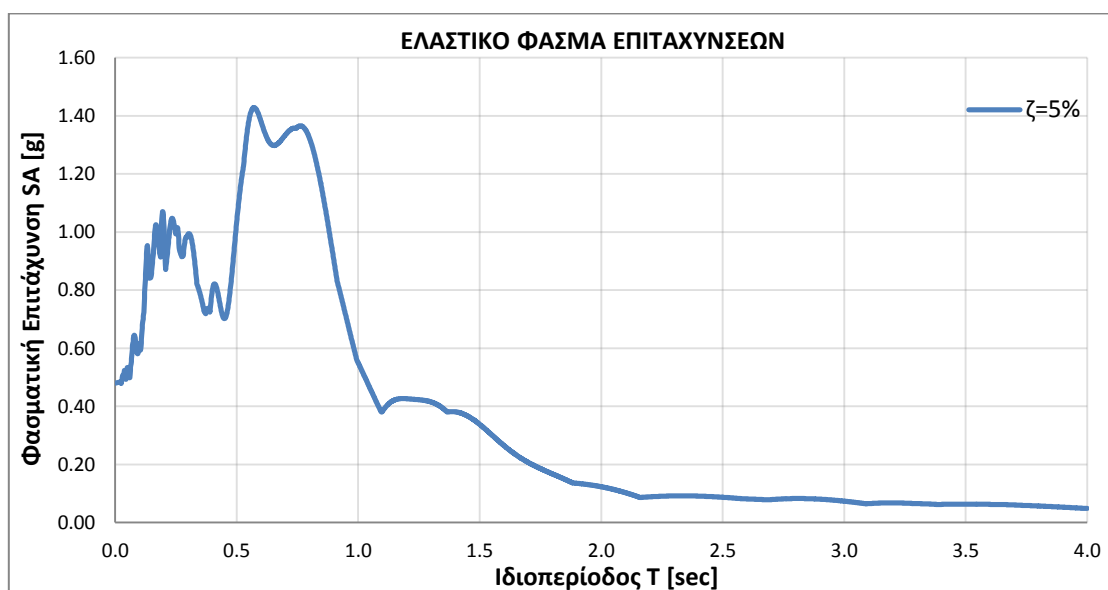
21

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP753CLS090



Σχήμα 4.21 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 21

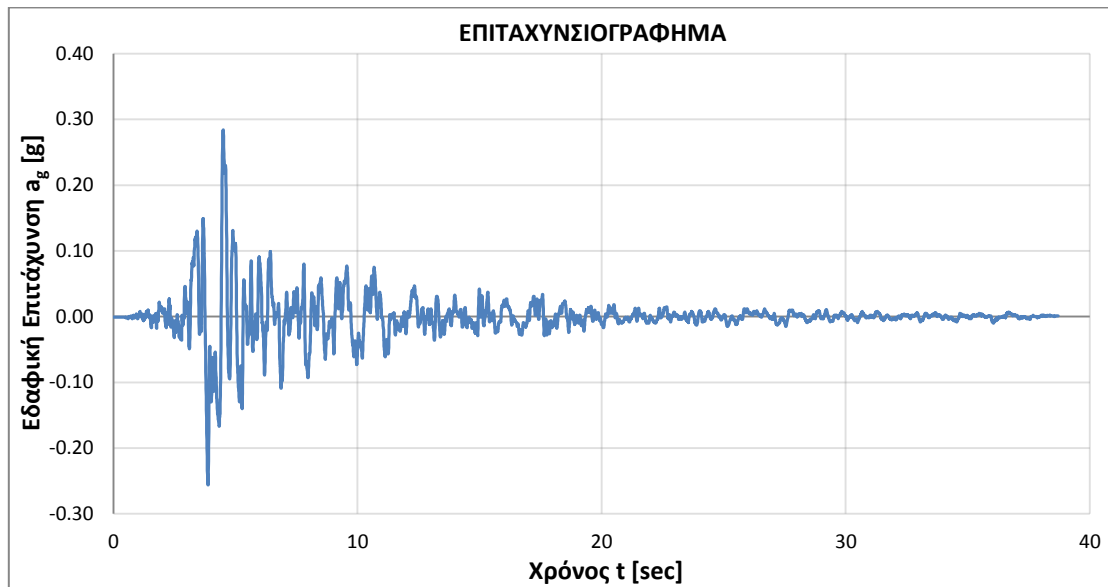


Σχήμα 4.21 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 21

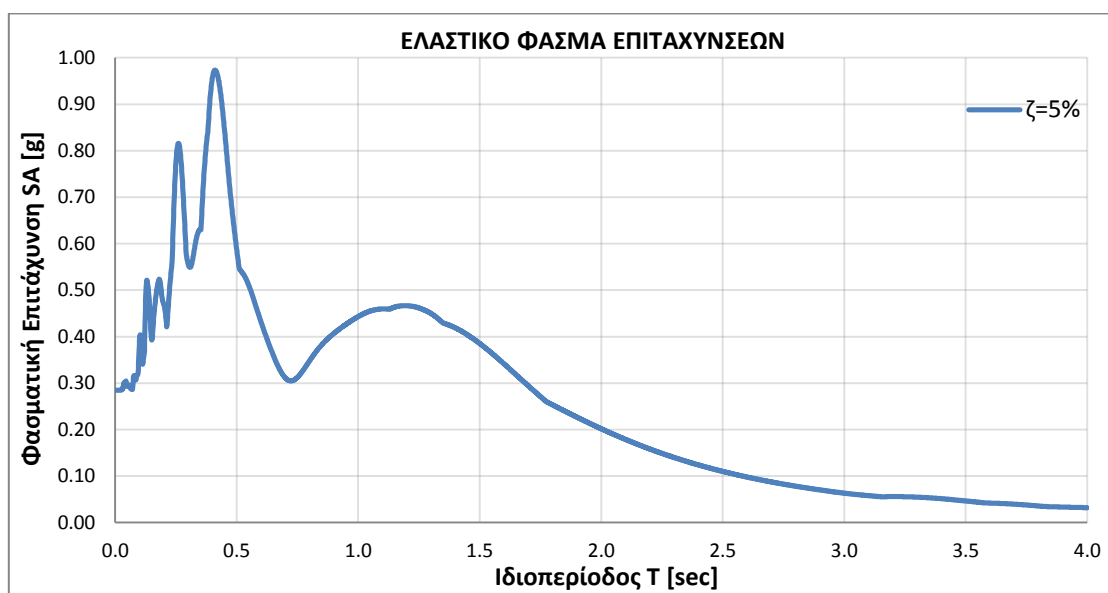
22

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP764GOF160



Σχήμα 4.22 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 22

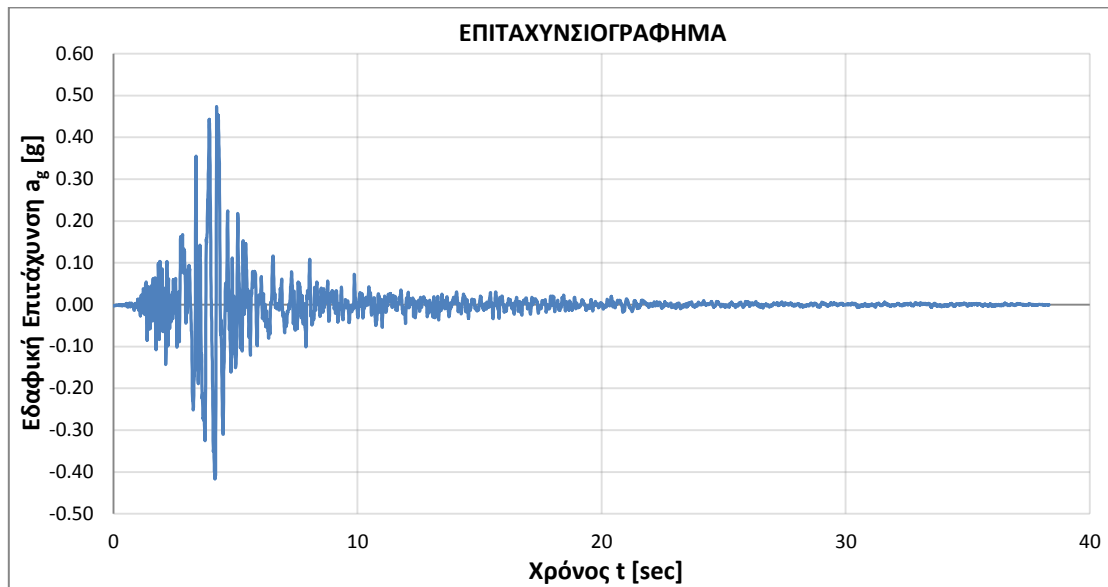


Σχήμα 4.22 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 22

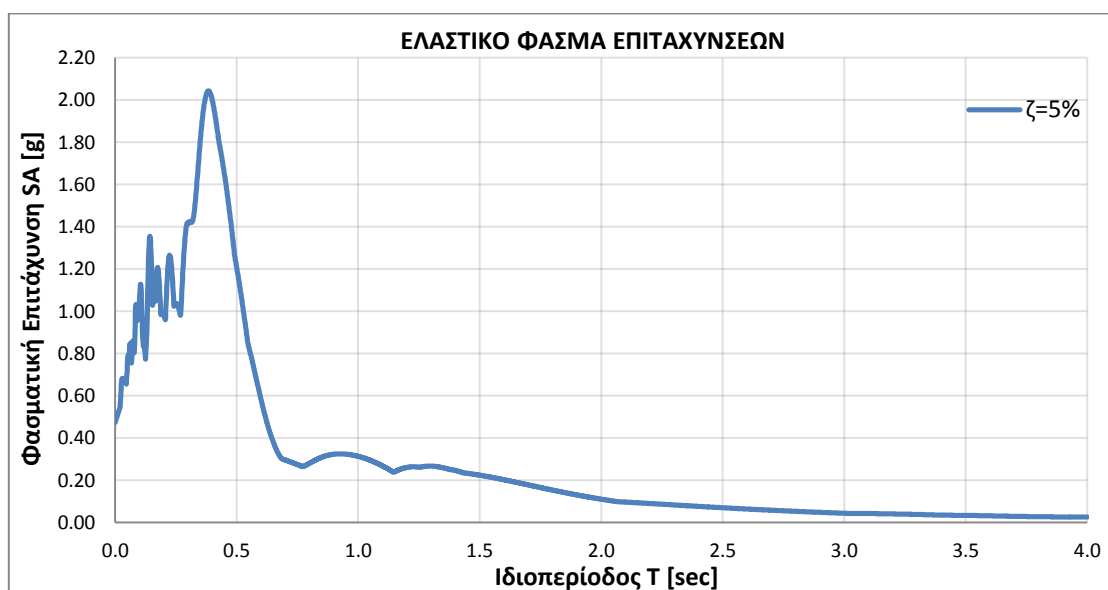
23

ΣΕΙΣΜΟΣ: Loma Prieta

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: LP765G01090



Σχήμα 4.23 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 23

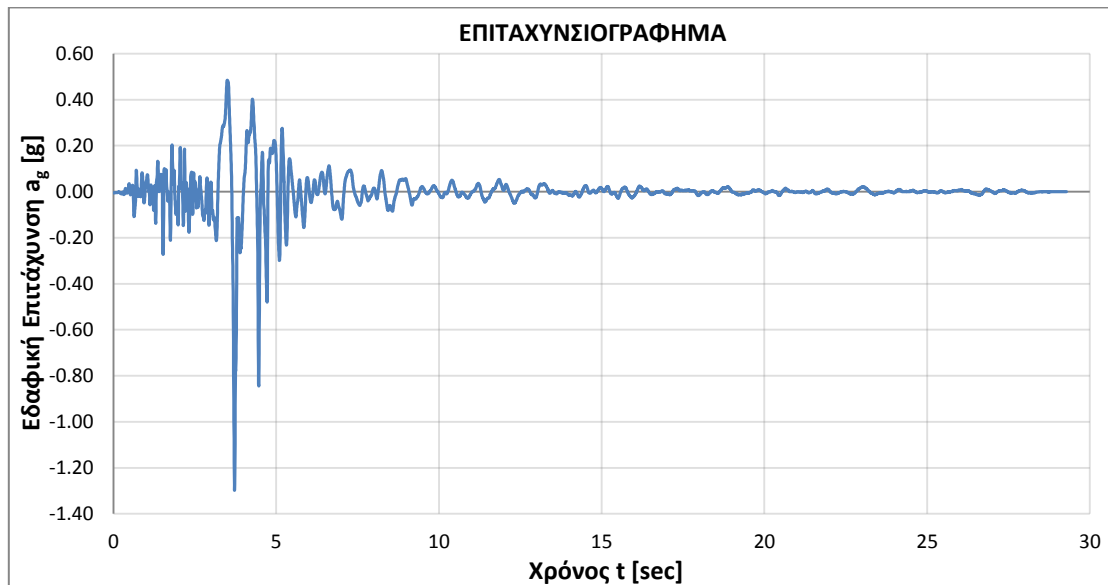


Σχήμα 4.23 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 23

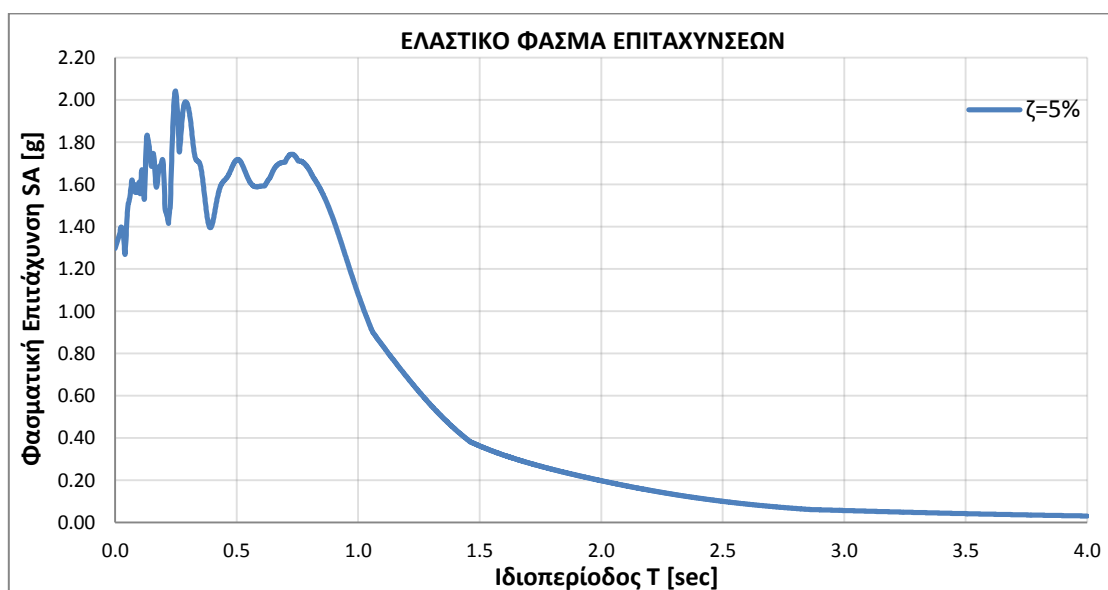
24

ΣΕΙΣΜΟΣ: Morgan Hill

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: ΜΗ451CΥC285



Σχήμα 4.24 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 24

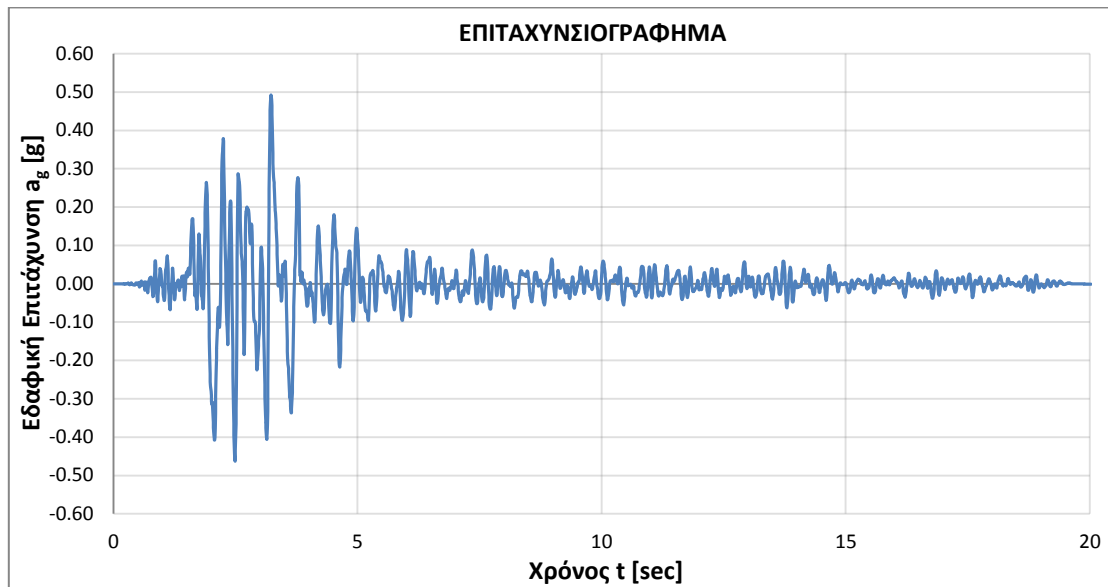


Σχήμα 4.24 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 24

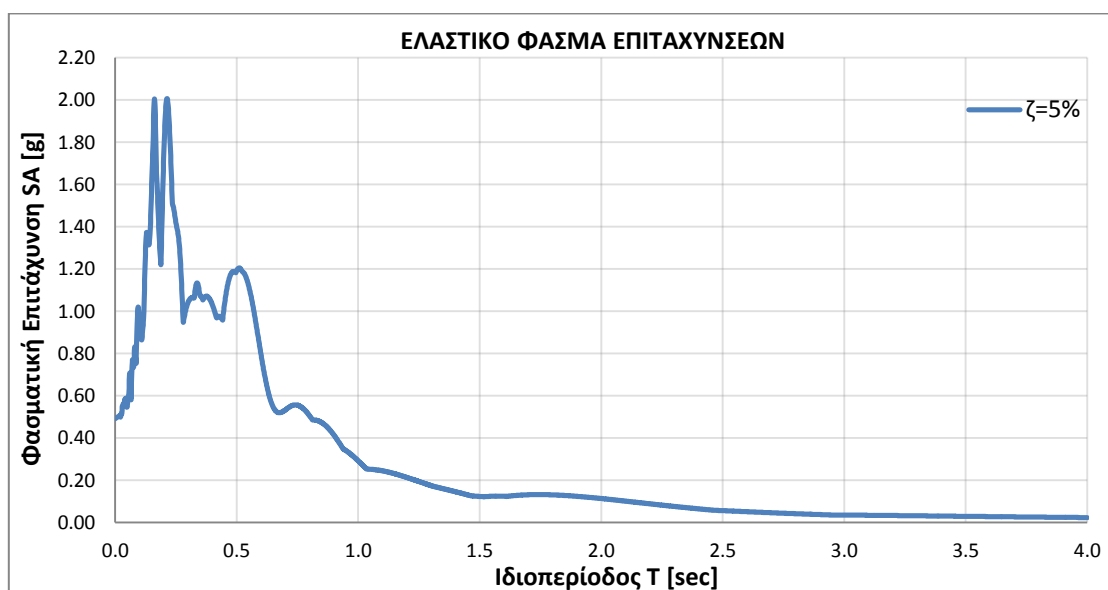
25

ΣΕΙΣΜΟΣ: N. Palm Springs

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: PS540WWT180



Σχήμα 4.25 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 25

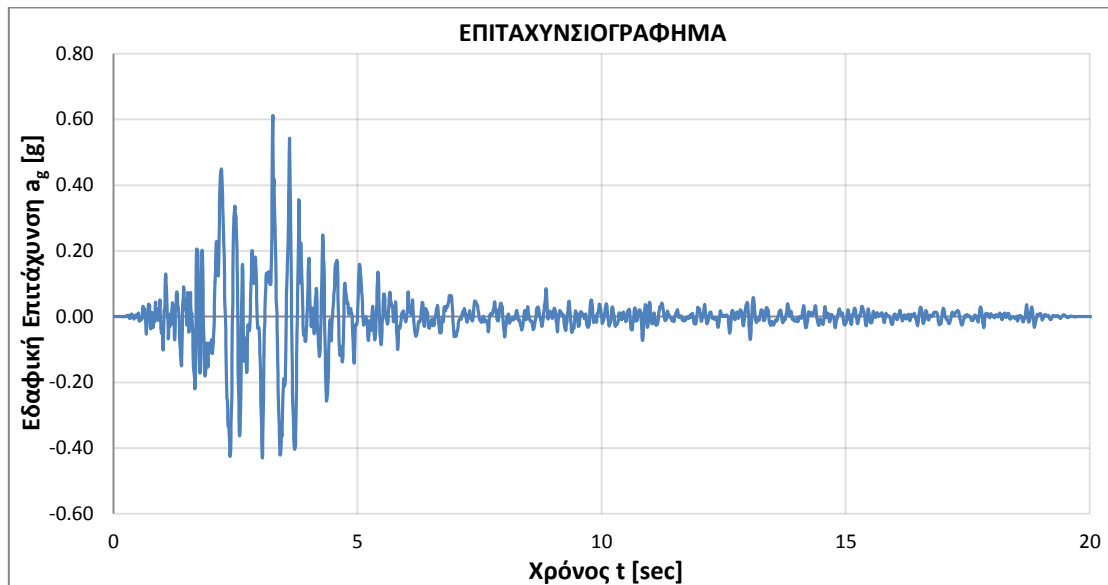


Σχήμα 4.25 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 25

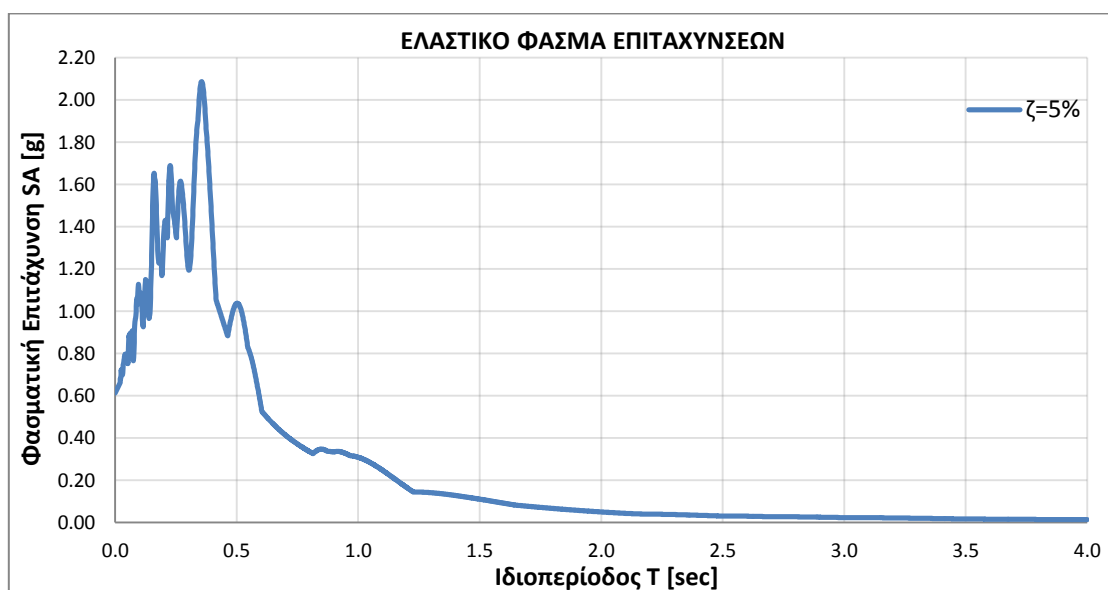
26

ΣΕΙΣΜΟΣ: N. Palm Springs

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: PS540WWT270



Σχήμα 4.26 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 26

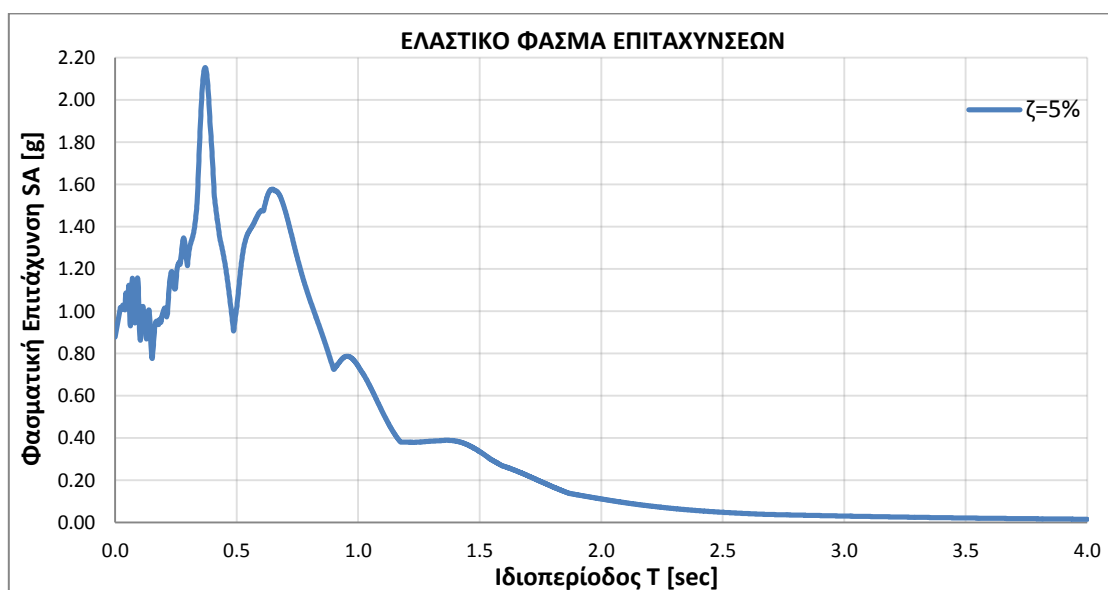


Σχήμα 4.26 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 26

27

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:** North1080KAT000

Σχήμα 4.27 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 27

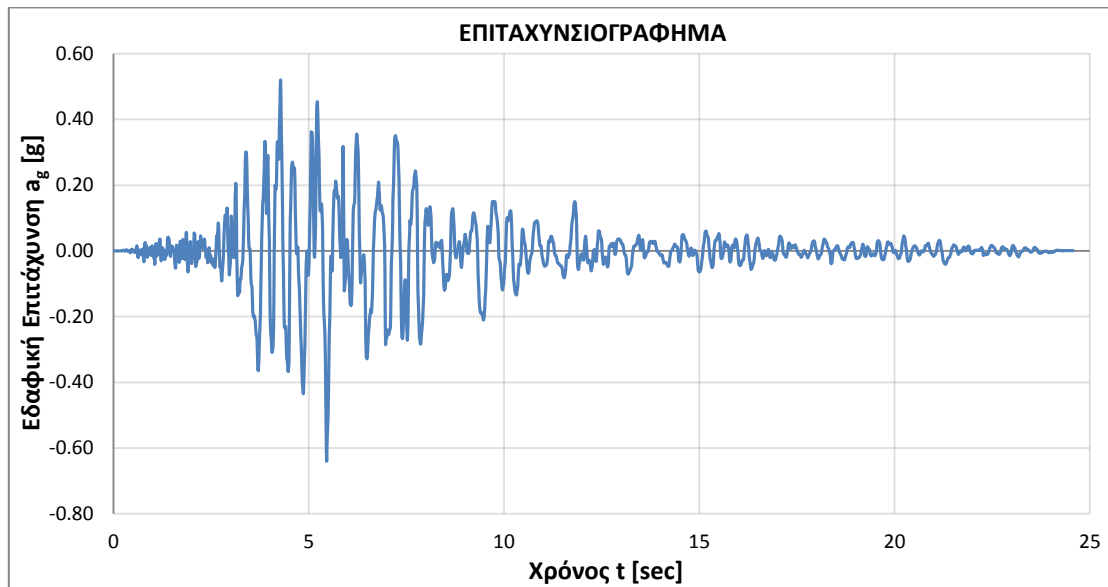


Σχήμα 4.27 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 27

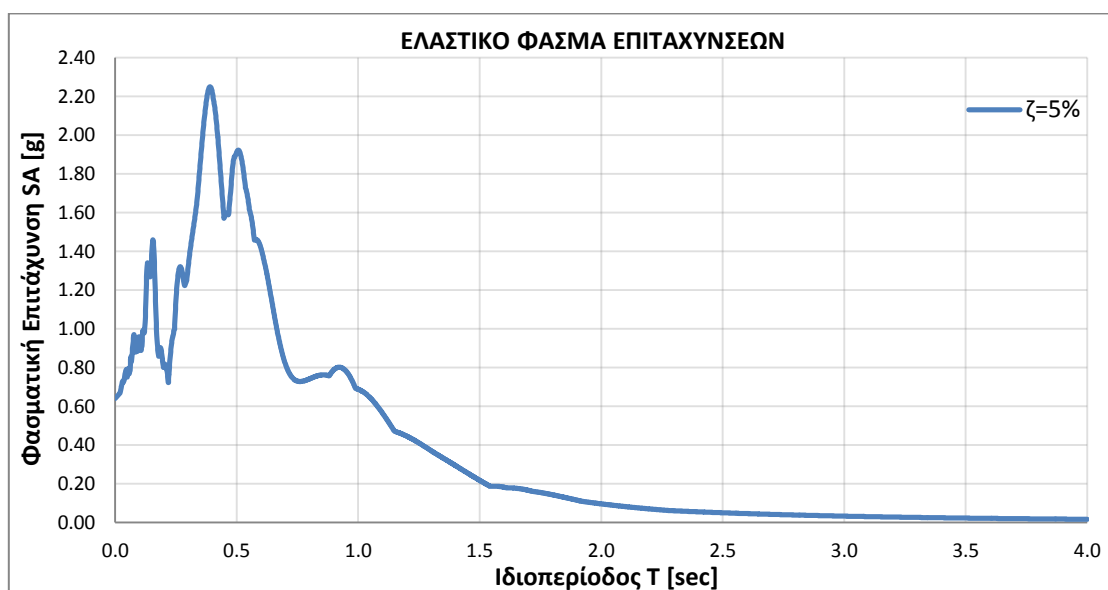
28

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: North1080ΚΑΤ090



Σχήμα 4.28 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 28



Σχήμα 4.28 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 28

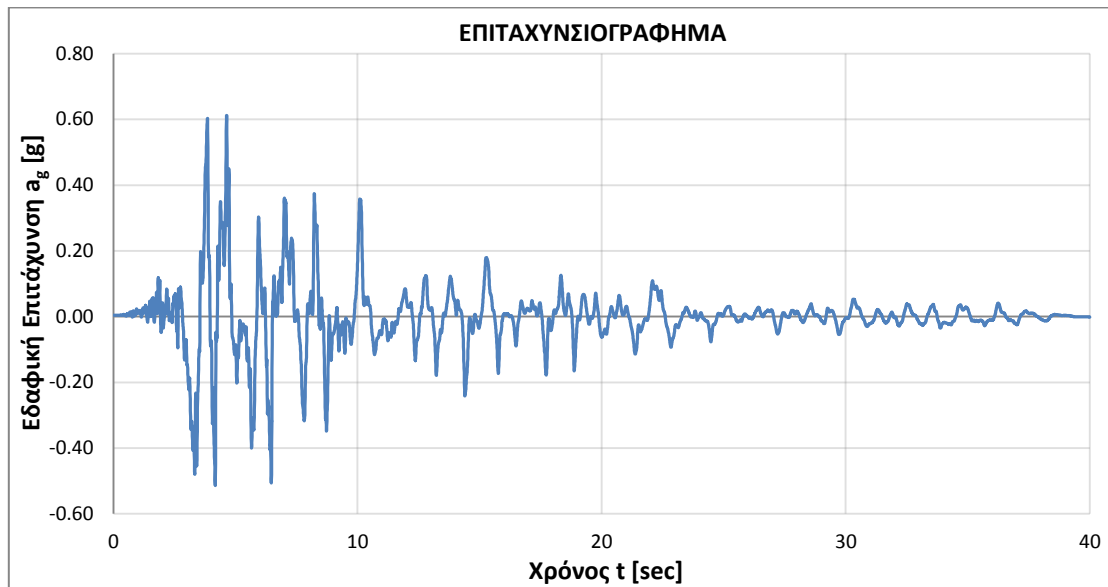
29

ΣΕΙΣΜΟΣ:

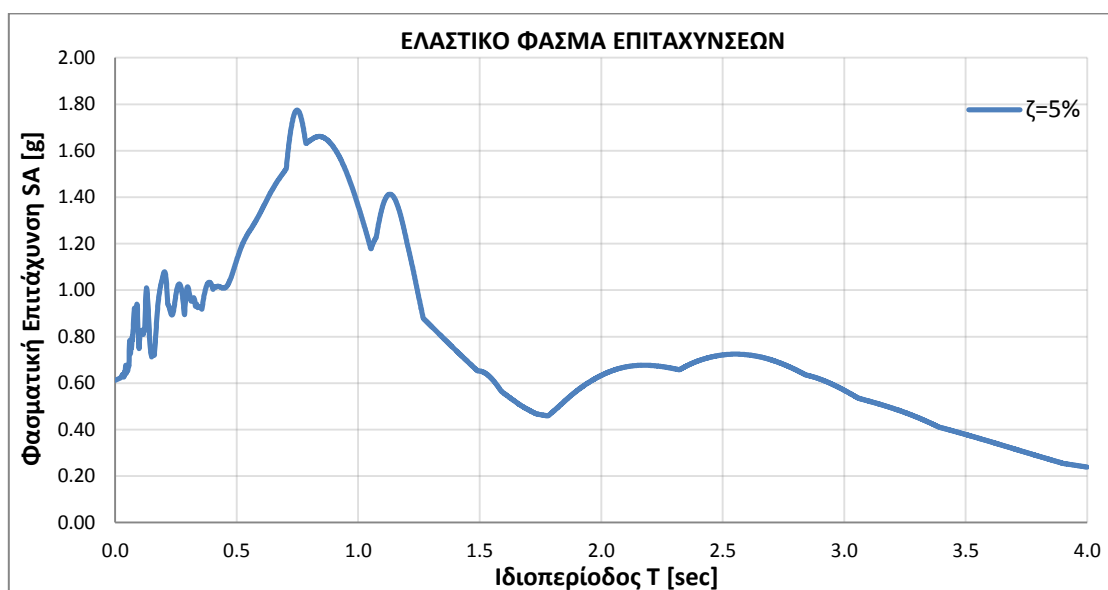
Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:

North1084SCS052



Σχήμα 4.29 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 29

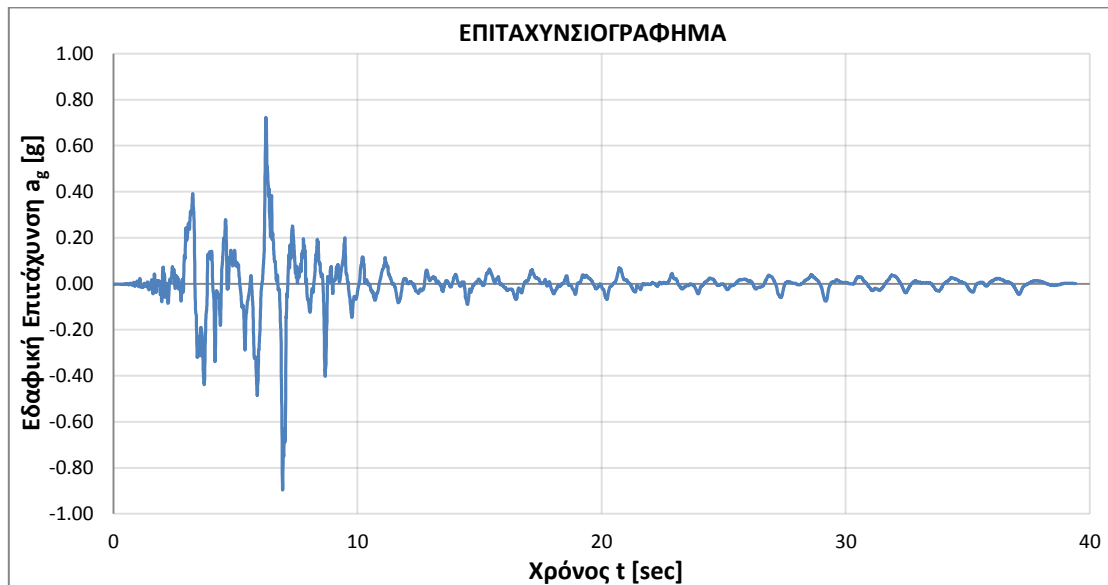


Σχήμα 4.29 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 29

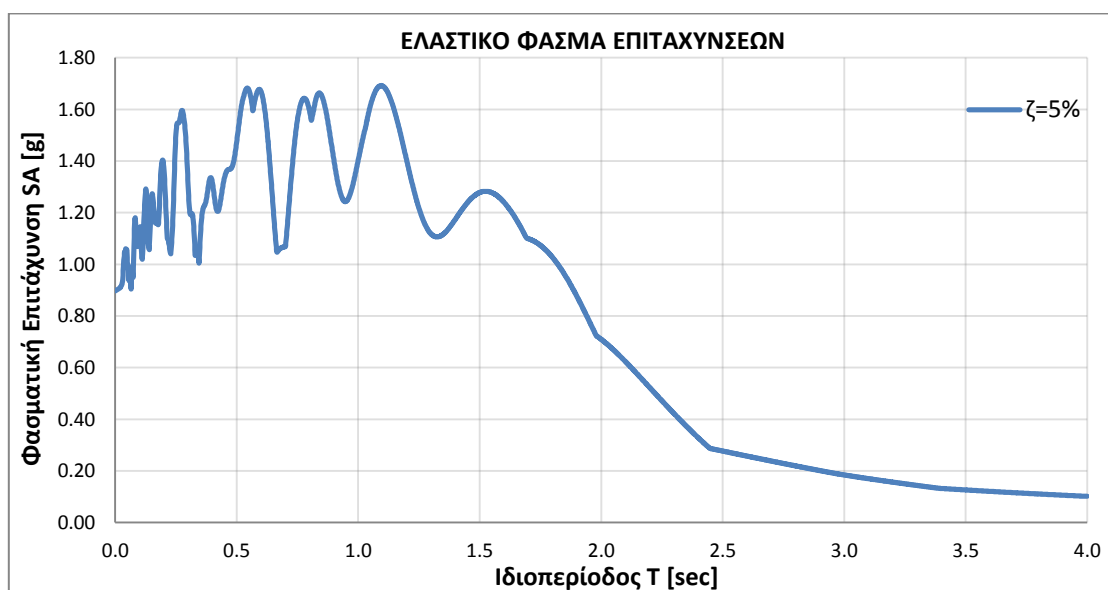
30

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: North1084SCS142



Σχήμα 4.30 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 30

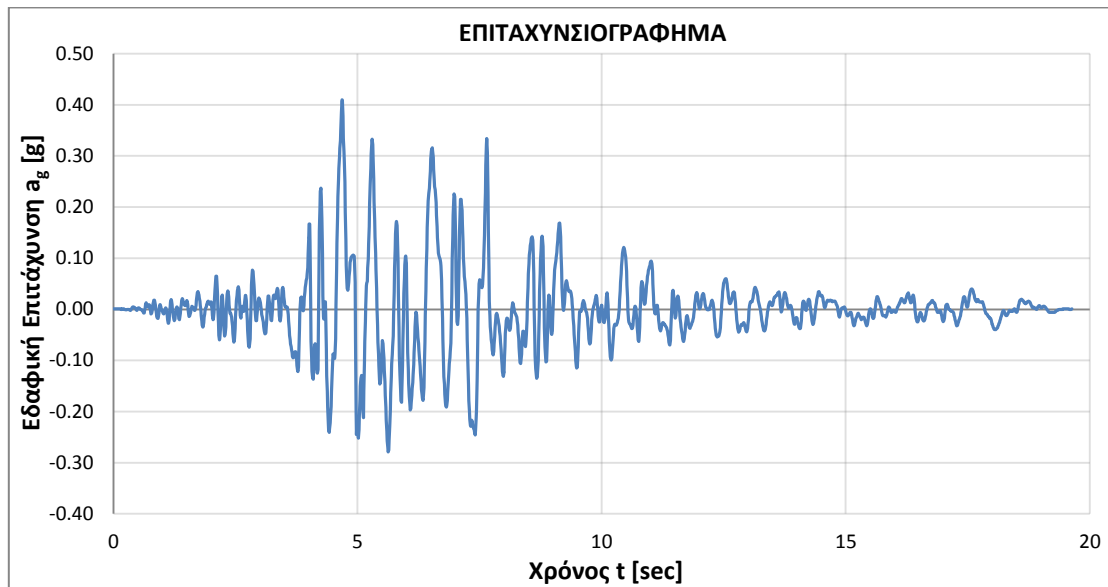


Σχήμα 4.30 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 30

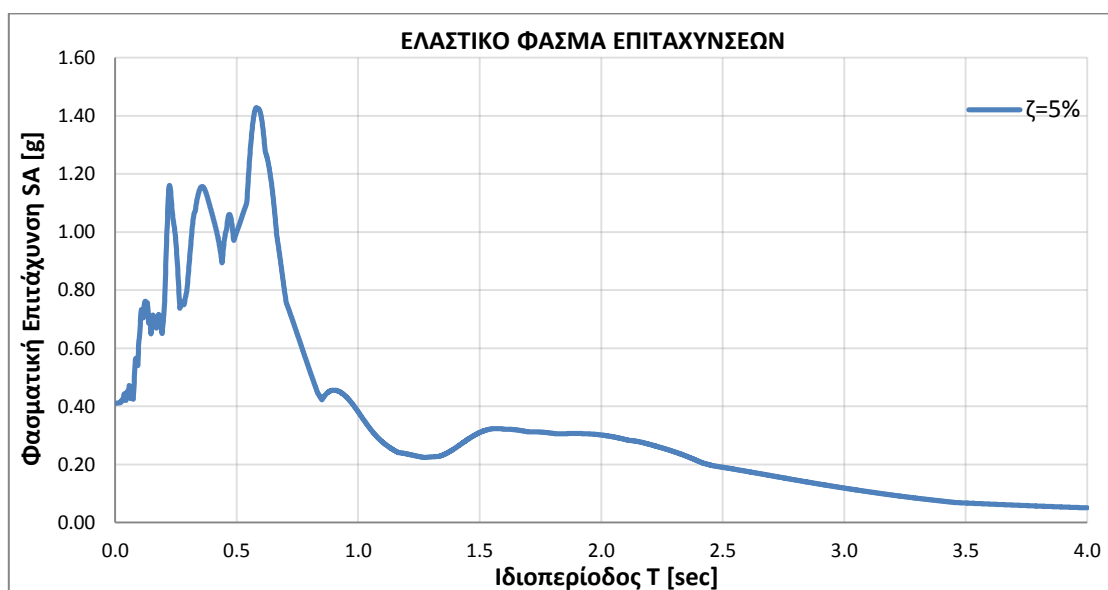
31

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: North960LOS000



Σχήμα 4.31 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 31



Σχήμα 4.31 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 31

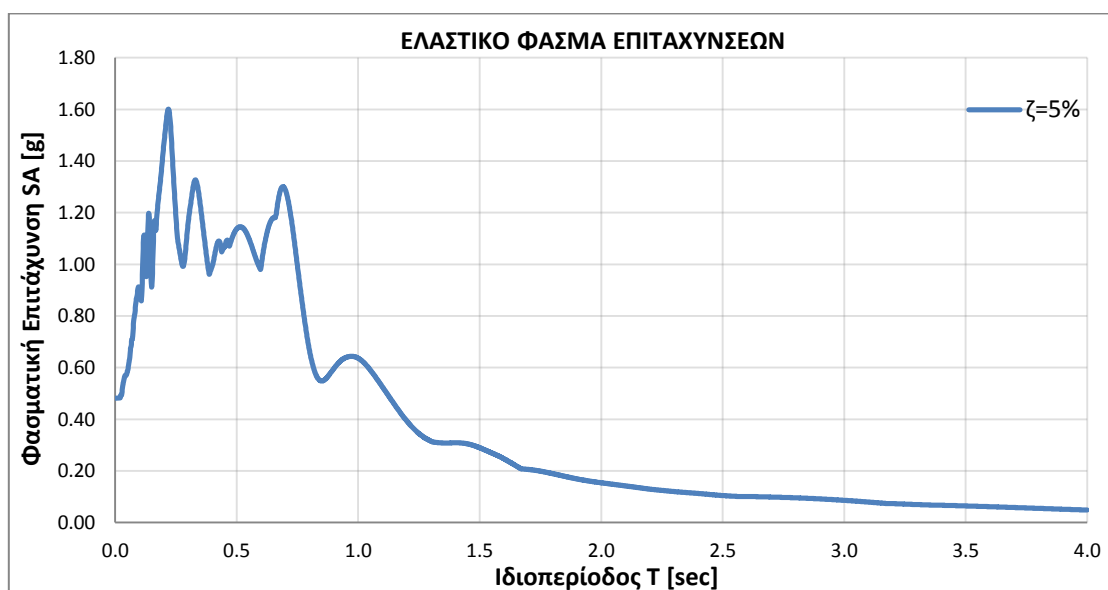
32

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: North960LOS270



Σχήμα 4.32 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 32



Σχήμα 4.32 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 32

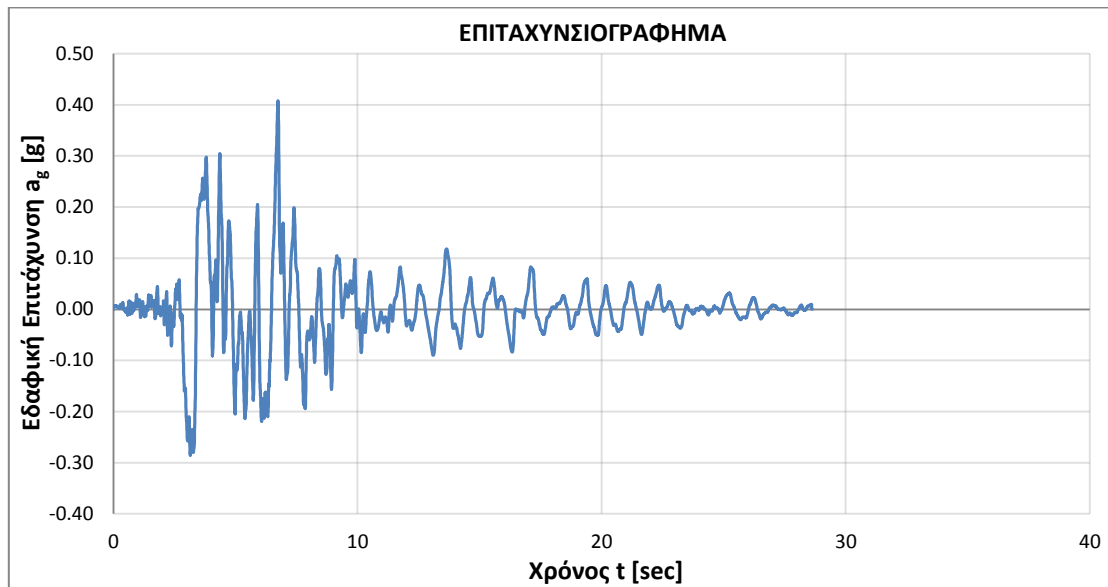
33

ΣΕΙΣΜΟΣ:

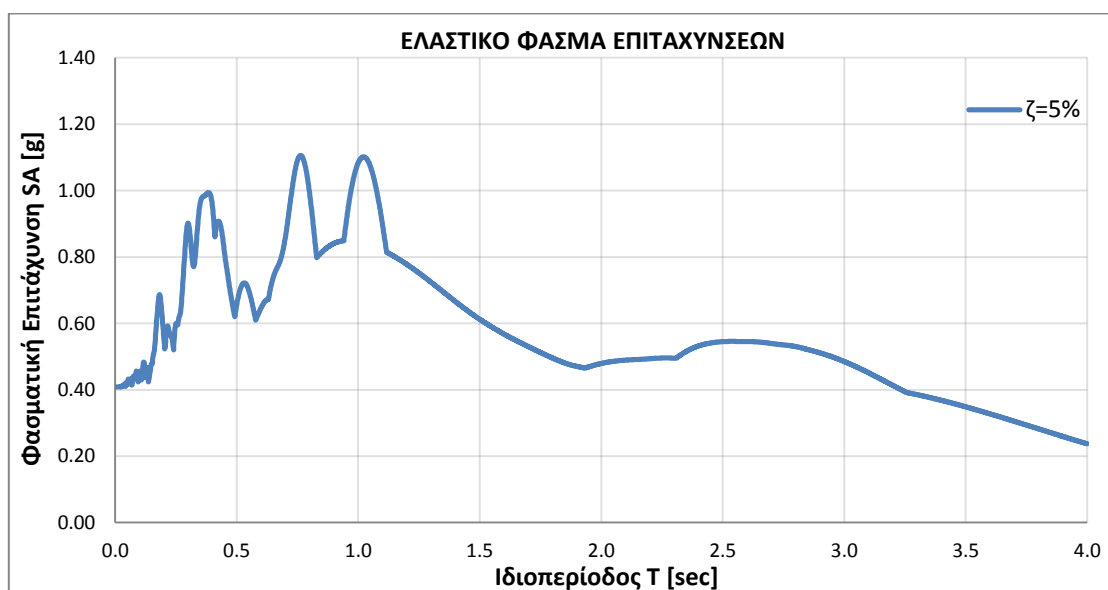
Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:

NorthridgeJFA022



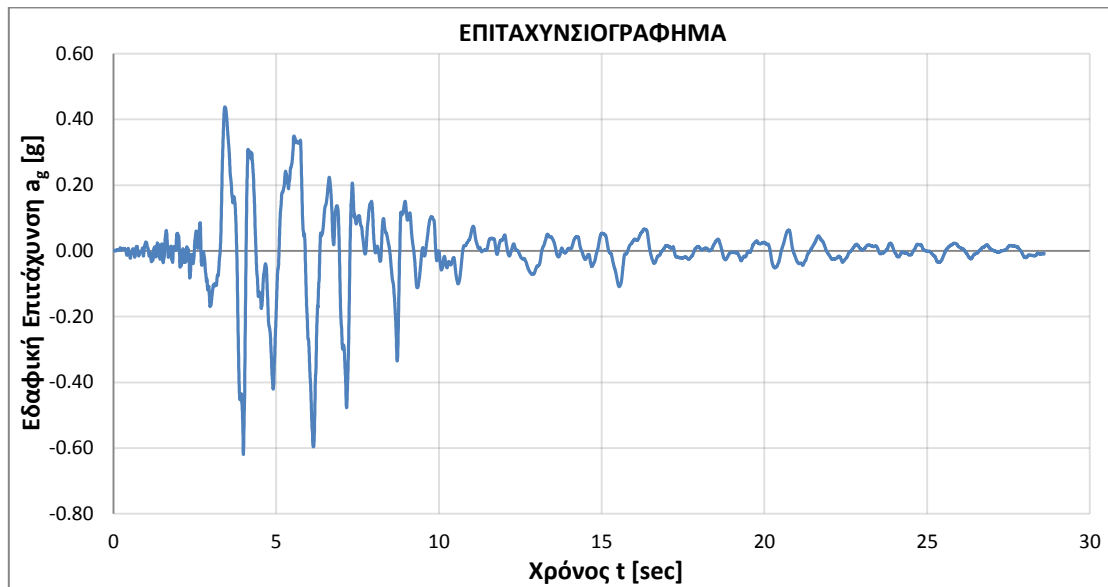
Σχήμα 4.33 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 33



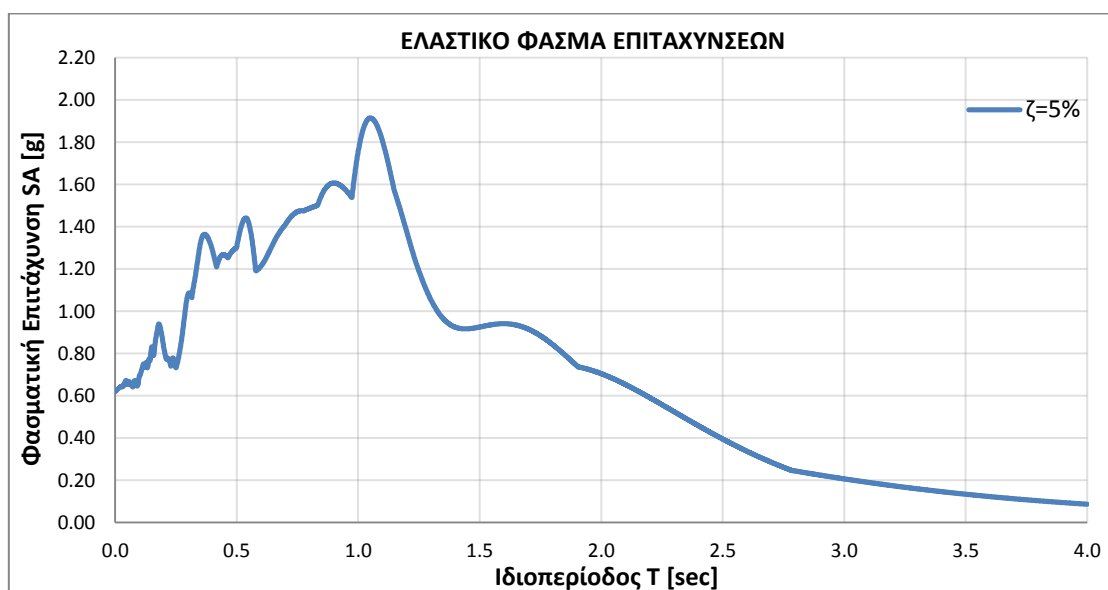
Σχήμα 4.33 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 33

34

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: NorthridgeJFA292

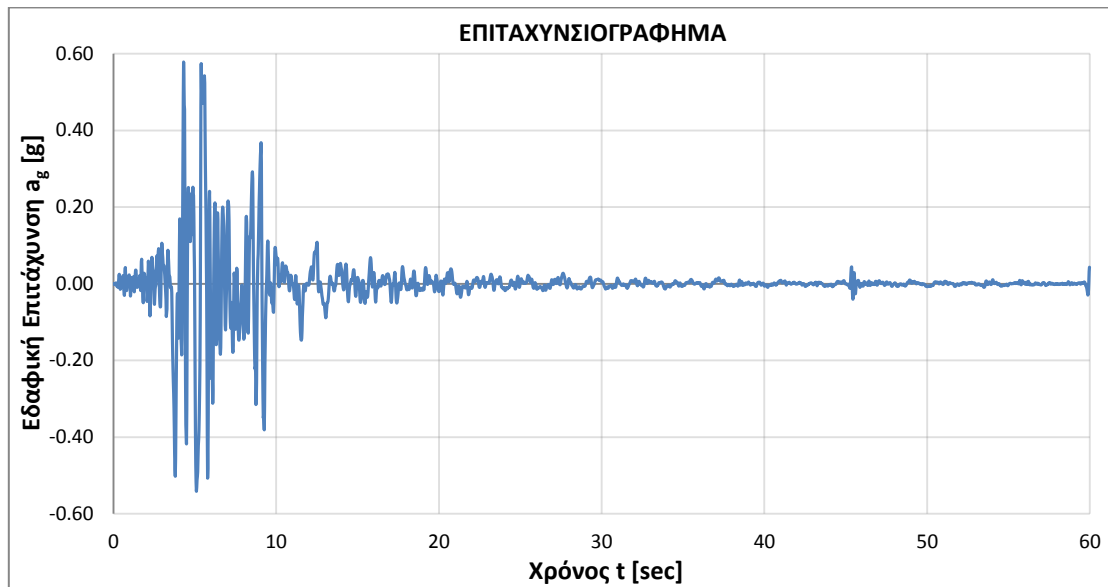


Σχήμα 4.34 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 34

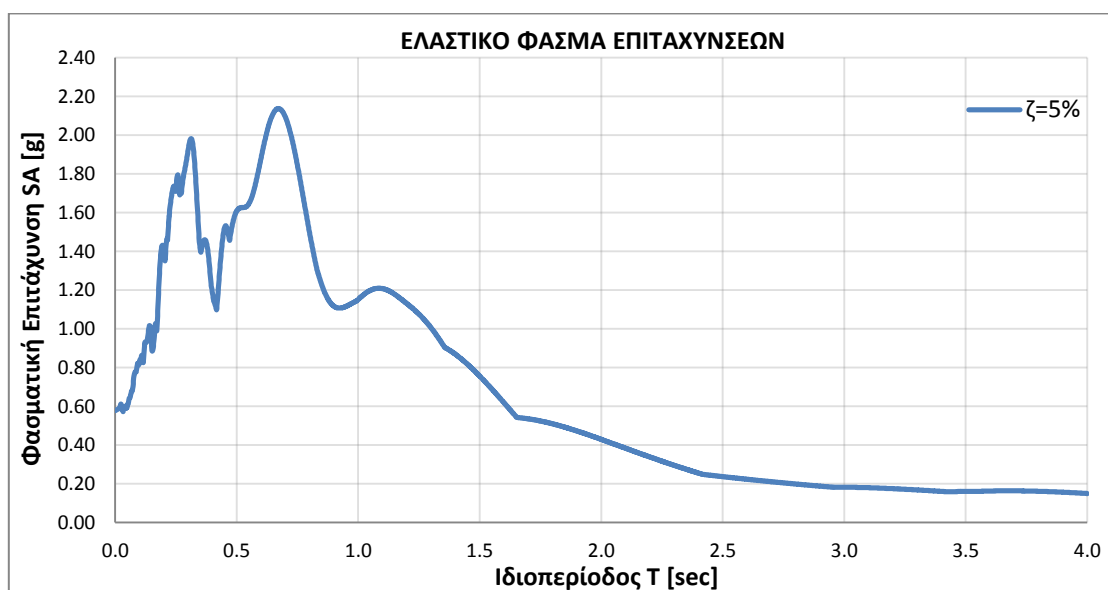


Σχήμα 4.34 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 34

35

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:** NorthridgeNWH360

Σχήμα 4.35 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 35

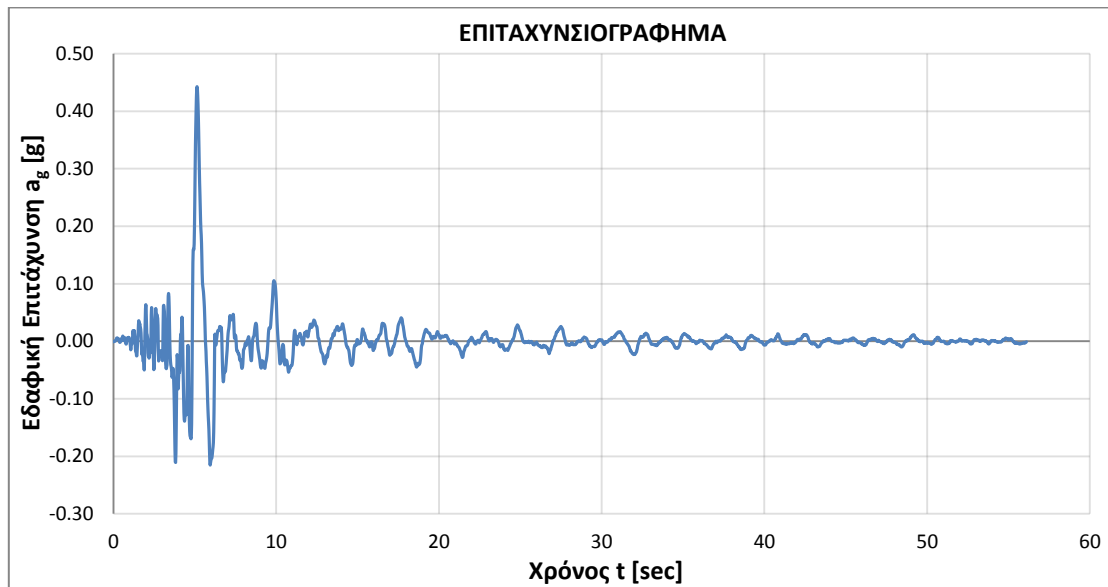


Σχήμα 4.35 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 35

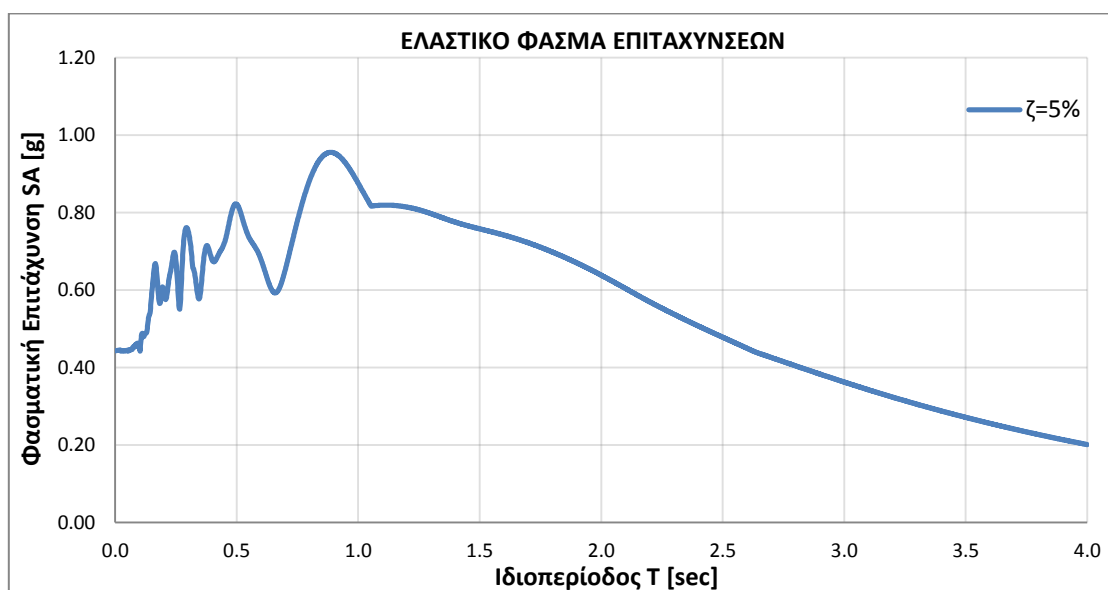
36

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: NorthridgeNWS046



Σχήμα 4.36 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 36

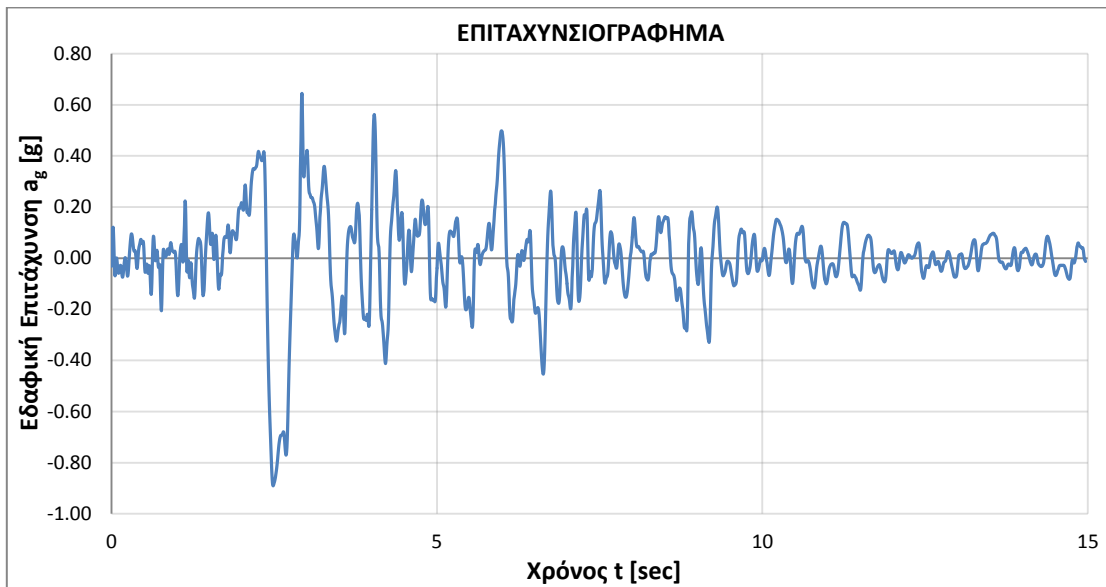


Σχήμα 4.36 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 36

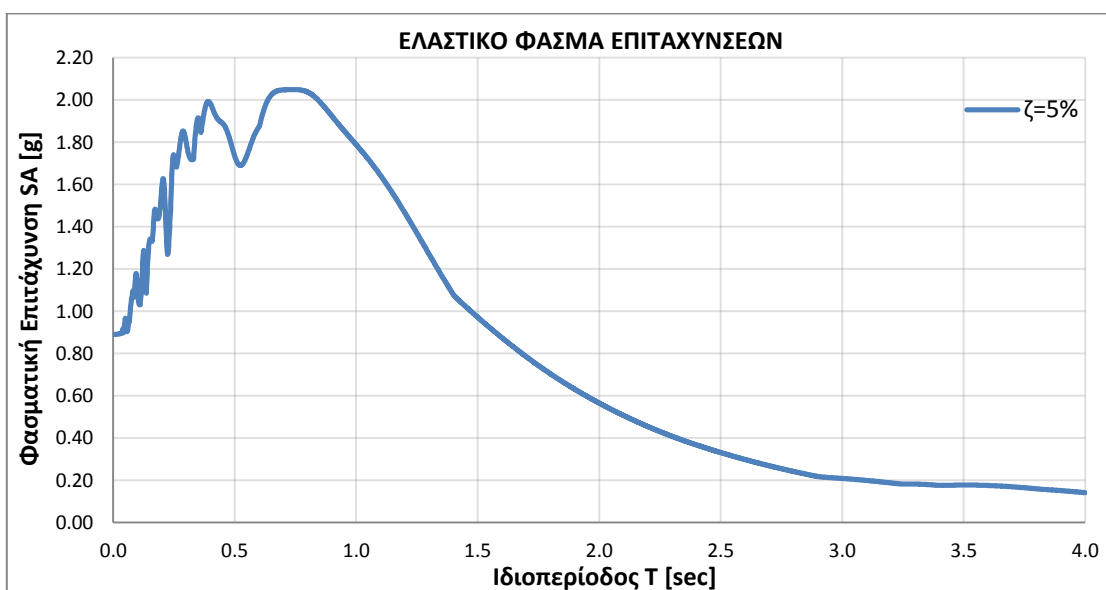
37

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: NorthridgeRRS228



Σχήμα 4.37 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 37

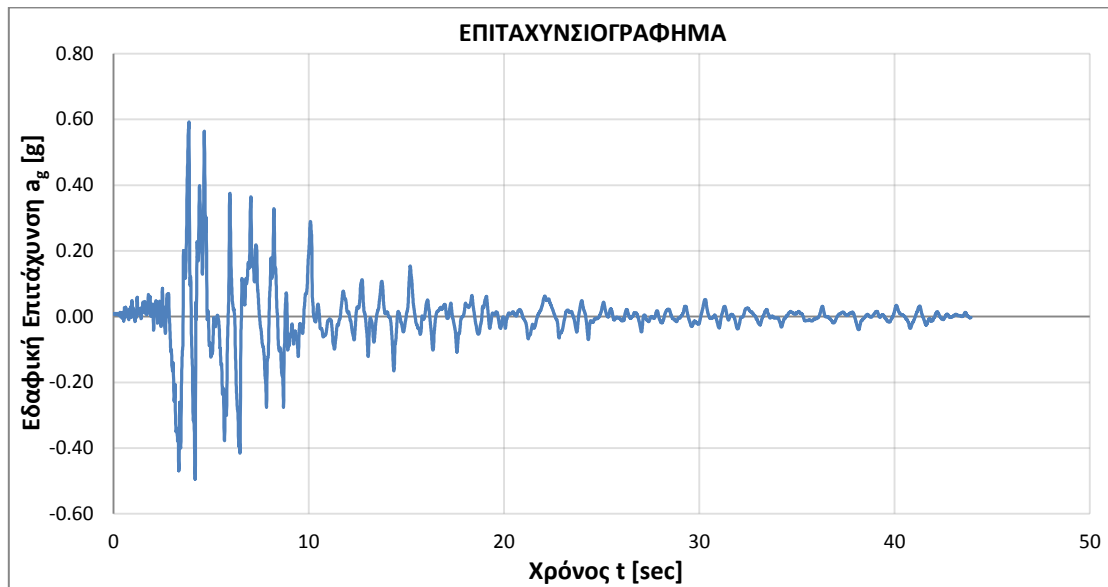


Σχήμα 4.37 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 37

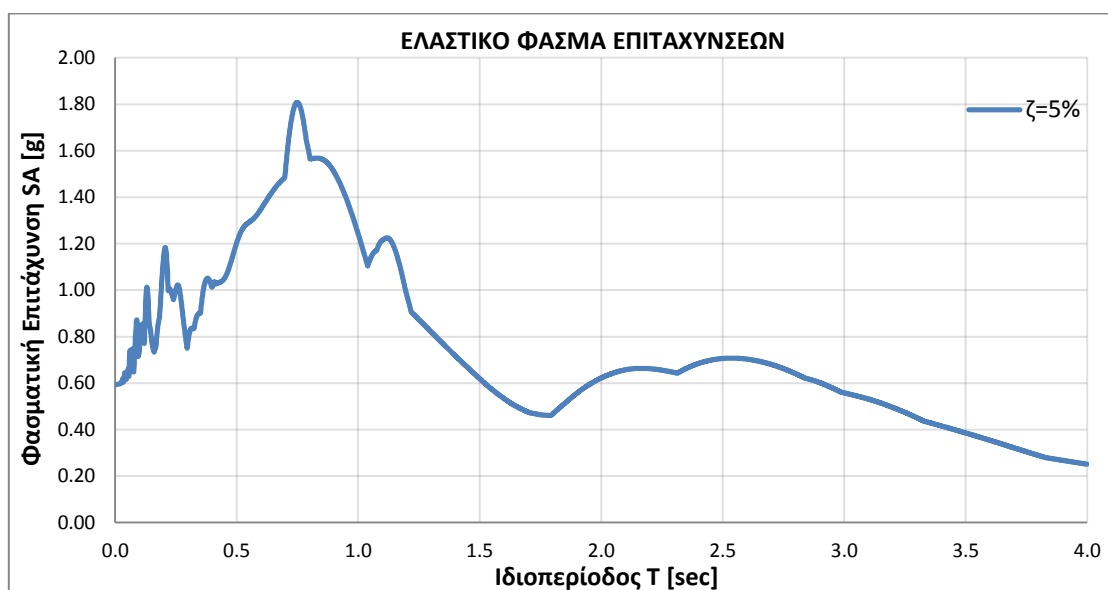
38

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: NorthridgeSCG052

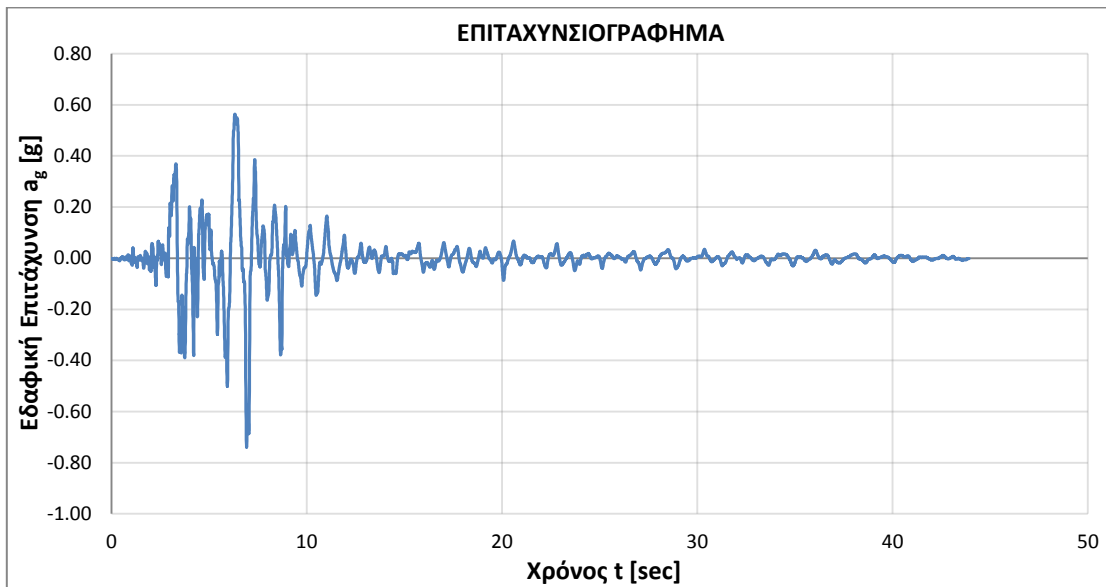


Σχήμα 4.38 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 38

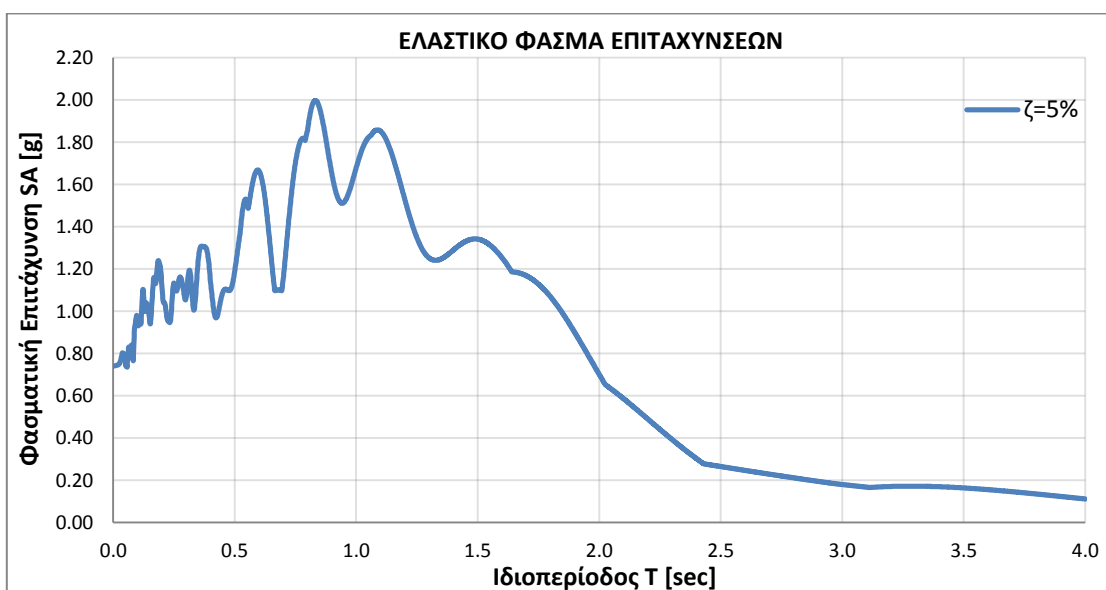


Σχήμα 4.38 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 38

39

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge**ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ:** NorthridgeSCG142

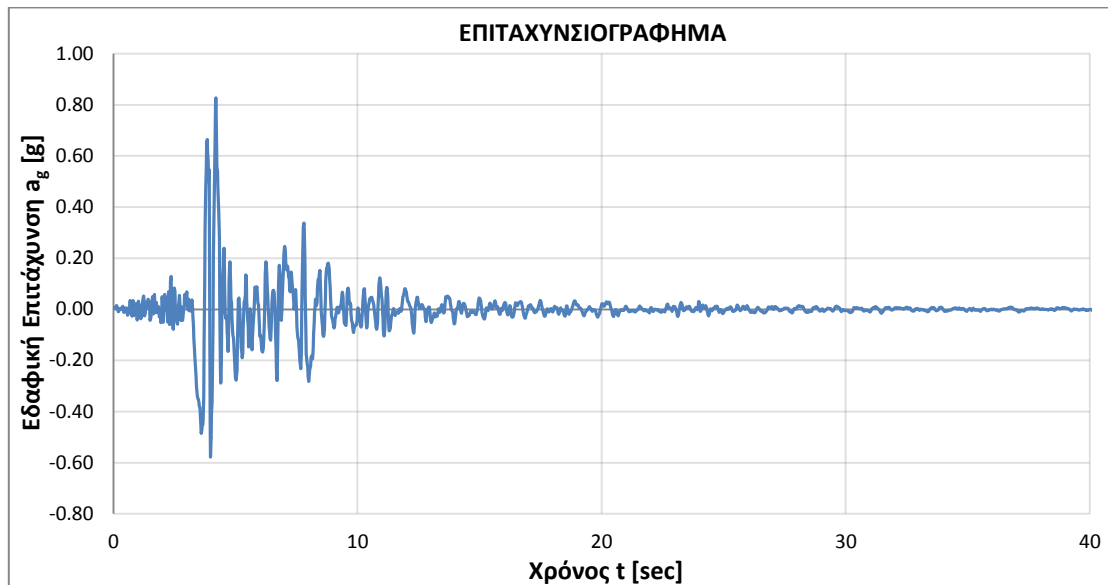
Σχήμα 4.39 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 39



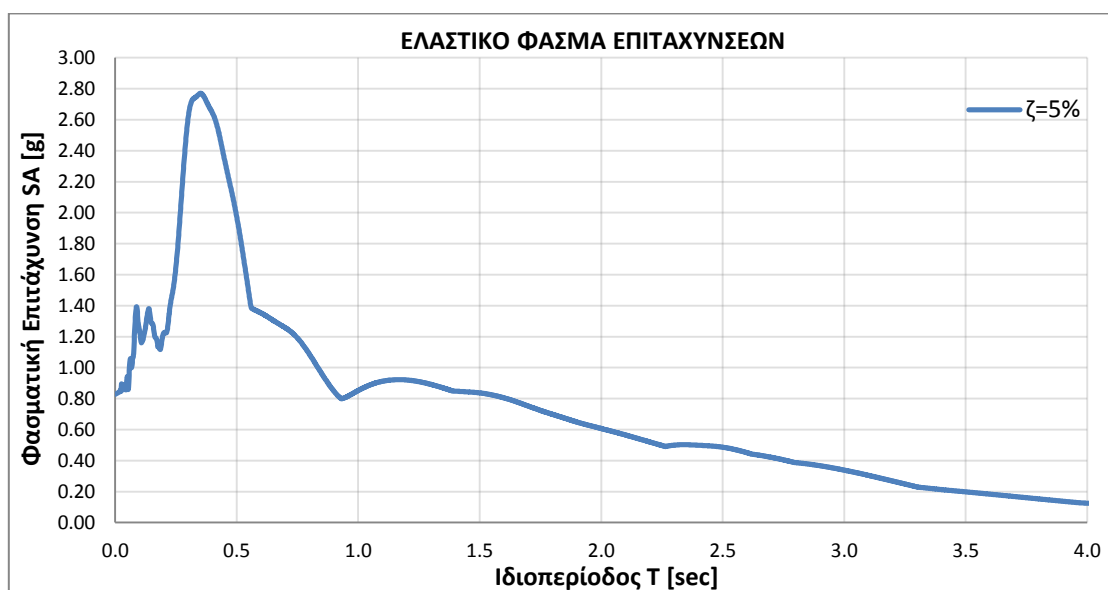
Σχήμα 4.39 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 39

40

ΣΕΙΣΜΟΣ: Northridge
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: NorthridgeSYH360



Σχήμα 4.40 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 40

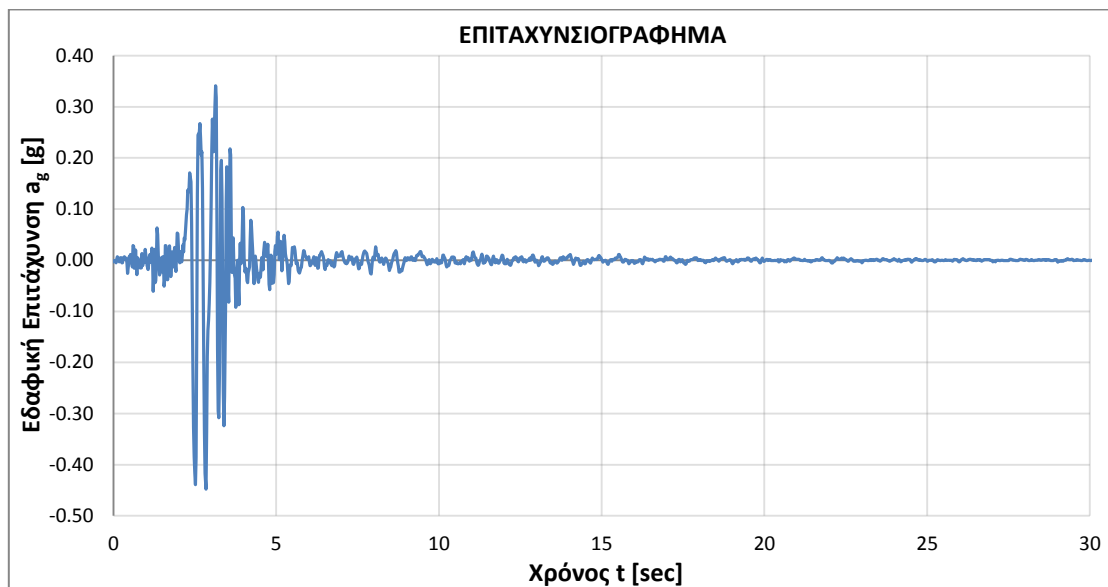


Σχήμα 4.40 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 40

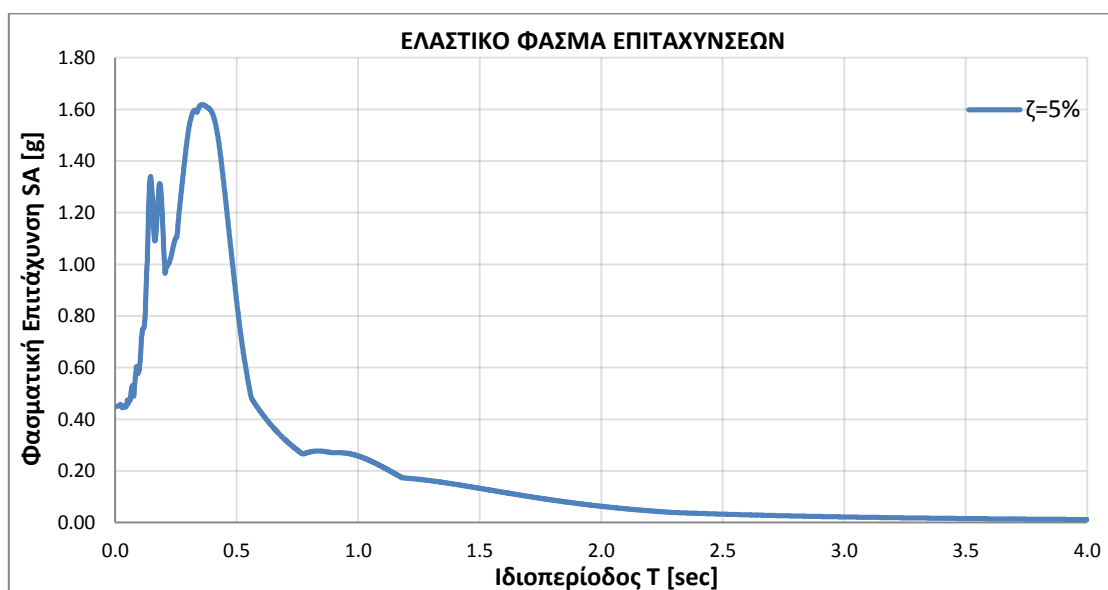
41

ΣΕΙΣΜΟΣ: Sierra Madre

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: SM1641altde000



Σχήμα 4.41 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 41



Σχήμα 4.41 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 41

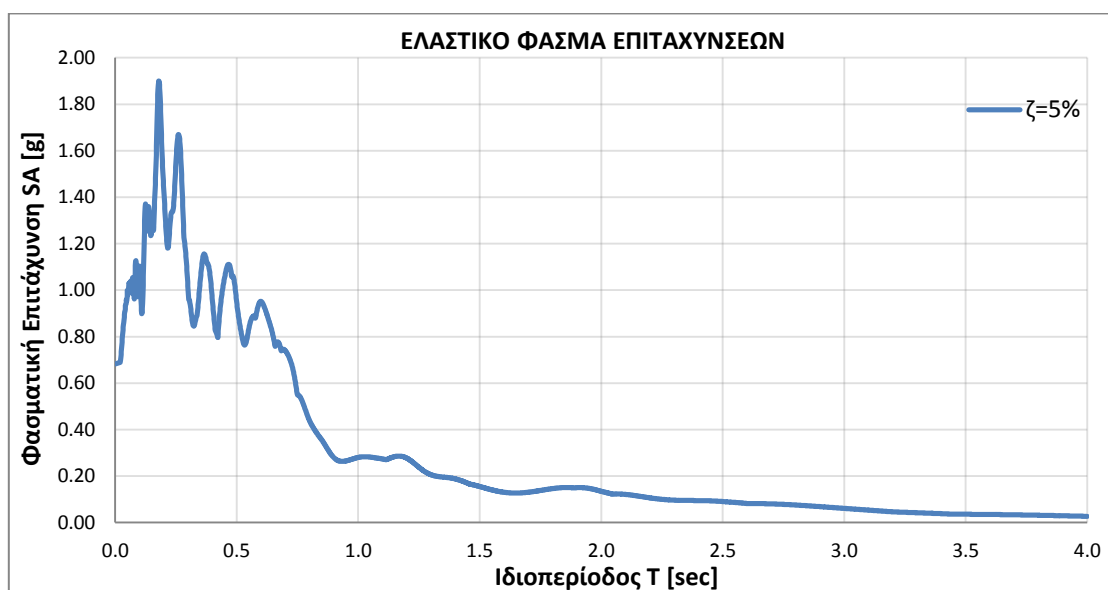
42

ΣΕΙΣΜΟΣ: Superstition Hills

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: SH727BSUP045



Σχήμα 4.42 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 42

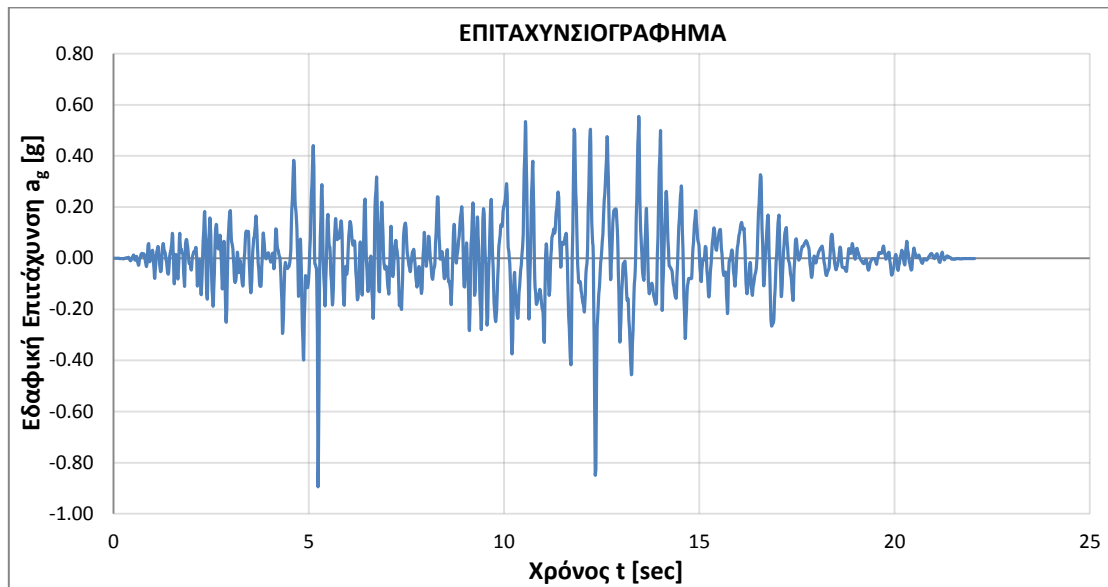


Σχήμα 4.42 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 42

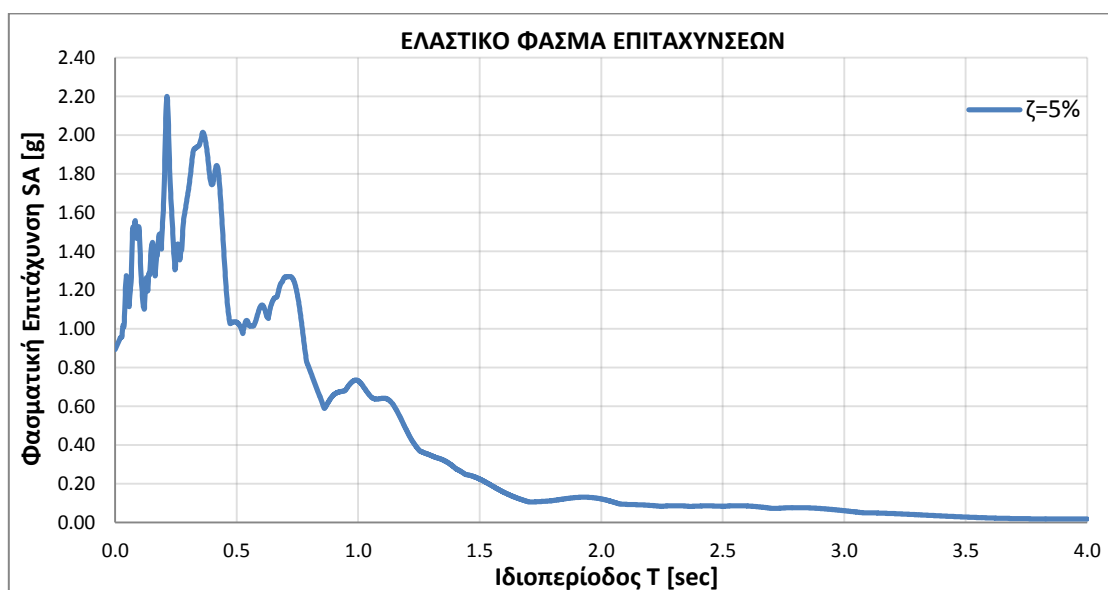
43

ΣΕΙΣΜΟΣ: Superstition Hills

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: SH727BSUP135



Σχήμα 4.43 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 43



Σχήμα 4.43 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 43

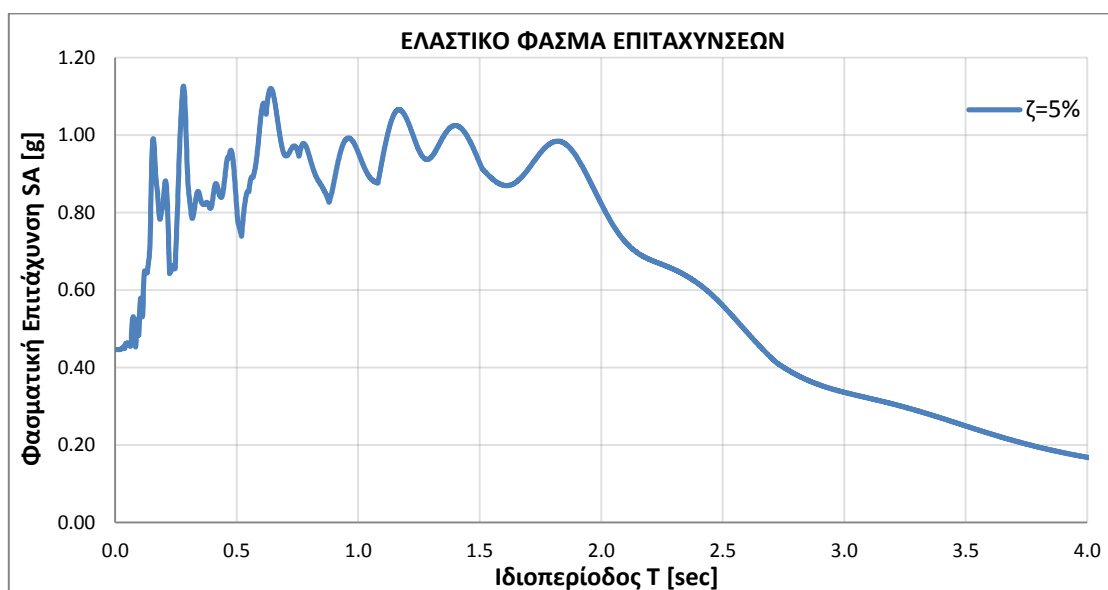
44

ΣΕΙΣΜΟΣ: Superstition Hills

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: SuperstitionHillsPTS225



Σχήμα 4.44 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 44

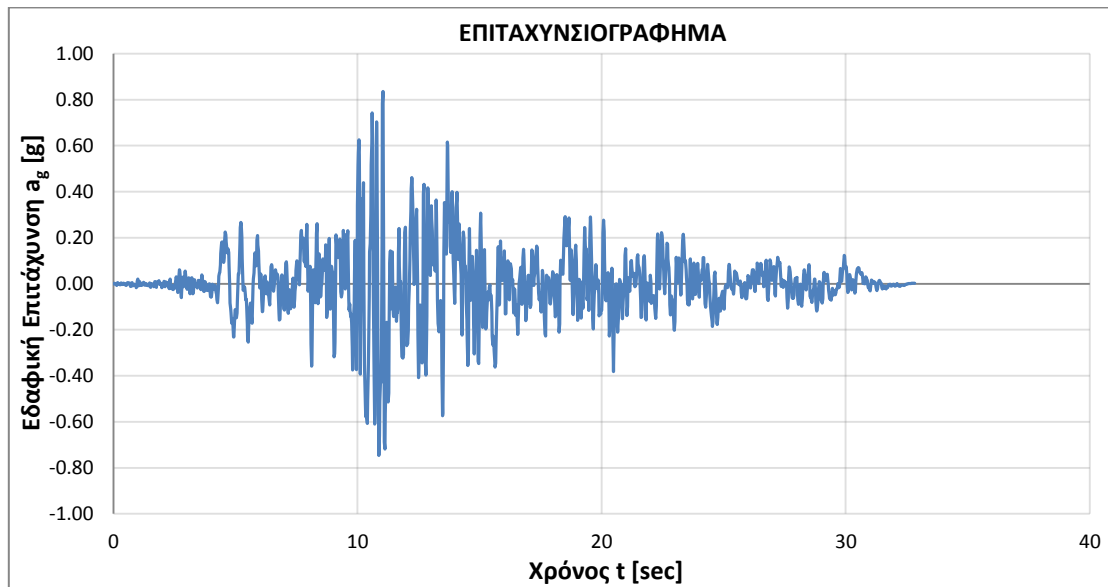


Σχήμα 4.44 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 44

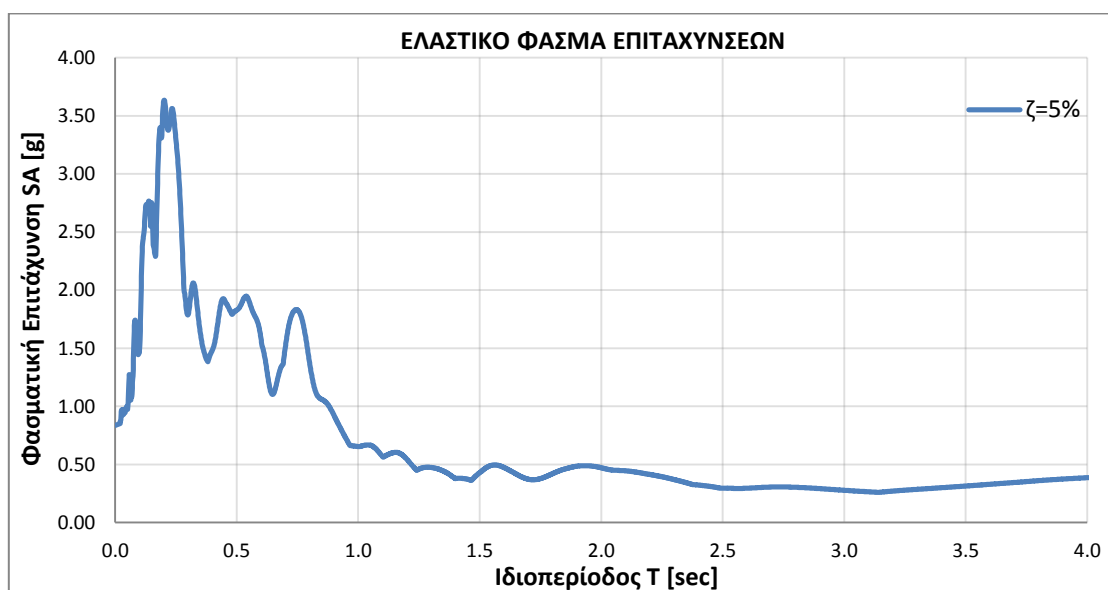
45

ΣΕΙΣΜΟΣ: Tabas

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: Tabas074



Σχήμα 4.45 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 45

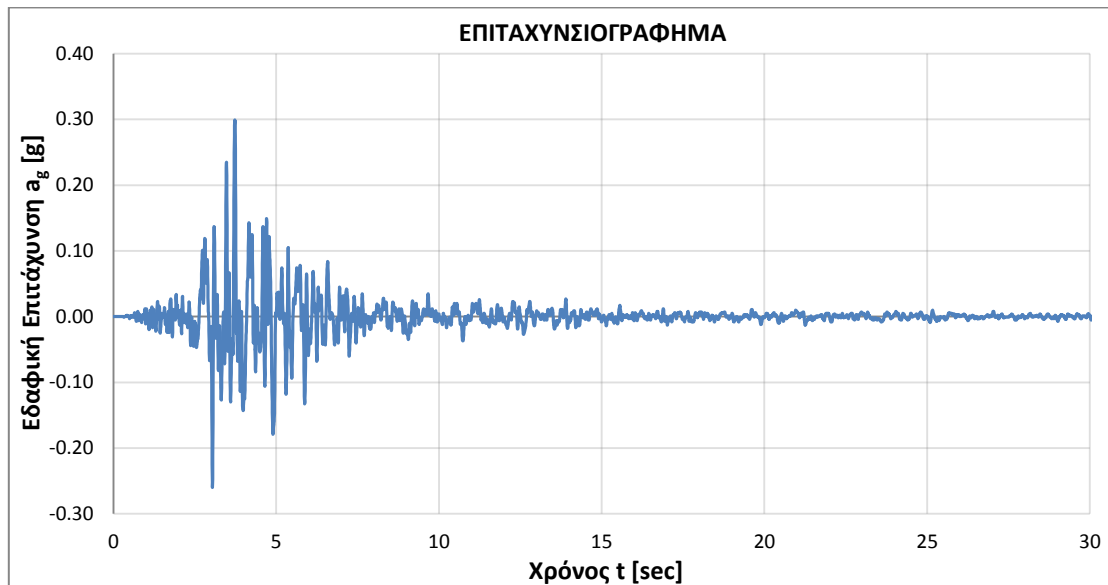


Σχήμα 4.45 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 45

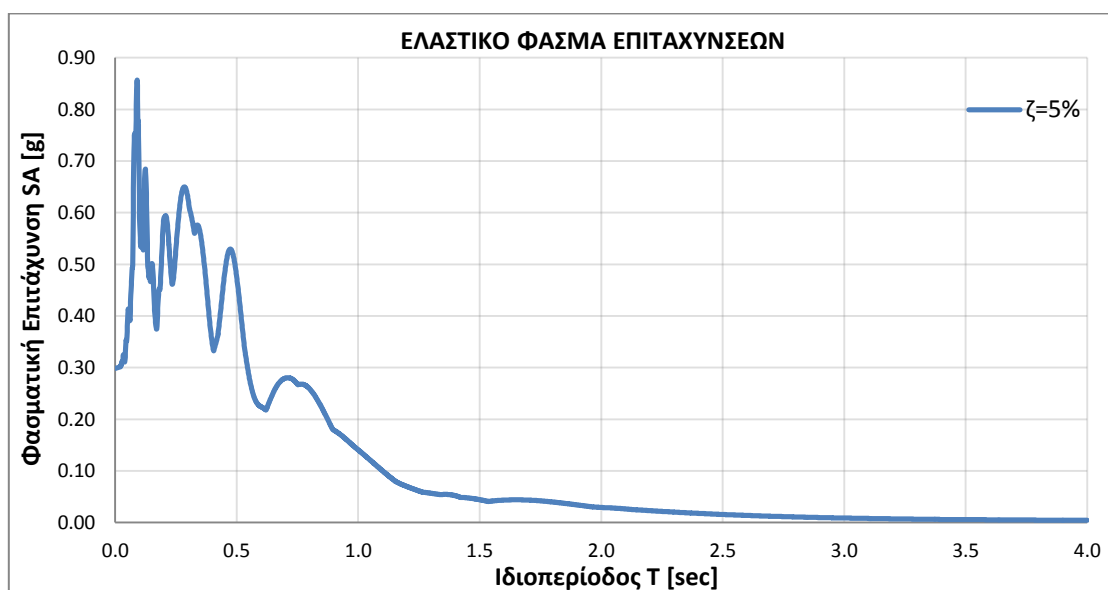
46

ΣΕΙΣΜΟΣ: Whittier Narrows

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ: WN590A-ALT000



Σχήμα 4.46 [α]: Επιταχυνσιογράφημα καταγραφής 46



Σχήμα 4.46 [β]: Ελαστικό Φάσμα Επιταχύνσεων καταγραφής 46

5. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΧΩΡΙΣ P-Δ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψιν τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως P-Δ στην απόκριση των κατασκευών. Η παραδοχή αυτή αποκλίνει από την πραγματικότητα όσο αυξάνεται το ύψος των κτηρίων και όταν οι κατασκευές παραμορφώνονται σημαντικά στην ανελαστική τους περιοχή, ωστόσο είναι ιδιαίτερος χρήσιμη για την κατανόηση των φαινομένων P-Δ και της ακρίβειας με την οποία ενσωματώνονται στο OpenSees. Οι αναλύσεις θα παρουσιαστούν για κάθε κατασκευή ξεχωριστά και η μεταξύ τους σύγκριση θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

5.2. ΤΡΙΩΡΟΦΟ

Η κατασκευή διαθέτει 9 ιδιομορφές των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 5.2.1.

Πίνακας 5.2.1: Ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]
1	0.6161
2	0.6100
3	0.4910
4	0.1812
5	0.1787
6	0.1582
7	0.0891
8	0.0866
9	0.0795

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5 και 7-8.

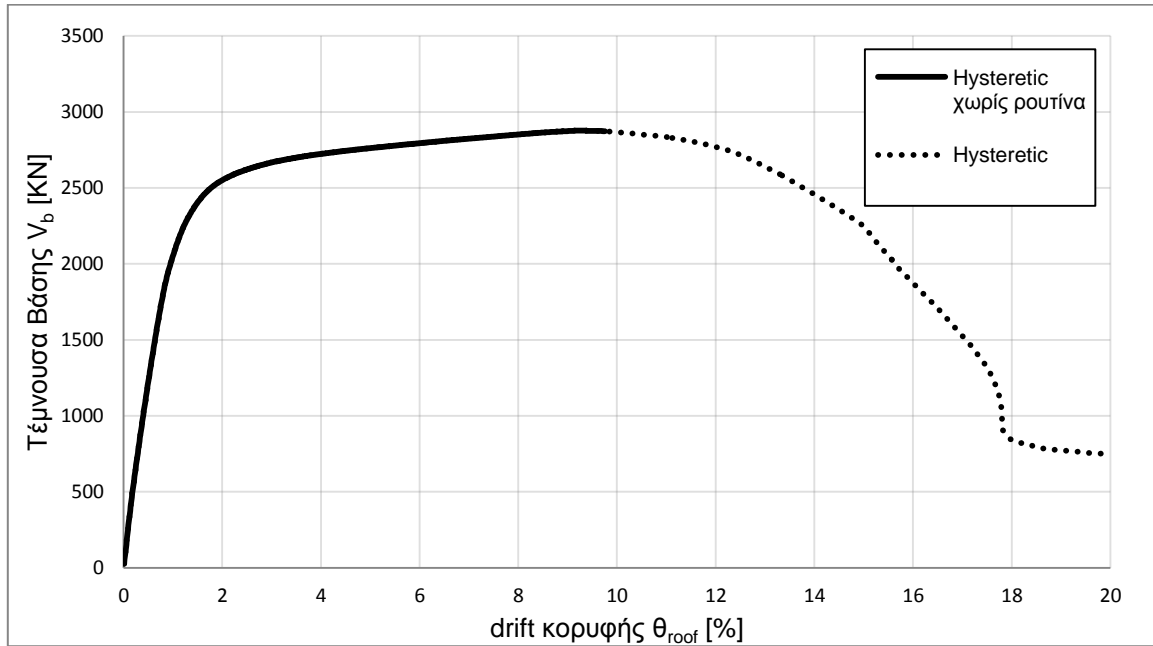
Για σεισμό κατά τη διεύθυνση X η ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι η 2^η και η επόμενη είναι η 5^η. Στη συνέχεια αυτές θα αναφέρονται ως 1^η και 2^η ιδιομορφή.

5.2.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ

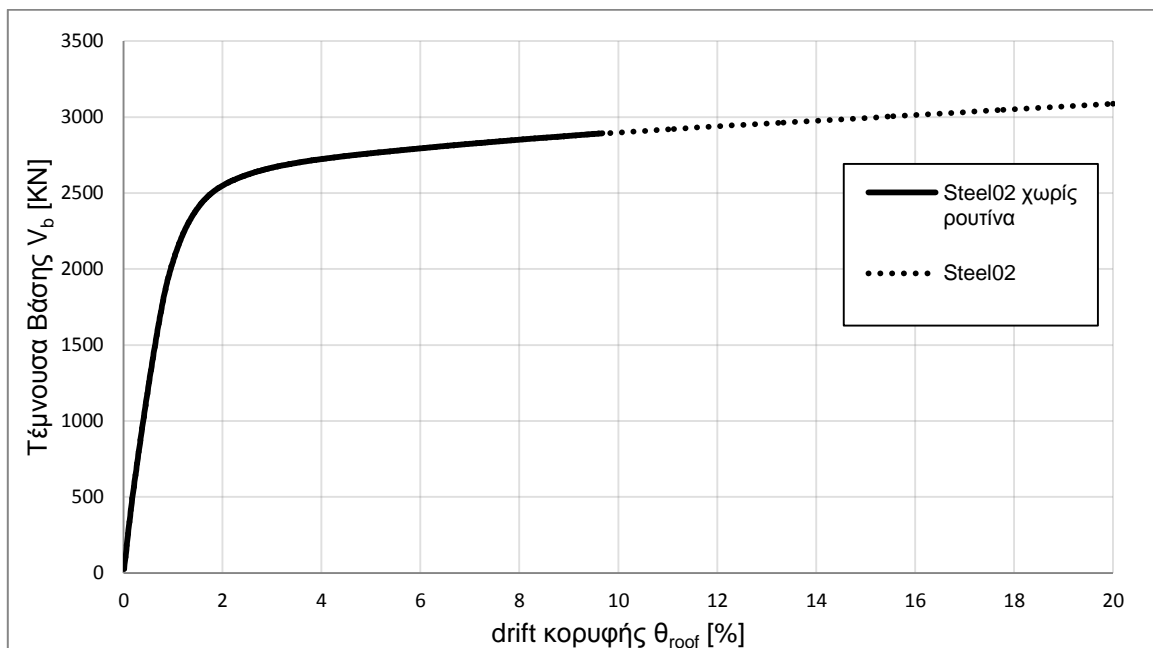
Στα πλαίσια της αναζήτησης του ιδανικότερου προσομοιώματος χάλυβα (αναλυτικότερη περιγραφή στο κεφάλαιο 3.2.2.2) σχεδιάστηκαν οι καμπύλες pushover για τα παρακάτω μοντέλα:

- **Hysteretic** (Σχήμα 5.2.1)
- **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 5.2.2)

Οι αναλύσεις pushover πραγματοποιήθηκαν με και χωρίς τη χρήση της ρουτίνας σύγκλισης που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.

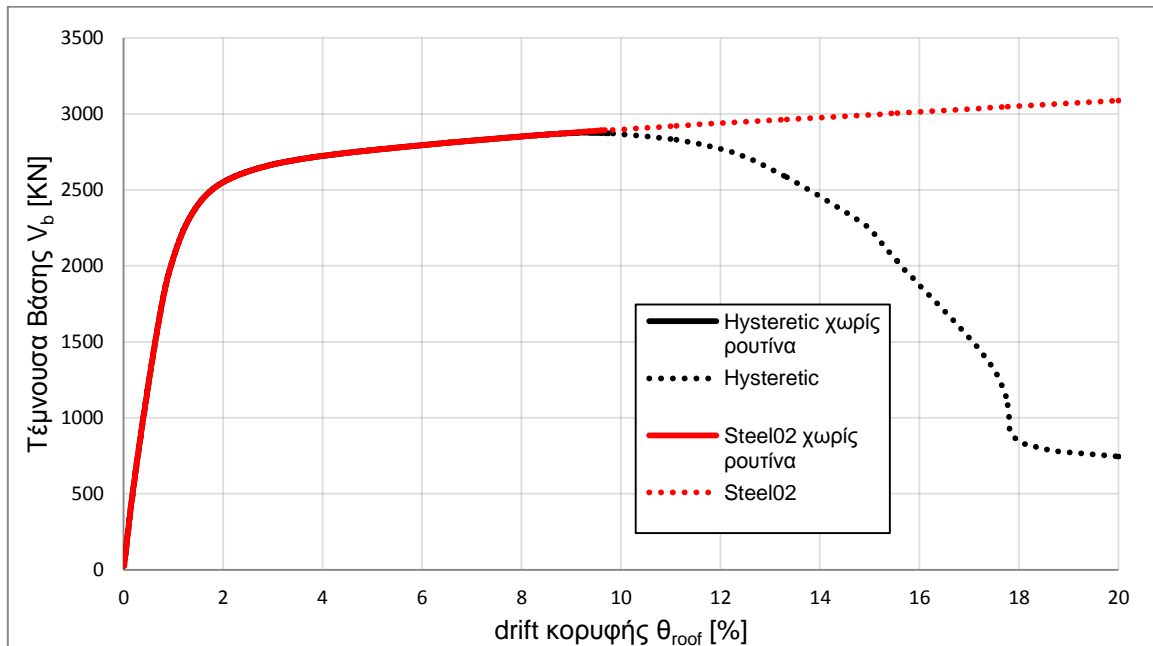


Σχήμα 5.2.1: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic



Σχήμα 5.2.2: Καμπύλες pushover για χάλυβα Steel02

Παρατηρούμε πως με το Steel02 η καμπύλη φτάνει σε πολύ μεγάλες τιμές drift (μεγαλύτερες του 20%) χωρίς να παρουσιάσει το αναμενόμενο πλατό. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην αδυναμία του μοντέλου να αποτυπώσει την πτώση των αντοχών του χάλυβα μετά το σημείο μέγιστης αντοχής f_u , μέχρι το οποίο άλλωστε συμπίπτει με το μοντέλο Hysteretic. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από το Σχήμα 5.2.3 αφού παρατηρούμε πως οι καμπύλες ταυτίζονται έως του σημείου μέγιστης τέμνουσας (drift 9.2%) του χάλυβα Hysteretic.



Σχήμα 5.2.3: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02

Η καμπύλη pushover του μοντέλου Hysteretic διαθέτει αυξανόμενο, περίπου σταθερό και πτωτικό κλάδο και ως εκ τούτου προσεγγίζει καλύτερα τη θεωρητική μορφή της καμπύλης. Είναι εύλογο λοιπόν οι επόμενες αναλύσεις να χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο.

Τέλος είναι προφανές ότι η ολοκληρωμένη μορφή της καμπύλης οφείλεται στη ρουτίνα σύγκλισης και πως η χρήση της είναι αναγκαία για τις επόμενες αναλύσεις.

5.2.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ

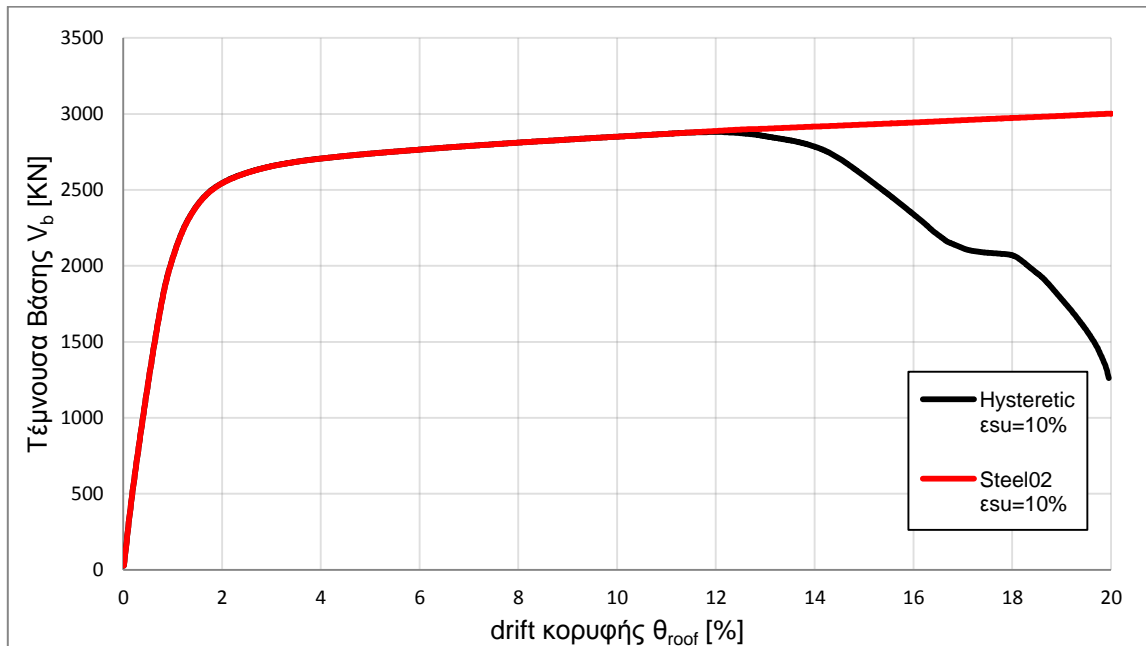
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.2.2.2 η επιμήκυνση ϵ_u του χάλυβα στο μέγιστο φορτίο έχει ληφθεί ίση με την χαρακτηριστική και έχει τιμή:

$$\epsilon_u = 7.5\%$$

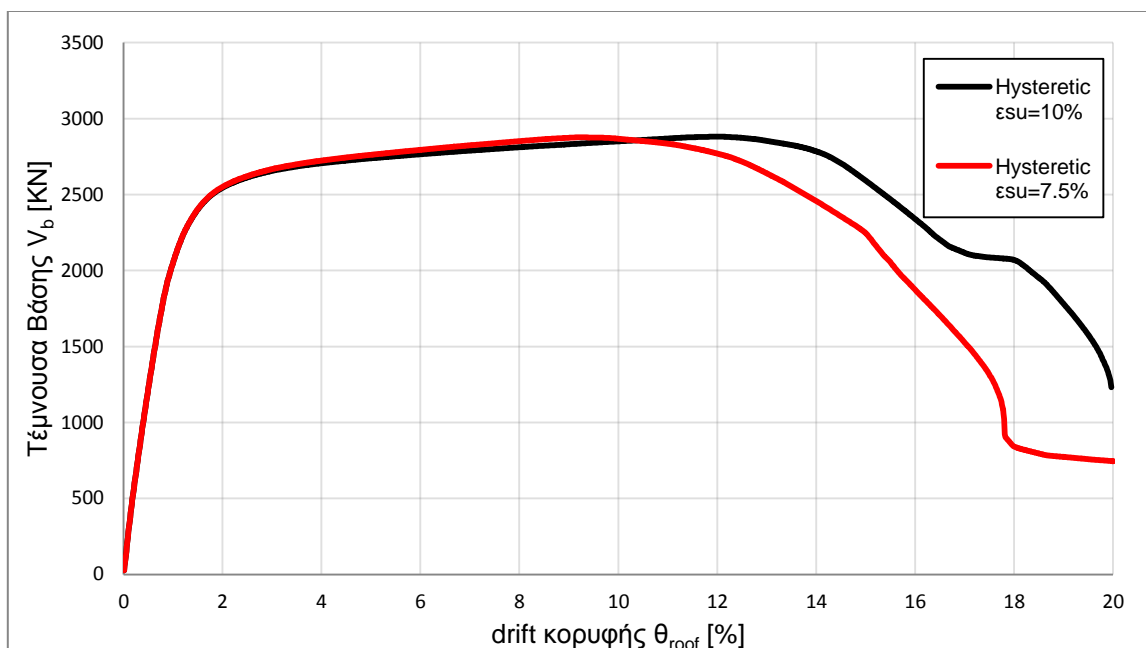
Για να εξετάσουμε την επίδραση του χάλυβα στις αντοχές της κατασκευής δοκιμάζουμε παραμόρφωση με τιμή 20-30% μεγαλύτερη της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για λόγους απλότητας θεωρούμε αντοχή μεγαλύτερη κατά 33% δηλαδή:

$$\epsilon_u = 10.0\%$$

Στο Σχήμα 5.2.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες pushover για μοντέλο χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$ ενώ στο Σχήμα 5.2.5 γίνεται σύγκριση του χάλυβα Hysteretic για τις δύο τιμές παραμόρφωσης ϵ_u .



Σχήμα 5.2.4: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$



Σχήμα 5.2.5: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic με $\epsilon_u = 7.5\%$ και 10.0%

Οι δύο καμπύλες αρχίζουν να διαφοροποιούνται αισθητά όταν η καμπύλη για $\epsilon_u = 7.5\%$ περάσει στον πτωτικό κλάδο. Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί στα κρίσιμα μέλη ο χάλυβας πέρασε τη θέση μέγιστης αντοχής. Επίσης το γεγονός ότι στον περίπου σταθερό κλάδο η καμπύλη 7.5% δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές από αυτήν για 10% φαίνεται να επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση δεδομένης της μεγαλύτερης κλίσης του κρατυνόμενου κλάδου.

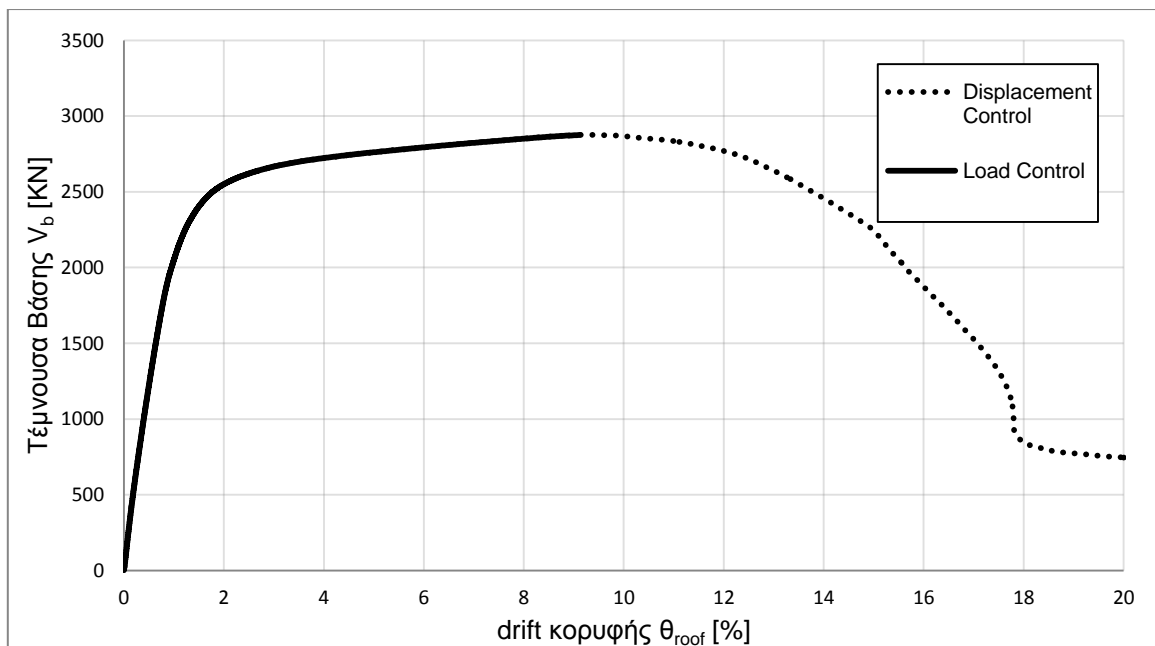
Η μετακίνηση μέγιστης αντοχής της καμπύλης 10% συναντάται λίγο μετά από αυτήν για 7.5% ενώ η τιμή της μέγιστης αντοχής είναι πρακτικά η ίδια. Επομένως, η καμπύλη pushover επί της ουσίας δεν επηρεάζεται από την επιλογή της επιμήκυνσης ϵ_u .

5.2.3. LOADCONTROL PUSHOVER

Η ανάλυση pushover εξ' αρχής πραγματοποιήθηκε με δεδομένο ότι σε κάθε βήμα θα καταγράφεται συγκεκριμένη μετακίνηση κορυφής, ούτως ώστε να αποτυπωθεί ο πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η μορφή αυτή πράγματι καταγράφεται, επομένως η επιλογή που έγινε φαίνεται σε πρώτο βαθμό να είναι επιτυχημένη. Για να επιβεβαιωθεί όμως ότι δεν εμφανίζονται τυχόν αριθμητικά προβλήματα, πραγματοποιείται ανάλυση με σταθερά αυξανόμενα φορτία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι:

integrator LoadControl

Στο Σχήμα 5.2.6 δίνονται οι καμπύλες pushover για τα δύο είδη αναλύσεων.



Σχήμα 5.2.6: Καμπύλες pushover για σταθερό βήμα μετακίνησης και φορτίου

Όπως είχε προβλεφθεί, η Load Control ανάλυση δεν αποτυπώνει τη πτώση των αντοχών καθώς σταματάει στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας. Το βασικότερο όμως είναι ότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται για όσο συνυπάρχουν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάλυση με έλεγχο μετατοπίσεων είναι επιτυχημένη.

5.2.4. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ

Προκειμένου να κατασκευαστεί το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου πρέπει, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1, να υπολογιστούν:

- η μάζα m^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος [ton]
- ο συντελεστής συμμετοχής Γ
- το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής

Χρησιμοποιώντας την κατανομή των φορτίων με την οποία πραγματοποιήθηκε η pushover, δηλαδή την τριγωνική, προκύπτουν οι εξής συντελεστές:

Πίνακας 5.2.2: Συντελεστές Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

m^*	259.62
Γ	1.295
α	0.856

Στη συνέχεια εντοπίζεται η μετακίνηση για την οποία θεωρείται ότι έχει σχηματιστεί μηχανισμός και πέραν αυτής η καμπύλη αντίστασης παύει να περιγράφει σωστά τη κατασκευή. Λόγω της μορφής της καμπύλης η μετακίνηση αυτή δεν είναι προφανής. Μια πρώτη εκτίμηση θα ήταν η θέση μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο με αυτή την επιλογή παραλείπεται ένα μικρό τμήμα για το οποίο η κατασκευή συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία χωρίς ιδιαίτερη πτώση αντοχών. Αναζητείται λοιπόν μια τιμή στην οποία έχει αρχίσει να εμφανίζεται ο πτωτικός κλάδος χωρίς όμως αυτός να είναι μεγάλος.

Οι τιμές στις οποίες καταλήξαμε είναι οι:

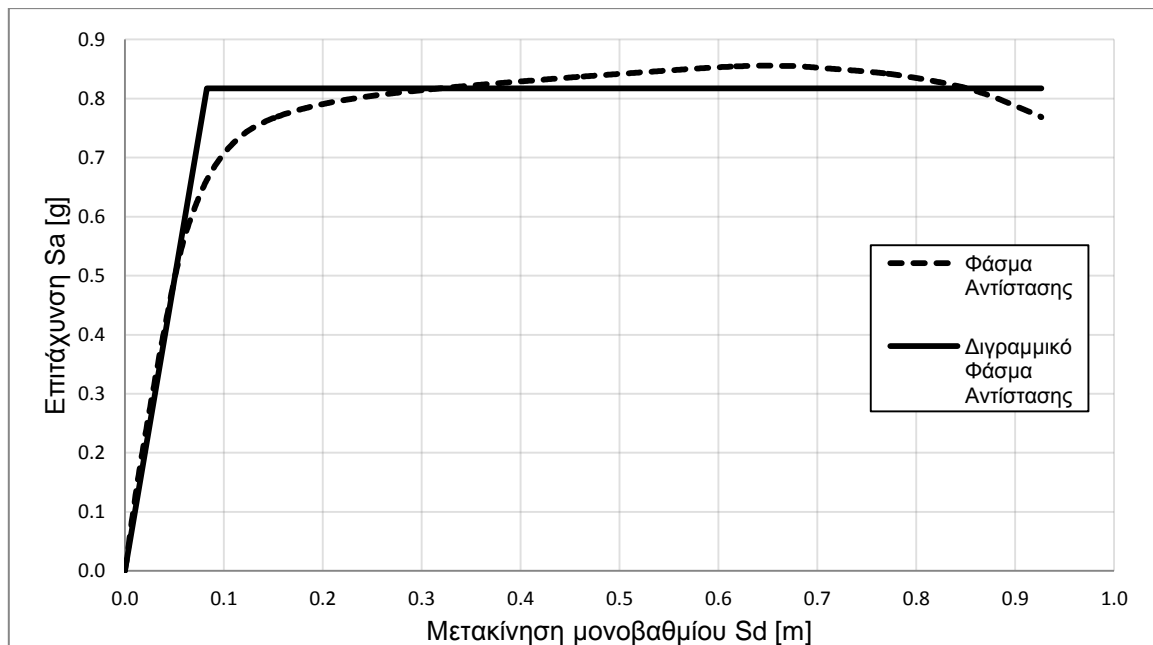
- $d_{max} = 1.0 \text{ m (drift 11.1\%)}$
- $d_{max} = 1.1 \text{ m (drift 12.2\%)}$
- $d_{max} = 1.2 \text{ m (drift 13.3\%)}$

Πίνακας 5.2.3: Στοιχεία διγραμμικού φάσματος αντίστασης

	d_{max}		
	1.0	1.1	1.2
T^* [sec]	0.633	0.633	0.633
Say [g]	0.818	0.820	0.817
Sdy [m]	0.083	0.083	0.083
Sdu [m]	0.772	0.850	0.927

Οι διαφορές στις τιμές της ιδιοπεριόδου T^* , της επιτάχυνσης διαρροής Say και της μετακίνησης διαρροής Sdy του διγραμμικού φάσματος αντίστασης είναι αμελητέες (διαφορά του 3^{ου} δεκαδικού) με αποτέλεσμα οι τρεις λύσεις να είναι ισοδύναμες. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή $d_{max} = 1.2$ m (drift 13.3%) ως (πλασματική) μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου και το αντίστοιχο διγραμμικό δίνονται στο Σχήμα 5.2.7:



Σχήμα 5.2.7: Φάσμα Αντίστασης Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

5.2.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER

Από το ισοδύναμο μονοβάθμιο και τη θεωρητική (τριγωνική) κατανομή των φορτίων προκύπτει μετακίνηση του ορόφου i ίση με:

$$d_i = S_d \cdot \Gamma \cdot \varphi_i = \frac{d_{top} \cdot \varphi_i}{\varphi_{top}}$$

Θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικές τις κατανομές στη μετακίνηση μέγιστης αντοχής d_{Vmax} και στη μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης d_{max} που υπολογίστηκε προηγουμένως, κατασκευάζονται οι παρακάτω πίνακες.

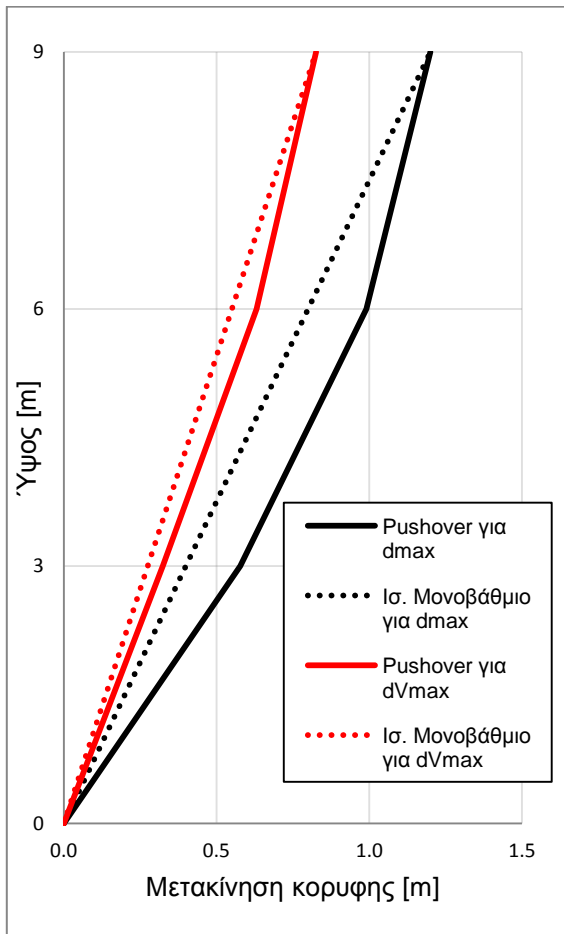
Πίνακας 5.2.4: Κατανομή μετακινήσεων για d_{max}

	d_{max} 1.200		Διαφορά (%)
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	
Όροφος 1	0.577	0.400	44.34
Όροφος 2	0.991	0.800	23.82
Όροφος 3	1.200	1.200	0.00

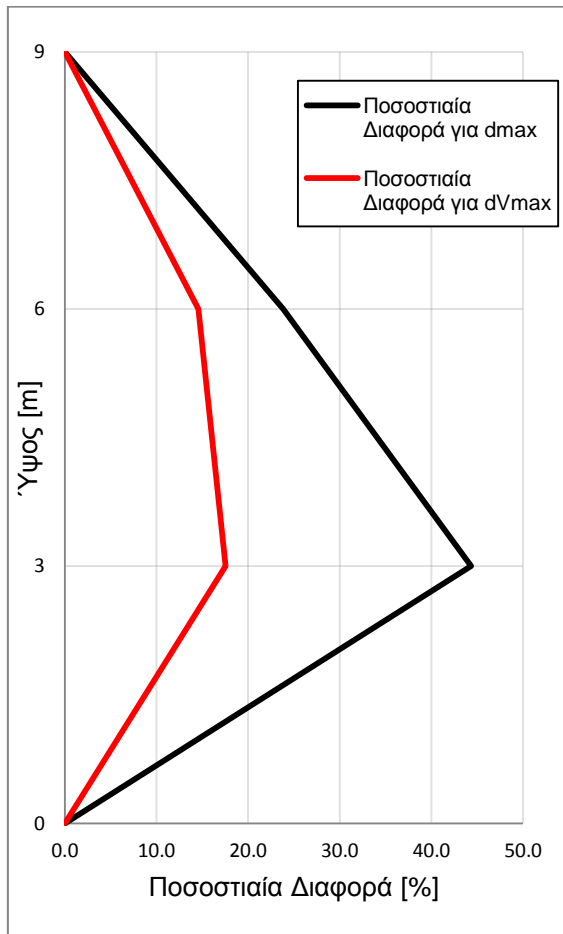
Πίνακας 5.2.5: Κατανομή μετακινήσεων για d_{Vmax}

	d_{Vmax} 0.826		Διαφορά (%)
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	
Όροφος 1	0.324	0.275	17.53
Όροφος 2	0.631	0.551	14.56
Όροφος 3	0.826	0.826	0.00

Τα Σχήματα 5.2.8 και 5.2.9 αποτυπώνουν τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις σε σύγκριση με τις ιδεατές της τριγωνικής κατανομής καθώς και τις ποσοστιαίες διαφορές τους.



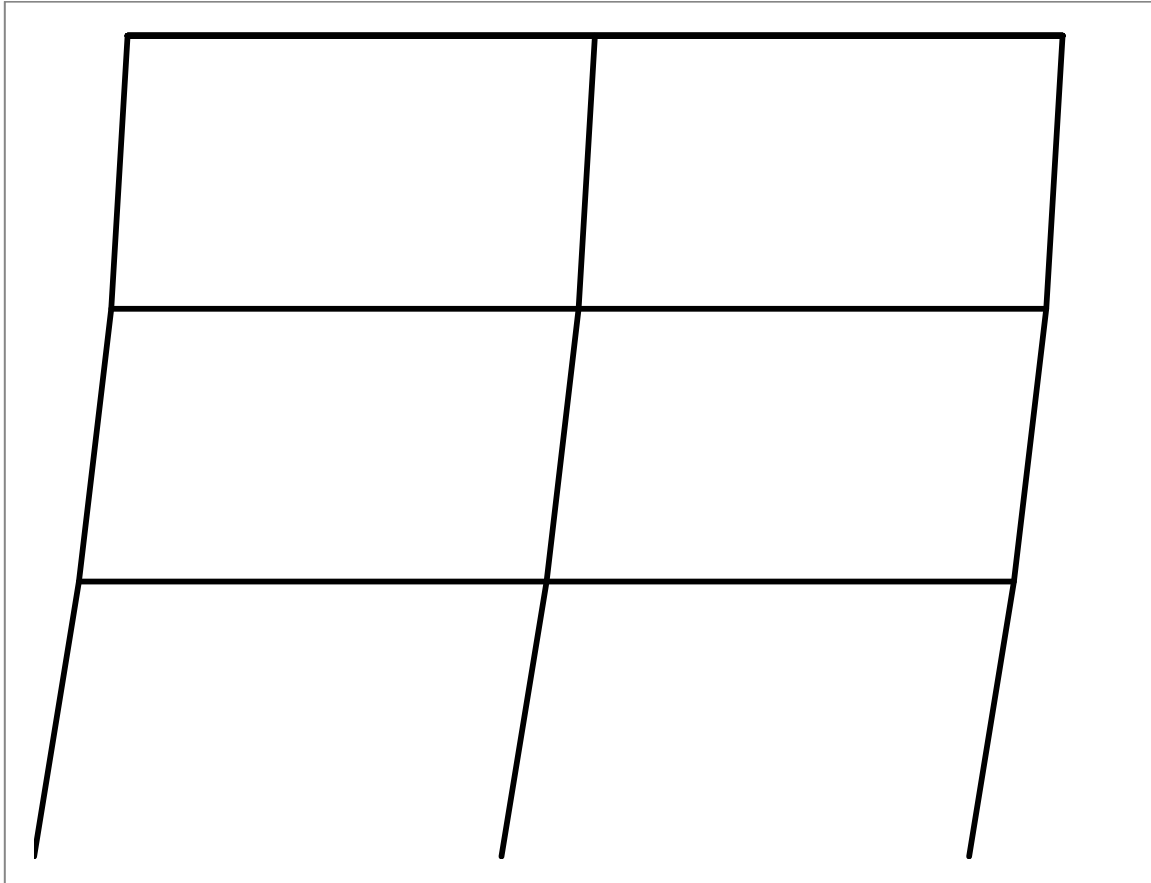
Σχήμα 5.2.8: Κατανομή μετακινήσεων



Σχήμα 5.2.9: Κατανομή Ποσοσטיών Διαφορών

Είναι προφανές πως για μετακίνηση κορυφής d_{Vmax} η κατανομή των μετακινήσεων προσεγγίζει την ιδεατή περισσότερο απ' ό τι για μετακίνηση d_{max} . Αυτό είναι λογικό καθώς η γραμμική κατανομή ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ελαστικό τμήμα των παραμορφώσεων, στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα αστοχίες μελών. Η θέση μέγιστης αντοχής, παρόλο που βρίσκεται βαθιά μέσα στο ανελαστικό τμήμα απόκρισης, δεν εμφανίζει τόσες βλάβες όπως στη θέση d_{max} και ο μηχανισμός κατάρρευσης δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί με αποτέλεσμα η κατανομή των μετακινήσεων να είναι πλησιέστερα στη θεωρητική.

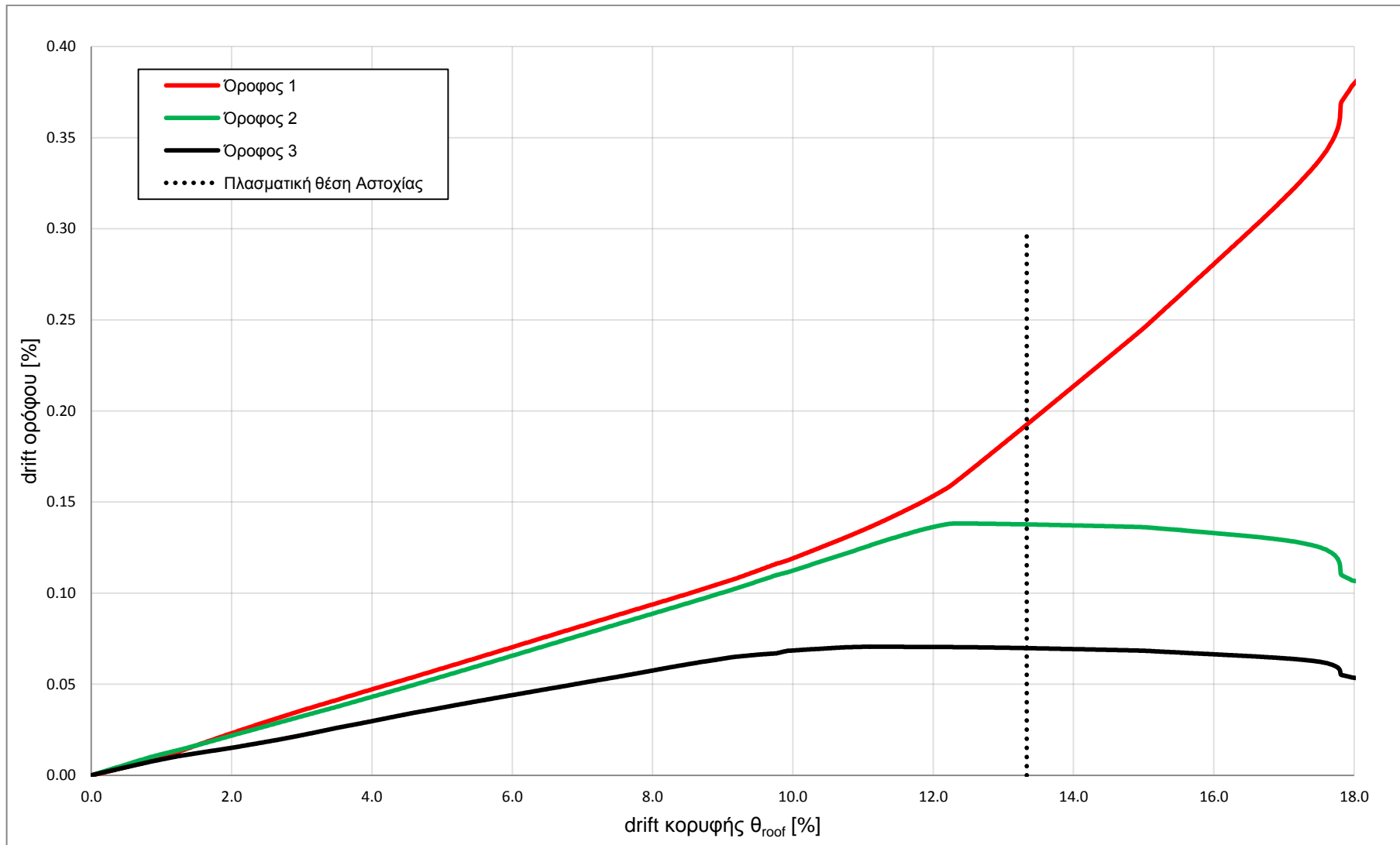
Στο Σχήμα 5.2.10 παρουσιάζεται ο φορέας στην παραμορφωμένη κατάσταση για μετακίνηση κορυφής d_{max} .



Σχήμα 5.2.10: Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα για μετακίνηση κορυφής d_{max}

Είναι φανερό πως οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων μειώνονται καθ' ύψος πλησιάζοντας έτσι την παραβολική κατανομή που δίνουν οι αμιγώς πλαισιωτοί φορείς.

Καταγράφοντας την εξέλιξη του drift κάθε ορόφου (Σχήμα 5.2.11) μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι όροφοι 1 και 2 εμφανίζουν κοινά drift για μεγάλο διάστημα με αποτέλεσμα οι παραμορφώσεις να συγκεντρώνονται στο τέλος του 2^{ου} ορόφου. Ωστόσο, λίγο πριν τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας το drift του 2^{ου} σταματάει να αυξάνεται σε αντίθεση με του 1^{ου}, γεγονός που μαρτυρά ότι η κατάρρευση επέρχεται λόγω **μηχανισμού ορόφου στον 1^ο όροφο**.



Σχήμα 5.2.11: drift ορόφων συναρτήσει του ολικού drift

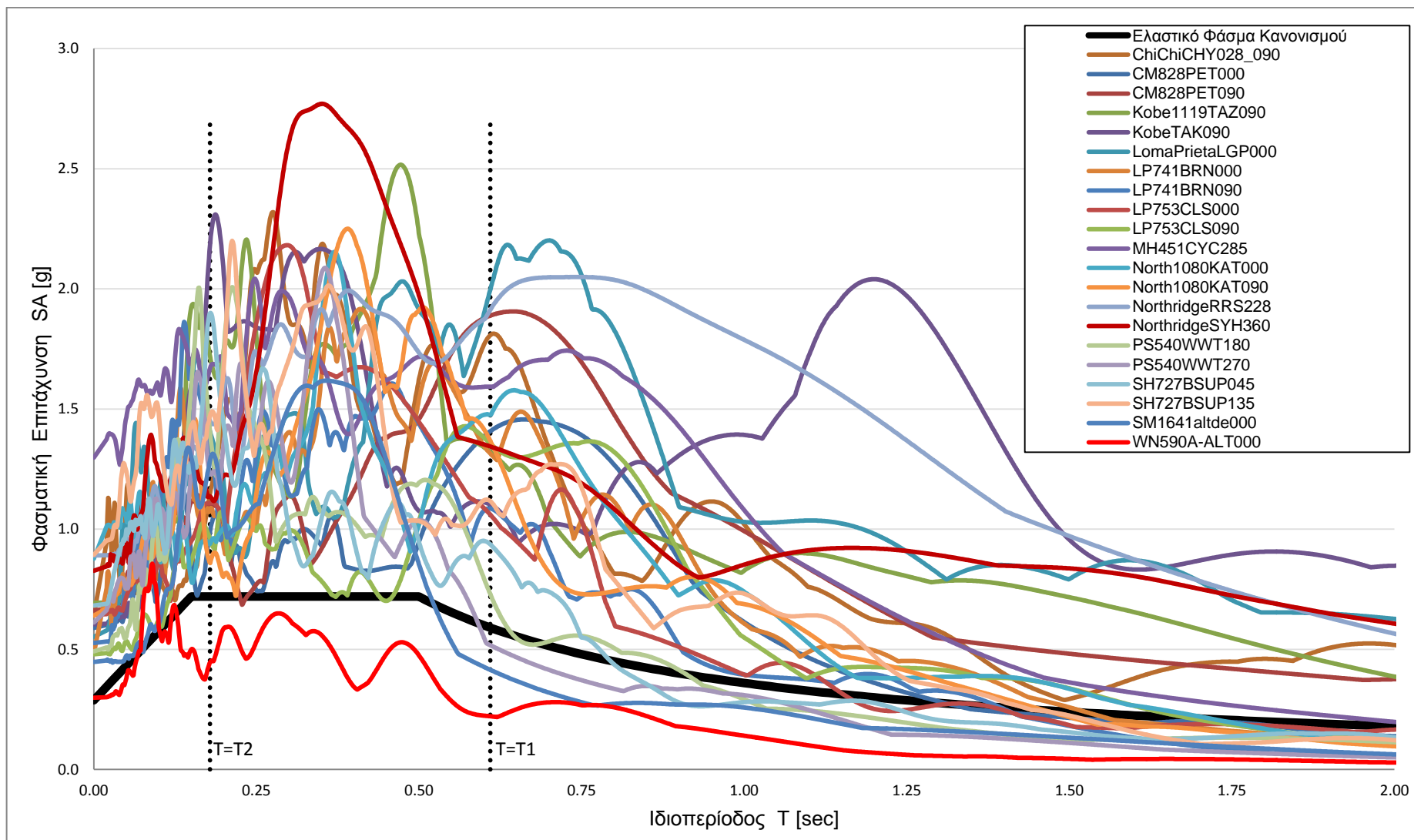
5.2.6. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής δίνονται στον Πίνακα 5.2.6 ενώ περισσότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 5.2.6: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Καταγραφή
1	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET000
2	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET090
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	CHY028	ChiChiCHY028_090
4	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090
5	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090
6	Loma Prieta	18/10/89	Los Gatos Presentation Center	LomaPrietaLGP000
7	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN000
8	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN090
9	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS000
10	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS090
11	Morgan Hill	24/04/84	Coyote Lake Dam (SW Abut)	MH451CYC285
12	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT180
13	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT270
14	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT000
15	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT090
16	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228
17	Northridge	17/01/94	Sylmar Country Hospital	NorthridgeSYH360
18	Sierra Madre	28/06/91	Altadena-Eaton Canyon	SM1641altde000
19	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP045
20	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP135
21	Whittier Narrows	01/10/87	Altadena-Eaton Canyon	WN590A-ALT000

Στο Σχήμα 5.2.12 έχουν σχεδιαστεί τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των καταγραφών και το φάσμα σχεδιασμού. Η καταλληλότητα των επιλεγμένων σεισμών φαίνεται από το πλήθος των φασμάτων που για τις τιμές των ιδιοπεριόδων T_1 και T_2 υπερβαίνουν τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.



Σχήμα 5.2.12: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων για απόσβεση $\zeta=5\%$

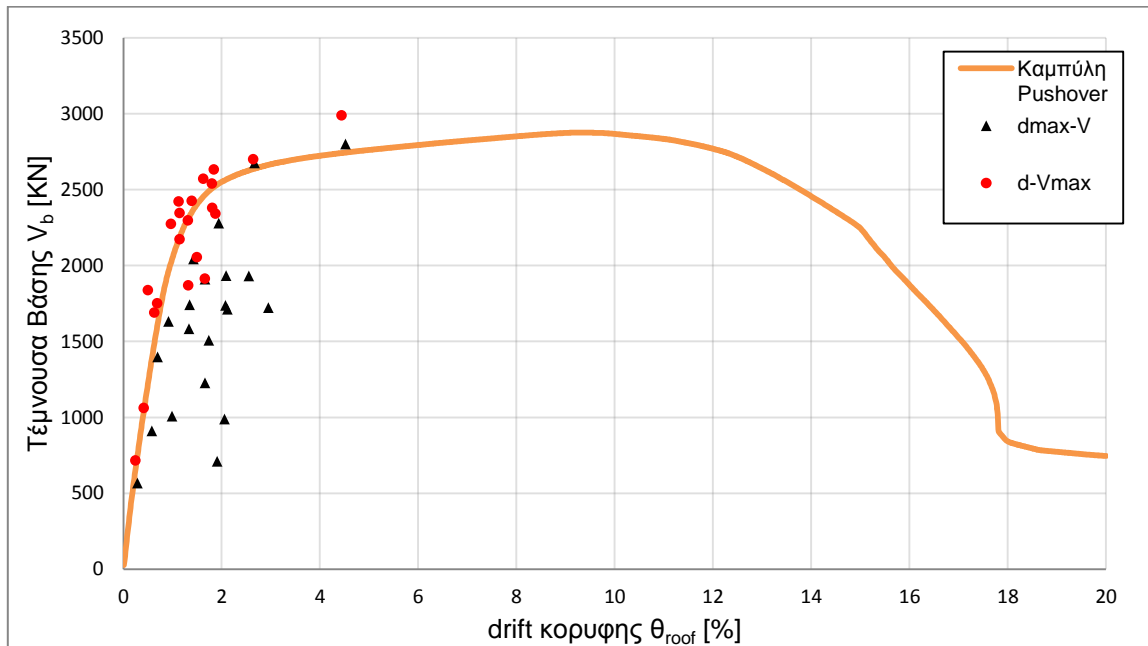
5.2.7. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{Vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.2.7.

Πίνακας 5.2.7: Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις κορυφής και τέμνουσες βάσης

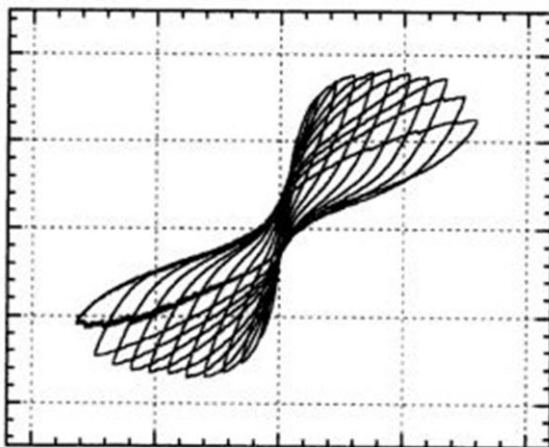
		d_{max} [m]	V_{dmax} [KN]	d_{Vmax} [m]	V_{max} [KN]
ChiChiCHY028_090	scale 1.0	0.129	2043.4	0.126	2425.5
CM828PET000	scale 1.0	0.187	1738.1	0.147	2571.4
CM828PET090	scale 1.0	0.230	1931.5	0.166	2633.1
Kobe1119TAZ090	scale 1.0	0.172	710.5	0.163	2378.9
KobeTAK090	scale 1.0	0.265	1723.3	0.119	2297.6
LomaPrietaLGP000	scale 1.0	0.190	1713.0	0.103	2346.0
LP741BRN000	scale 1.0	0.157	1507.5	0.103	2172.2
LP741BRN090	scale 1.0	0.121	1742.0	0.119	1869.5
LP753CLS000	scale 1.0	0.120	1584.3	0.088	2273.0
LP753CLS090	scale 1.0	0.185	989.1	0.163	2540.3
MH451CYC285	scale 1.0	0.240	2676.8	0.238	2700.1
North1080KAT000	scale 1.0	0.188	1934.0	0.101	2420.8
North1080KAT090	scale 1.0	0.150	1910.4	0.150	1914.2
NorthridgeRRS228	scale 1.0	0.407	2800.0	0.400	2988.4
NorthridgeSYH360	scale 1.0	0.175	2280.6	0.169	2341.3
PS540WWT180	scale 1.0	0.083	1633.1	0.057	1689.8
PS540WWT270	scale 1.0	0.063	1397.8	0.045	1838.1
SH727BSUP045	scale 1.0	0.089	1008.5	0.062	1751.5
SH727BSUP135	scale 1.0	0.149	1227.7	0.135	2055.3
SM1641altde000	scale 1.0	0.052	912.1	0.037	1061.3
WN590A-ALT000	scale 1.0	0.026	568.5	0.022	715.7

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την pushover προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (Σχήμα 5.2.13).



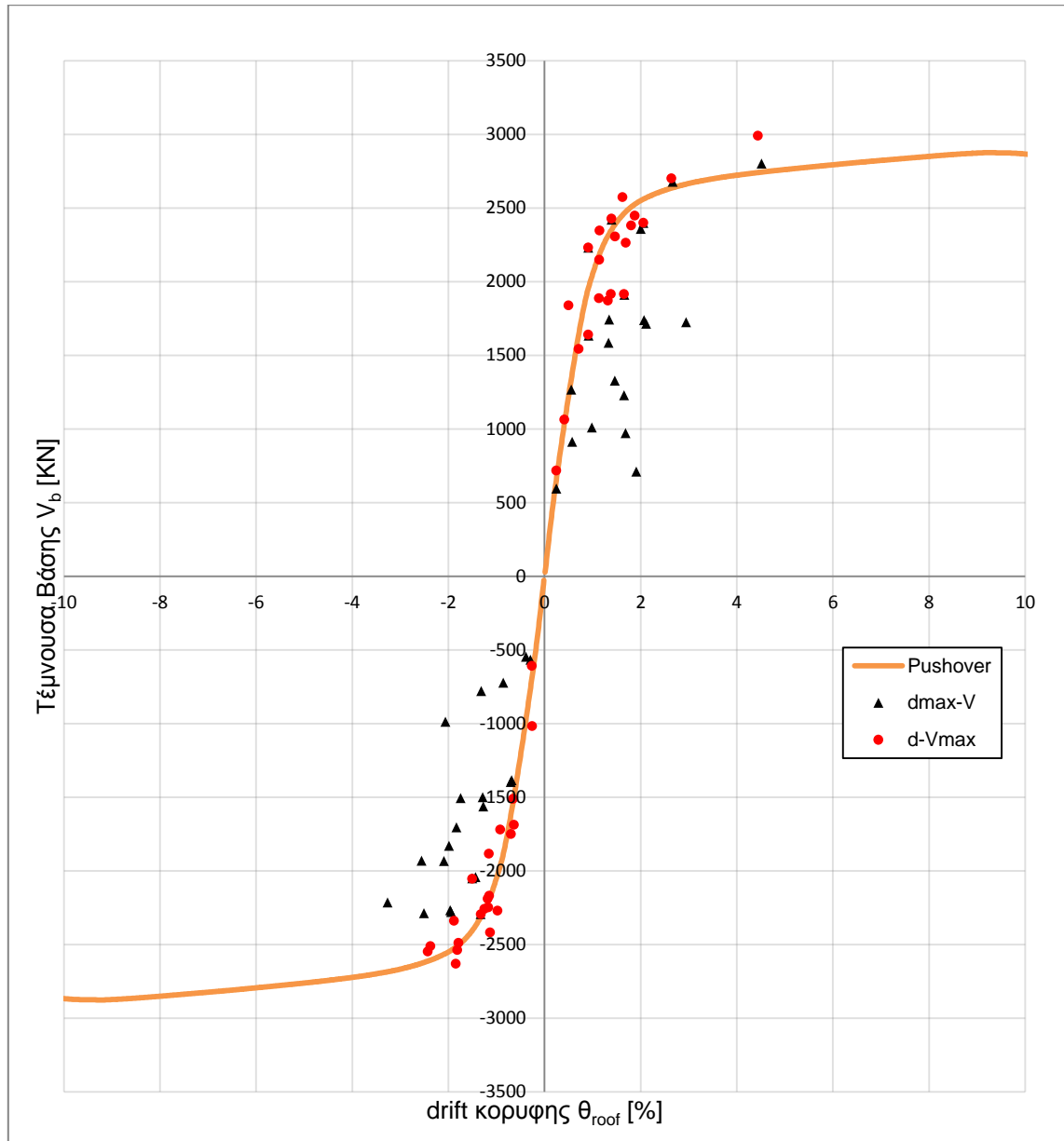
Σχήμα 5.2.13: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

Όπως διαπιστώνεται, οι περισσότεροι σεισμοί καταπονούν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή ή στα όρια αυτής, ελάχιστοι όμως την ωθούν βαθιά μέσα στην ανελαστική περιοχή. Είναι προφανές ότι τα σημεία μέγιστης τέμνουσας προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την καμπύλη pushover κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει με τα σημεία μέγιστης μετακίνησης. Για να επιβεβαιωθεί η ορθότητα αυτού του ισχυρισμού σχεδιάζονται τα ζεύγη και προς τις δύο κατευθύνσεις παραμόρφωσης (Σχήμα 5.2.15) δίνοντας έτσι τις πραγματικές κατανομές. Στο νέο σχήμα οι αποκλίσεις μειώνονται, ωστόσο παραμένουν σημαντικές.



Σχήμα 5.2.14: Θεωρητική μορφή δυναμικής απόκρισης

Λόγω της σταδιακής πτώσης της δυσκαμψίας η θεωρητική μορφή της καμπύλης τέμνουσας-μετακίνησης κορυφής είναι αυτή του Σχήματος 5.2.14 και υποδηλώνει ότι τα σημεία μέγιστης μετακίνησης θα έπρεπε να εντοπίζονται κοντά στον πτωτικό κλάδο της pushover ή έστω στο πλατό.



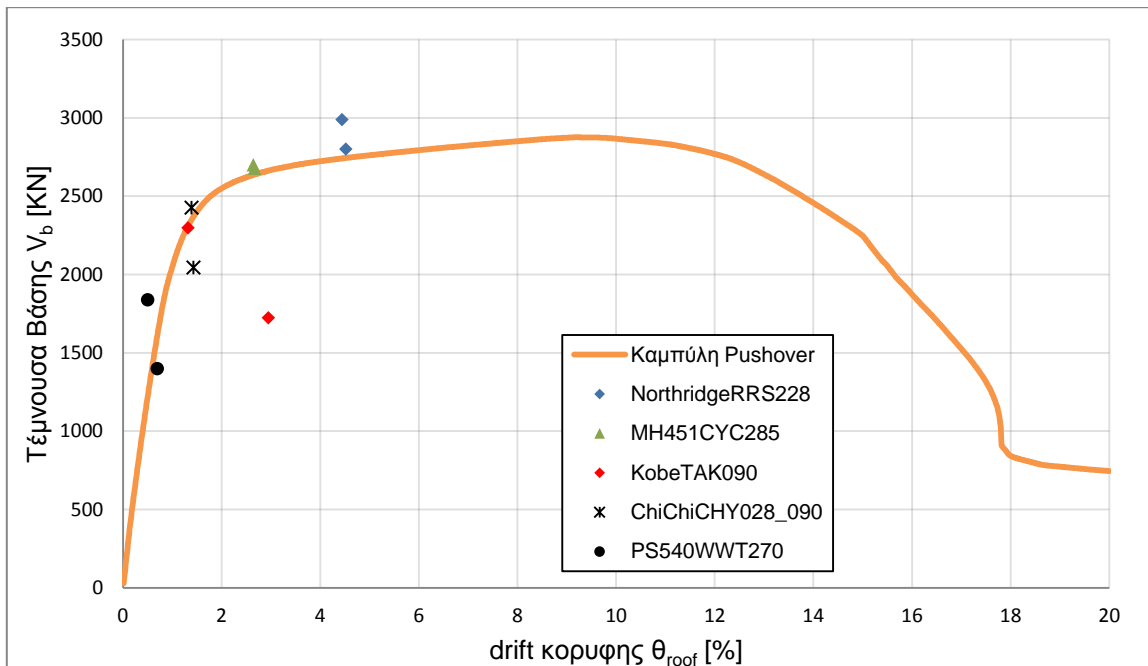
Σχήμα 5.2.15: Ζεύγη (d_{max}, V_{dmax}) και (d_{Vmax}, V_{max}) επί της καμπύλης pushover

5.2.8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη pushover προσεγγίζει περισσότερο τα σημεία μέγιστης τέμνουσας παρά μετακίνησης. Προκειμένου να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για τους λόγους αυτής της διαφοροποίησης, θα εξεταστεί η κατανομή των μετακινήσεων για ορισμένες καταγραφές και της pushover για ίδια μετακίνηση κορυφής. Οι καταγραφές που επιλέγονται διαθέτουν μια εκ των δύο τιμών (d_{max} ή d_{Vmax}) κοντά στην καμπύλη pushover. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αναμενόμενες αποκλίσεις είναι μικρές.

Οι καταγραφές που επιλέχθηκαν (Σχήμα 5.2.16) είναι οι:

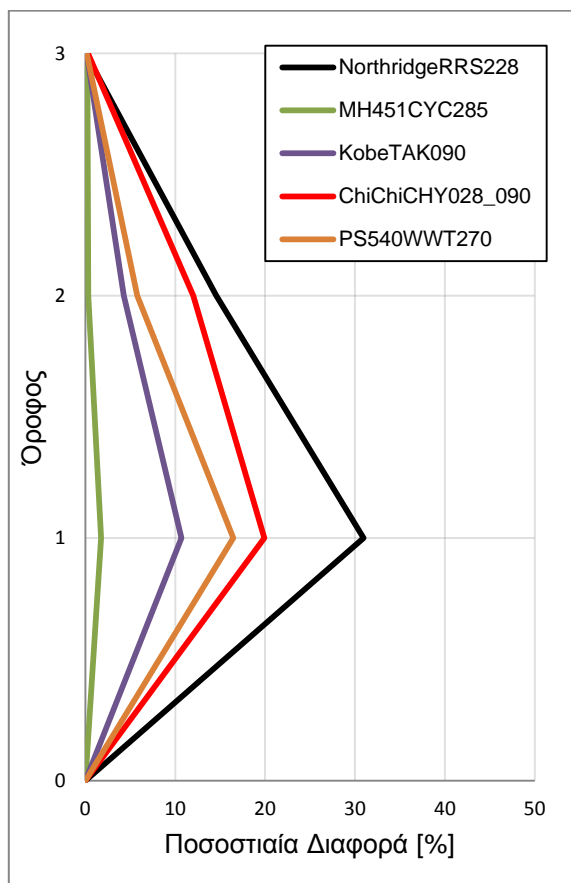
- **NorthridgeRRS228** (σημείο d_{max} κοντά σε καμπύλη)
- **MH451CVC285** (σημείο d_{max} κοντά σε καμπύλη)
- **KobeTAK090** (σημείο d_{Vmax} κοντά σε καμπύλη)
- **ChiChiCHY028_090** (σημείο d_{Vmax} κοντά σε καμπύλη)
- **PS540WWT270** (σημείο d_{max} κοντά σε καμπύλη)



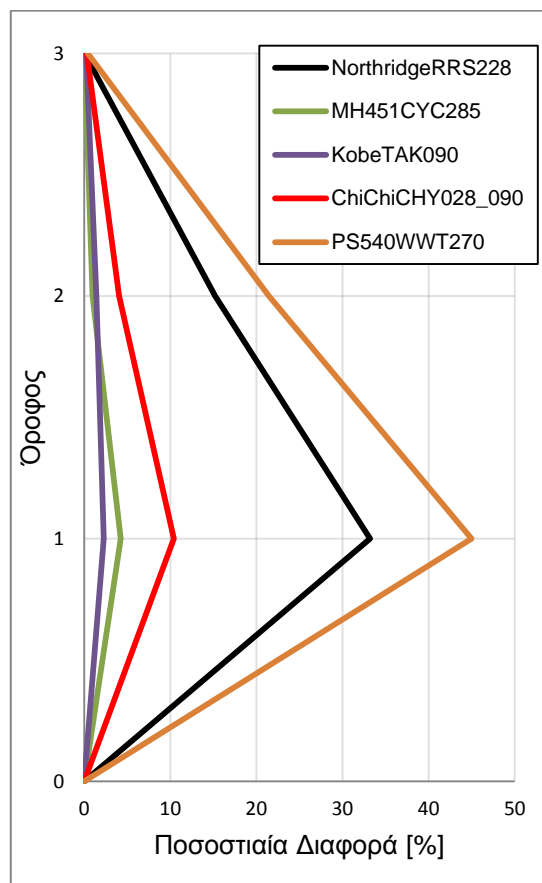
Σχήμα 5.2.16: Επιλεγμένες καταγραφές για έλεγχο της κατανομής των μετακινήσεων

Για τη σύγκριση χρησιμοποιούνται οι μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί από τη δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας του σεισμικού συμβάντος και οι μετακινήσεις της pushover για τις οποίες η μετακίνηση κορυφής είναι ίδια.

Στα Σχήματα 5.2.17 και 5.2.18 δίνεται η κατανομή της ποσοστιαίας διαφοράς και όχι καθ' εαυτού η μετακίνηση καθώς επιτρέπει την πραγματοποίηση συγκρίσεων.



Σχήμα 5.2.17: Ποσοστιαία διαφορά για d_{max}



Σχήμα 5.2.18: Ποσοστιαία διαφορά για d_{vmax}

Εξετάζοντας κάθε καταγραφή ξεχωριστά επιβεβαιώνεται ότι το σημείο (d_{max} ή d_{vmax}) που βρίσκεται πλησιέστερα στην καμπύλη εμφανίζει μικρότερη απόκλιση. Οι διαφορές από την κατανομή της pushover είναι δικαιολογημένες καθώς δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών.

Όταν όμως επιχειρείται να γίνει σύγκριση μεταξύ αντίστοιχων σημείων σε διαφορετικές καταγραφές η κατάσταση περιπλέκεται. Για τα σημεία d_{vmax} οι καταγραφές που βρίσκονται κοντά στην καμπύλη πράγματι εμφανίζουν μικρότερη απόκλιση από άλλες πιο απομακρυσμένες. Ωστόσο αυτός ο κανόνας δεν ισχύει για τα σημεία d_{max} . Για παράδειγμα η απόκλιση του NorthridgeRRS228 είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του KobeTAK090 παρόλο που η πρώτη είναι κοντά στην καμπύλη ενώ η δεύτερη όχι.

Η πιθανότερη εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι πως για θέση d_{max} ο φορέας έχει αποδιοργανωθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα οι ανώτερες ιδιομορφές να παίζουν σημαντικότερο ρόλο απ' ότι στην αρχή, αλλάζοντας την κατανομή των φορτίων.

5.2.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R_{μ} - μ

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί για κάθε σεισμό η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ και ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} .

Καταρχάς από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων κάθε καταγραφής εντοπίζεται η φασματική επιτάχυνση SA που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο $T^*=0.633$ sec του ισοδύναμου μονοβάθμιου και διαιρείται με την επιτάχυνση διαρροής S_{ay} . Στη συνέχεια υπολογίζεται η Δεσπόζουσα Περίοδος T_p της εδαφικής κίνησης θεωρώντας απλοποιητικά ότι πρόκειται για την περίοδο στην οποία το φάσμα ταχυτήτων λαμβάνει μέγιστη τιμή. Τέλος από τη μετακίνηση κορυφής και από τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου υπολογίζεται η πλαστιμότητα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το ψευδοφάσμα επιταχύνσεων και ταχυτήτων.

Πίνακας 5.2.8: Τιμές Φασματικών & ΨευδοΦασματικών επιταχύνσεων και περιόδων T_p

	Από Φάσματα		Από ΨευδοΦάσματα	
	SA (T*) [g]	T_p [sec]	SA (T*) [g]	T_p [sec]
ChiChiCHY028_090	1.7516	1.9350	1.7432	0.6230
CM828PET000	1.4426	0.7400	1.4363	0.7530
CM828PET090	1.9043	0.7560	1.8954	0.7110
Kobe1119TAZ090	1.2636	1.3350	1.2565	0.4790
KobeTAK090	1.0458	1.2570	1.0422	1.2290
LomaPrietaLGP000	2.1799	0.7400	2.1691	0.7330
LP741BRN000	1.3925	0.8840	1.3868	0.6630
LP741BRN090	1.0405	0.4770	1.0347	0.4660
LP753CLS000	0.9917	0.7360	0.9859	0.7230
LP753CLS090	1.3104	0.7620	1.3038	0.7910
MH451CYC285	1.6265	0.8020	1.6201	0.8320
North1080KAT000	1.5647	0.6660	1.5571	0.6780
North1080KAT090	1.2242	0.5340	1.2172	0.5130
NorthridgeRRS228	1.9925	1.0350	1.9838	1.0780
NorthridgeSYH360	1.3222	2.5840	1.3127	1.6250
PS540WWT180	0.6031	0.5220	0.5987	0.5330
PS540WWT270	0.4874	0.3690	0.4835	0.3600
SH727BSUP045	0.8671	0.6270	0.8630	0.6060
SH727BSUP135	1.0759	0.7320	1.0707	0.7290
SM1641altde000	0.3872	0.4020	0.3840	0.4110
WN590A-ALT000	0.2323	0.4920	0.2307	0.4800

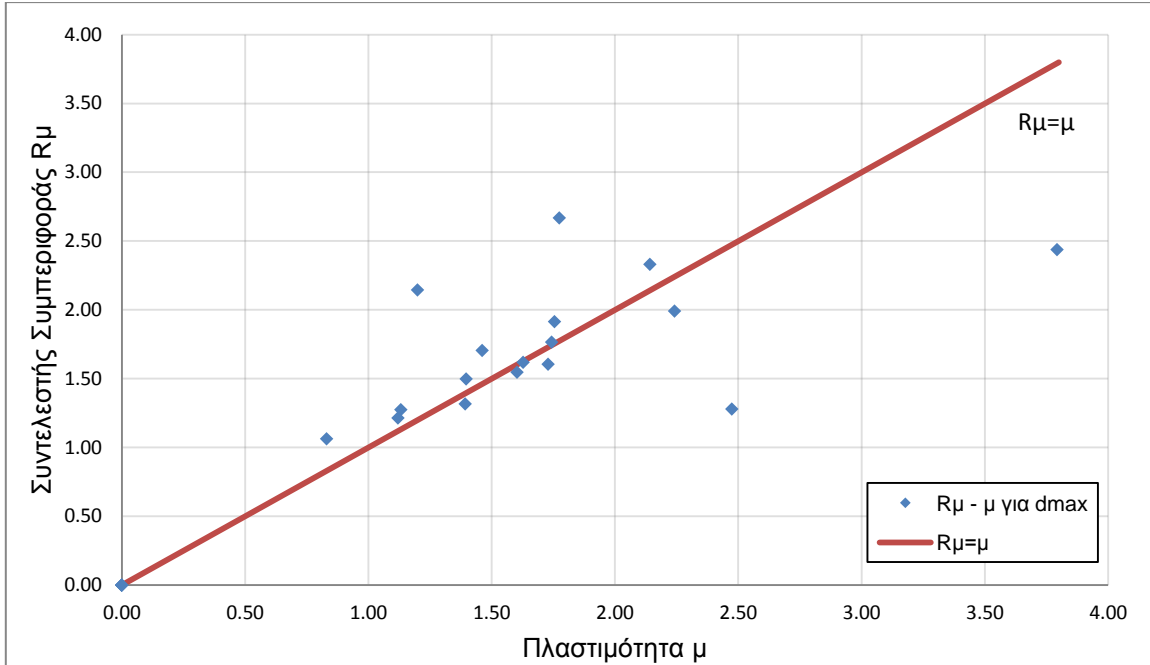
Πίνακας 5.2.9: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S _{A,el} [g]	$R_{\mu} = S_{A,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
ChiChiCHY028_090	για d _{max}	0.1286	0.0993	1.199	1.7516	2.143	1.935	0.560	0.327
CM828PET000	για d _{max}	0.1869	0.1443	1.743	1.4426	1.765	0.740	0.987	0.855
CM828PET090	για d _{max}	0.2298	0.1775	2.142	1.9043	2.330	0.756	0.920	0.837
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.1720	0.1328	1.604	1.2636	1.546	1.335	1.037	0.474
KobeTAK090	για d _{max}	0.2654	0.2050	2.475	1.0458	1.279	1.257	1.934	0.504
LomaPrietaLGP000	για d _{max}	0.1903	0.1470	1.775	2.1799	2.667	0.740	0.665	0.855
LP741BRN000	για d _{max}	0.1568	0.1211	1.462	1.3925	1.704	0.884	0.858	0.716
LP741BRN090	για d _{max}	0.1214	0.0938	1.132	1.0405	1.273	0.477	0.889	1.327
LP753CLS000	για d _{max}	0.1201	0.0928	1.120	0.9917	1.213	0.736	0.923	0.860
LP753CLS090	για d _{max}	0.1854	0.1432	1.728	1.3104	1.603	0.762	1.078	0.831
MH451CYC285	για d _{max}	0.2405	0.1857	2.242	1.6265	1.990	0.802	1.127	0.789
North1080KAT000	για d _{max}	0.1883	0.1454	1.755	1.5647	1.914	0.666	0.917	0.950
North1080KAT090	για d _{max}	0.1497	0.1156	1.396	1.2242	1.498	0.534	0.932	1.185
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.4068	0.3142	3.793	1.9925	2.438	1.035	1.556	0.612
NorthridgeSYH360	για d _{max}	0.1746	0.1349	1.628	1.3222	1.618	2.584	1.006	0.245
PS540WWT180	για d _{max}	0.0827	0.0639	0.771	0.6031	0.738	0.522	1.045	1.213
PS540WWT270	για d _{max}	0.0629	0.0486	0.587	0.4874	0.596	0.369	0.984	1.715
SH727BSUP045	για d _{max}	0.0890	0.0688	0.830	0.8671	1.061	0.627	0.782	1.010
SH727BSUP135	για d _{max}	0.1493	0.1153	1.392	1.0759	1.316	0.732	1.058	0.865
SM1641altde000	για d _{max}	0.0523	0.0404	0.488	0.3872	0.474	0.402	1.030	1.575
WN590A-ALT000	για d _{max}	0.0259	0.0200	0.242	0.2323	0.284	0.492	0.851	1.287

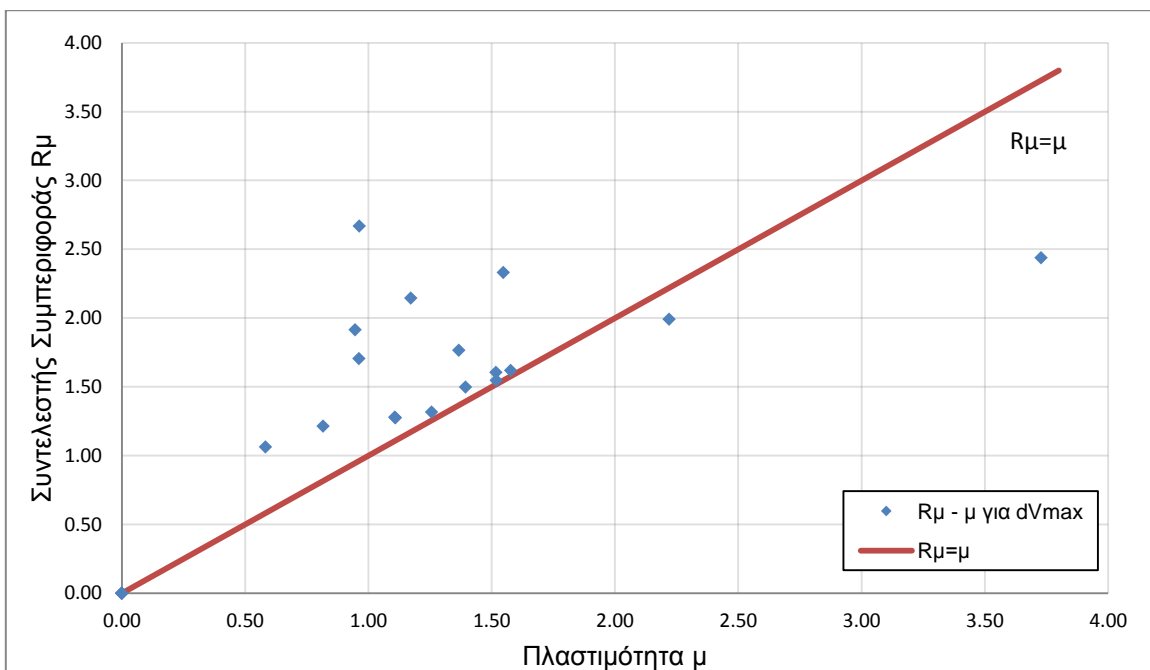
Πίνακας 5.2.10: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S_{A,el} [g]	$R_\mu = S_{A,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_μ	T* / T_p	
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.1256	0.0970	1.171	1.7516	2.143	1.935	0.547	0.327
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.1466	0.1132	1.366	1.4426	1.765	0.740	0.774	0.855
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.1659	0.1281	1.546	1.9043	2.330	0.756	0.664	0.837
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.1629	0.1258	1.519	1.2636	1.546	1.335	0.982	0.474
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.1187	0.0917	1.107	1.0458	1.279	1.257	0.865	0.504
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.1033	0.0798	0.963	2.1799	2.667	0.740	0.361	0.855
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.1032	0.0797	0.962	1.3925	1.704	0.884	0.565	0.716
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.1190	0.0919	1.110	1.0405	1.273	0.477	0.872	1.327
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0876	0.0677	0.817	0.9917	1.213	0.736	0.673	0.860
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.1627	0.1257	1.517	1.3104	1.603	0.762	0.946	0.831
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2381	0.1839	2.220	1.6265	1.990	0.802	1.116	0.789
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1014	0.0783	0.946	1.5647	1.914	0.666	0.494	0.950
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.1495	0.1155	1.394	1.2242	1.498	0.534	0.931	1.185
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3998	0.3088	3.728	1.9925	2.438	1.035	1.529	0.612
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.1691	0.1306	1.577	1.3222	1.618	2.584	0.975	0.245
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0567	0.0438	0.529	0.6031	0.738	0.522	0.717	1.213
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0452	0.0349	0.421	0.4874	0.596	0.369	0.707	1.715
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0624	0.0482	0.582	0.8671	1.061	0.627	0.549	1.010
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1348	0.1041	1.257	1.0759	1.316	0.732	0.955	0.865
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0373	0.0288	0.348	0.3872	0.474	0.402	0.734	1.575
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0225	0.0174	0.210	0.2323	0.284	0.492	0.737	1.287

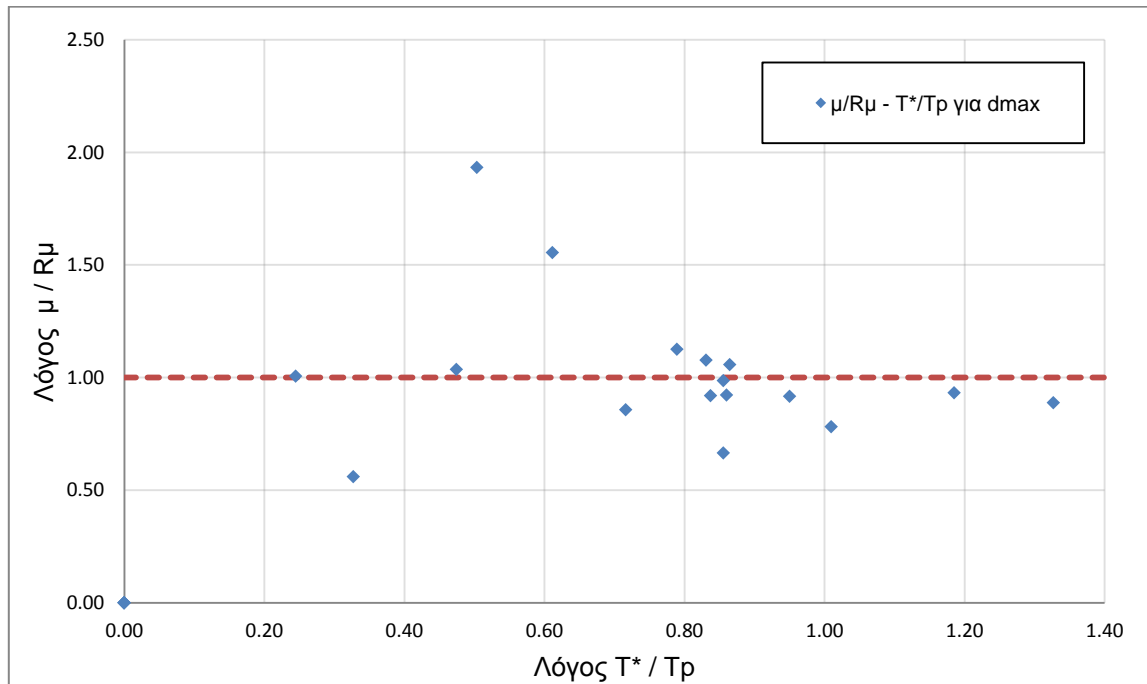
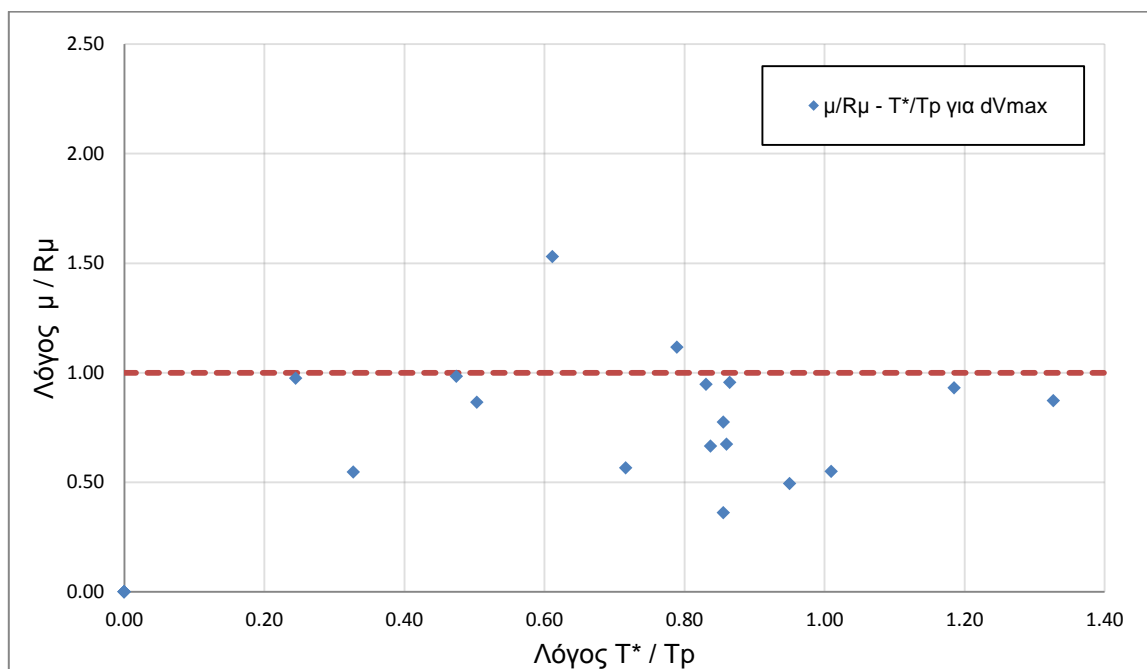
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 5.2.19 και 5.2.20) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 5.2.21 και 5.2.22).



Σχήμα 5.2.19: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.2.20: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}

Σχήμα 5.2.21: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} Σχήμα 5.2.22: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax}

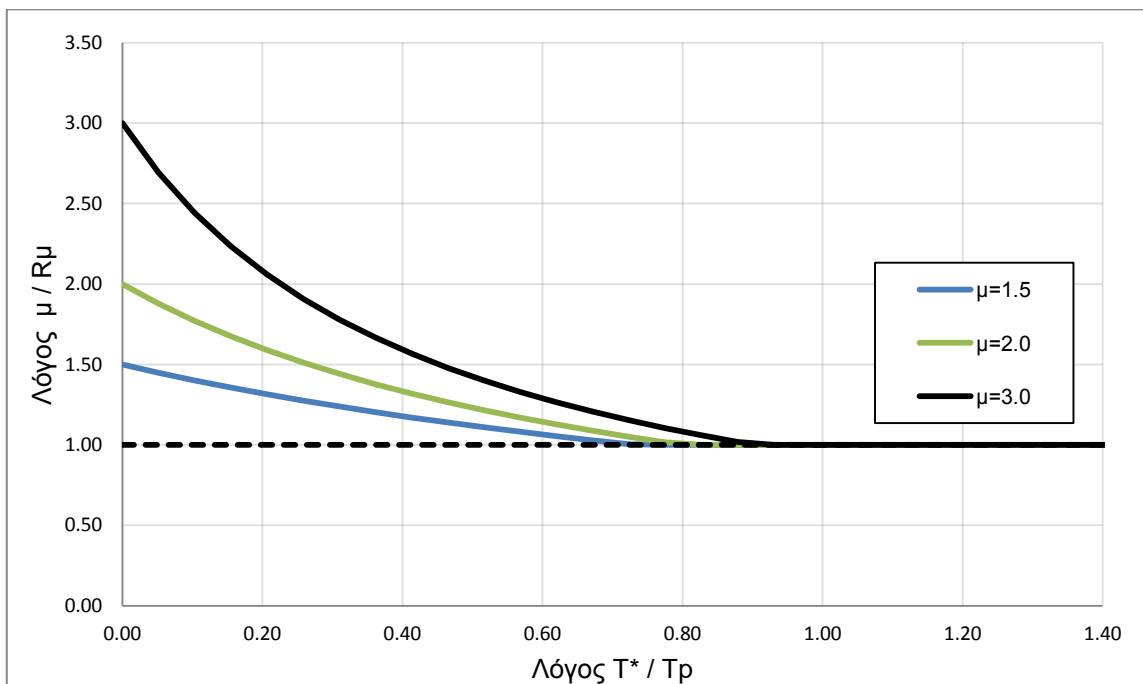
Σύμφωνα με τον Fajfar οι σχέσεις που συνδέουν τη πλαστιμότητα με τον συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T^*}{T_o} + 1 \quad \text{για } T^* \leq T_o$$

$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για } T^* > T_o$$

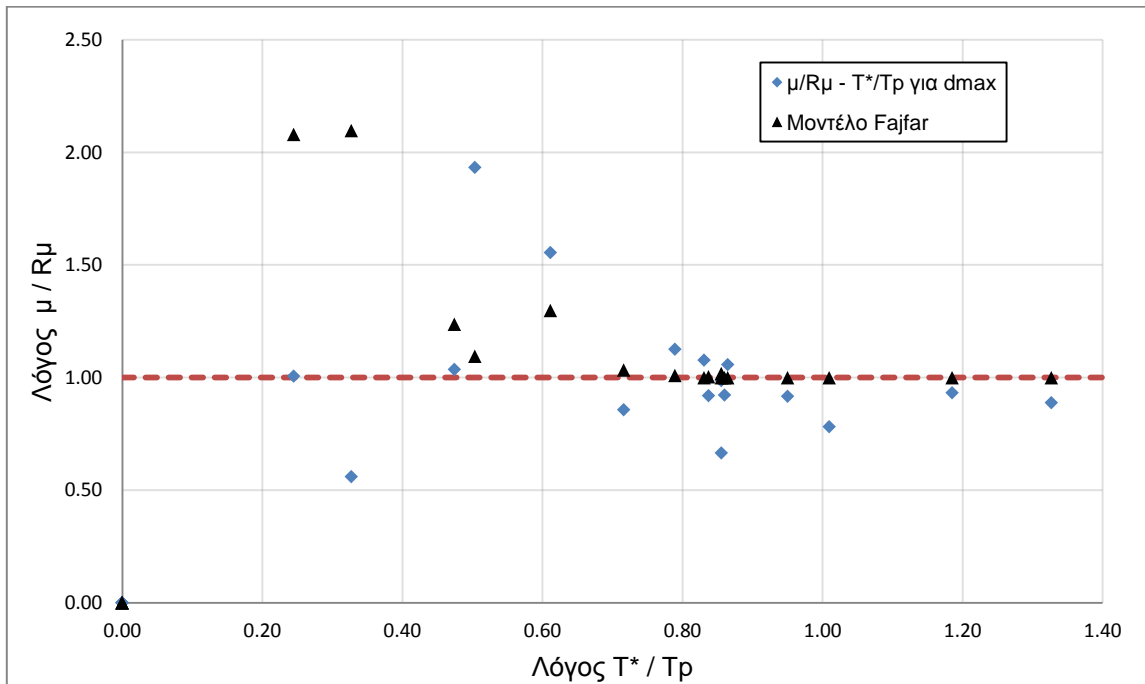
όπου $T_o = 0.65 \mu^{0.3} T_p \leq T_p$

Η μορφή των παραπάνω σχέσεων αποτυπώνεται στο Σχήμα 5.2.23 για διάφορες τιμές πλαστιμότητας χρησιμοποιώντας την περίοδο T_p της καταγραφής ChiChiCHY028_090.

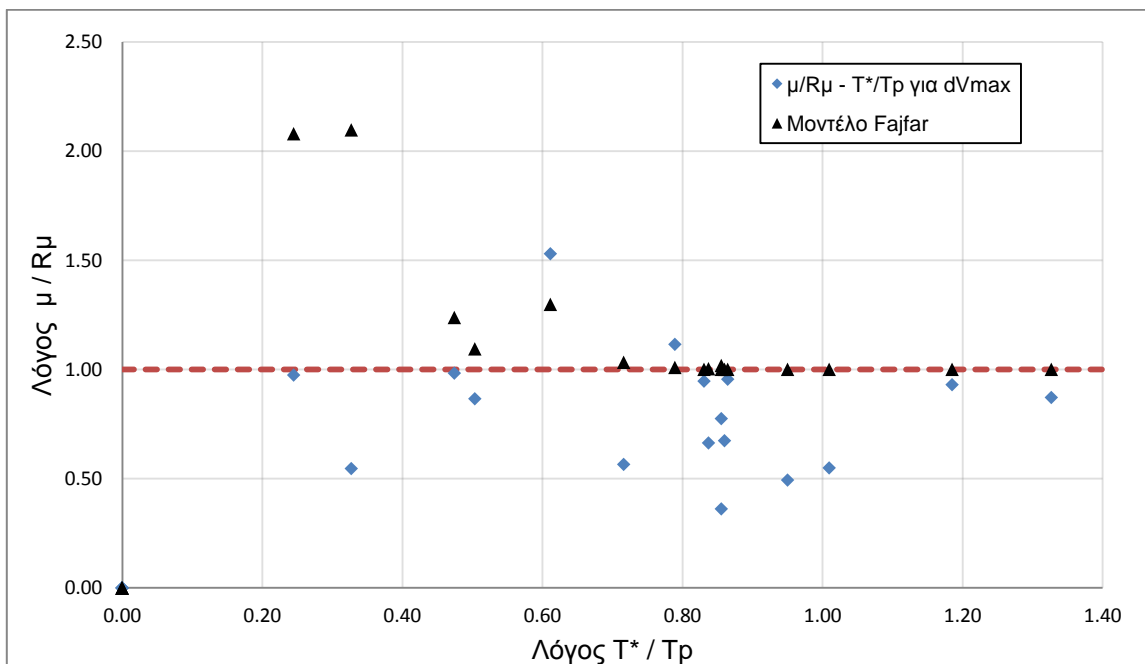


Σχήμα 5.2.23: Διάγραμμα μ/R_{μ} – T^*/T_p σύμφωνα με το μοντέλο του Fajfar

Ακολουθώντας το μοντέλο του Fajfar και θεωρώντας ως μοναδικό άγνωστο τη πλαστιμότητα σχεδιάζουμε τα διαγράμματα μ/R_{μ} – T^*/T_p για τις σεισμικές καταγραφές (Σχήματα 5.2.24 και 5.2.25)



Σχήμα 5.2.24: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 5.2.25: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

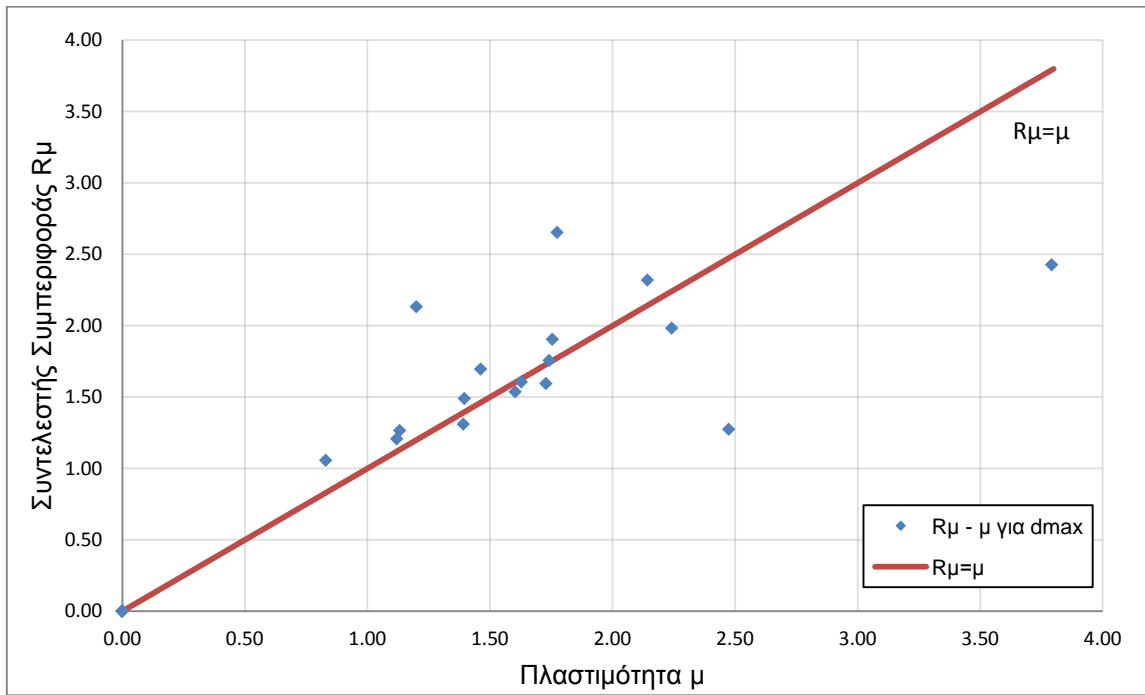
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 5.2.11 και 5.2.12 καθώς και τα Σχήματα 5.2.26 έως 5.2.29.

Πίνακας 5.2.11: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{\max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

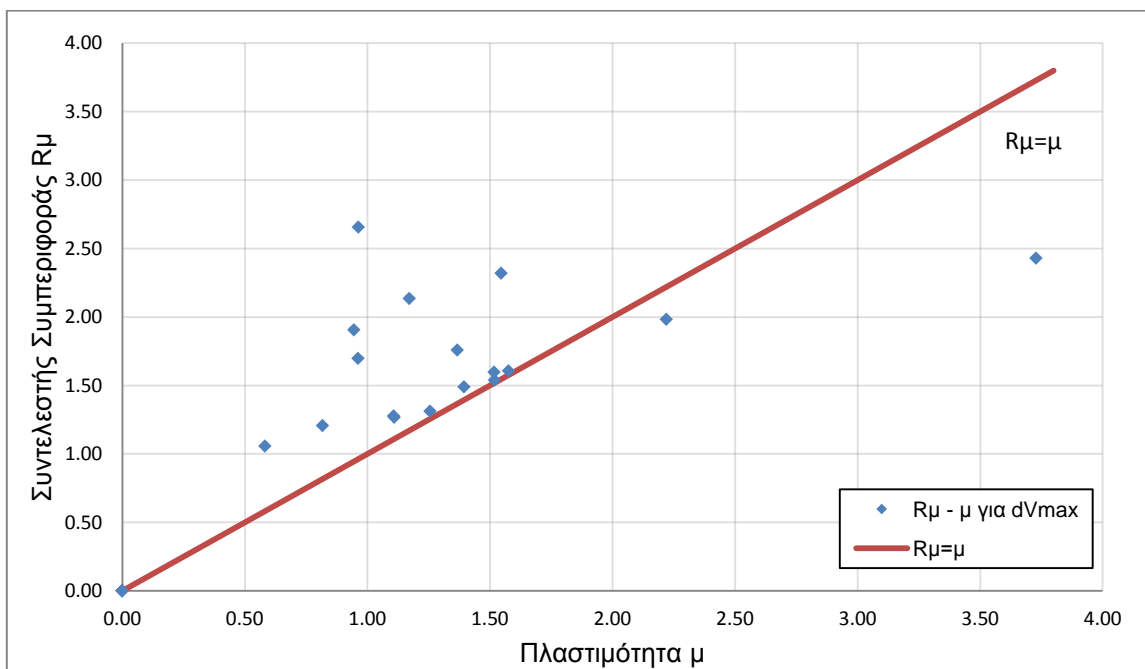
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA _{el} [g]	R _μ = PSA _{el} / S _{ay}	T _p [sec]	μ / R _μ	T* / T _p
	για d _{max}								
ChiChiCHY028_090	για d _{max}	0.1286	0.0993	1.199	1.7432	2.133	0.623	0.562	1.016
CM828PET000	για d _{max}	0.1869	0.1443	1.743	1.4363	1.757	0.753	0.992	0.841
CM828PET090	για d _{max}	0.2298	0.1775	2.142	1.8954	2.319	0.711	0.924	0.890
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.1720	0.1328	1.604	1.2565	1.537	0.479	1.043	1.322
KobeTAK090	για d _{max}	0.2654	0.2050	2.475	1.0422	1.275	1.229	1.941	0.515
LomaPrietaLGP000	για d _{max}	0.1903	0.1470	1.775	2.1691	2.654	0.733	0.669	0.864
LP741BRN000	για d _{max}	0.1568	0.1211	1.462	1.3868	1.697	0.663	0.862	0.955
LP741BRN090	για d _{max}	0.1214	0.0938	1.132	1.0347	1.266	0.466	0.894	1.358
LP753CLS000	για d _{max}	0.1201	0.0928	1.120	0.9859	1.206	0.723	0.929	0.876
LP753CLS090	για d _{max}	0.1854	0.1432	1.728	1.3038	1.595	0.791	1.084	0.800
MH451CYC285	για d _{max}	0.2405	0.1857	2.242	1.6201	1.982	0.832	1.131	0.761
North1080KAT000	για d _{max}	0.1883	0.1454	1.755	1.5571	1.905	0.678	0.921	0.934
North1080KAT090	για d _{max}	0.1497	0.1156	1.396	1.2172	1.489	0.513	0.937	1.234
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.4068	0.3142	3.793	1.9838	2.427	1.078	1.563	0.587
NorthridgeSYH360	για d _{max}	0.1746	0.1349	1.628	1.3127	1.606	1.625	1.014	0.390
PS540WWT180	για d _{max}	0.0827	0.0639	0.771	0.5987	0.733	0.533	1.053	1.188
PS540WWT270	για d _{max}	0.0629	0.0486	0.587	0.4835	0.592	0.360	0.992	1.758
SH727BSUP045	για d _{max}	0.0890	0.0688	0.830	0.8630	1.056	0.606	0.786	1.045
SH727BSUP135	για d _{max}	0.1493	0.1153	1.392	1.0707	1.310	0.729	1.063	0.868
SM1641altde000	για d _{max}	0.0523	0.0404	0.488	0.3840	0.470	0.411	1.038	1.540
WN590A-ALT000	για d _{max}	0.0259	0.0200	0.242	0.2307	0.282	0.480	0.857	1.319

Πίνακας 5.2.12: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

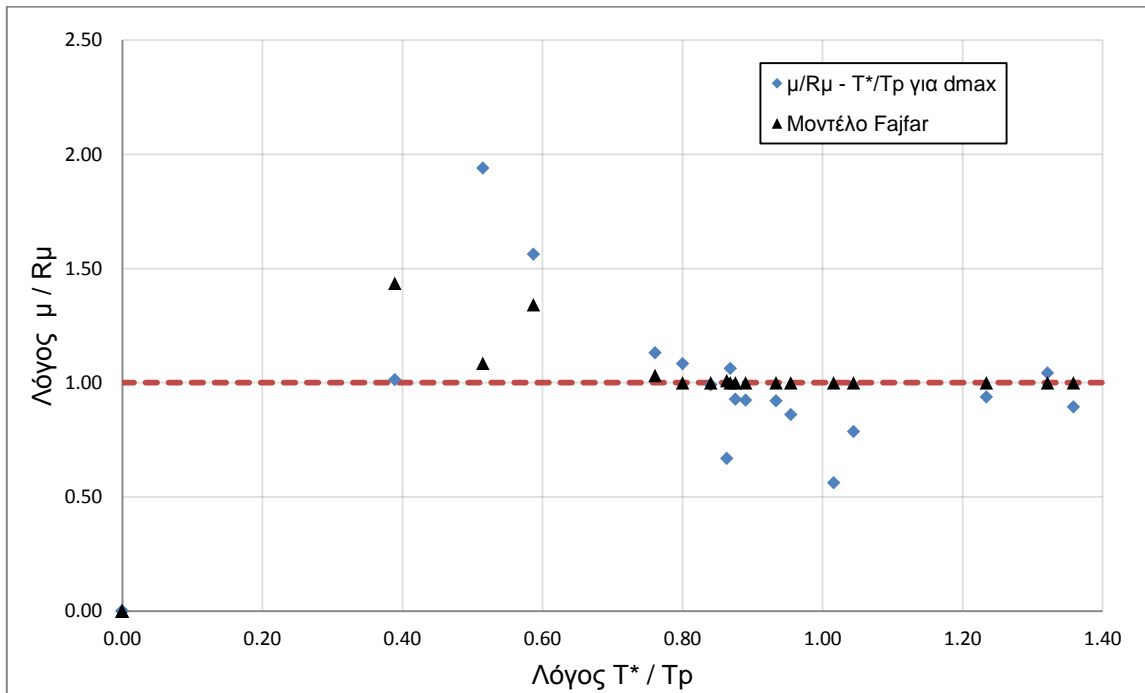
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA_{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.1256	0.0970	1.171	1.7432	2.133	0.623	0.549	1.016
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.1466	0.1132	1.366	1.4363	1.757	0.753	0.778	0.841
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.1659	0.1281	1.546	1.8954	2.319	0.711	0.667	0.890
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.1629	0.1258	1.519	1.2565	1.537	0.479	0.988	1.322
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.1187	0.0917	1.107	1.0422	1.275	1.229	0.868	0.515
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.1033	0.0798	0.963	2.1691	2.654	0.733	0.363	0.864
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.1032	0.0797	0.962	1.3868	1.697	0.663	0.567	0.955
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.1190	0.0919	1.110	1.0347	1.266	0.466	0.876	1.358
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0876	0.0677	0.817	0.9859	1.206	0.723	0.677	0.876
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.1627	0.1257	1.517	1.3038	1.595	0.791	0.951	0.800
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2381	0.1839	2.220	1.6201	1.982	0.832	1.120	0.761
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1014	0.0783	0.946	1.5571	1.905	0.678	0.496	0.934
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.1495	0.1155	1.394	1.2172	1.489	0.513	0.936	1.234
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3998	0.3088	3.728	1.9838	2.427	1.078	1.536	0.587
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.1691	0.1306	1.577	1.3127	1.606	1.625	0.982	0.390
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0567	0.0438	0.529	0.5987	0.733	0.533	0.722	1.188
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0452	0.0349	0.421	0.4835	0.592	0.360	0.712	1.758
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0624	0.0482	0.582	0.8630	1.056	0.606	0.551	1.045
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1348	0.1041	1.257	1.0707	1.310	0.729	0.959	0.868
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0373	0.0288	0.348	0.3840	0.470	0.411	0.740	1.540
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0225	0.0174	0.210	0.2307	0.282	0.480	0.742	1.319



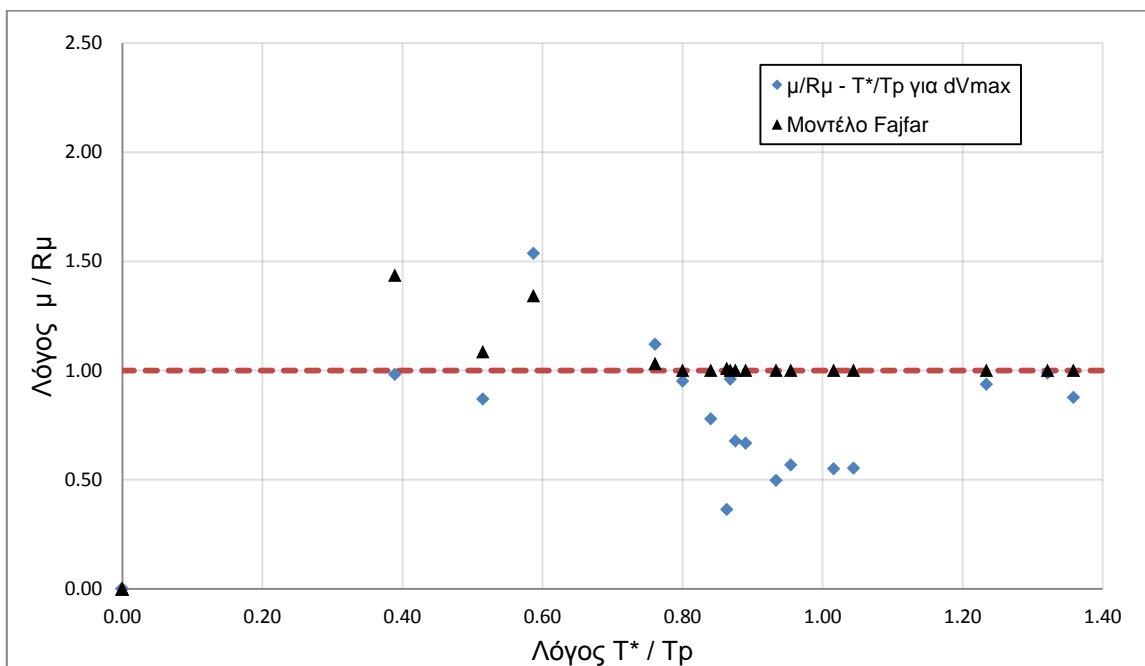
Σχήμα 5.2.26: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.2.27: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

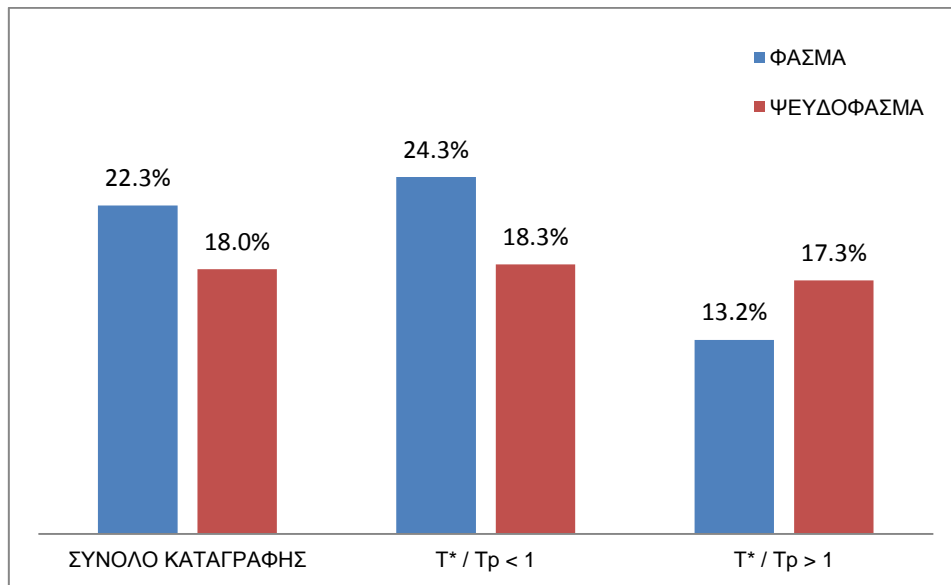


Σχήμα 5.2.28: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

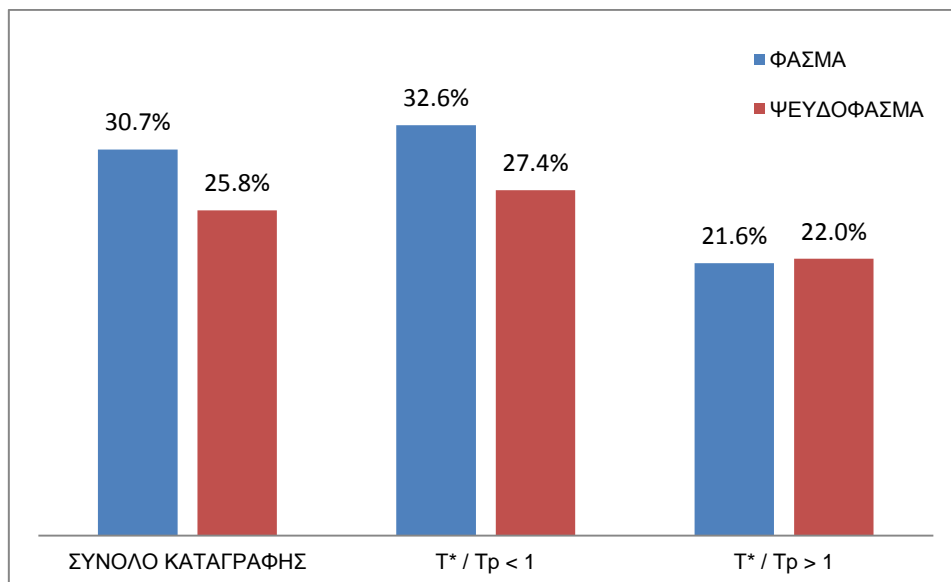


Σχήμα 5.2.29: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.2.30 και 5.2.31.



Σχήμα 5.2.30: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 5.2.31: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{Vmax}

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων d_{\max} εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία $d_{V\max}$. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το φυσικό νόημα της πλαστιμότητας είναι η μέγιστη μετακίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια του σεισμού και υπό αυτή την έννοια δεν έχει αξία η μελέτη της μετακίνησης μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Το μοντέλο του Fajfar δέχεται μεγάλες πλαστιμότητες - σε σχέση με το R_{μ} - για περιόδους προ της δεσπόζουσας περιόδου T_p ενώ στη συνέχεια θεωρεί ότι ο λόγος πλησιάζει τη μονάδα. Για τις περισσότερες καταγραφές με $T^* > T_p$ κάτι τέτοιο φαίνεται να επαληθεύεται, με την απόκλιση να λαμβάνει μικρές τιμές, αντιθέτως για τις περιπτώσεις $T^* < T_p$ οι αποκλίσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.

Τέλος διαπιστώνεται ότι με χρήση των ψευδοφασμάτων η συνολική απόκλιση είναι μικρότερη. Οι διαφορές των φασμάτων και ψευδοφασμάτων ταχύτητας είναι συνήθως μεγαλύτερες των διαφορών των επιταχύνσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου T_p χωρίς ταυτόχρονη μείωση του R_{μ} . Προκαλείται λοιπόν μια μετατόπιση των σημείων σε μεγαλύτερους λόγους T^*/T_p με παραπλήσιο όμως λόγο μ/R_{μ} , αυξάνοντας κατά συνέπεια την απόκλιση στη περιοχή $T^*/T_p > 1$ και μειώνοντάς τη στην περιοχή $T^*/T_p < 1$.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 5.2.9 διαπιστώνουμε ότι η πλαστιμότητα μ έχει σχετικά μικρές τιμές ενώ υπάρχουν καταγραφές στις οποίες $\mu < 1$ παρόλο που ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τα παραπάνω φαινόμενα πιθανολογείται ότι οφείλονται στο γεγονός πως η πλαστιμότητα υπολογίστηκε μέσω της αναγωγής της μετακίνησης κορυφής σε μετακίνηση ισοδύναμου μονοβάθμιου παρόλο που η τριγωνική κατανομή δεν είναι ρεαλιστική στην ανελαστική περιοχή. Δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις συγκεντρώνονται στους πρώτους ορόφους λόγω του μηχανισμού κατάρρευσης, αποφασίστηκε η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

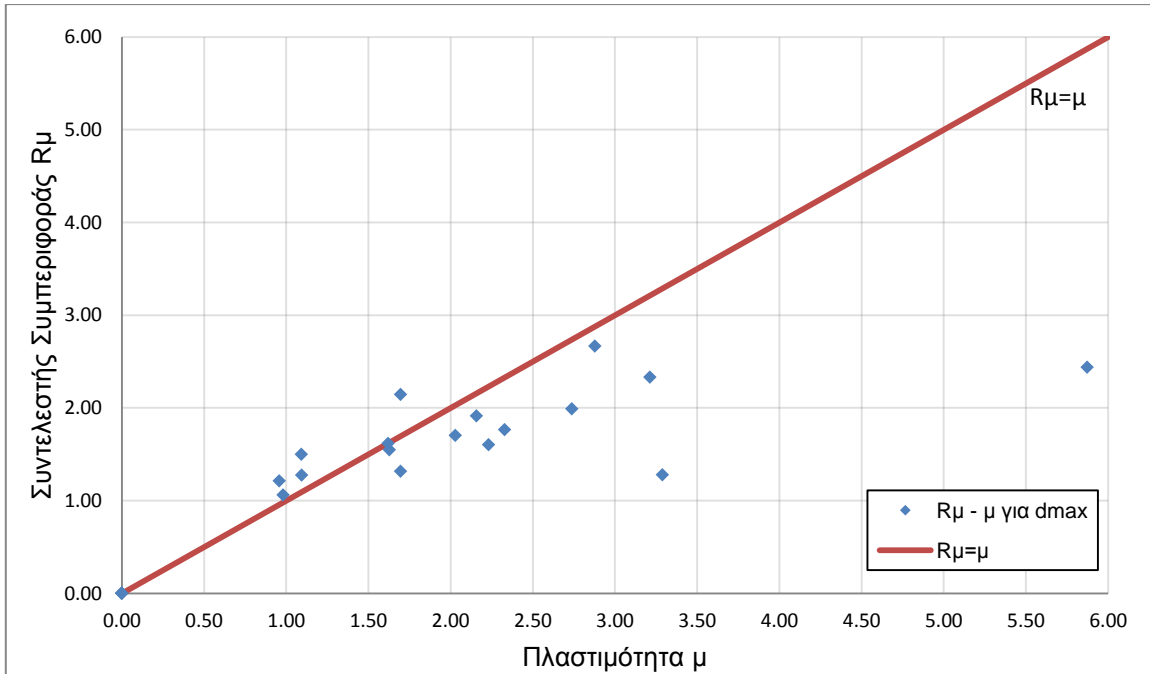
Πίνακας 5.2.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
ChiChiCHY028_090	για d_{max}	0.0606	0.0606	1.696	1.7516	2.143	1.935	0.791	0.327
CM828PET000	για d_{max}	0.0833	0.0833	2.329	1.4426	1.765	0.740	1.319	0.855
CM828PET090	για d_{max}	0.1149	0.1149	3.214	1.9043	2.330	0.756	1.379	0.837
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.0581	0.0581	1.626	1.2636	1.546	1.335	1.052	0.474
KobeTAK090	για d_{max}	0.1176	0.1176	3.289	1.0458	1.279	1.257	2.570	0.504
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1029	0.1029	2.878	2.1799	2.667	0.740	1.079	0.855
LP741BRN000	για d_{max}	0.0725	0.0725	2.029	1.3925	1.704	0.884	1.191	0.716
LP741BRN090	για d_{max}	0.0391	0.0391	1.093	1.0405	1.273	0.477	0.858	1.327
LP753CLS000	για d_{max}	0.0342	0.0342	0.958	0.9917	1.213	0.736	0.789	0.860
LP753CLS090	για d_{max}	0.0797	0.0797	2.230	1.3104	1.603	0.762	1.391	0.831
MH451CYC285	για d_{max}	0.0979	0.0979	2.738	1.6265	1.990	0.802	1.376	0.789
North1080KAT000	για d_{max}	0.0772	0.0772	2.158	1.5647	1.914	0.666	1.127	0.950
North1080KAT090	για d_{max}	0.0391	0.0391	1.093	1.2242	1.498	0.534	0.730	1.185
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.2099	0.2099	5.872	1.9925	2.438	1.035	2.409	0.612
NorthridgeSYH360	για d_{max}	0.0579	0.0579	1.620	1.3222	1.618	2.584	1.001	0.245
PS540WWT180	για d_{max}	0.0227	0.0227	0.634	0.6031	0.738	0.522	0.860	1.213
PS540WWT270	για d_{max}	0.0198	0.0198	0.555	0.4874	0.596	0.369	0.931	1.715
SH727BSUP045	για d_{max}	0.0351	0.0351	0.981	0.8671	1.061	0.627	0.925	1.010
SH727BSUP135	για d_{max}	0.0606	0.0606	1.695	1.0759	1.316	0.732	1.288	0.865
SM1641altde000	για d_{max}	0.0120	0.0120	0.337	0.3872	0.474	0.402	0.711	1.575
WN590A-ALT000	για d_{max}	0.0071	0.0071	0.198	0.2323	0.284	0.492	0.698	1.287

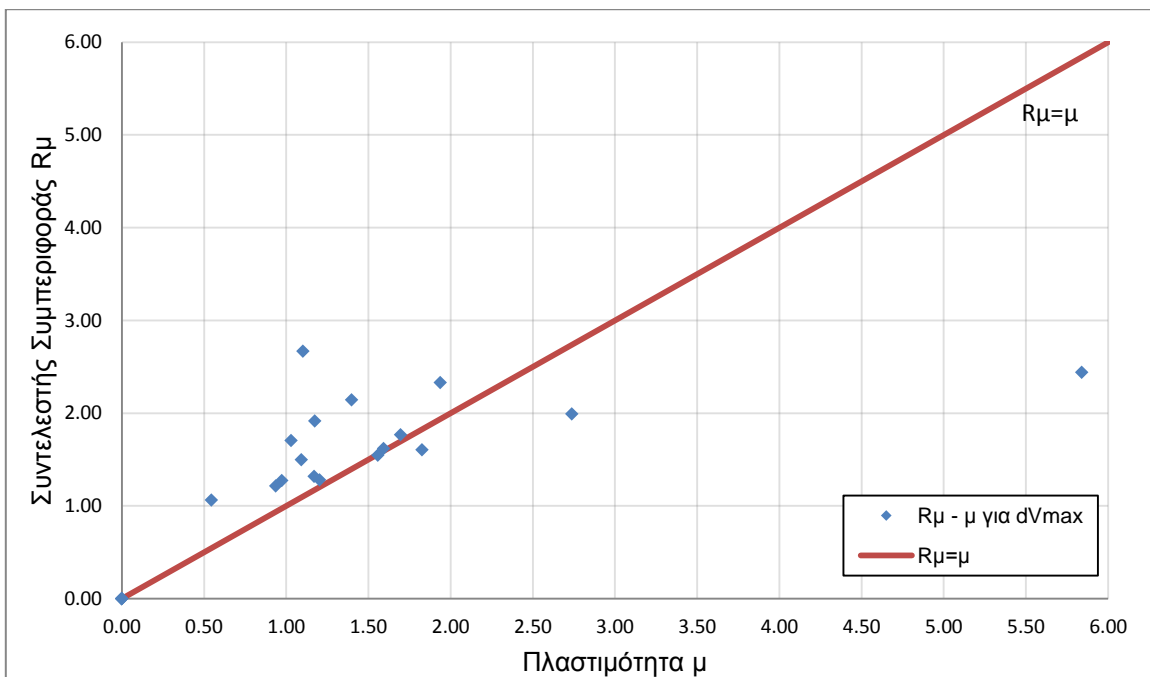
Πίνακας 5.2.14: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.0500	0.0500	1.398	1.7516	2.143	1.935	0.652	0.327
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.0606	0.0606	1.695	1.4426	1.765	0.740	0.960	0.855
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.0692	0.0692	1.937	1.9043	2.330	0.756	0.831	0.837
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0557	0.0557	1.558	1.2636	1.546	1.335	1.007	0.474
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0430	0.0430	1.203	1.0458	1.279	1.257	0.940	0.504
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.0394	0.0394	1.101	2.1799	2.667	0.740	0.413	0.855
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.0368	0.0368	1.029	1.3925	1.704	0.884	0.604	0.716
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0348	0.0348	0.973	1.0405	1.273	0.477	0.764	1.327
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0335	0.0335	0.937	0.9917	1.213	0.736	0.772	0.860
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0653	0.0653	1.826	1.3104	1.603	0.762	1.139	0.831
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.0979	0.0979	2.737	1.6265	1.990	0.802	1.376	0.789
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0420	0.0420	1.174	1.5647	1.914	0.666	0.613	0.950
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0391	0.0391	1.093	1.2242	1.498	0.534	0.730	1.185
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.2088	0.2088	5.840	1.9925	2.438	1.035	2.395	0.612
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.0569	0.0569	1.593	1.3222	1.618	2.584	0.985	0.245
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0188	0.0188	0.527	0.6031	0.738	0.522	0.715	1.213
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0198	0.0198	0.555	0.4874	0.596	0.369	0.931	1.715
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0195	0.0195	0.544	0.8671	1.061	0.627	0.513	1.010
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0418	0.0418	1.169	1.0759	1.316	0.732	0.888	0.865
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0114	0.0114	0.319	0.3872	0.474	0.402	0.674	1.575
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0071	0.0071	0.198	0.2323	0.284	0.492	0.698	1.287

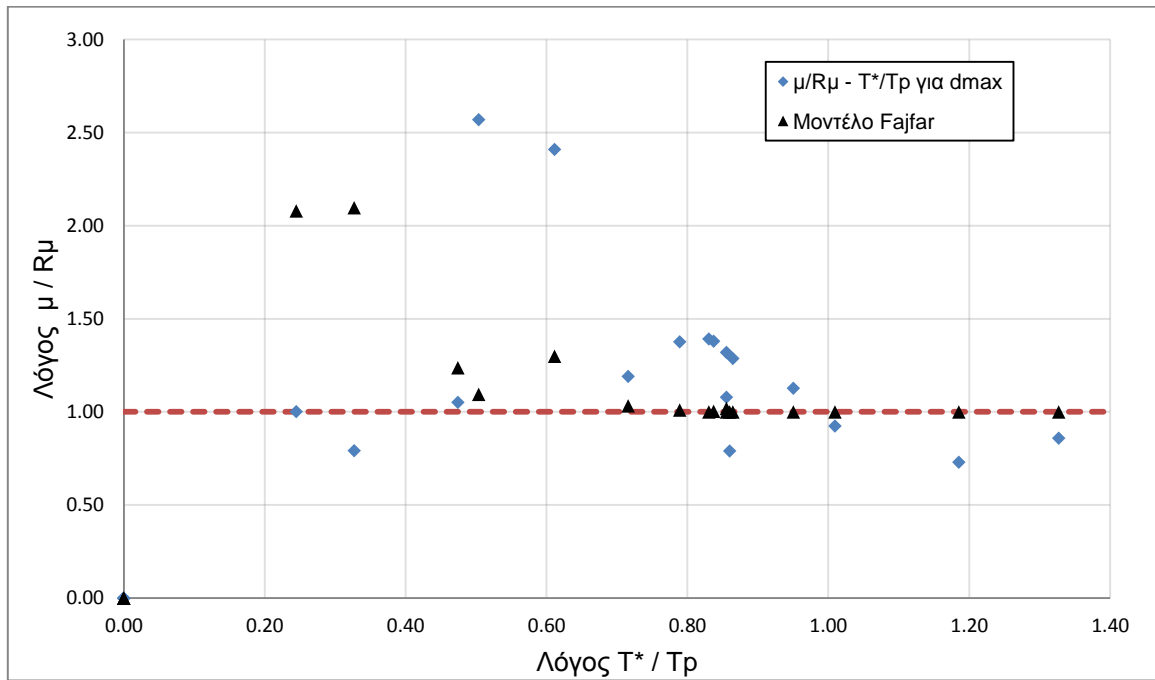
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 5.2.32 και 5.2.33) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ (Σχήματα 5.2.34 και 8.2.35).



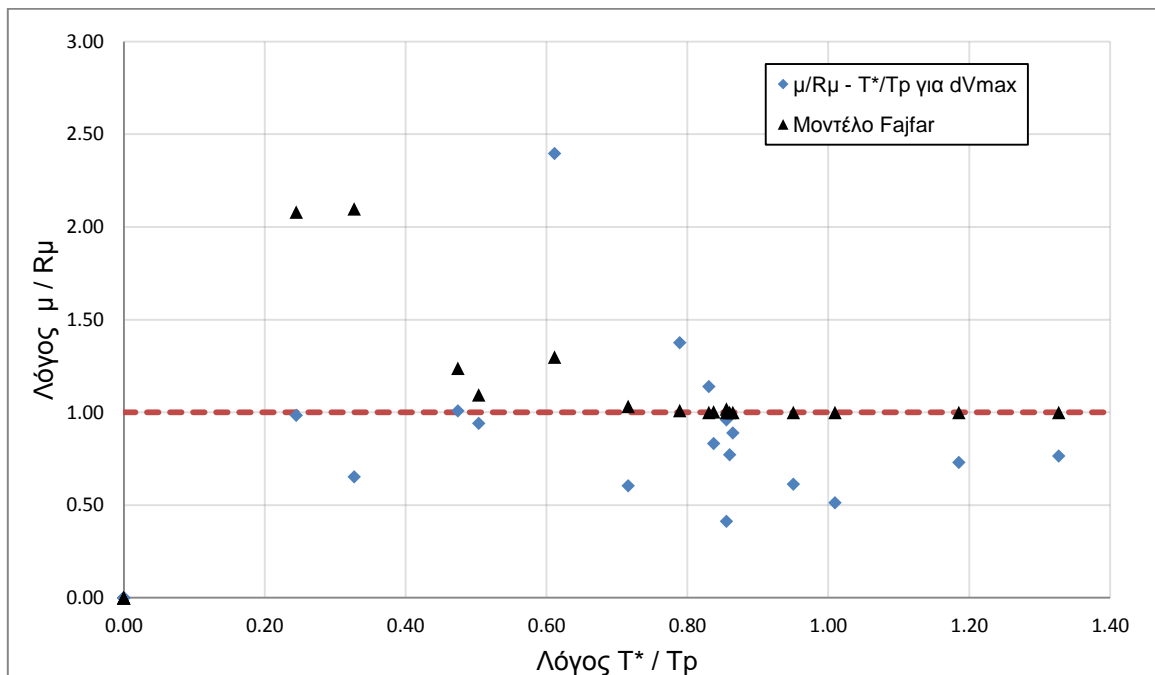
Σχήμα 5.2.32: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.2.33: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}



Σχήμα 5.2.34: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 5.2.35: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

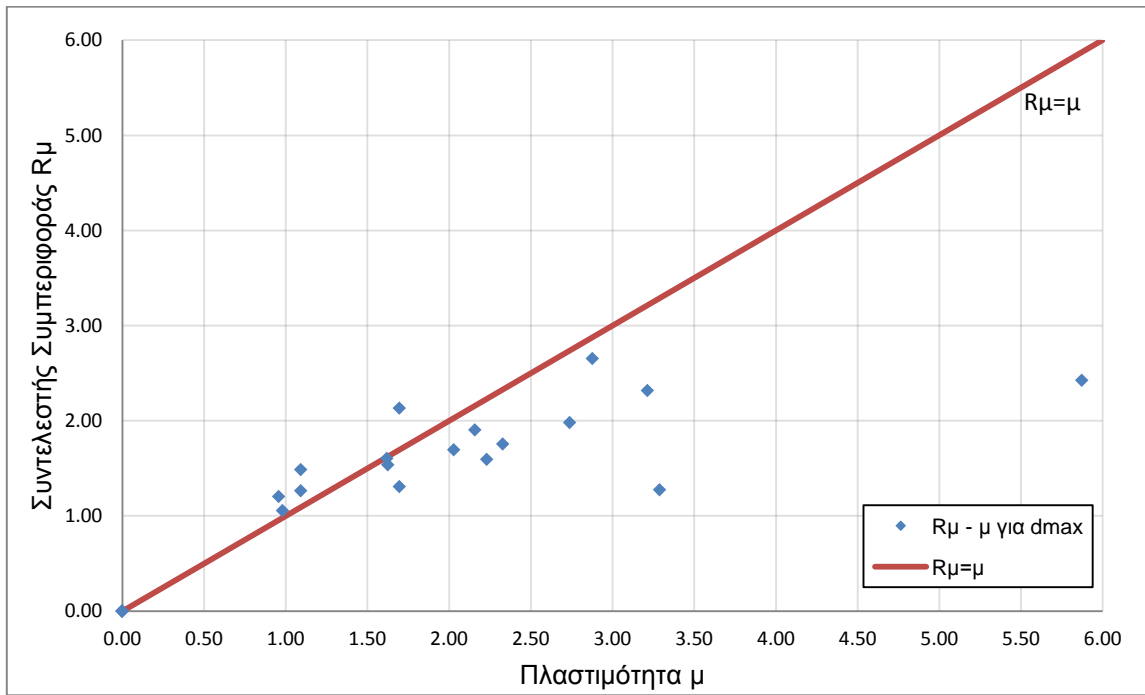
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 5.2.15 και 5.2.16 καθώς και τα Σχήματα 5.2.36 έως 5.2.39.

Πίνακας 5.2.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

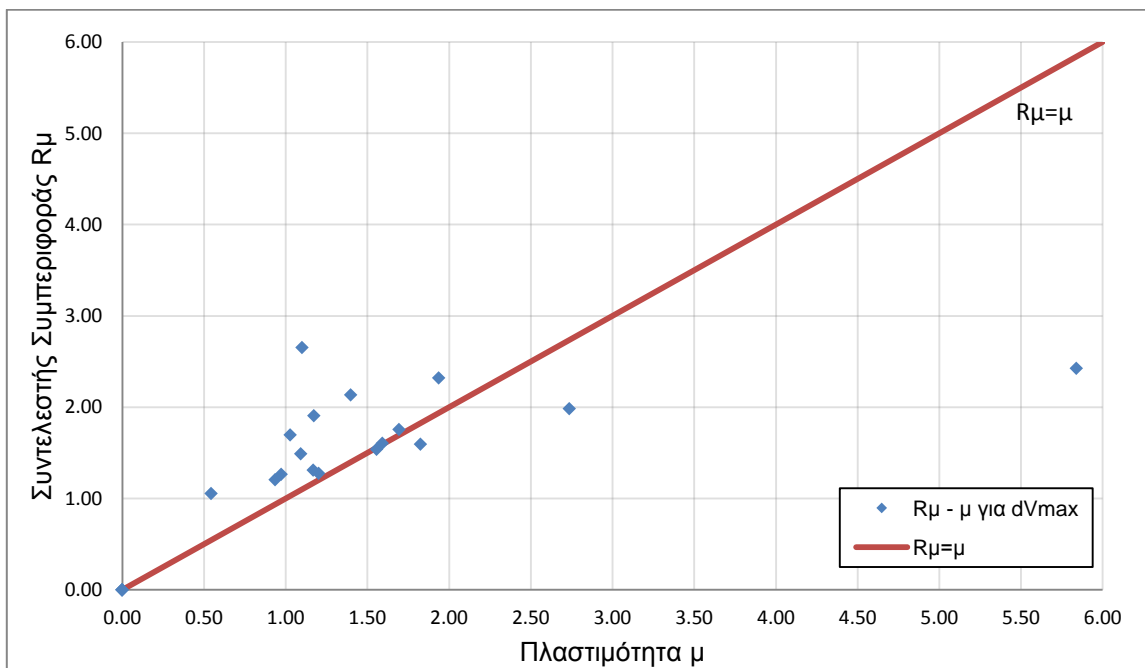
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$PSA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = PSA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY028_090	για d_{max}	0.0606	0.0606	1.696	1.7432	2.133	0.623	0.795	1.016
CM828PET000	για d_{max}	0.0833	0.0833	2.329	1.4363	1.757	0.753	1.325	0.841
CM828PET090	για d_{max}	0.1149	0.1149	3.214	1.8954	2.319	0.711	1.386	0.890
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.0581	0.0581	1.626	1.2565	1.537	0.479	1.058	1.322
KobeTAK090	για d_{max}	0.1176	0.1176	3.289	1.0422	1.275	1.229	2.579	0.515
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1029	0.1029	2.878	2.1691	2.654	0.733	1.085	0.864
LP741BRN000	για d_{max}	0.0725	0.0725	2.029	1.3868	1.697	0.663	1.196	0.955
LP741BRN090	για d_{max}	0.0391	0.0391	1.093	1.0347	1.266	0.466	0.863	1.358
LP753CLS000	για d_{max}	0.0342	0.0342	0.958	0.9859	1.206	0.723	0.794	0.876
LP753CLS090	για d_{max}	0.0797	0.0797	2.230	1.3038	1.595	0.791	1.398	0.800
MH451CYC285	για d_{max}	0.0979	0.0979	2.738	1.6201	1.982	0.832	1.381	0.761
North1080KAT000	για d_{max}	0.0772	0.0772	2.158	1.5571	1.905	0.678	1.133	0.934
North1080KAT090	για d_{max}	0.0391	0.0391	1.093	1.2172	1.489	0.513	0.734	1.234
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.2099	0.2099	5.872	1.9838	2.427	1.078	2.419	0.587
NorthridgeSYH360	για d_{max}	0.0579	0.0579	1.620	1.3127	1.606	1.625	1.009	0.390
PS540WWT180	για d_{max}	0.0227	0.0227	0.634	0.5987	0.733	0.533	0.866	1.188
PS540WWT270	για d_{max}	0.0198	0.0198	0.555	0.4835	0.592	0.360	0.938	1.758
SH727BSUP045	για d_{max}	0.0351	0.0351	0.981	0.8630	1.056	0.606	0.929	1.045
SH727BSUP135	για d_{max}	0.0606	0.0606	1.695	1.0707	1.310	0.729	1.294	0.868
SM1641altde000	για d_{max}	0.0120	0.0120	0.337	0.3840	0.470	0.411	0.717	1.540
WN590A-ALT000	για d_{max}	0.0071	0.0071	0.198	0.2307	0.282	0.480	0.703	1.319

Πίνακας 5.2.16: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

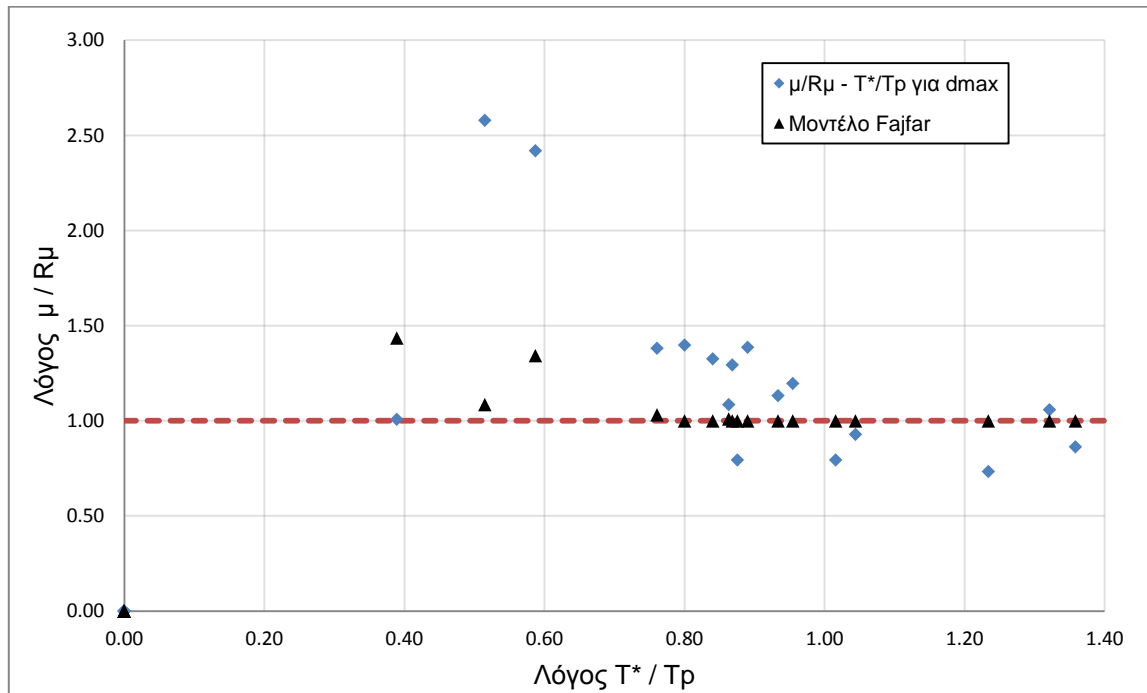
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$PSA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = PSA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.0500	0.0500	1.398	1.7432	2.133	0.623	0.655	1.016
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.0606	0.0606	1.695	1.4363	1.757	0.753	0.965	0.841
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.0692	0.0692	1.937	1.8954	2.319	0.711	0.835	0.890
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0557	0.0557	1.558	1.2565	1.537	0.479	1.013	1.322
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0430	0.0430	1.203	1.0422	1.275	1.229	0.943	0.515
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.0394	0.0394	1.101	2.1691	2.654	0.733	0.415	0.864
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.0368	0.0368	1.029	1.3868	1.697	0.663	0.606	0.955
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0348	0.0348	0.973	1.0347	1.266	0.466	0.769	1.358
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0335	0.0335	0.937	0.9859	1.206	0.723	0.777	0.876
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0653	0.0653	1.826	1.3038	1.595	0.791	1.145	0.800
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.0979	0.0979	2.737	1.6201	1.982	0.832	1.381	0.761
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0420	0.0420	1.174	1.5571	1.905	0.678	0.616	0.934
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0391	0.0391	1.093	1.2172	1.489	0.513	0.734	1.234
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.2088	0.2088	5.840	1.9838	2.427	1.078	2.406	0.587
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.0569	0.0569	1.593	1.3127	1.606	1.625	0.992	0.390
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0188	0.0188	0.527	0.5987	0.733	0.533	0.720	1.188
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0198	0.0198	0.555	0.4835	0.592	0.360	0.938	1.758
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0195	0.0195	0.544	0.8630	1.056	0.606	0.516	1.045
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0418	0.0418	1.169	1.0707	1.310	0.729	0.892	0.868
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0114	0.0114	0.319	0.3840	0.470	0.411	0.680	1.540
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0071	0.0071	0.198	0.2307	0.282	0.480	0.703	1.319



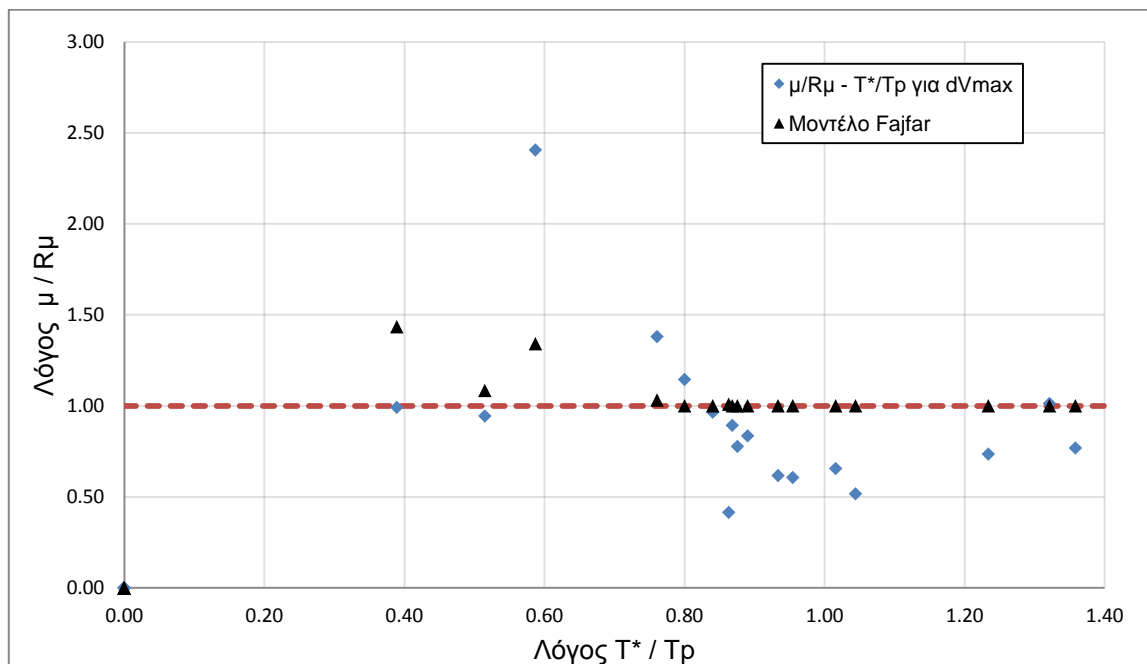
Σχήμα 5.2.36: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.2.37: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

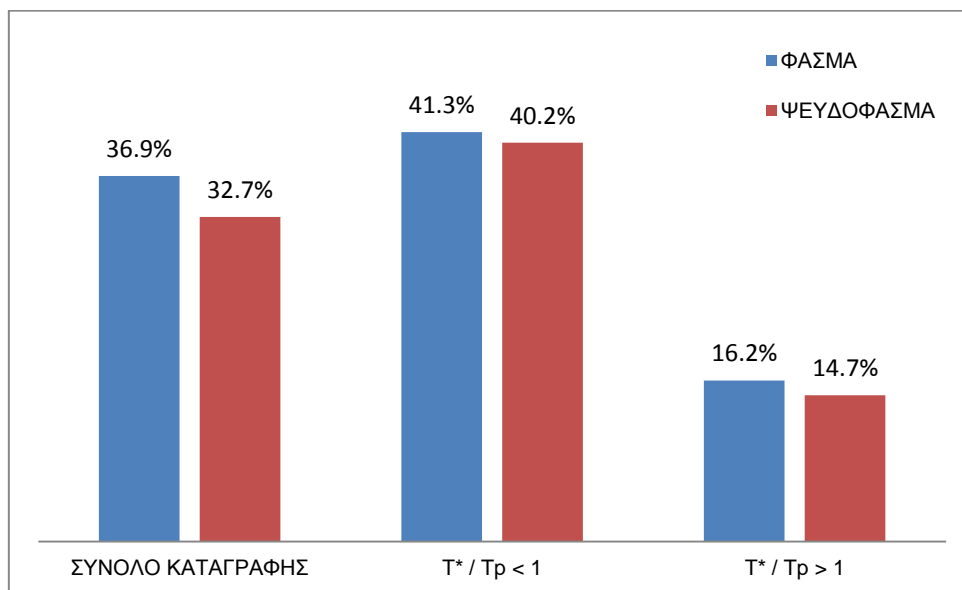


Σχήμα 5.2.38: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{\max} και μοντέλο Fajfar

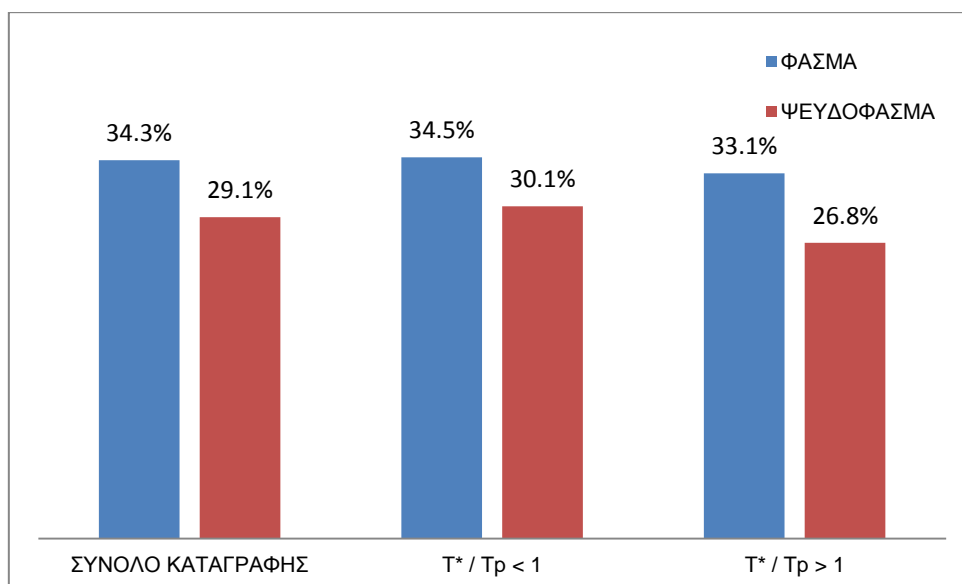


Σχήμα 5.2.39: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για $d_{V\max}$ και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_μ από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία $d_{V\max}$ και d_{\max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.2.40 και 5.2.41.



Σχήμα 5.2.40: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 5.2.41: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{vmax}

Στα Σχήματα 5.2.40 και 5.2.41 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει κατά κανόνα μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{vmax} . Επιπλέον η χρήση των ψευδοφασμάτων οδηγεί σε μικρότερες αποκλίσεις, κάτι που ισχύει ακόμα και για την ζώνη $T^* > T_r$ ανατρέποντας επομένως όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η αντικατάσταση της διαδικασίας που στηρίζεται στην μετακίνηση κορυφής από αυτήν που χρησιμοποιεί τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν ζεύγη με $\mu < 1$ και $R\mu > 1$ παρά την αύξηση της τιμής της πλαστιμότητας ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή αυξάνονται.

5.3. ΕΞΑΩΡΟΦΟ

Η κατασκευή διαθέτει 18 ιδιομορφές των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 5.3.1.

Πίνακας 5.3.1: Ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]
1	1.2800
2	1.2729
3	0.9929
4	0.4046
5	0.4008
6	0.3255
7	0.2172
8	0.2141
9	0.1844
10	0.1365
11	0.1340
12	0.1196
13	0.0941
14	0.0920
15	0.0837
16	0.0720
17	0.0702
18	0.0651

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5, 7-8, 10-11, 13-14 και 16-17.

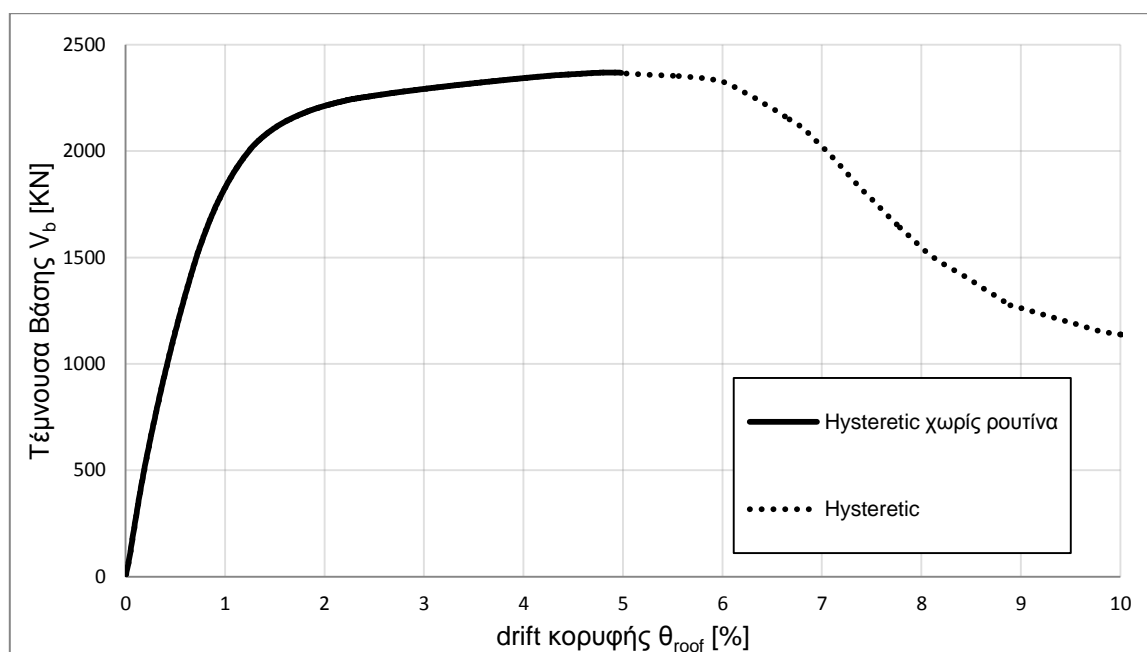
Για σεισμό κατά τη διεύθυνση X η ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι η 2^η και η επόμενη είναι η 5^η. Στη συνέχεια αυτές θα αναφέρονται ως 1^η και 2^η ιδιομορφή.

5.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ

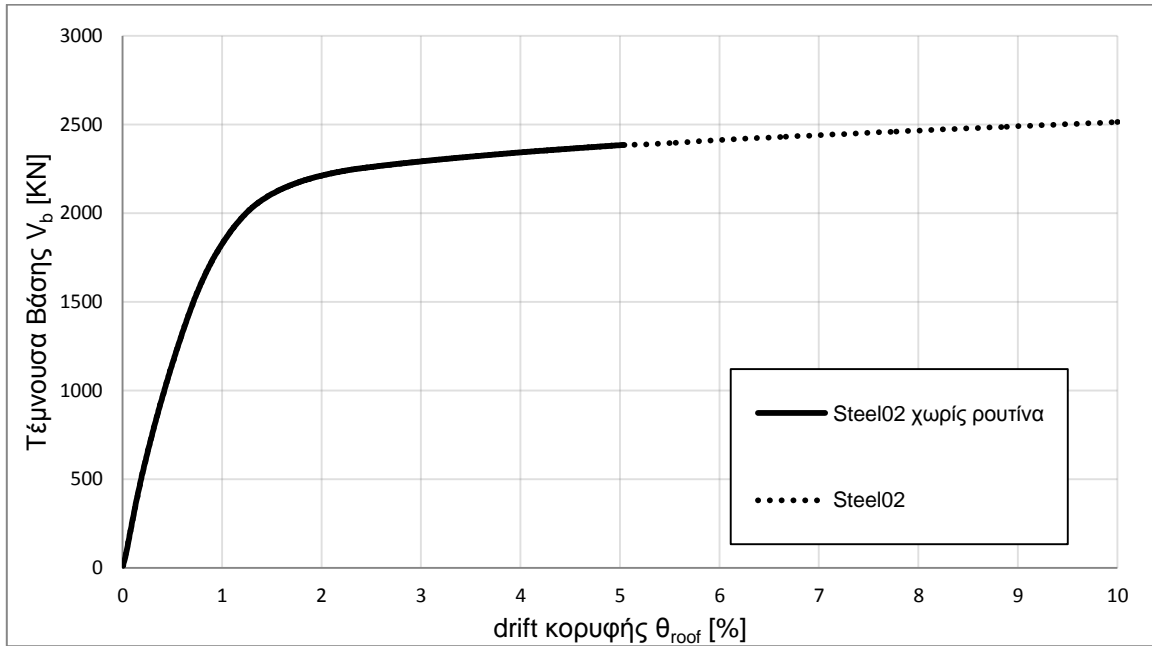
Στα πλαίσια της αναζήτησης του ιδανικότερου προσομοιώματος χάλυβα (αναλυτικότερη περιγραφή στο κεφάλαιο 3.2.2.2) σχεδιάστηκαν οι καμπύλες pushover για τα παρακάτω μοντέλα:

- **Hysteretic** (Σχήμα 5.3.1)
- **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 5.3.2)

Οι αναλύσεις pushover πραγματοποιήθηκαν με και χωρίς τη χρήση της ρουτίνας σύγκλισης που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.

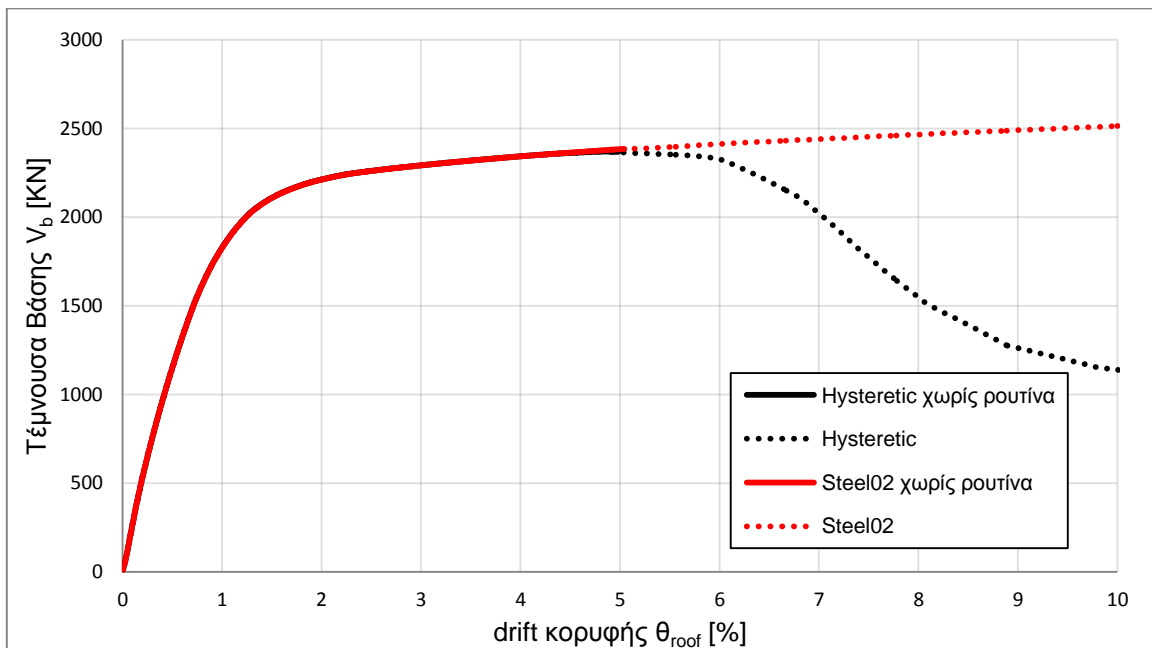


Σχήμα 5.3.1: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic



Σχήμα 5.3.2: Καμπύλες pushover για χάλυβα Steel02

Παρατηρούμε πως με το Steel02 η καμπύλη φτάνει σε πολύ μεγάλες τιμές drift (μεγαλύτερες του 10%) χωρίς να παρουσιάσει το αναμενόμενο πλατό. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην αδυναμία του μοντέλου να αποτυπώσει την πτώση των αντοχών του χάλυβα μετά το σημείο μέγιστης αντοχής f_u , μέχρι το οποίο άλλωστε συμπίπτει με το μοντέλο Hysteretic. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από το Σχήμα 5.3.3 αφού παρατηρούμε πως οι καμπύλες ταυτίζονται έως το σημείο μέγιστης τέμνουσας (drift 4.8%) του χάλυβα Hysteretic.



Σχήμα 5.3.3: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02

Η καμπύλη pushover του μοντέλου Hysteretic διαθέτει αυξανόμενο, σταθερό και πτωτικό κλάδο και ως εκ τούτου προσεγγίζει καλύτερα τη θεωρητική μορφή της καμπύλης. Είναι εύλογο λοιπόν οι επόμενες αναλύσεις να χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο.

Τέλος είναι προφανές ότι η ολοκληρωμένη μορφή της καμπύλης οφείλεται στη ρουτίνα σύγκλισης και πως η χρήση της είναι αναγκαία για τις επόμενες αναλύσεις.

5.3.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ

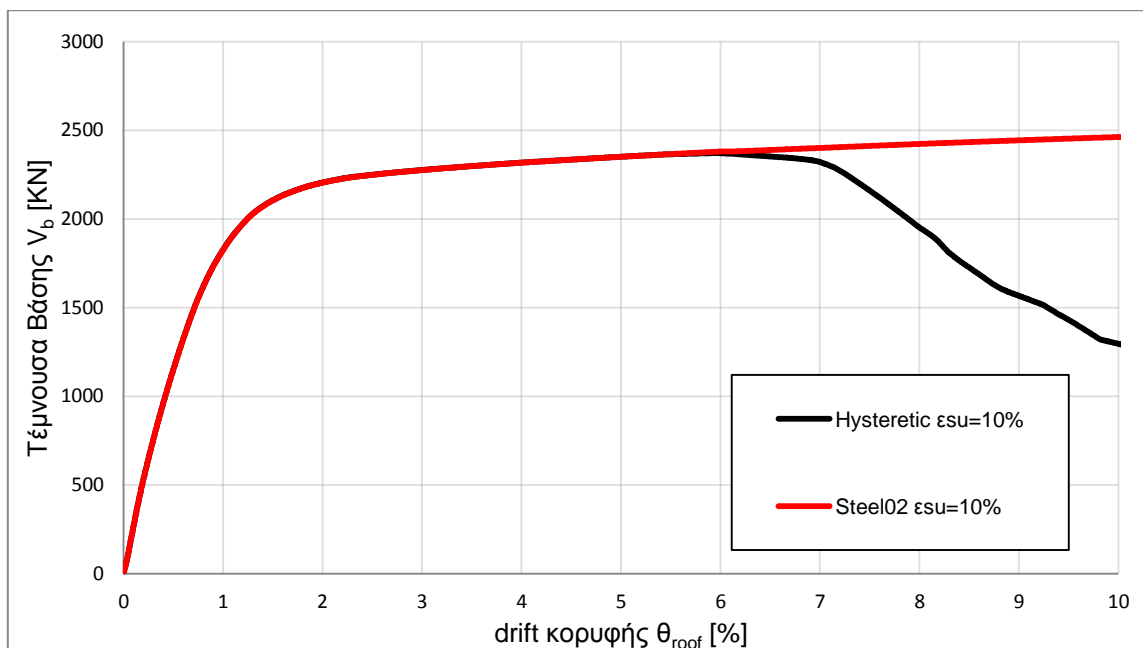
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.2.2.2 η επιμήκυνση ϵ_u του χάλυβα στο μέγιστο φορτίο έχει ληφθεί ίση με την χαρακτηριστική και έχει τιμή

$$\epsilon_u = 7.5\%$$

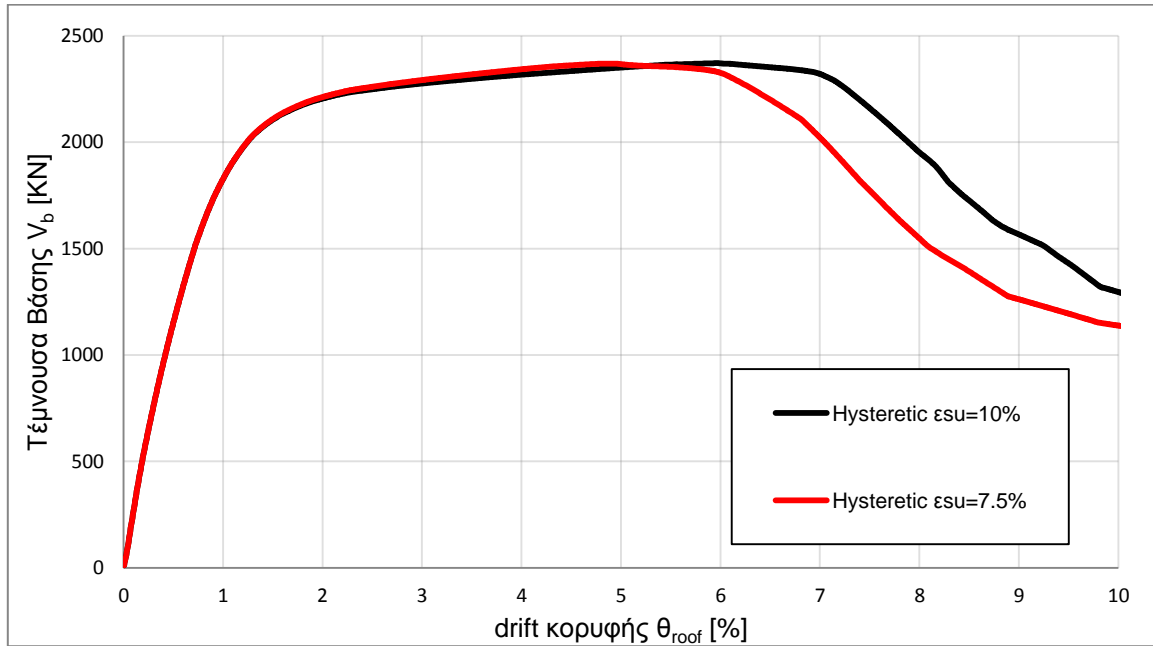
Για να εξετάσουμε την επίδραση του χάλυβα στις αντοχές της κατασκευής δοκιμάζουμε παραμόρφωση με τιμή 20-30% μεγαλύτερη της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για λόγους απλότητας θεωρούμε αντοχή μεγαλύτερη κατά 33% δηλαδή:

$$\epsilon_u = 10.0\%$$

Στο Σχήμα 5.3.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες pushover για μοντέλο χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$ ενώ στο Σχήμα 5.3.5 γίνεται σύγκριση του χάλυβα Hysteretic για τις δύο τιμές παραμόρφωσης ϵ_u .



Σχήμα 5.3.4: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$



Σχήμα 5.3.5: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic με $\epsilon_u = 7.5\%$ και 10.0%

Οι δύο καμπύλες αρχίζουν να διαφοροποιούνται αισθητά όταν η καμπύλη για $\epsilon_u = 7.5\%$ περάσει στον πτωτικό κλάδο. Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί στα κρίσιμα μέλη ο χάλυβας πέρασε τη θέση μέγιστης αντοχής. Επίσης το γεγονός ότι στον περίπου σταθερό κλάδο η καμπύλη 7.5% δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές από αυτήν για 10% φαίνεται να επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση δεδομένης της μεγαλύτερης κλίσης του κρατυνόμενου κλάδου.

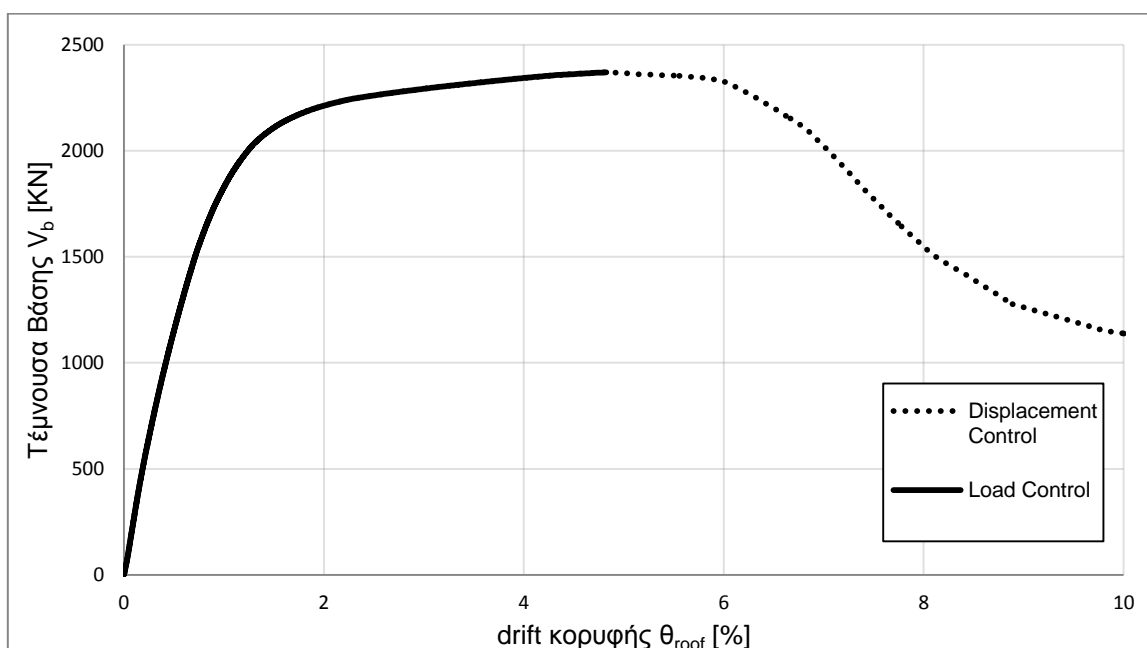
Η μετακίνηση μέγιστης αντοχής της καμπύλης 10% συναντάται λίγο μετά από αυτήν για 7.5% ενώ η τιμή της μέγιστης αντοχής είναι πρακτικά η ίδια. Επομένως, η καμπύλη pushover επί της ουσίας δεν επηρεάζεται από την επιλογή της επιμήκυνσης ϵ_u .

5.3.3. LOADCONTROL PUSHOVER

Η ανάλυση pushover εξ' αρχής πραγματοποιήθηκε με δεδομένο ότι σε κάθε βήμα θα καταγράφεται συγκεκριμένη μετακίνηση κορυφής, ούτως ώστε να αποτυπωθεί ο πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η μορφή αυτή πράγματι καταγράφεται, επομένως η επιλογή που έγινε φαίνεται σε πρώτο βαθμό να είναι επιτυχημένη. Για να επιβεβαιωθεί όμως ότι δεν εμφανίζονται τυχόν αριθμητικά προβλήματα, πραγματοποιείται ανάλυση με σταθερά αυξανόμενα φορτία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι:

integrator LoadControl

Στο Σχήμα 5.3.6 δίνονται οι καμπύλες pushover για τα δύο είδη αναλύσεων.



Σχήμα 5.3.6: Καμπύλες pushover για σταθερό βήμα μετακίνησης και φορτίου

Όπως είχε προβλεφθεί, η Load Control ανάλυση δεν αποτυπώνει τη πτώση των αντοχών καθώς σταματάει στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας. Το βασικότερο όμως είναι ότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται για όσο συνυπάρχουν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάλυση με έλεγχο μετατοπίσεων είναι επιτυχημένη.

5.3.4. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ

Προκειμένου να κατασκευαστεί το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου πρέπει, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1, να υπολογιστούν:

- η μάζα m^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος [ton]
- ο συντελεστής συμμετοχής Γ
- το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής

Χρησιμοποιώντας την κατανομή των φορτίων με την οποία πραγματοποιήθηκε η pushover, δηλαδή την τριγωνική, προκύπτουν οι εξής συντελεστές:

Πίνακας 5.3.2: Συντελεστές Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

m^*	459.12
Γ	1.392
α	0.807

Στη συνέχεια εντοπίζεται η μετακίνηση για την οποία θεωρείται ότι έχει σχηματιστεί μηχανισμός και πέραν αυτής η καμπύλη αντίστασης παύει να περιγράφει σωστά τη κατασκευή. Λόγω της μορφής της καμπύλης η μετακίνηση αυτή δεν είναι προφανής. Μια πρώτη εκτίμηση θα ήταν η θέση μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο με αυτή την επιλογή παραλείπεται ένα μικρό τμήμα για το οποίο η κατασκευή συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία χωρίς ιδιαίτερη πτώση αντοχών. Αναζητείται λοιπόν μια τιμή στην οποία έχει αρχίσει να εμφανίζεται ο πτωτικός κλάδος χωρίς όμως αυτός να είναι μεγάλος.

Οι τιμές στις οποίες καταλήξαμε είναι οι:

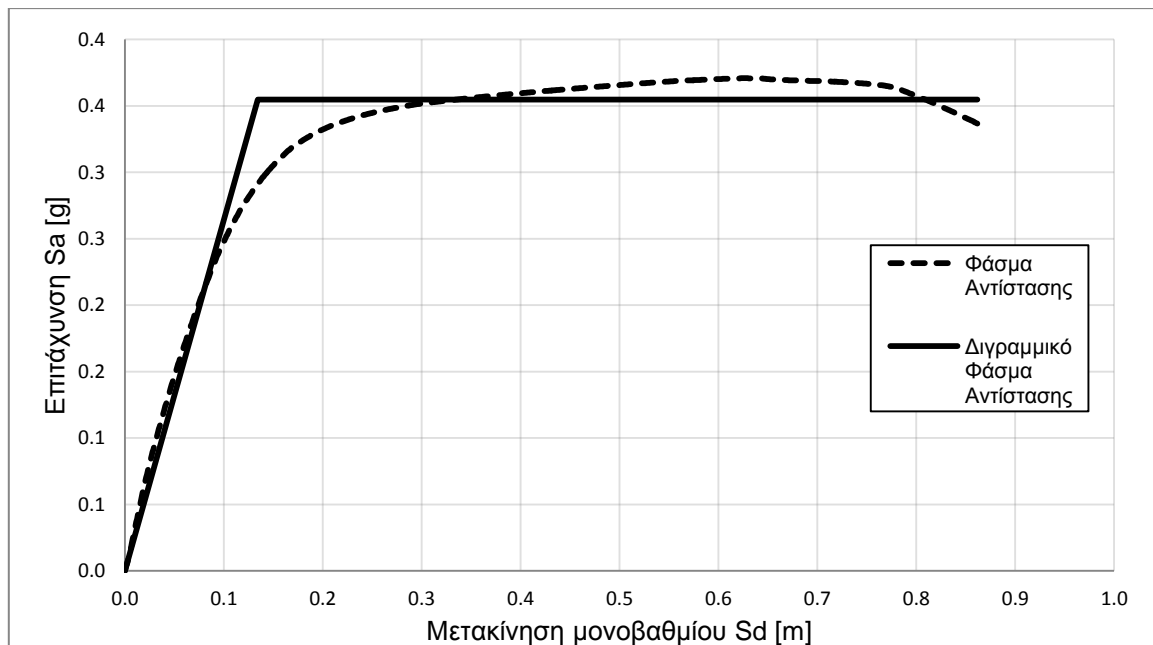
- $d_{max} = 1.1 \text{ m (drift 6.1\%)}$
- $d_{max} = 1.2 \text{ m (drift 6.7\%)}$

Πίνακας 5.3.3: Στοιχεία διγραμμικού φάσματος αντίστασης

	dmax	
	1.1	1.2
T* [sec]	1.222	1.222
Say [g]	0.355	0.355
Sdy [m]	0.135	0.134
Sdu [m]	0.790	0.862

Οι διαφορές στις τιμές της ιδιοπεριόδου T^* , της επιτάχυνσης διαρροής S_{ay} και της μετακίνησης διαρροής S_{dy} του διγραμμικού φάσματος αντίστασης είναι αμελητέες (διαφορά του 3^{ου} δεκαδικού) με αποτέλεσμα οι τρεις λύσεις να είναι ισοδύναμες. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή $d_{max} = 1.2 \text{ m}$ (drift 6.7%) ως (πλασματική) μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου και το αντίστοιχο διγραμμικό δίνονται στο Σχήμα 5.3.7:



Σχήμα 5.3.7: Φάσμα Αντίστασης Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

5.3.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER

Από το ισοδύναμο μονοβάθμιο και τη θεωρητική (τριγωνική) κατανομή των φορτίων προκύπτει μετακίνηση του ορόφου i ίση με:

$$d_i = S_d \cdot \Gamma \cdot \varphi_i = \frac{d_{top} \cdot \varphi_i}{\varphi_{top}}$$

Θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικές τις κατανομές στη μετακίνηση μέγιστης αντοχής d_{vmax} και στη μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης d_{max} που υπολογίστηκε προηγουμένως, κατασκευάζονται οι παρακάτω πίνακες.

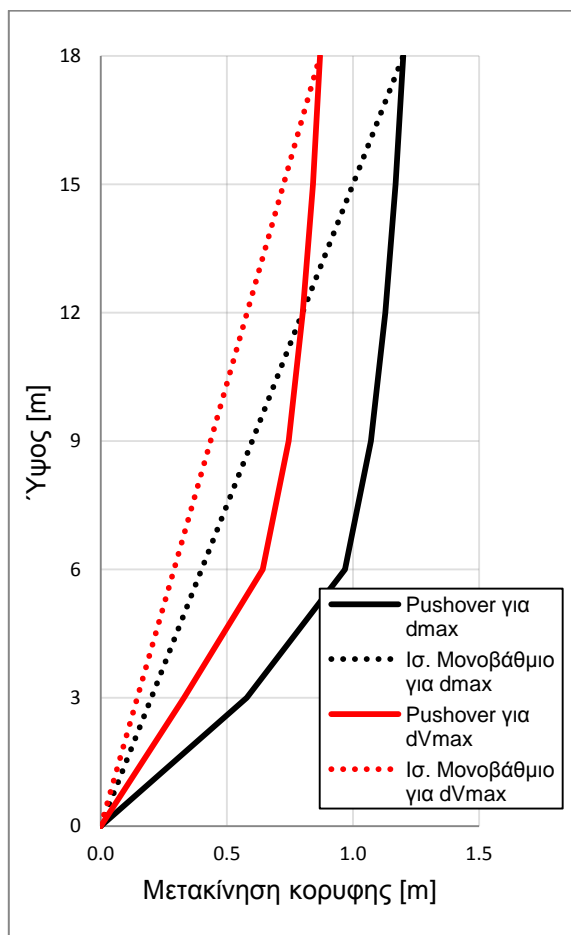
Πίνακας 5.3.4: Κατανομή μετακινήσεων για d_{max}

	d_{max} 1.200		
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	Διαφορά (%)
Όροφος 1	0.579	0.200	189.52
Όροφος 2	0.969	0.400	142.15
Όροφος 3	1.072	0.600	78.64
Όροφος 4	1.128	0.800	41.05
Όροφος 5	1.169	1.000	16.95
Όροφος 6	1.200	1.200	0.00

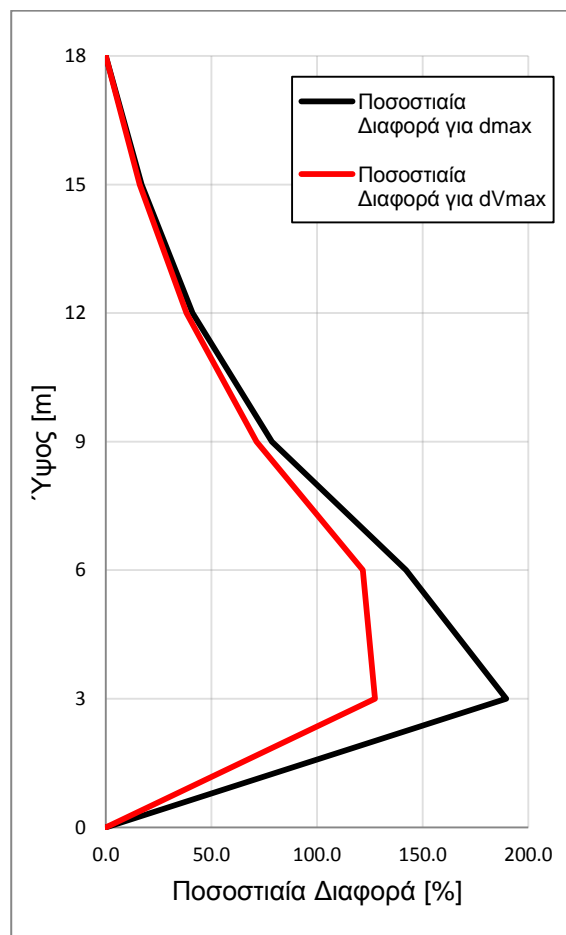
Πίνακας 5.3.5: Κατανομή μετακινήσεων για d_{vmax}

	d_{vmax} 0.870		
	πραγματικά d	Τριγωνική Κατανομή	Διαφορά (%)
Όροφος 1	0.330	0.145	127.43
Όροφος 2	0.643	0.290	121.60
Όροφος 3	0.745	0.435	71.32
Όροφος 4	0.801	0.580	38.18
Όροφος 5	0.841	0.725	16.05
Όροφος 6	0.870	0.870	0.00

Τα Σχήματα 5.3.8 και 5.3.9 αποτυπώνουν τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις σε σύγκριση με τις ιδεατές της τριγωνικής κατανομής καθώς και τις ποσοστιαίες διαφορές τους.



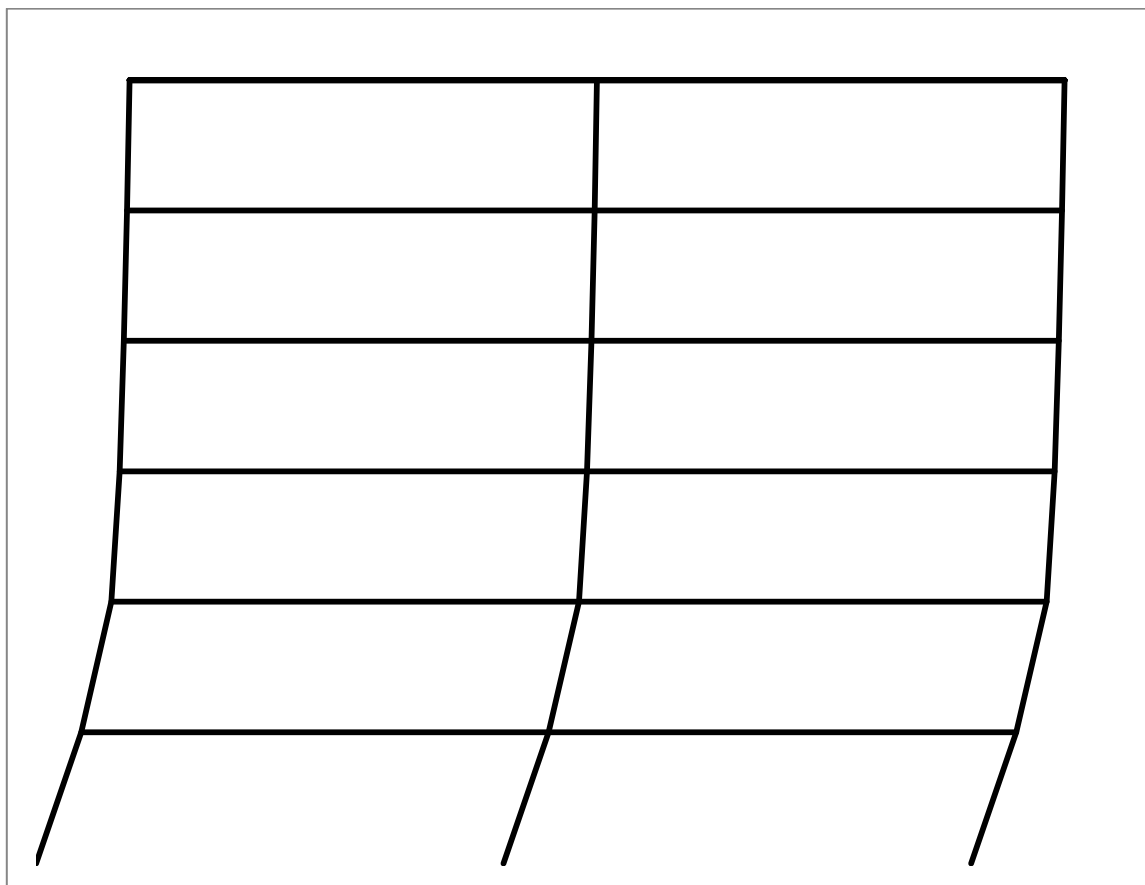
Σχήμα 5.3.8: Κατανομή μετακινήσεων



Σχήμα 5.3.9: Κατανομή Ποσοστιαίων Διαφορών

Είναι προφανές πως για μετακίνηση κορυφής d_{Vmax} η κατανομή των μετακινήσεων προσεγγίζει την ιδεατή περισσότερο απ' ό,τι για μετακίνηση d_{max} . Αυτό είναι λογικό καθώς η γραμμική κατανομή ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ελαστικό τμήμα των παραμορφώσεων, στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα αστοχίες μελών. Η θέση μέγιστης αντοχής, παρόλο που βρίσκεται βαθιά μέσα στο ανελαστικό τμήμα απόκρισης, δεν εμφανίζει τόσες βλάβες όπως στη θέση d_{max} και ο μηχανισμός κατάρρευσης δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί με αποτέλεσμα η κατανομή των μετακινήσεων να είναι πλησιέστερα στη θεωρητική.

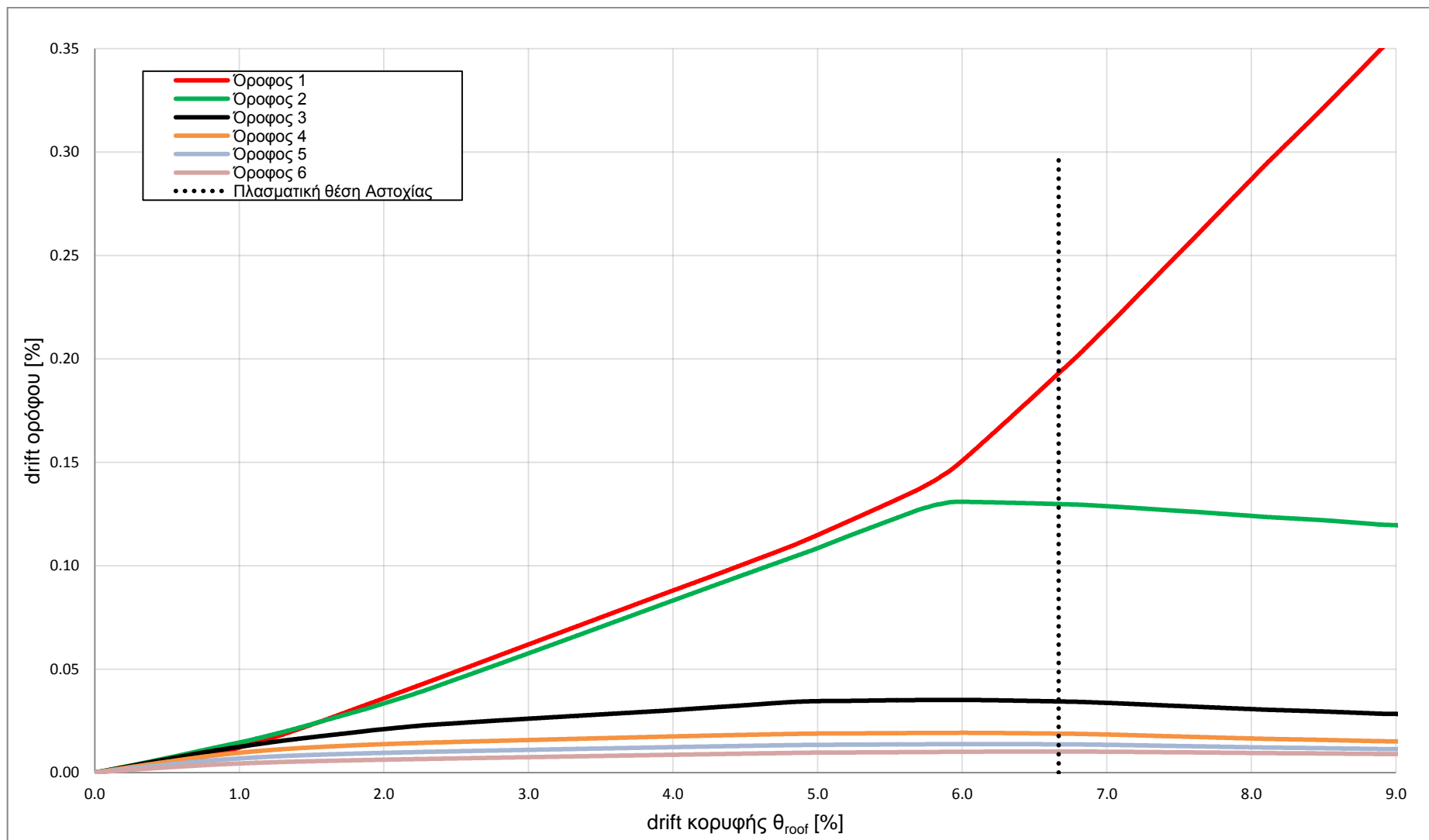
Στο Σχήμα 5.3.10 παρουσιάζεται ο φορέας στην παραμορφωμένη κατάσταση για μετακίνηση κορυφής d_{max} .



Σχήμα 5.3.10: Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα για μετακίνηση κορυφής d_{max}

Είναι φανερό πως οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων μειώνονται καθ' ύψος πλησιάζοντας έτσι την παραβολική κατανομή που δίνουν οι αμιγώς πλαισιωτοί φορείς.

Καταγράφοντας την εξέλιξη του drift κάθε ορόφου (Σχήμα 5.3.11) μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι όροφοι 1 και 2 εμφανίζουν κοινά drift για μεγάλο διάστημα με αποτέλεσμα οι παραμορφώσεις να συγκεντρώνονται στο τέλος του 2^{ου} ορόφου. Ωστόσο, λίγο πριν τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας το drift του 2^{ου} σταματάει να αυξάνεται σε αντίθεση με του 1^{ου}, γεγονός που μαρτυρά ότι η κατάρρευση επέρχεται λόγω **μηχανισμού ορόφου στον 1^ο όροφο.**



Σχήμα 5.3.11: drift ορόφων συναρτήσει του ολικού drift

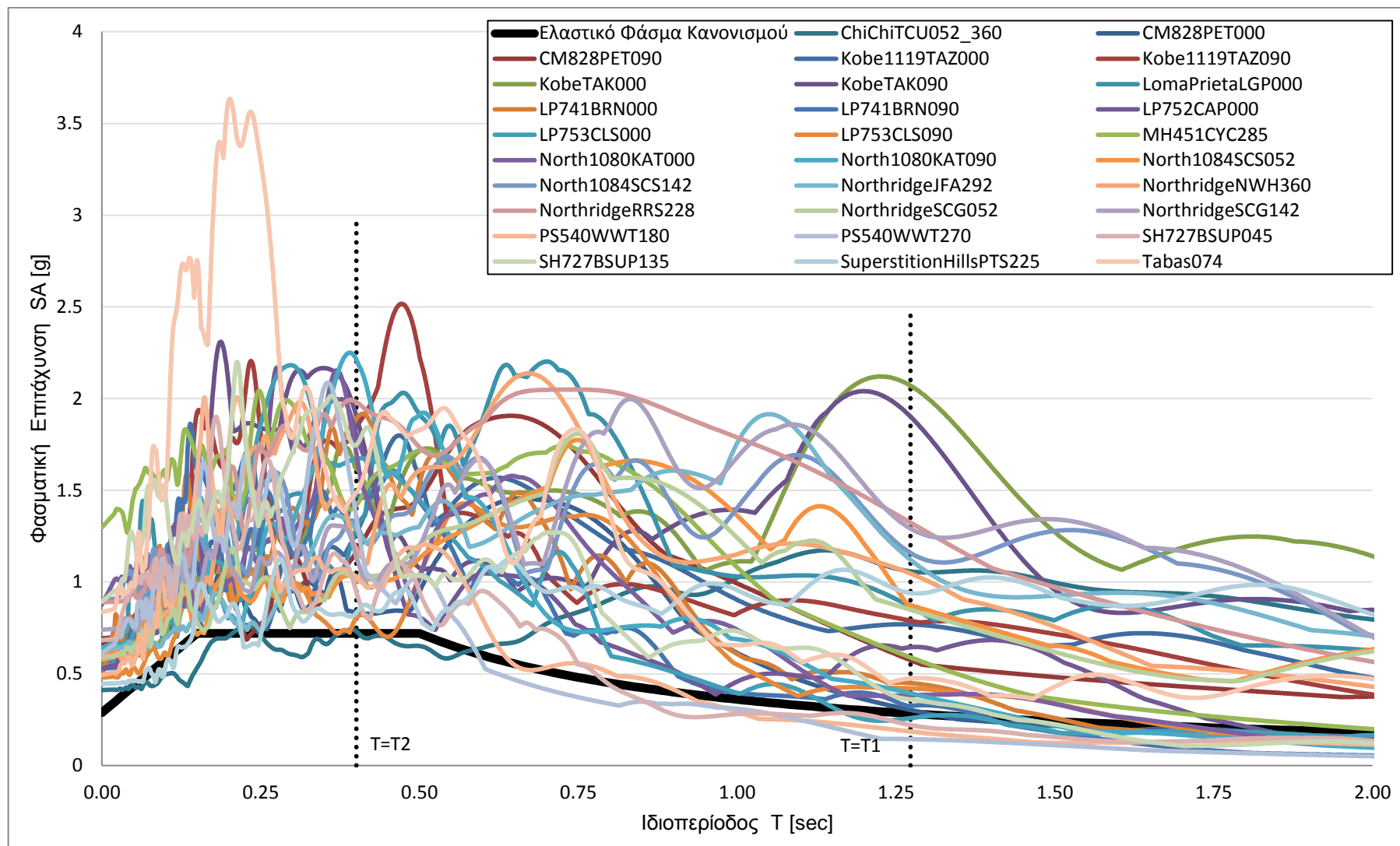
5.3.6. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής δίνονται στον Πίνακα 5.3.6 ενώ περισσότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 5.3.6: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Καταγραφή
1	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET000
2	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET090
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_360
4	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ000
5	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090
6	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK000
7	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090
8	Loma Prieta	18/10/89	Los Gatos Presentation Center	LomaPrietaLGP000
9	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN000
10	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN090
11	Loma Prieta	18/10/89	Capitola	LP752CAP000
12	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS000
13	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS090
14	Morgan Hill	24/04/84	Coyote Lake Dam (SW Abut)	MH451CYC285
15	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT180
16	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT270
17	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT000
18	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT090
19	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS052
20	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS142
21	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA292
22	Northridge	17/01/94	Newhall-Fire Station	NorthridgeNWH360
23	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228
24	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG052
25	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG142
26	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP045
27	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP135
28	Superstition Hills	24/11/87	Parachute Test Site	SuperstitionHillsPTS225
29	Tabas	16/09/78	Tabas	Tabas074

Στο Σχήμα 5.3.12 έχουν σχεδιαστεί τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των καταγραφών και το φάσμα σχεδιασμού. Η καταλληλότητα των επιλεγμένων σεισμών φαίνεται από το πλήθος των φασμάτων που για τις τιμές των ιδιοπεριόδων T_1 και T_2 υπερβαίνουν τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.



Σχήμα 5.3.12: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων για απόσβεση ζ=5%

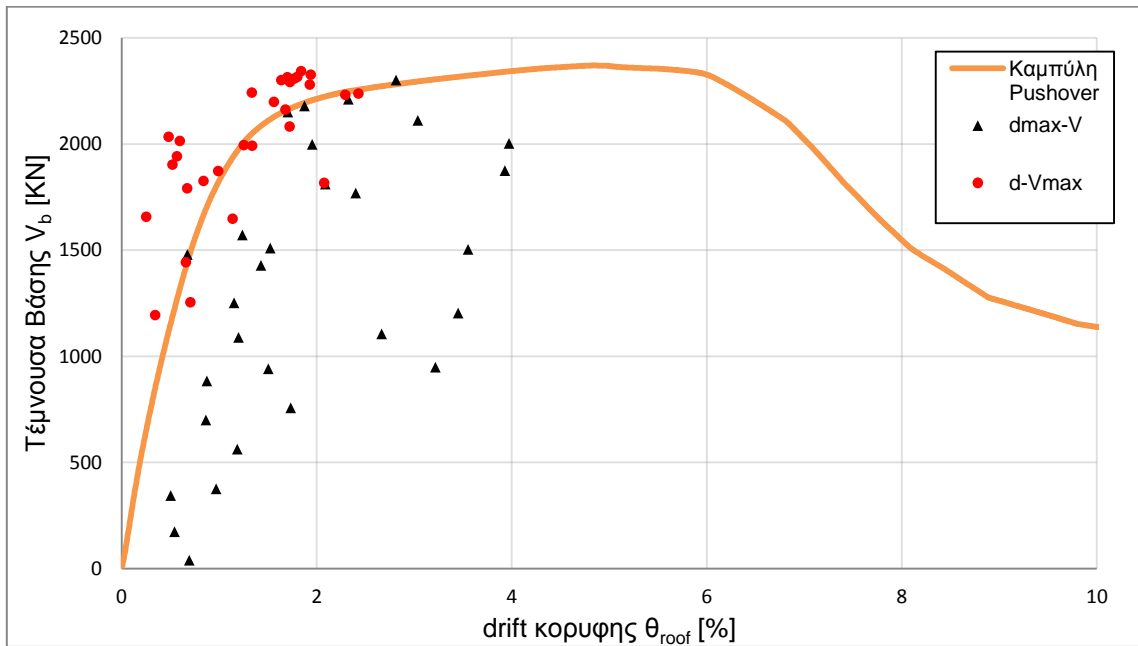
5.3.7. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max}, V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{vmax}, V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στο Πίνακα 5.3.7.

Πίνακας 5.3.7: Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις κορυφής και τέμνουσες βάσης

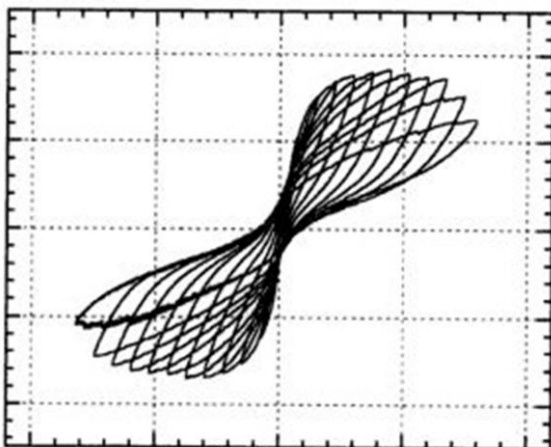
		d_{max} [m]	V_{dmax} [KN]	d_{vmax} [m]	V_{max} [KN]
ChiChiTCU052_360	scale 1.0	0.547	2111.5	0.350	2325.0
CM828PET000	scale 1.0	0.158	884.1	0.128	1253.8
CM828PET090	scale 1.0	0.307	2151.0	0.282	2196.9
Kobe1119TAZ000	scale 1.0	0.480	1106.2	0.348	2278.8
Kobe1119TAZ090	scale 1.0	0.432	1768.7	0.332	2341.8
KobeTAK000	scale 1.0	0.352	1998.0	0.303	2161.8
KobeTAK090	scale 1.0	0.579	948.5	0.241	2241.1
LomaPrietaLGP000	scale 1.0	0.419	2211.3	0.413	2230.8
LP741BRN000	scale 1.0	0.208	1252.6	0.108	2013.1
LP741BRN090	scale 1.0	0.156	700.5	0.087	2032.8
LP752CAP000	scale 1.0	0.274	1509.9	0.179	1872.1
LP753CLS000	scale 1.0	0.132	39.3	0.119	1442.3
LP753CLS090	scale 1.0	0.223	1571.2	0.205	1647.0
MH451CYC285	scale 1.0	0.257	1427.9	0.226	1994.1
North1080KAT000	scale 1.0	0.216	1088.6	0.152	1824.9
North1080KAT090	scale 1.0	0.214	563.4	0.103	1941.8
North1084SCS052	scale 1.0	0.507	2301.5	0.320	2308.2
North1084SCS142	scale 1.0	0.708	1874.4	0.306	2313.9
NorthridgeJFA292	scale 1.0	0.640	1503.8	0.311	2081.0
NorthridgeNWH360	scale 1.0	0.320	756.8	0.311	2290.4
NorthridgeRRS228	scale 1.0	0.715	2002.7	0.438	2236.1
NorthridgeSCG052	scale 1.0	0.338	2180.1	0.325	2314.8
NorthridgeSCG142	scale 1.0	0.622	1203.8	0.295	2299.6
PS540WWT180	scale 1.0	0.106	174.6	0.046	1656.8
PS540WWT270	scale 1.0	0.091	345.0	0.062	1193.1
SH727BSUP045	scale 1.0	0.122	1479.4	0.095	1902.1
SH727BSUP135	scale 1.0	0.175	375.7	0.121	1789.9
SuperstitionHillsPTS225	scale 1.0	0.376	1812.3	0.375	1815.7
Tabas074	scale 1.0	0.271	941.4	0.241	1990.5

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την pushover προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (Σχήμα 5.3.13).



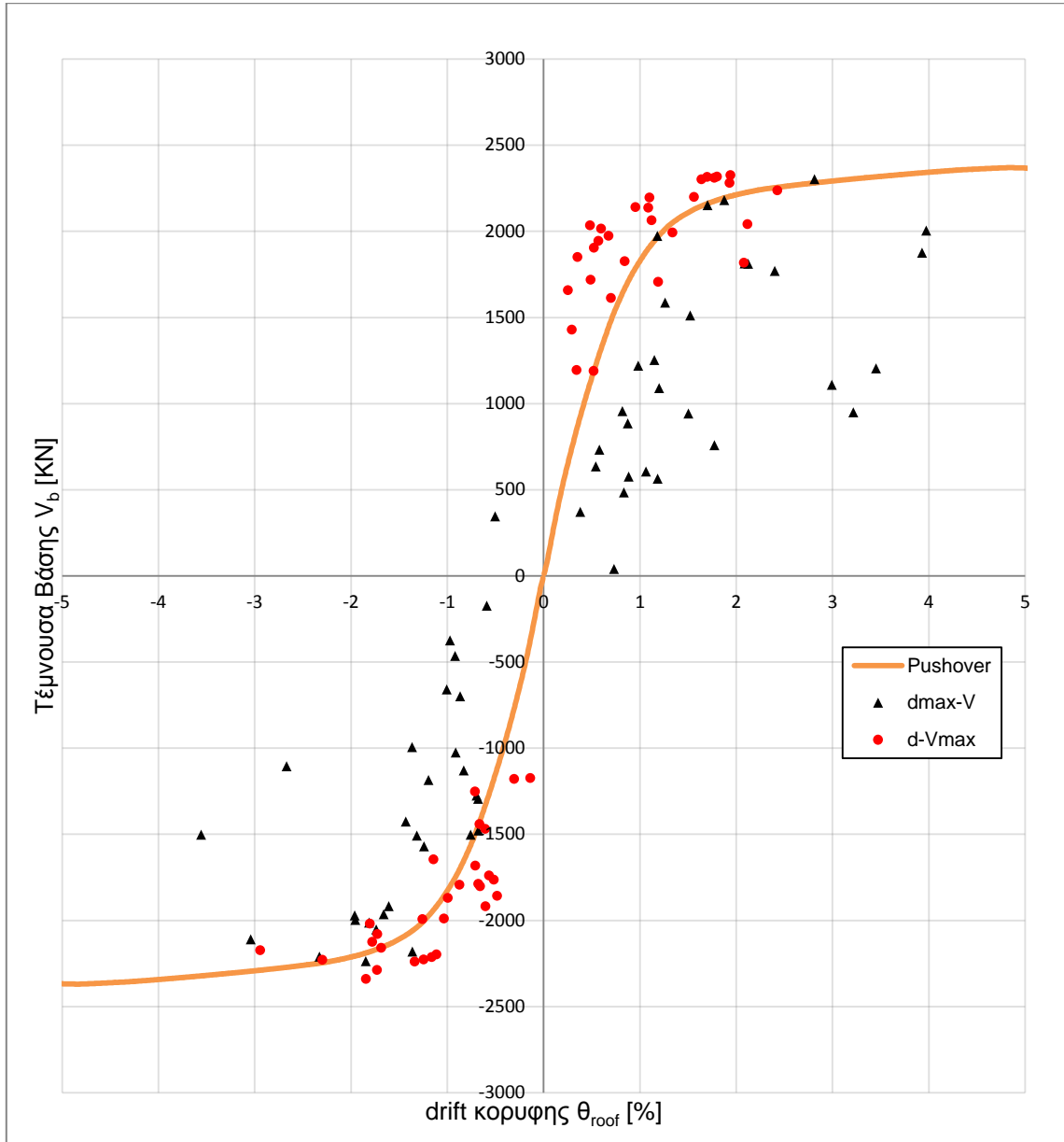
Σχήμα 5.3.13: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

Όπως διαπιστώνεται, οι περισσότεροι σεισμοί (όσον αφορά τα d_{max}) ωθούν την κατασκευή στα όρια της ελαστικής περιοχής και μέχρι την αρχή του πλατό. Αυτοί που την οδηγούν βαθιά μέσα στην ανελαστική περιοχή είναι ελάχιστοι. Είναι προφανές ότι τα σημεία μέγιστης τέμνουσας προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την καμπύλη pushover κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει με τα σημεία μέγιστης μετακίνησης. Για επιβεβαιωθεί η ορθότητα αυτού του ισχυρισμού σχεδιάζονται τα ζεύγη και προς τις δύο κατευθύνσεις παραμόρφωσης (Σχήμα 5.3.15) δίνοντας έτσι τις πραγματικές κατανομές. Στο νέο σχήμα οι αποκλίσεις μειώνονται, ωστόσο παραμένουν σημαντικές.



Σχήμα 5.3.14: Θεωρητική μορφή δυναμικής απόκρισης

Λόγω της σταδιακής πτώσης της δυσκαμψίας η θεωρητική μορφή της καμπύλης τέμνουσας-μετακίνησης κορυφής είναι αυτή του Σχήματος 5.3.14 και υποδηλώνει ότι τα σημεία μέγιστης μετακίνησης θα έπρεπε να εντοπίζονται κοντά στον πτωτικό κλάδο της pushover ή έστω στο πλατό.



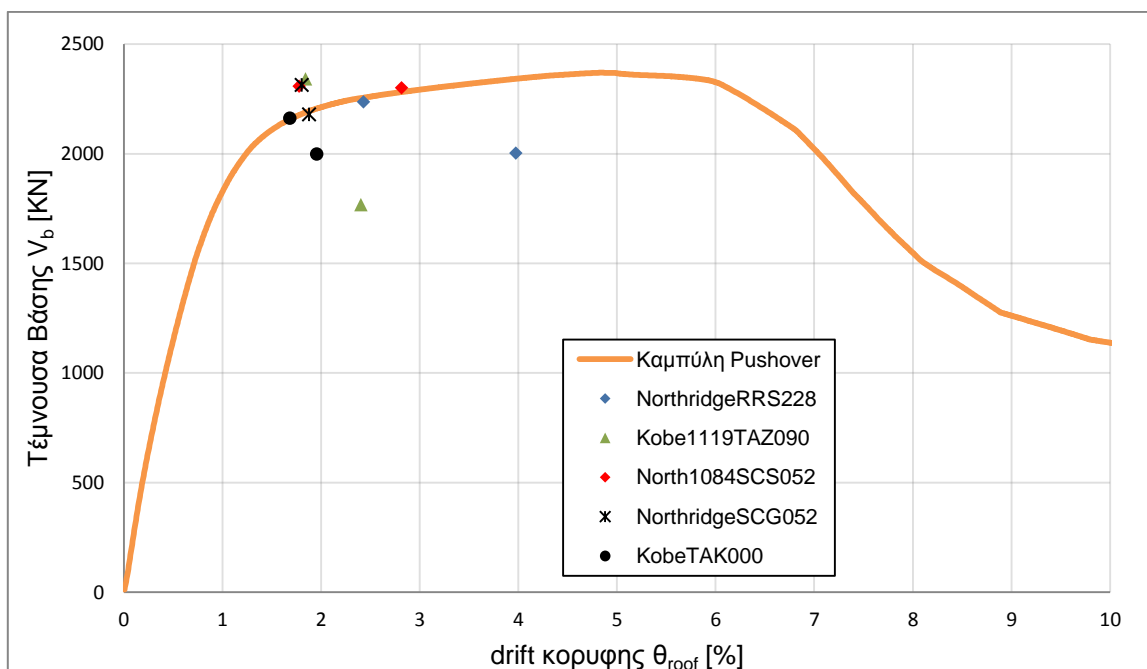
Σχήμα 5.3.15: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

5.3.8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη pushover προσεγγίζει περισσότερο τα σημεία μέγιστης τέμνουσας παρά μετακίνησης. Προκειμένου να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για τους λόγους αυτής της διαφοροποίησης, θα εξεταστεί η κατανομή των μετακινήσεων για ορισμένες καταγραφές και της pushover για ίδια μετακίνηση κορυφής. Οι καταγραφές που επιλέγονται διαθέτουν μια εκ των δύο τιμών (d_{max} ή d_{Vmax}) κοντά στην καμπύλη pushover. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αναμενόμενες αποκλίσεις είναι μικρές.

Οι καταγραφές που επιλέχθηκαν (Σχήμα 5.3.16) είναι οι:

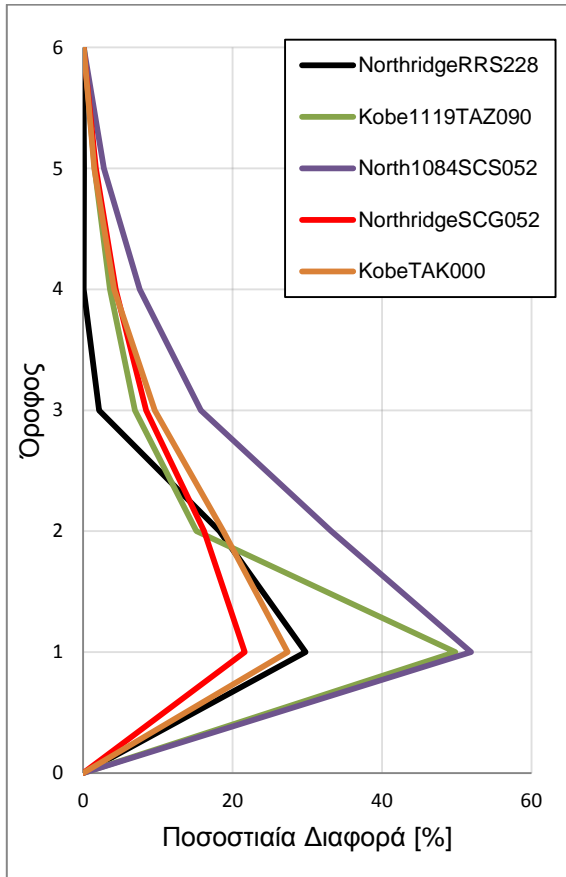
- **NorthridgeRRS228** (σημείο d_{Vmax} κοντά σε καμπύλη και μέγιστο d_{max})
- **Kobe1119TAZ090** (μέγιστο d_{max})
- **North1084SCS052** (σημείο d_{max} κοντά σε καμπύλη)
- **NorthridgeSCG052** (σημείο d_{max} κοντά σε καμπύλη)
- **KobeTAK000** (σημείο d_{Vmax} κοντά σε καμπύλη)



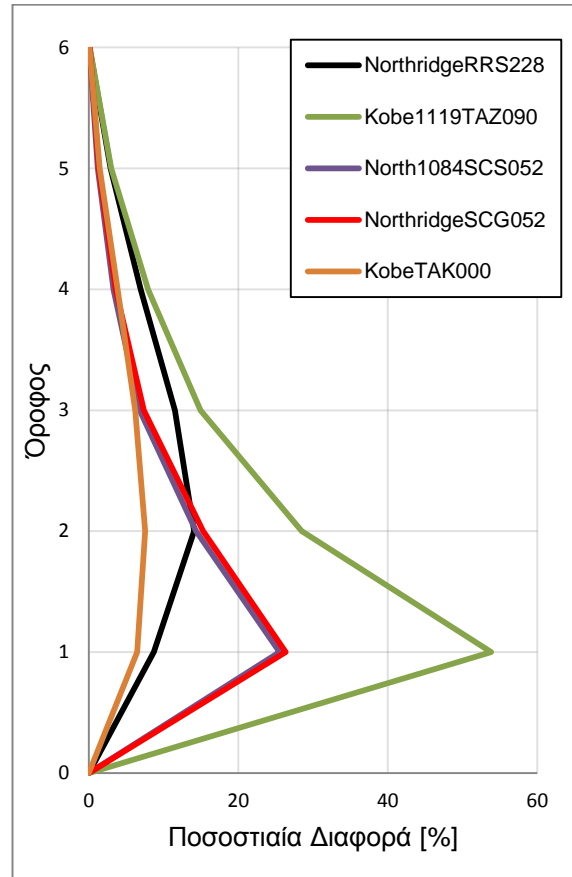
Σχήμα 5.3.16: Επιλεγμένες καταγραφές για έλεγχο της κατανομής των μετακινήσεων

Για τη σύγκριση χρησιμοποιούνται οι μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί από τη δυναμική ανάλυση ιστορίας του σεισμικού συμβάντος και οι μετακινήσεις της pushover για τις οποίες η μετακίνηση κορυφής είναι ίδια.

Στα Σχήματα 5.3.17 και 5.3.18 δίνεται η κατανομή της ποσοστιαίας διαφοράς και όχι καθ' εαυτού η μετακίνηση καθώς επιτρέπει τη πραγματοποίηση συγκρίσεων.



Σχήμα 5.3.17: Ποσοστιαία διαφορά για d_{max}



Σχήμα 5.3.18: Ποσοστιαία διαφορά για d_{vmax}

Καταρχάς πρέπει να τονιστεί ότι οι διαφορές από την κατανομή της pushover είναι δικαιολογημένες καθώς δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών.

Εξετάζοντας κάθε καταγραφή ξεχωριστά διαπιστώνεται ότι για τα σημεία d_{vmax} που βρίσκονται πλησιέστερα στην καμπύλη η απόκλιση είναι η μικρότερη του ζεύγους. Η παρατήρηση όμως αυτή δεν επαληθεύεται όταν τα σημεία κοντά στη καμπύλη είναι τα d_{max} .

Συγκρίνοντας αντίστοιχα σημεία σε διαφορετικές καταγραφές η κατάσταση επαναλαμβάνεται. Για τα σημεία d_{vmax} οι καταγραφές που βρίσκονται κοντά στην καμπύλη πράγματι εμφανίζουν μικρότερη απόκλιση από άλλες πιο απομακρυσμένες. Ωστόσο αυτός ο κανόνας δεν ισχύει για τα σημεία d_{max} . Για παράδειγμα, η απόκλιση του NorthridgeSCG052 είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του KobeTAK000 (σχεδόν διπλάσια στο 1^ο όροφο) παρόλο που η πρώτη είναι κοντά στην καμπύλη ενώ η δεύτερη όχι.

Η πιθανότερη εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι πως για d_{max} ο φορέας έχει αποδιοργανωθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα οι ανώτερες ιδιομορφές να παίζουν σημαντικότερο ρόλο απ' ότι στην αρχή, αλλάζοντας την κατανομή των φορτίων.

5.3.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R_{μ} - μ

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί για κάθε σεισμό η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ και ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} .

Καταρχάς από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων κάθε καταγραφής εντοπίζεται η φασματική επιτάχυνση SA που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο $T^*=1.222$ sec του ισοδύναμου μονοβάθμιου και διαιρείται με την επιτάχυνση διαρροής S_{ay} . Στη συνέχεια υπολογίζεται η Δεσπόζουσα Περίοδος T_p της εδαφικής κίνησης θεωρώντας απλοποιητικά ότι πρόκειται για την περίοδο στην οποία το φάσμα ταχυτήτων λαμβάνει μέγιστη τιμή. Τέλος από τη μετακίνηση κορυφής και από τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου υπολογίζεται η πλαστιμότητα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το ψευδοφάσμα επιταχύνσεων και ταχυτήτων.

Πίνακας 5.3.8: Τιμές Φασματικών & ΨευδοΦασματικών επιταχύνσεων και περιόδων T_p

	Από Φάσματα		Από ΨευδοΦάσματα	
	SA (T*) [g]	T_p [sec]	SA (T*) [g]	T_p [sec]
ChiChiTCU052_360	1.1029	10.0500	1.0980	8.2900
CM828PET000	0.3421	0.7400	0.3383	0.7530
CM828PET090	0.6466	0.7560	0.6408	0.7110
Kobe1119TAZ000	0.7639	1.7490	0.7607	1.6920
Kobe1119TAZ090	0.8230	1.3350	0.8201	0.4790
KobeTAK000	2.1201	1.2780	2.1102	1.2610
KobeTAK090	2.0262	1.2570	2.0168	1.2290
LomaPrietaLGP000	0.9521	0.7400	0.9458	0.7330
LP741BRN000	0.4721	0.8840	0.4685	0.6630
LP741BRN090	0.3826	0.4770	0.3789	0.4660
LP752CAP000	0.6527	1.4890	0.6489	1.4240
LP753CLS000	0.2438	0.7360	0.2419	0.7230
LP753CLS090	0.4248	0.7620	0.4219	0.7910
MH451CYC285	0.6583	0.8020	0.6538	0.8320
North1080KAT000	0.3802	0.6660	0.3777	0.6780
North1080KAT090	0.4316	0.5340	0.4277	0.5130
North1084SCS052	1.1065	2.9480	1.1000	2.6650
North1084SCS142	1.3134	1.6280	1.3062	1.5790
NorthridgeJFA292	1.2884	1.1140	1.2805	1.0690
NorthridgeNWH360	1.1082	1.2700	1.1036	0.7020
NorthridgeRRS228	1.4244	1.0350	1.4157	1.0780
NorthridgeSCG052	0.9021	2.9270	0.8961	2.6660
NorthridgeSCG142	1.4418	1.6110	1.4334	1.1110
PS540WWT180	0.2053	0.5220	0.2035	0.5330
PS540WWT270	0.1486	0.3690	0.1468	0.3600
SH727BSUP045	0.2620	0.6270	0.2594	0.6060
SH727BSUP135	0.4228	0.7320	0.4208	0.7290
SuperstitionHillsPTS225	1.0062	1.9160	1.0032	1.8590
Tabas074	0.4920	4.7110	0.4895	4.8670

Πίνακας 5.3.9: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S _{A,el} [g]	$R_{\mu} = S_{A,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
ChiChiTCU052_360	για d _{max}	0.5470	0.3929	2.928	1.1029	3.108	10.050	0.942	0.122
CM828PET000	για d _{max}	0.1577	0.1133	0.844	0.3421	0.964	0.740	0.875	1.651
CM828PET090	για d _{max}	0.3070	0.2205	1.643	0.6466	1.822	0.756	0.902	1.616
Kobe1119TAZ000	για d _{max}	0.4803	0.3450	2.571	0.7639	2.153	1.749	1.194	0.699
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.4325	0.3107	2.315	0.8230	2.319	1.335	0.998	0.915
KobeTAK000	για d _{max}	0.3518	0.2527	1.883	2.1201	5.975	1.278	0.315	0.956
KobeTAK090	για d _{max}	0.5792	0.4161	3.100	2.0262	5.710	1.257	0.543	0.972
LomaPrietaLGP000	για d _{max}	0.4185	0.3007	2.240	0.9521	2.683	0.740	0.835	1.651
LP741BRN000	για d _{max}	0.2076	0.1491	1.111	0.4721	1.331	0.884	0.835	1.382
LP741BRN090	για d _{max}	0.1556	0.1118	0.833	0.3826	1.078	0.477	0.772	2.562
LP752CAP000	για d _{max}	0.2744	0.1971	1.468	0.6527	1.840	1.489	0.798	0.821
LP753CLS000	για d _{max}	0.1321	0.0949	0.707	0.2438	0.687	0.736	1.029	1.660
LP753CLS090	για d _{max}	0.2232	0.1603	1.195	0.4248	1.197	0.762	0.998	1.604
MH451CYC285	για d _{max}	0.2572	0.1848	1.377	0.6583	1.855	0.802	0.742	1.524
North1080KAT000	για d _{max}	0.2163	0.1554	1.157	0.3802	1.072	0.666	1.080	1.835
North1080KAT090	για d _{max}	0.2137	0.1535	1.144	0.4316	1.216	0.534	0.940	2.288
North1084SCS052	για d _{max}	0.5067	0.3640	2.712	1.1065	3.118	2.948	0.870	0.415
North1084SCS142	για d _{max}	0.7079	0.5085	3.789	1.3134	3.702	1.628	1.024	0.751
NorthridgeJFA292	για d _{max}	0.6398	0.4596	3.425	1.2884	3.631	1.114	0.943	1.097

Πίνακας 5.3.9: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_\mu = SA_{,el} / Say$	T_p [sec]	μ / R_μ	T^* / T_p	
NorthridgeNWH360	για d_{max}	0.3196	0.2296	1.710	1.1082	3.123	1.270	0.548	0.962
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.7153	0.5138	3.828	1.4244	4.014	1.035	0.954	1.181
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.3381	0.2429	1.810	0.9021	2.542	2.927	0.712	0.417
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.6215	0.4465	3.327	1.4418	4.063	1.611	0.819	0.759
PS540WWT180	για d_{max}	0.1057	0.0760	0.566	0.2053	0.579	0.522	0.978	2.341
PS540WWT270	για d_{max}	0.0905	0.0650	0.484	0.1486	0.419	0.369	1.157	3.312
SH727BSUP045	για d_{max}	0.1217	0.0874	0.651	0.2620	0.738	0.627	0.882	1.949
SH727BSUP135	για d_{max}	0.1747	0.1255	0.935	0.4228	1.192	0.732	0.785	1.669
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.3761	0.2702	2.013	1.0062	2.836	1.916	0.710	0.638
Tabas074	για d_{max}	0.2712	0.1948	1.452	0.4920	1.387	4.711	1.047	0.259

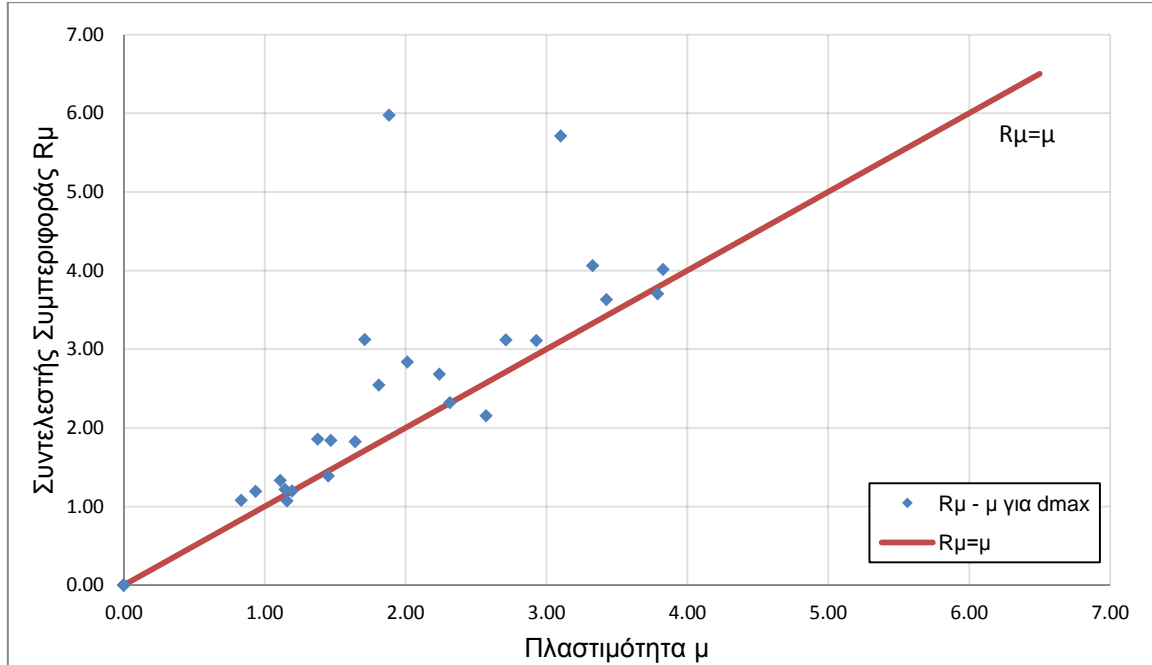
Πίνακας 5.3.10: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_\mu = SA_{,el} / Say$	T_p [sec]	μ / R_μ	T^* / T_p	
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.3498	0.2513	1.872	1.1029	3.108	10.050	0.602	0.122
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.1277	0.0917	0.683	0.3421	0.964	0.740	0.709	1.651
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.2818	0.2024	1.508	0.6466	1.822	0.756	0.828	1.616
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.3481	0.2500	1.863	0.7639	2.153	1.749	0.865	0.699
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.3316	0.2382	1.775	0.8230	2.319	1.335	0.765	0.915
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.3032	0.2178	1.623	2.1201	5.975	1.278	0.272	0.956
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.2408	0.1730	1.289	2.0262	5.710	1.257	0.226	0.972
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.4132	0.2968	2.211	0.9521	2.683	0.740	0.824	1.651
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.1080	0.0776	0.578	0.4721	1.331	0.884	0.434	1.382
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0873	0.0627	0.467	0.3826	1.078	0.477	0.433	2.562

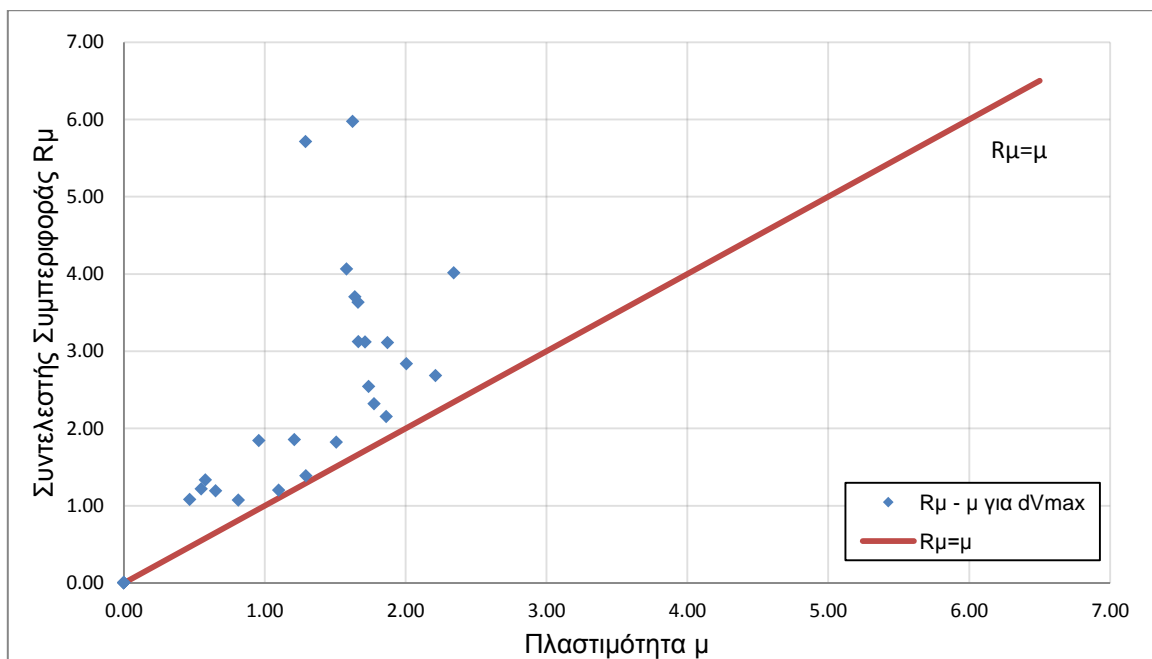
Πίνακας 5.3.10: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	$\mu / R\mu$	T^* / T_p	
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.1788	0.1284	0.957	0.6527	1.840	1.489	0.520	0.821
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.1192	0.0856	0.638	0.2438	0.687	0.736	0.929	1.660
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.2053	0.1475	1.099	0.4248	1.197	0.762	0.918	1.604
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2261	0.1624	1.210	0.6583	1.855	0.802	0.652	1.524
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1518	0.1090	0.812	0.3802	1.072	0.666	0.758	1.835
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.1027	0.0738	0.550	0.4316	1.216	0.534	0.452	2.288
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.3197	0.2297	1.711	1.1065	3.118	2.948	0.549	0.415
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.3064	0.2201	1.640	1.3134	3.702	1.628	0.443	0.751
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.3106	0.2231	1.662	1.2884	3.631	1.114	0.458	1.097
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.3110	0.2234	1.665	1.1082	3.123	1.270	0.533	0.962
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.4376	0.3144	2.342	1.4244	4.014	1.035	0.583	1.181
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.3247	0.2332	1.738	0.9021	2.542	2.927	0.683	0.417
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2954	0.2122	1.581	1.4418	4.063	1.611	0.389	0.759
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0460	0.0331	0.246	0.2053	0.579	0.522	0.426	2.341
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0622	0.0447	0.333	0.1486	0.419	0.369	0.794	3.312
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0946	0.0680	0.506	0.2620	0.738	0.627	0.686	1.949
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1215	0.0873	0.650	0.4228	1.192	0.732	0.546	1.669
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.3747	0.2692	2.006	1.0062	2.836	1.916	0.707	0.638
Tabas074	για d_{Vmax}	0.2413	0.1733	1.291	0.4920	1.387	4.711	0.931	0.259

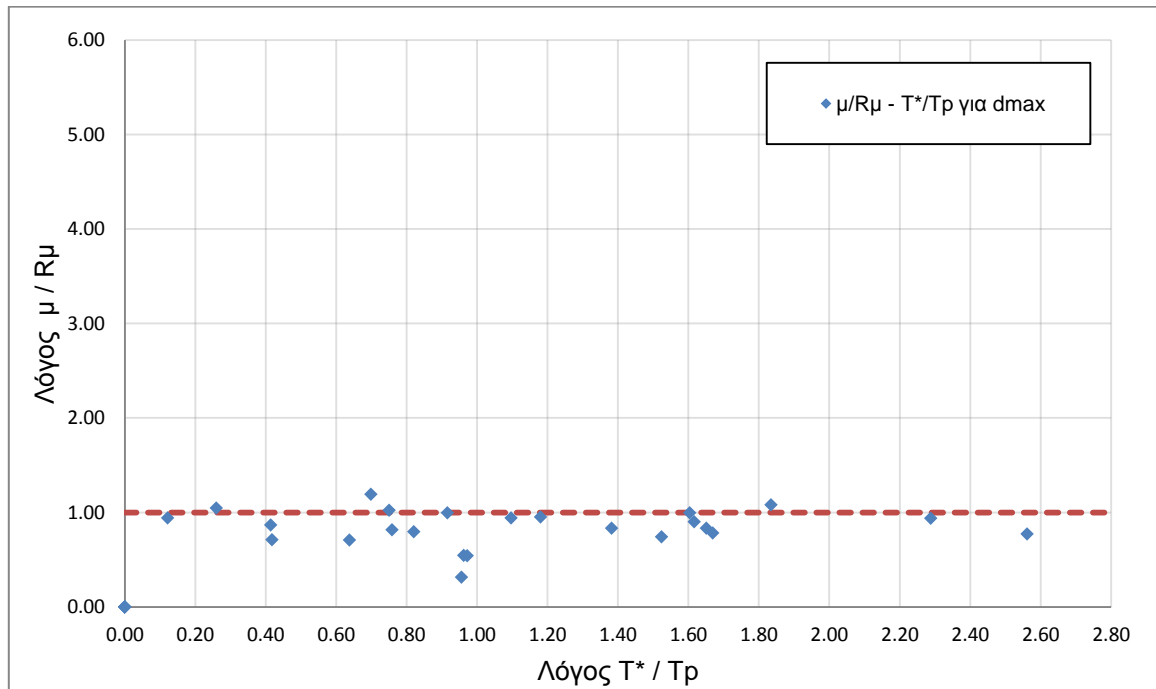
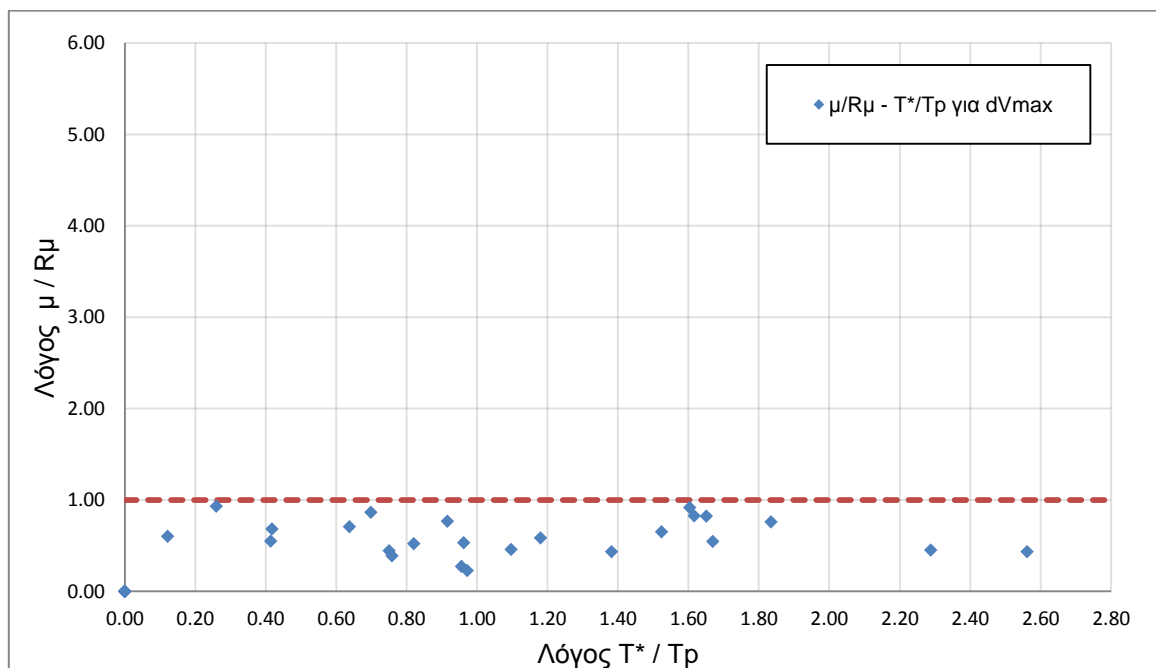
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 5.3.19 και 5.3.20) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 5.3.21 και 5.3.22).



Σχήμα 5.3.19: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.3.20: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

Σχήμα 5.3.21: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{max} Σχήμα 5.3.22: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{vmax}

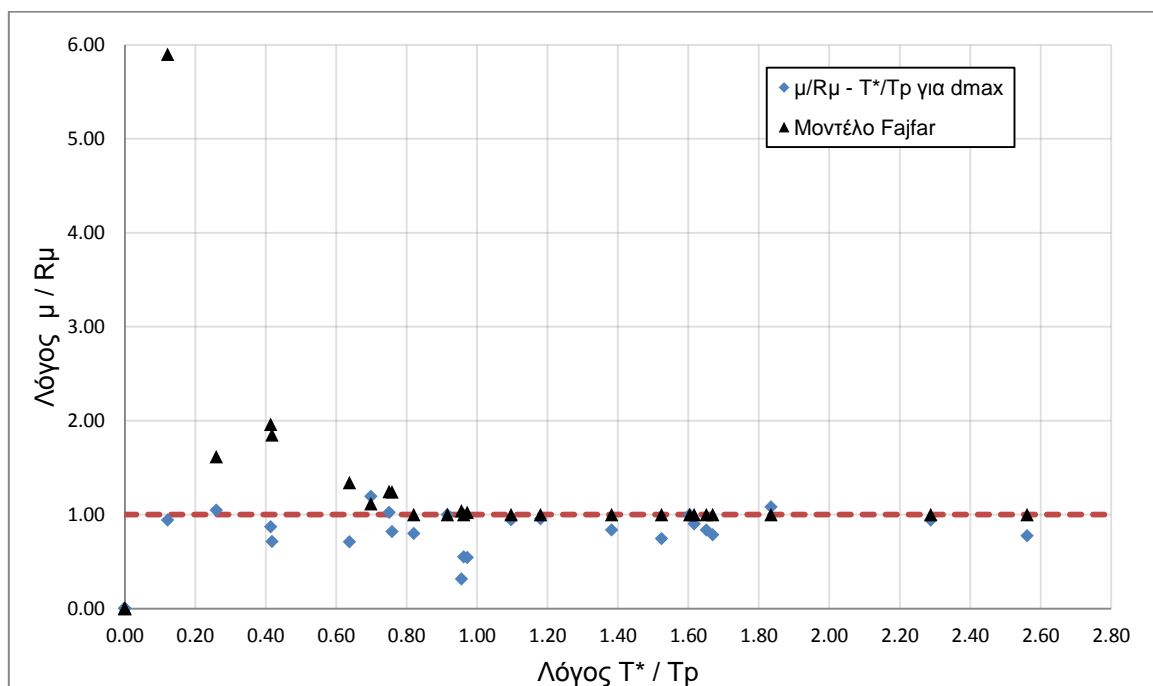
Σύμφωνα με τον Fajfar (βλ. Σχήμα 5.2.23) οι σχέσεις που συνδέουν τη πλαστιμότητα με τον συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T^*}{T_o} + 1 \quad \text{για } T^* \leq T_o$$

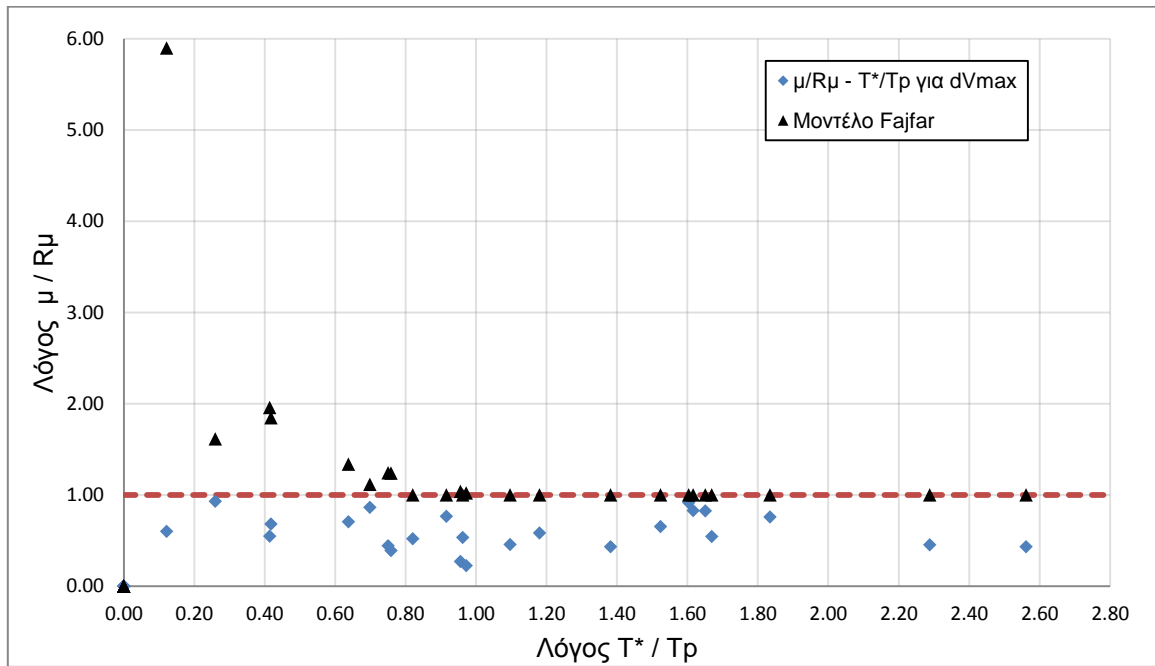
$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για } T^* > T_o$$

όπου $T_o = 0.65 \mu^{0.3} T_p \leq T_p$

Ακολουθώντας το μοντέλο του Fajfar και θεωρώντας ως μοναδικό άγνωστο τη πλαστιμότητα σχεδιάζουμε τα διαγράμματα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για τις σεισμικές καταγραφές (Σχήματα 5.3.23 και 5.3.24).



Σχήμα 5.3.23: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 5.3.24: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για $d_{V_{max}}$ και μοντέλο Fajfar

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 5.3.11 και 5.3.12 καθώς και τα Σχήματα 5.3.25 έως 5.3.28.

Πίνακας 5.3.11: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	dtop [m]	Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA _{el} [g]	$R_\mu = PSA_{el} / Say$	Tp [sec]	μ / R_μ	T* / Tp	
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.5470	0.3929	2.928	1.0980	3.095	8.290	0.946	0.147
CM828PET000	για d_{max}	0.1577	0.1133	0.844	0.3383	0.953	0.753	0.885	1.623
CM828PET090	για d_{max}	0.3070	0.2205	1.643	0.6408	1.806	0.711	0.910	1.719
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.4803	0.3450	2.571	0.7607	2.144	1.692	1.199	0.722
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.4325	0.3107	2.315	0.8201	2.311	0.479	1.001	2.551
KobeTAK000	για d_{max}	0.3518	0.2527	1.883	2.1102	5.947	1.261	0.317	0.969
KobeTAK090	για d_{max}	0.5792	0.4161	3.100	2.0168	5.684	1.229	0.545	0.994
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.4185	0.3007	2.240	0.9458	2.666	0.733	0.840	1.667
LP741BRN000	για d_{max}	0.2076	0.1491	1.111	0.4685	1.320	0.663	0.841	1.843
LP741BRN090	για d_{max}	0.1556	0.1118	0.833	0.3789	1.068	0.466	0.780	2.622
LP752CAP000	για d_{max}	0.2744	0.1971	1.468	0.6489	1.829	1.424	0.803	0.858
LP753CLS000	για d_{max}	0.1321	0.0949	0.707	0.2419	0.682	0.723	1.037	1.690
LP753CLS090	για d_{max}	0.2232	0.1603	1.195	0.4219	1.189	0.791	1.005	1.545
MH451CYC285	για d_{max}	0.2572	0.1848	1.377	0.6538	1.843	0.832	0.747	1.469
North1080KAT000	για d_{max}	0.2163	0.1554	1.157	0.3777	1.064	0.678	1.087	1.802
North1080KAT090	για d_{max}	0.2137	0.1535	1.144	0.4277	1.205	0.513	0.949	2.382
North1084SCS052	για d_{max}	0.5067	0.3640	2.712	1.1000	3.100	2.665	0.875	0.459
North1084SCS142	για d_{max}	0.7079	0.5085	3.789	1.3062	3.681	1.579	1.029	0.774
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.6398	0.4596	3.425	1.2805	3.609	1.069	0.949	1.143

Πίνακας 5.3.11: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

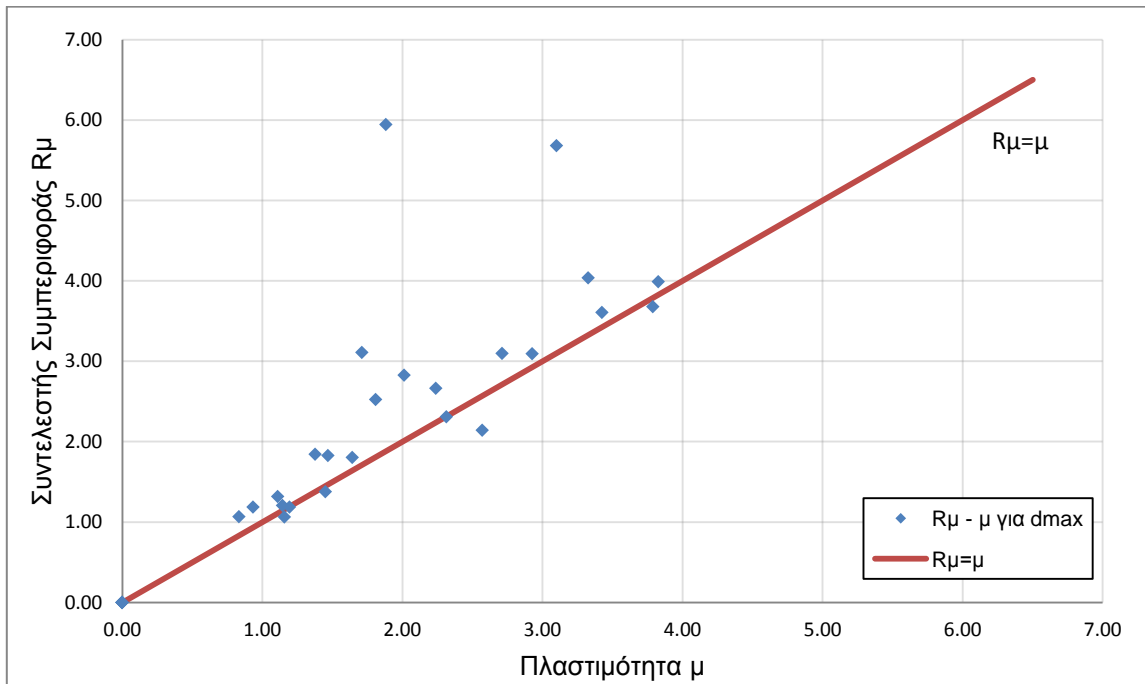
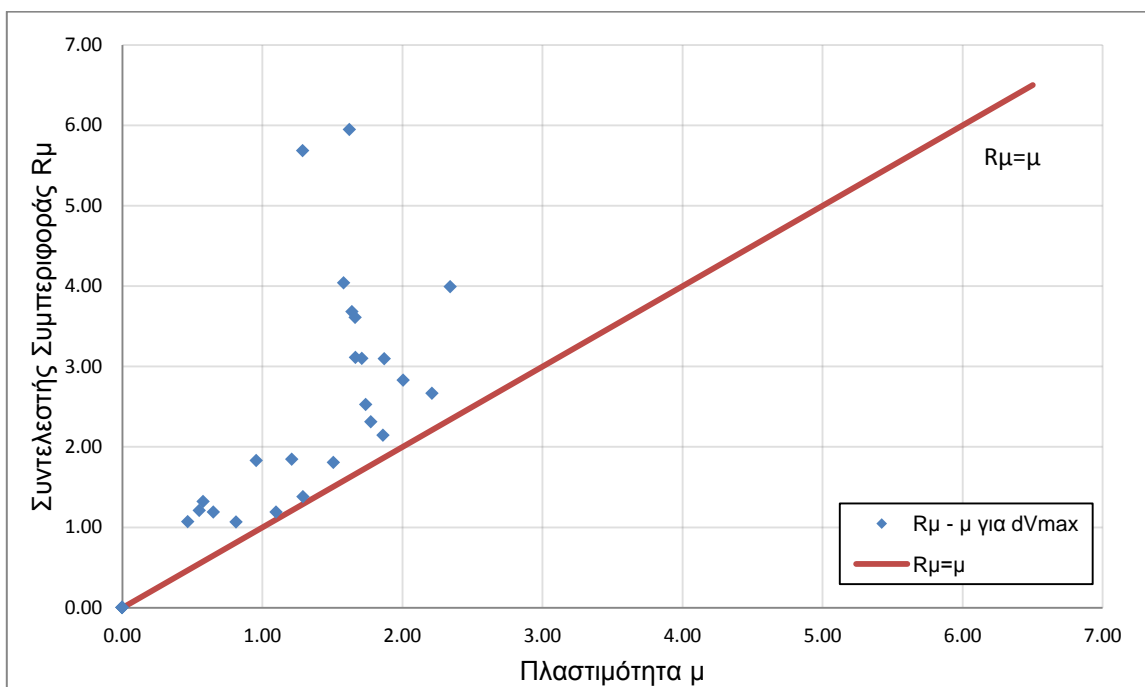
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA _{el} [g]	$R\mu = PSA_{el} / S_{ay}$	T _p [sec]	$\mu / R\mu$	T* / T _p
NorthridgeNWH360	για d _{max}	0.3196	0.2296	1.710	1.1036	3.110	0.702	0.550	1.741
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.7153	0.5138	3.828	1.4157	3.990	1.078	0.960	1.134
NorthridgeSCG052	για d _{max}	0.3381	0.2429	1.810	0.8961	2.525	2.666	0.717	0.458
NorthridgeSCG142	για d _{max}	0.6215	0.4465	3.327	1.4334	4.040	1.111	0.823	1.100
PS540WWT180	για d _{max}	0.1057	0.0760	0.566	0.2035	0.574	0.533	0.987	2.293
PS540WWT270	για d _{max}	0.0905	0.0650	0.484	0.1468	0.414	0.360	1.171	3.394
SH727BSUP045	για d _{max}	0.1217	0.0874	0.651	0.2594	0.731	0.606	0.891	2.017
SH727BSUP135	για d _{max}	0.1747	0.1255	0.935	0.4208	1.186	0.729	0.788	1.676
SuperstitionHillsPTS225	για d _{max}	0.3761	0.2702	2.013	1.0032	2.827	1.859	0.712	0.657
Tabas074	για d _{max}	0.2712	0.1948	1.452	0.4895	1.380	4.867	1.052	0.251

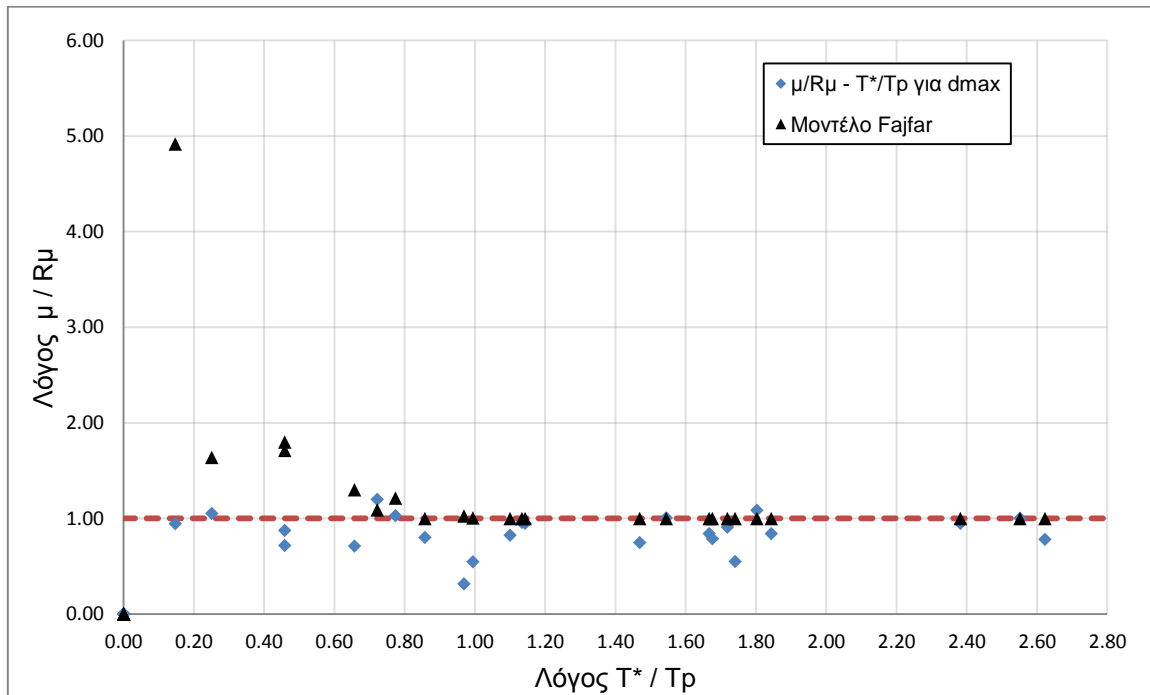
Πίνακας 5.3.12: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA _{el} [g]	$R\mu = PSA_{el} / S_{ay}$	T _p [sec]	$\mu / R\mu$	T* / T _p
ChiChiTCU052_360	για d _{vmax}	0.3498	0.2513	1.872	1.0980	3.095	8.290	0.605	0.147
CM828PET000	για d _{vmax}	0.1277	0.0917	0.683	0.3383	0.953	0.753	0.717	1.623
CM828PET090	για d _{vmax}	0.2818	0.2024	1.508	0.6408	1.806	0.711	0.835	1.719
Kobe1119TAZ000	για d _{vmax}	0.3481	0.2500	1.863	0.7607	2.144	1.692	0.869	0.722
Kobe1119TAZ090	για d _{vmax}	0.3316	0.2382	1.775	0.8201	2.311	0.479	0.768	2.551
KobeTAK000	για d _{vmax}	0.3032	0.2178	1.623	2.1102	5.947	1.261	0.273	0.969
KobeTAK090	για d _{vmax}	0.2408	0.1730	1.289	2.0168	5.684	1.229	0.227	0.994
LomaPrietaLGP000	για d _{vmax}	0.4132	0.2968	2.211	0.9458	2.666	0.733	0.830	1.667
LP741BRN000	για d _{vmax}	0.1080	0.0776	0.578	0.4685	1.320	0.663	0.438	1.843
LP741BRN090	για d _{vmax}	0.0873	0.0627	0.467	0.3789	1.068	0.466	0.438	2.622

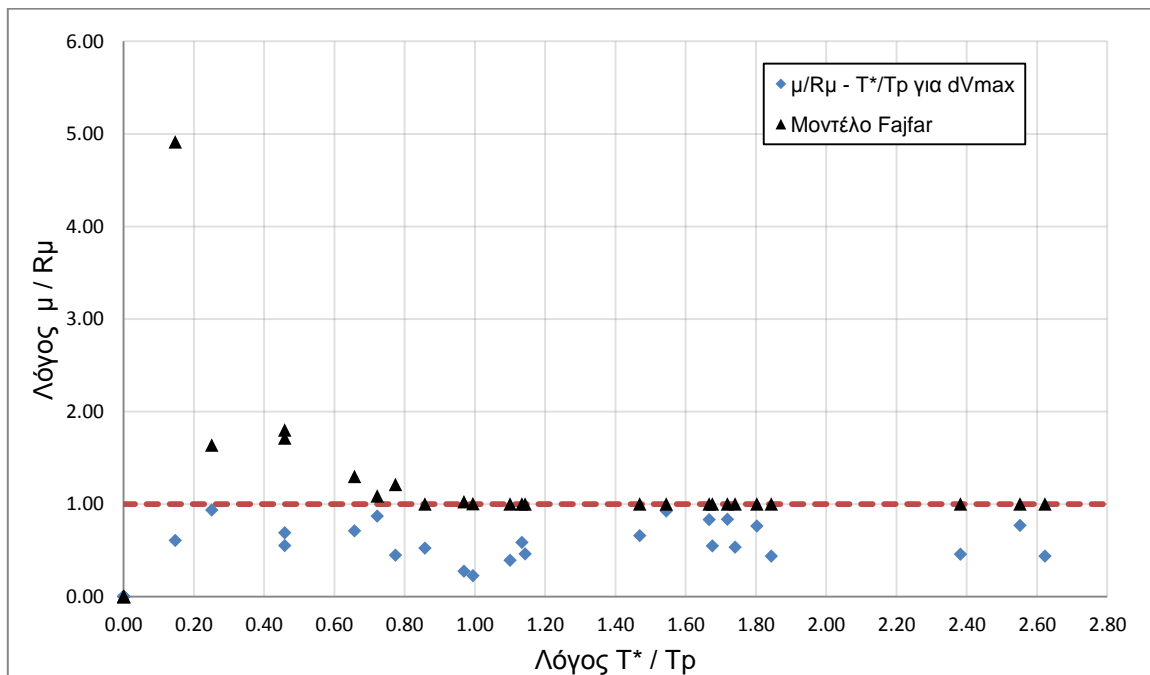
Πίνακας 5.3.12: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA_{el} [g]	$R\mu = PSA_{el} / S_{ay}$	T_p [sec]	$\mu / R\mu$	T^* / T_p	
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.1788	0.1284	0.957	0.6489	1.829	1.424	0.523	0.858
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.1192	0.0856	0.638	0.2419	0.682	0.723	0.936	1.690
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.2053	0.1475	1.099	0.4219	1.189	0.791	0.924	1.545
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2261	0.1624	1.210	0.6538	1.843	0.832	0.657	1.469
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1518	0.1090	0.812	0.3777	1.064	0.678	0.763	1.802
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.1027	0.0738	0.550	0.4277	1.205	0.513	0.456	2.382
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.3197	0.2297	1.711	1.1000	3.100	2.665	0.552	0.459
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.3064	0.2201	1.640	1.3062	3.681	1.579	0.446	0.774
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.3106	0.2231	1.662	1.2805	3.609	1.069	0.461	1.143
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.3110	0.2234	1.665	1.1036	3.110	0.702	0.535	1.741
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.4376	0.3144	2.342	1.4157	3.990	1.078	0.587	1.134
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.3247	0.2332	1.738	0.8961	2.525	2.666	0.688	0.458
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2954	0.2122	1.581	1.4334	4.040	1.111	0.391	1.100
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0460	0.0331	0.246	0.2035	0.574	0.533	0.429	2.293
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0622	0.0447	0.333	0.1468	0.414	0.360	0.804	3.394
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0946	0.0680	0.506	0.2594	0.731	0.606	0.693	2.017
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1215	0.0873	0.650	0.4208	1.186	0.729	0.548	1.676
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.3747	0.2692	2.006	1.0032	2.827	1.859	0.709	0.657
Tabas074	για d_{Vmax}	0.2413	0.1733	1.291	0.4895	1.380	4.867	0.936	0.251

Σχήμα 5.3.25: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max} Σχήμα 5.3.26: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

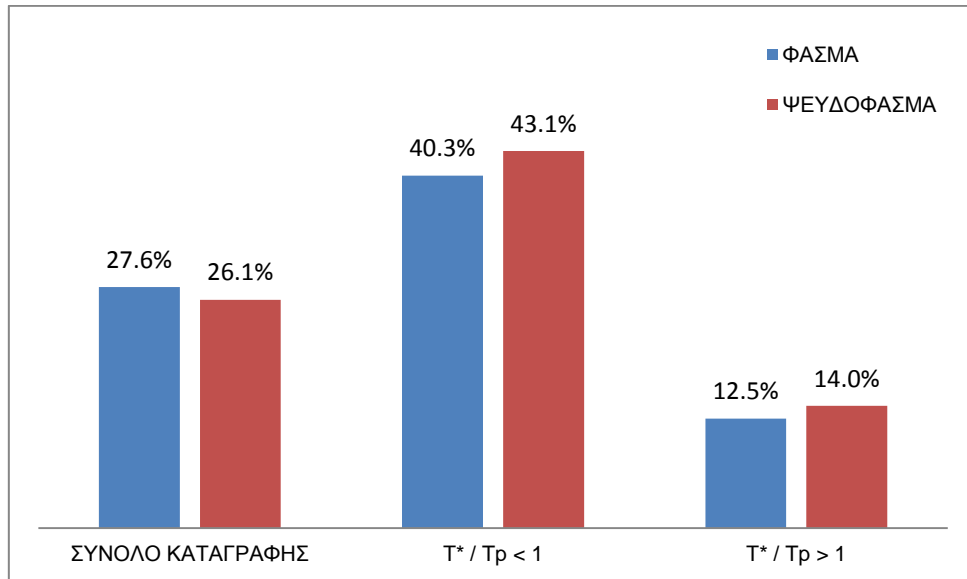


Σχήμα 5.3.27: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

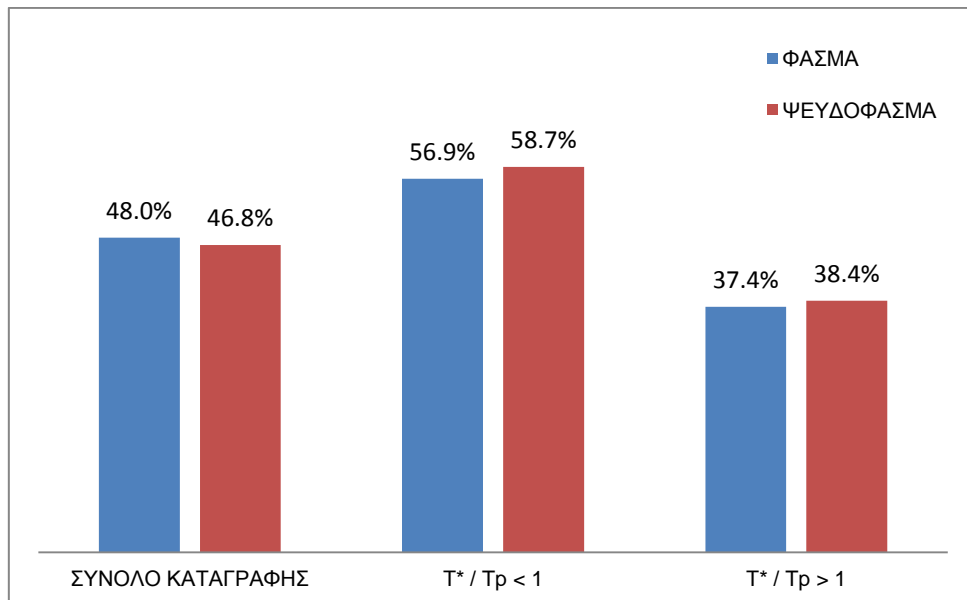


Σχήμα 5.3.28: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.3.29 και 5.3.30.



Σχήμα 5.3.29: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 5.3.30: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{Vmax}

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων d_{\max} εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία $d_{V\max}$. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το φυσικό νόημα της πλαστιμότητας είναι η μέγιστη μετακίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια του σεισμού και υπό αυτή την έννοια δεν έχει αξία η μελέτη της μετακίνησης μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Το μοντέλο του Fajfar, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.22, δέχεται μεγάλες πλαστιμότητες - σε σχέση με το R_{μ} - για περιόδους προ της δεσπόζουσας περιόδου T_r ενώ στη συνέχεια θεωρεί ότι ο λόγος πλησιάζει τη μονάδα. Για τις περισσότερες καταγραφές με $T^* > T_r$ κάτι τέτοιο φαίνεται να επαληθεύεται, με την απόκλιση να λαμβάνει μικρές τιμές, αντιθέτως για τις περιπτώσεις $T^* < T_r$ οι αποκλίσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.

Τέλος διαπιστώνεται ότι με χρήση των ψευδοφασμάτων η συνολική απόκλιση είναι μικρότερη. Οι διαφορές των φασμάτων και ψευδοφασμάτων ταχύτητας είναι συνήθως μεγαλύτερες των διαφορών των επιταχύνσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου T_r χωρίς ταυτόχρονη μείωση του R_{μ} . Προκαλείται λοιπόν μια μετατόπιση των σημείων σε μεγαλύτερους λόγους T^*/T_r με παραπλήσιο όμως λόγο μ/R_{μ} , αυξάνοντας κατά συνέπεια την απόκλιση στη περιοχή $T^*/T_r > 1$.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 5.3.9 διαπιστώνουμε ότι η πλαστιμότητα μ έχει σχετικά μικρές τιμές ενώ υπάρχουν καταγραφές στις οποίες $\mu < 1$ παρόλο που ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τα παραπάνω φαινόμενα πιθανολογείται ότι οφείλονται στο γεγονός πως η πλαστιμότητα υπολογίστηκε μέσω της αναγωγής της μετακίνησης κορυφής σε μετακίνηση ισοδύναμου μονοβάθμιου παρόλο που η τριγωνική κατανομή δεν είναι ρεαλιστική στην ανελαστική περιοχή. Δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις συγκεντρώνονται στους πρώτους ορόφους λόγω του μηχανισμού κατάρρευσης, αποφασίστηκε η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

Πίνακας 5.3.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{100} ορόφου [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{max}								
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.2614	0.2614	8.395	1.1029	3.108	10.050	2.701	0.122
CM828PET000	για d_{max}	0.0173	0.0173	0.555	0.3421	0.964	0.740	0.575	1.651
CM828PET090	για d_{max}	0.0918	0.0918	2.950	0.6466	1.822	0.756	1.619	1.616
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.1991	0.1991	6.394	0.7639	2.153	1.749	2.970	0.699
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.2104	0.2104	6.756	0.8230	2.319	1.335	2.913	0.915
KobeTAK000	για d_{max}	0.0888	0.0888	2.852	2.1201	5.975	1.278	0.477	0.956
KobeTAK090	για d_{max}	0.1874	0.1874	6.018	2.0262	5.710	1.257	1.054	0.972
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1464	0.1464	4.701	0.9521	2.683	0.740	1.752	1.651
LP741BRN000	για d_{max}	0.0619	0.0619	1.988	0.4721	1.331	0.884	1.494	1.382
LP741BRN090	για d_{max}	0.0427	0.0427	1.373	0.3826	1.078	0.477	1.273	2.562
LP752CAP000	για d_{max}	0.1003	0.1003	3.221	0.6527	1.840	1.489	1.751	0.821
LP753CLS000	για d_{max}	0.0212	0.0212	0.682	0.2438	0.687	0.736	0.993	1.660
LP753CLS090	για d_{max}	0.0318	0.0318	1.023	0.4248	1.197	0.762	0.854	1.604
MH451CYC285	για d_{max}	0.0494	0.0494	1.587	0.6583	1.855	0.802	0.855	1.524
North1080KAT000	για d_{max}	0.0442	0.0442	1.420	0.3802	1.072	0.666	1.325	1.835
North1080KAT090	για d_{max}	0.0636	0.0636	2.042	0.4316	1.216	0.534	1.679	2.288
North1084SCS052	για d_{max}	0.2618	0.2618	8.408	1.1065	3.118	2.948	2.696	0.415
North1084SCS142	για d_{max}	0.3816	0.3816	12.253	1.3134	3.702	1.628	3.310	0.751
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.2716	0.2716	8.723	1.2884	3.631	1.114	2.402	1.097

Πίνακας 5.3.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p	
NorthridgeNWH360	για d_{max}	0.1341	0.1341	4.305	1.1082	3.123	1.270	1.378	0.962
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.1857	0.1857	5.963	1.4244	4.014	1.035	1.485	1.181
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.1209	0.1209	3.882	0.9021	2.542	2.927	1.527	0.417
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.3335	0.3335	10.711	1.4418	4.063	1.611	2.636	0.759
PS540WWT180	για d_{max}	0.0206	0.0206	0.663	0.2053	0.579	0.522	1.145	2.341
PS540WWT270	για d_{max}	0.0148	0.0148	0.474	0.1486	0.419	0.369	1.132	3.312
SH727BSUP045	για d_{max}	0.0329	0.0329	1.056	0.2620	0.738	0.627	1.431	1.949
SH727BSUP135	για d_{max}	0.0542	0.0542	1.740	0.4228	1.192	0.732	1.460	1.669
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.1581	0.1581	5.078	1.0062	2.836	1.916	1.791	0.638
Tabas074	για d_{max}	0.0713	0.0713	2.291	0.4920	1.387	4.711	1.652	0.259

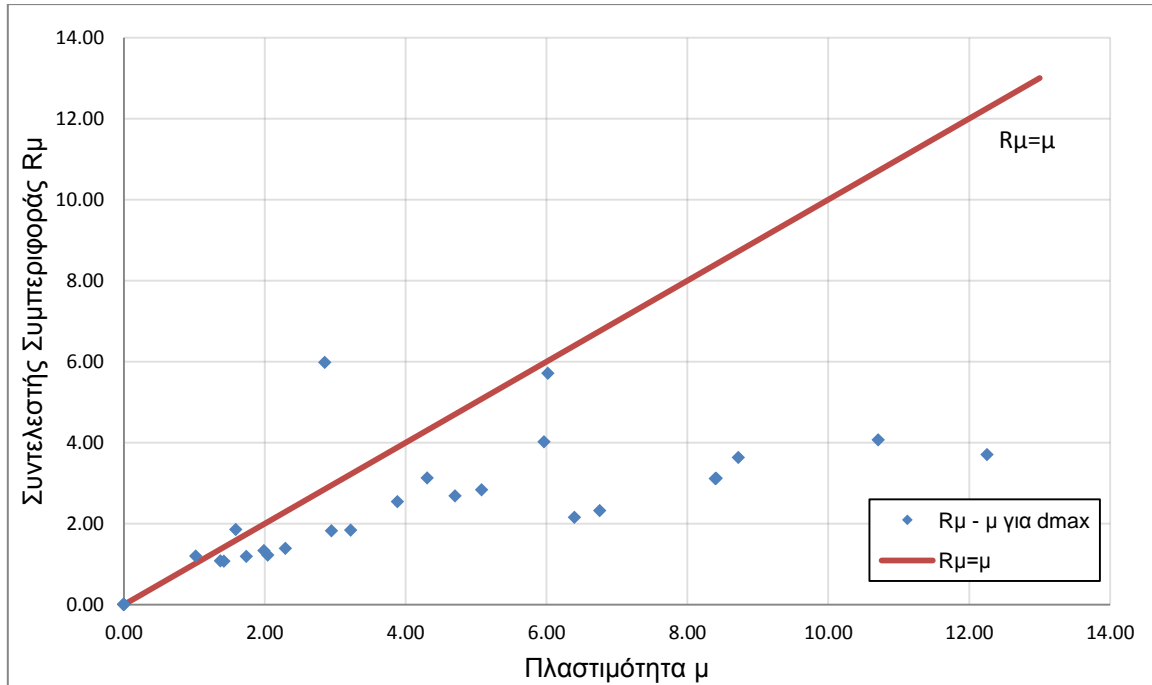
Πίνακας 5.3.14: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p	
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.1310	0.1310	4.208	1.1029	3.108	10.050	1.354	0.122
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.0154	0.0154	0.495	0.3421	0.964	0.740	0.513	1.651
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.0837	0.0837	2.687	0.6466	1.822	0.756	1.475	1.616
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.1294	0.1294	4.155	0.7639	2.153	1.749	1.930	0.699
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.1475	0.1475	4.738	0.8230	2.319	1.335	2.043	0.915
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.0888	0.0888	2.850	2.1201	5.975	1.278	0.477	0.956
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0790	0.0790	2.536	2.0262	5.710	1.257	0.444	0.972
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.1463	0.1463	4.699	0.9521	2.683	0.740	1.751	1.651
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.0404	0.0404	1.297	0.4721	1.331	0.884	0.974	1.382
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0384	0.0384	1.232	0.3826	1.078	0.477	1.143	2.562

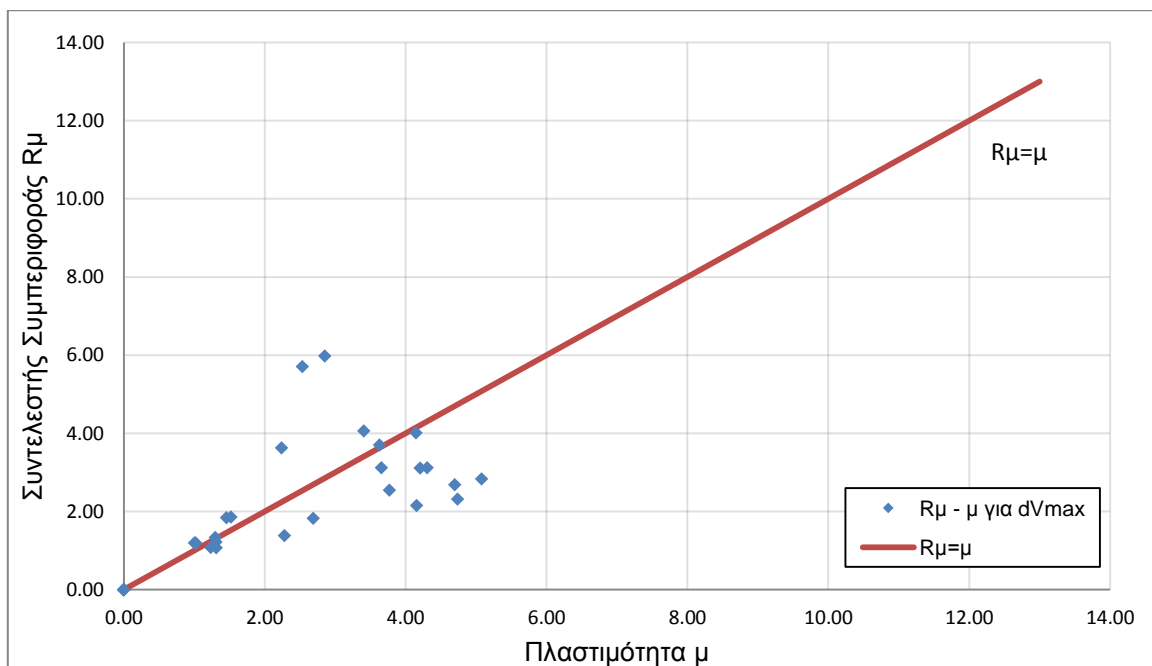
Πίνακας 5.3.14: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	$\mu / R\mu$	T^* / T_p	
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0454	0.0454	1.458	0.6527	1.840	1.489	0.793	0.821
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0201	0.0201	0.647	0.2438	0.687	0.736	0.941	1.660
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0318	0.0318	1.021	0.4248	1.197	0.762	0.853	1.604
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.0473	0.0473	1.519	0.6583	1.855	0.802	0.819	1.524
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0408	0.0408	1.310	0.3802	1.072	0.666	1.223	1.835
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0408	0.0408	1.309	0.4316	1.216	0.534	1.076	2.288
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.1139	0.1139	3.657	1.1065	3.118	2.948	1.173	0.415
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.1130	0.1130	3.628	1.3134	3.702	1.628	0.980	0.751
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0698	0.0698	2.240	1.2884	3.631	1.114	0.617	1.097
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.1341	0.1341	4.305	1.1082	3.123	1.270	1.378	0.962
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.1291	0.1291	4.147	1.4244	4.014	1.035	1.033	1.181
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.1173	0.1173	3.768	0.9021	2.542	2.927	1.482	0.417
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.1061	0.1061	3.406	1.4418	4.063	1.611	0.838	0.759
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0206	0.0206	0.661	0.2053	0.579	0.522	1.142	2.341
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0144	0.0144	0.462	0.1486	0.419	0.369	1.104	3.312
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0329	0.0329	1.056	0.2620	0.738	0.627	1.431	1.949
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0312	0.0312	1.001	0.4228	1.192	0.732	0.840	1.669
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.1581	0.1581	5.078	1.0062	2.836	1.916	1.791	0.638
Tabas074	για d_{Vmax}	0.0710	0.0710	2.280	0.4920	1.387	4.711	1.644	0.259

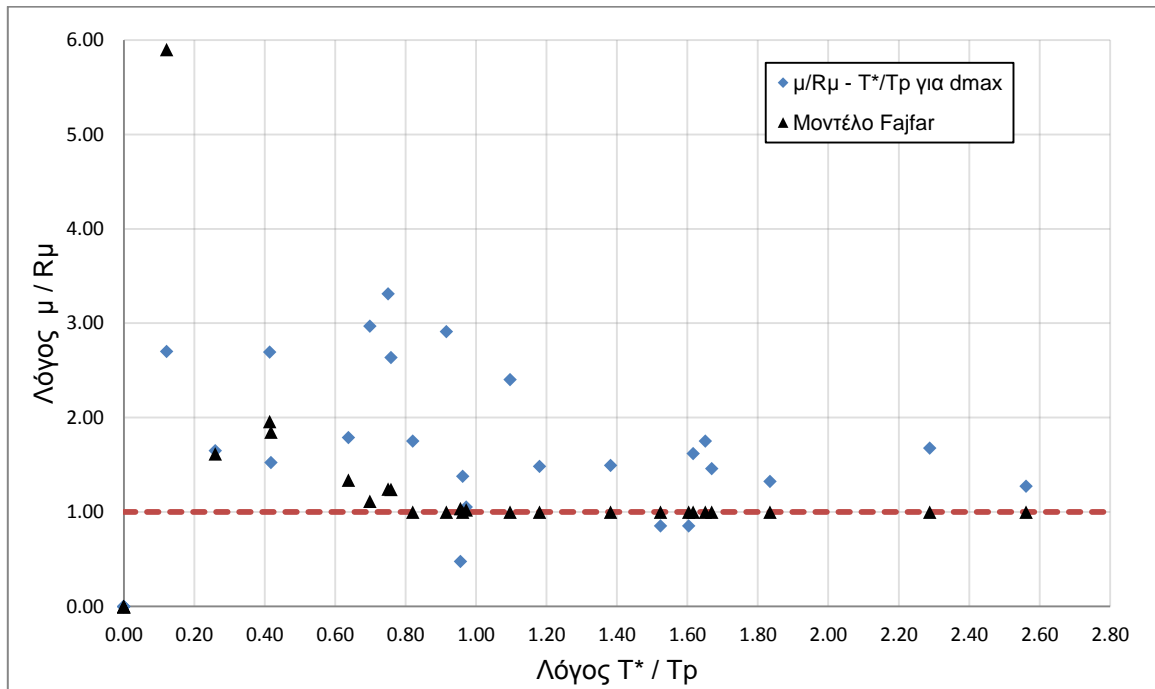
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 5.3.31 και 5.3.32) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ (Σχήματα 5.3.33 και 5.3.34).



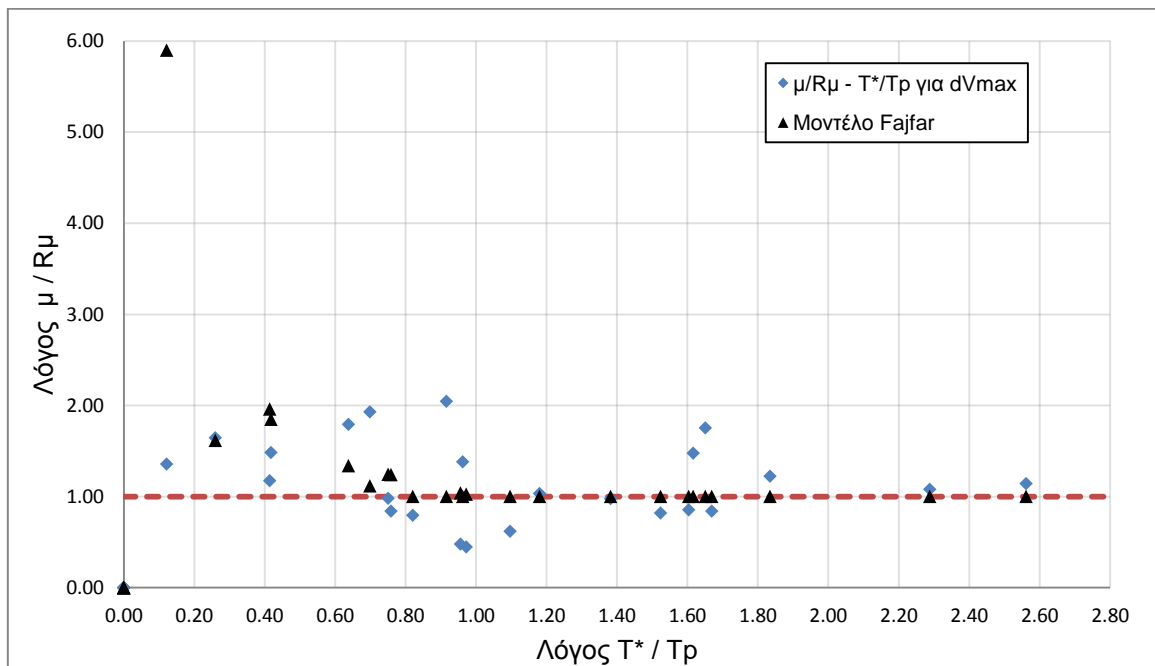
Σχήμα 5.3.31: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.3.32: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}



Σχήμα 5.3.33: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για d_{\max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 5.3.34: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για $d_{V\max}$ και μοντέλο Fajfar

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 5.3.15 και 5.3.16 καθώς και τα Σχήματα 5.3.35 έως 5.3.38.

Πίνακας 5.3.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA,el [g]	$R_{\mu} = PSA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{max}								
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.2614	0.2614	8.395	1.0980	3.095	8.290	2.713	0.147
CM828PET000	για d_{max}	0.0173	0.0173	0.555	0.3383	0.953	0.753	0.582	1.623
CM828PET090	για d_{max}	0.0918	0.0918	2.950	0.6408	1.806	0.711	1.633	1.719
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.1991	0.1991	6.394	0.7607	2.144	1.692	2.983	0.722
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.2104	0.2104	6.756	0.8201	2.311	0.479	2.923	2.551
KobeTAK000	για d_{max}	0.0888	0.0888	2.852	2.1102	5.947	1.261	0.480	0.969
KobeTAK090	για d_{max}	0.1874	0.1874	6.018	2.0168	5.684	1.229	1.059	0.994
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1464	0.1464	4.701	0.9458	2.666	0.733	1.764	1.667
LP741BRN000	για d_{max}	0.0619	0.0619	1.988	0.4685	1.320	0.663	1.506	1.843
LP741BRN090	για d_{max}	0.0427	0.0427	1.373	0.3789	1.068	0.466	1.285	2.622
LP752CAP000	για d_{max}	0.1003	0.1003	3.221	0.6489	1.829	1.424	1.762	0.858
LP753CLS000	για d_{max}	0.0212	0.0212	0.682	0.2419	0.682	0.723	1.001	1.690
LP753CLS090	για d_{max}	0.0318	0.0318	1.023	0.4219	1.189	0.791	0.860	1.545
MH451CYC285	για d_{max}	0.0494	0.0494	1.587	0.6538	1.843	0.832	0.861	1.469
North1080KAT000	για d_{max}	0.0442	0.0442	1.420	0.3777	1.064	0.678	1.334	1.802
North1080KAT090	για d_{max}	0.0636	0.0636	2.042	0.4277	1.205	0.513	1.694	2.382
North1084SCS052	για d_{max}	0.2618	0.2618	8.408	1.1000	3.100	2.665	2.712	0.459
North1084SCS142	για d_{max}	0.3816	0.3816	12.253	1.3062	3.681	1.579	3.329	0.774
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.2716	0.2716	8.723	1.2805	3.609	1.069	2.417	1.143

Πίνακας 5.3.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

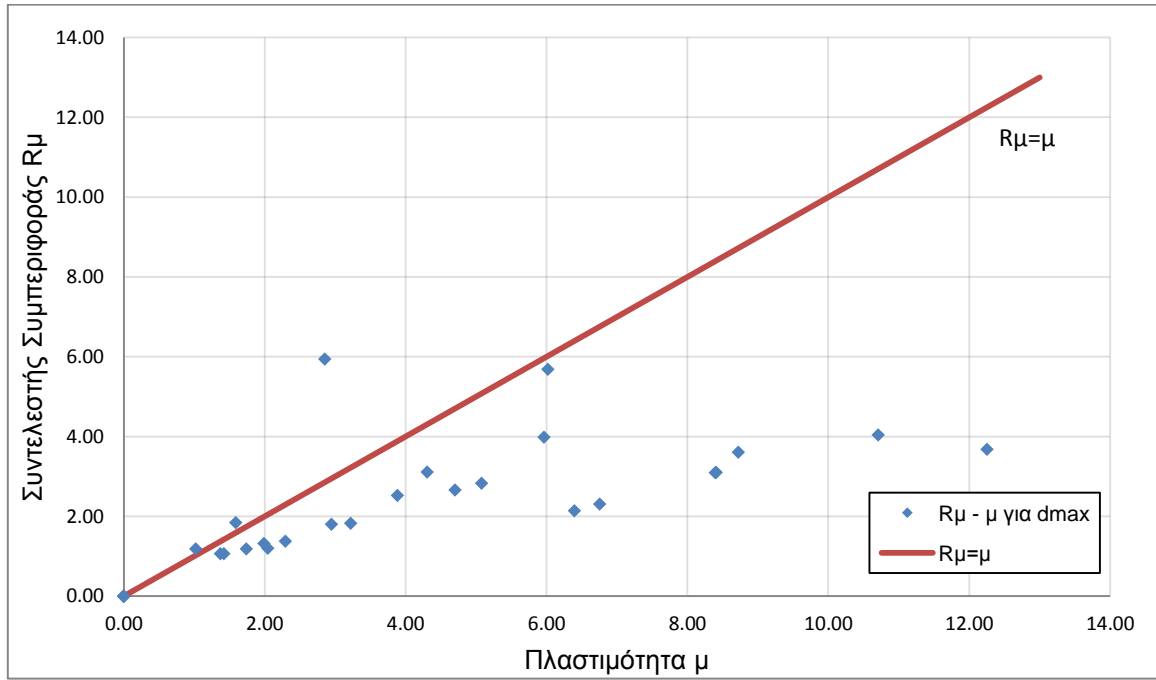
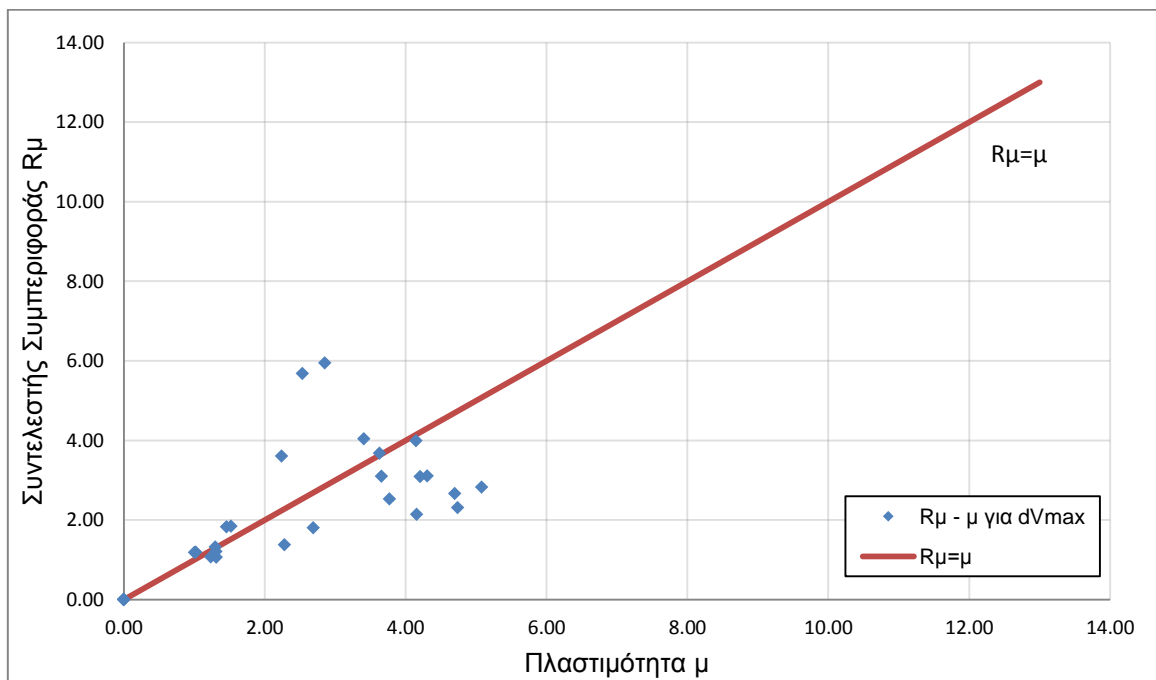
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$PSA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = PSA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
NorthridgeNWH360	για d_{max}	0.1341	0.1341	4.305	1.1036	3.110	0.702	1.384	1.741
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.1857	0.1857	5.963	1.4157	3.990	1.078	1.495	1.134
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.1209	0.1209	3.882	0.8961	2.525	2.666	1.537	0.458
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.3335	0.3335	10.711	1.4334	4.040	1.111	2.651	1.100
PS540WWT180	για d_{max}	0.0206	0.0206	0.663	0.2035	0.574	0.533	1.156	2.293
PS540WWT270	για d_{max}	0.0148	0.0148	0.474	0.1468	0.414	0.360	1.146	3.394
SH727BSUP045	για d_{max}	0.0329	0.0329	1.056	0.2594	0.731	0.606	1.445	2.017
SH727BSUP135	για d_{max}	0.0542	0.0542	1.740	0.4208	1.186	0.729	1.467	1.676
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.1581	0.1581	5.078	1.0032	2.827	1.859	1.796	0.657
Tabas074	για d_{max}	0.0713	0.0713	2.291	0.4895	1.380	4.867	1.661	0.251

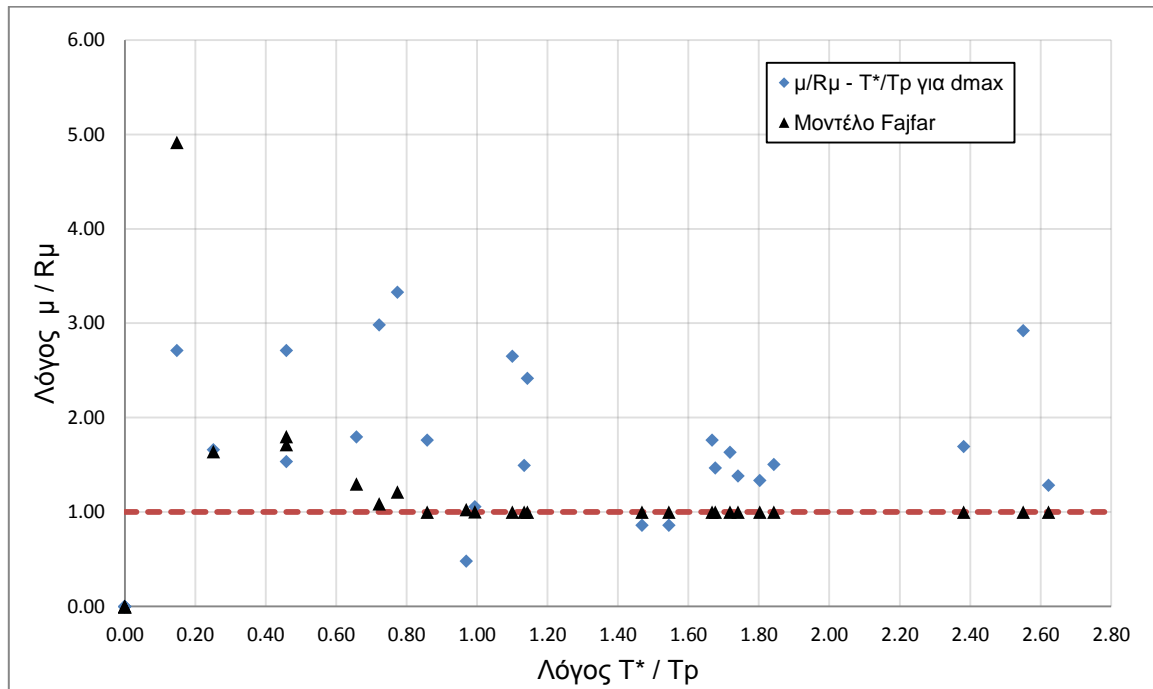
Πίνακας 5.3.16: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$PSA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = PSA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiTCU052_360	για d_{vmax}	0.1310	0.1310	4.208	1.0980	3.095	8.290	1.360	0.147
CM828PET000	για d_{vmax}	0.0154	0.0154	0.495	0.3383	0.953	0.753	0.519	1.623
CM828PET090	για d_{vmax}	0.0837	0.0837	2.687	0.6408	1.806	0.711	1.488	1.719
Kobe1119TAZ000	για d_{vmax}	0.1294	0.1294	4.155	0.7607	2.144	1.692	1.938	0.722
Kobe1119TAZ090	για d_{vmax}	0.1475	0.1475	4.738	0.8201	2.311	0.479	2.050	2.551
KobeTAK000	για d_{vmax}	0.0888	0.0888	2.850	2.1102	5.947	1.261	0.479	0.969
KobeTAK090	για d_{vmax}	0.0790	0.0790	2.536	2.0168	5.684	1.229	0.446	0.994
LomaPrietaLGP000	για d_{vmax}	0.1463	0.1463	4.699	0.9458	2.666	0.733	1.763	1.667
LP741BRN000	για d_{vmax}	0.0404	0.0404	1.297	0.4685	1.320	0.663	0.982	1.843
LP741BRN090	για d_{vmax}	0.0384	0.0384	1.232	0.3789	1.068	0.466	1.154	2.622

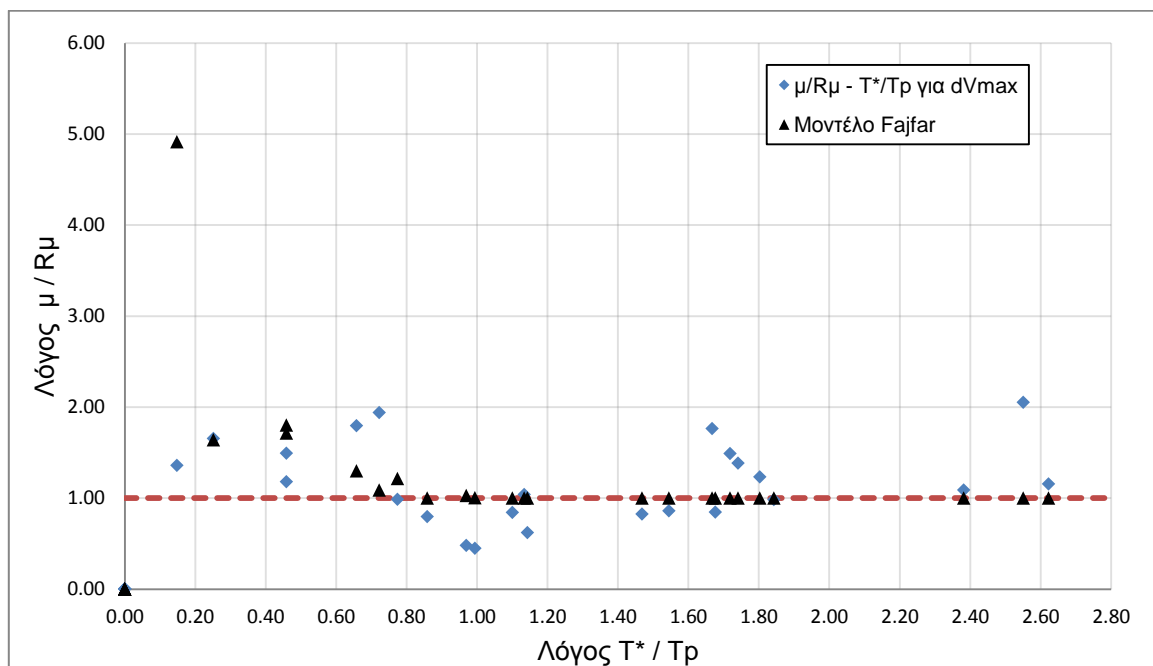
Πίνακας 5.3.16: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA,el [g]	$R\mu = PSA,el / Say$	Tp [sec]	$\mu / R\mu$	T* / Tp	
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0454	0.0454	1.458	0.6489	1.829	1.424	0.797	0.858
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0201	0.0201	0.647	0.2419	0.682	0.723	0.948	1.690
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0318	0.0318	1.021	0.4219	1.189	0.791	0.858	1.545
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.0473	0.0473	1.519	0.6538	1.843	0.832	0.824	1.469
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0408	0.0408	1.310	0.3777	1.064	0.678	1.231	1.802
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0408	0.0408	1.309	0.4277	1.205	0.513	1.086	2.382
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.1139	0.1139	3.657	1.1000	3.100	2.665	1.179	0.459
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.1130	0.1130	3.628	1.3062	3.681	1.579	0.986	0.774
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0698	0.0698	2.240	1.2805	3.609	1.069	0.621	1.143
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.1341	0.1341	4.305	1.1036	3.110	0.702	1.384	1.741
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.1291	0.1291	4.147	1.4157	3.990	1.078	1.040	1.134
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.1173	0.1173	3.768	0.8961	2.525	2.666	1.492	0.458
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.1061	0.1061	3.406	1.4334	4.040	1.111	0.843	1.100
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0206	0.0206	0.661	0.2035	0.574	0.533	1.152	2.293
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0144	0.0144	0.462	0.1468	0.414	0.360	1.118	3.394
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0329	0.0329	1.056	0.2594	0.731	0.606	1.445	2.017
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0312	0.0312	1.001	0.4208	1.186	0.729	0.844	1.676
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.1581	0.1581	5.078	1.0032	2.827	1.859	1.796	0.657
Tabas074	για d_{Vmax}	0.0710	0.0710	2.280	0.4895	1.380	4.867	1.652	0.251

Σχήμα 5.3.35: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{max} Σχήμα 5.3.36: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{Vmax}

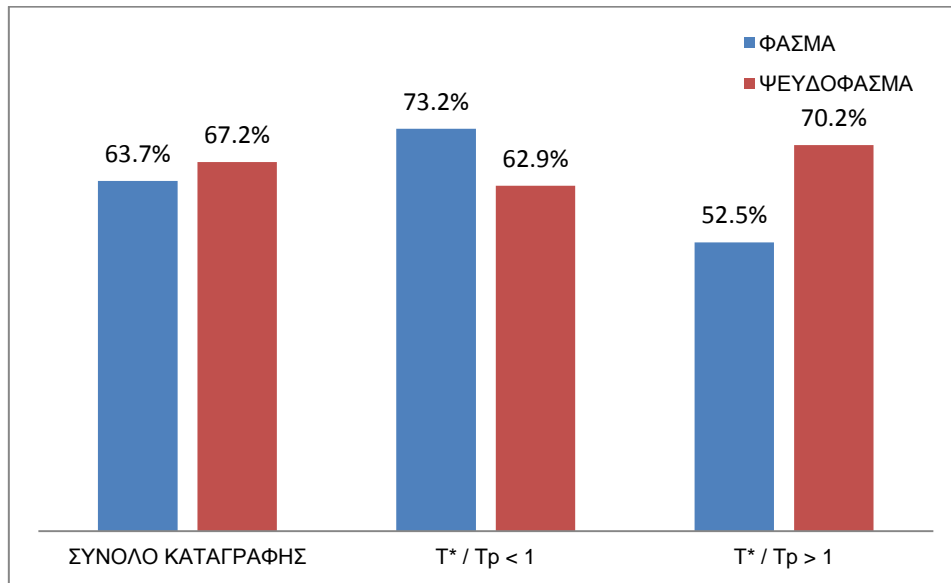


Σχήμα 5.3.37: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

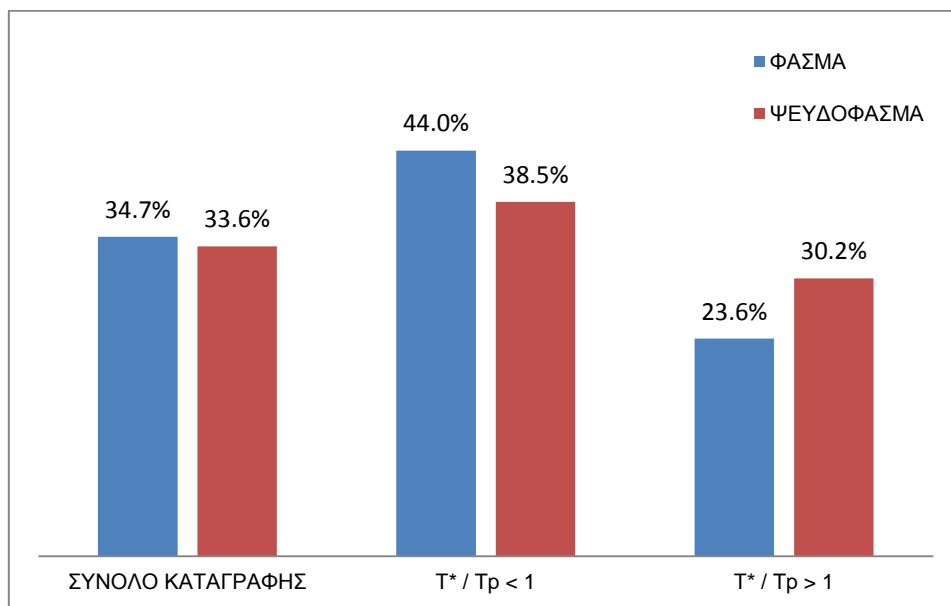


Σχήμα 5.3.38: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_μ από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.3.39 και 5.3.40.



Σχήμα 5.3.39: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 5.3.40: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{vmax}

Στα Σχήματα 5.3.39 και 5.3.40 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει κατά κανόνα μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{vmax} . Επιπλέον η χρήση των ψευδοφασμάτων αυξάνει τη γενική απόκλιση αλλά στις επιμέρους ζώνες ισχύουν τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η αντικατάσταση της διαδικασίας που στηρίζεται στην μετακίνηση κορυφής από αυτή που χρησιμοποιεί τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν ζεύγη με $\mu < 1$ και $R\mu > 1$ παρά την αύξηση της τιμής της πλαστιμότητας ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή αυξάνονται.

5.4. ΔΩΔΕΚΑΩΡΟΦΟ

Η κατασκευή διαθέτει 36 ιδιομορφές των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 5.4.1.

Πίνακας 5.4.7: Ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]
1	2.4617
2	2.4590
3	1.8472
4	0.7973
5	0.7959
6	0.6100
7	0.4482
8	0.4473
9	0.3580
10	0.2964
11	0.2957
12	0.2450
13	0.2107
14	0.2101
15	0.1805
16	0.1576
17	0.1571
18	0.1384
19	0.1218
20	0.1214
21	0.1092
22	0.0973
23	0.0968
24	0.0884
25	0.0797
26	0.0793
27	0.0734
28	0.0676
29	0.0671
30	0.0627
31	0.0594
32	0.0590
33	0.0556
34	0.0545
35	0.0541
36	0.0515

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5, 7-8, 10-11, 13-14, 16-17, 19-20, 22-23, 25-26, 28-29, 31-32 και 34-35.

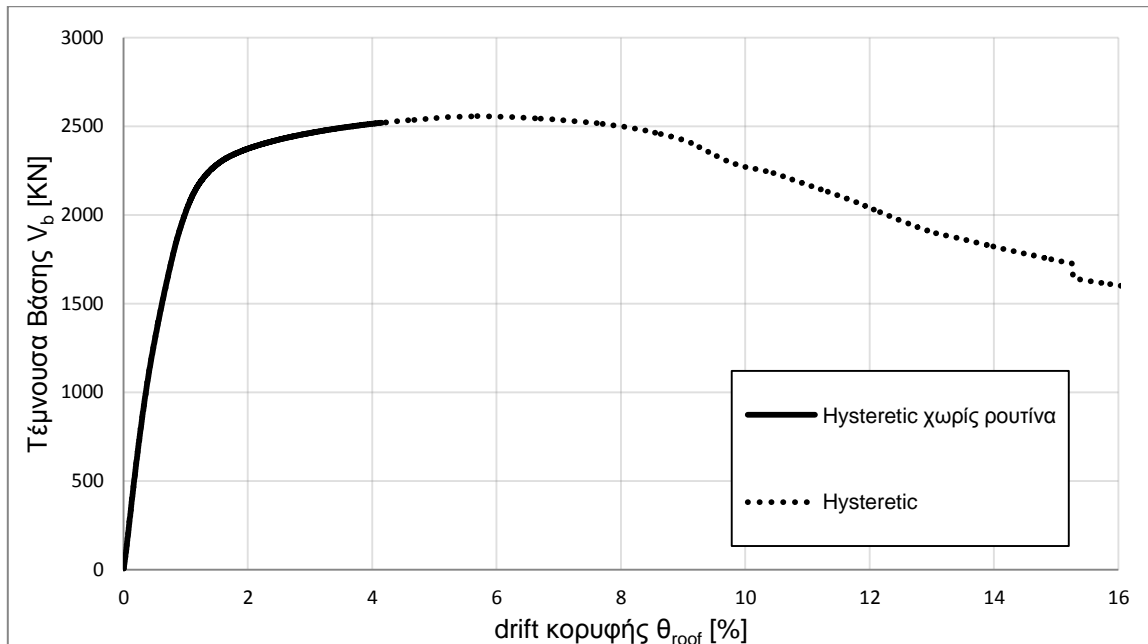
Για σεισμό κατά τη διεύθυνση X η ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι η 2^η και η επόμενη είναι η 5^η. Στη συνέχεια αυτές θα αναφέρονται ως 1^η και 2^η ιδιομορφή.

5.4.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ

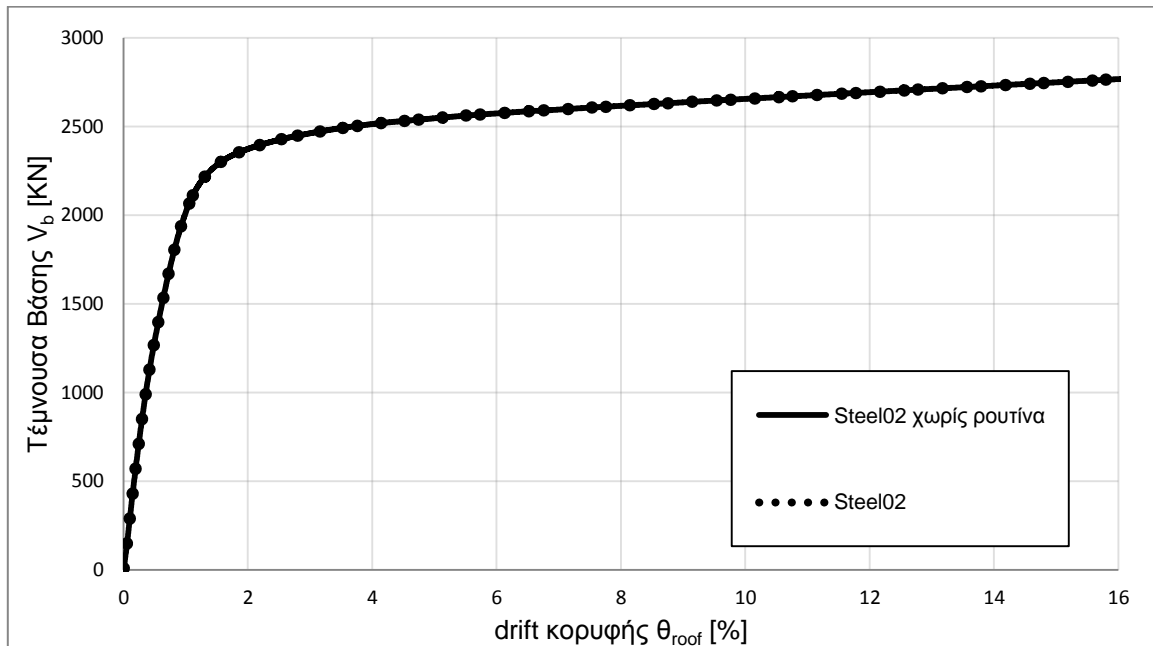
Στα πλαίσια της αναζήτησης του ιδανικότερου προσομοιώματος χάλυβα (αναλυτικότερη περιγραφή στο κεφάλαιο 3.2.2.2) σχεδιάστηκαν οι καμπύλες pushover για τα παρακάτω μοντέλα:

- **Hysteretic** (Σχήμα 5.4.1)
- **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 5.4.2)

Οι αναλύσεις pushover πραγματοποιήθηκαν με και χωρίς τη χρήση της ρουτίνας σύγκλισης που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.

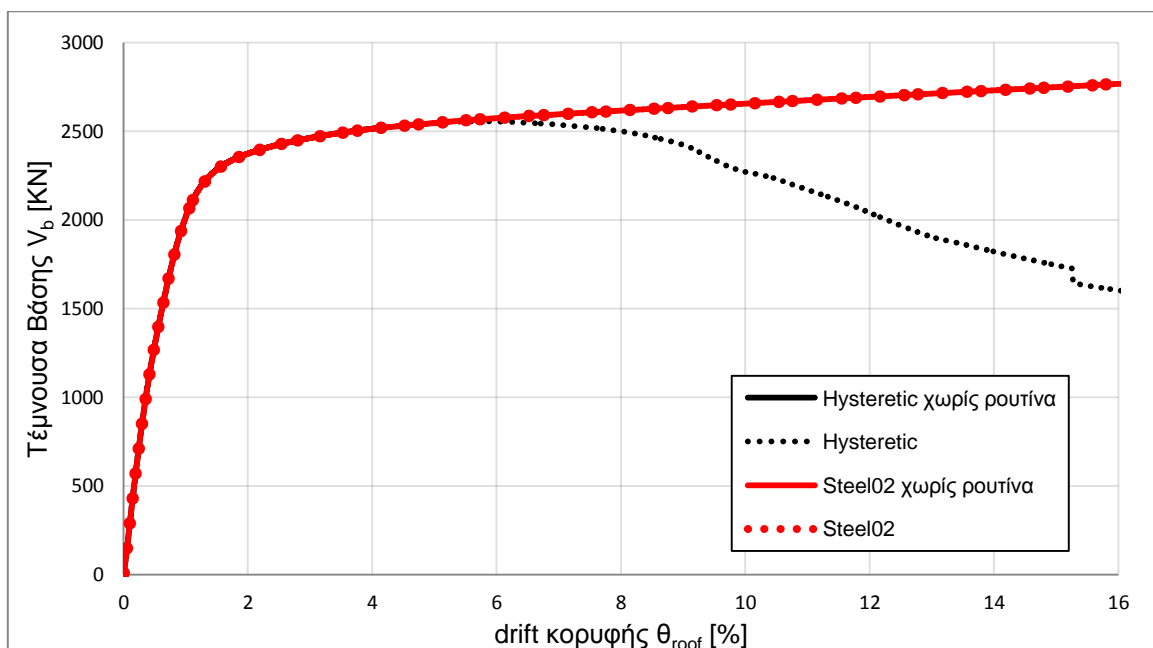


Σχήμα 5.4.1: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic



Σχήμα 5.4.2: Καμπύλες pushover για χάλυβα Steel02

Παρατηρούμε πως με το Steel02 η καμπύλη φτάνει σε πολύ μεγάλες τιμές drift (μεγαλύτερες του 20%) χωρίς να παρουσιάσει το αναμενόμενο πλατό. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην αδυναμία του μοντέλου να αποτυπώσει την πτώση των αντοχών του χάλυβα μετά το σημείο μέγιστης αντοχής f_u , μέχρι το οποίο άλλωστε συμπίπτει με το μοντέλο Hysteretic. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από το Σχήμα 5.4.3 αφού παρατηρούμε πως οι καμπύλες ταυτίζονται έως το σημείο μέγιστης τέμνουσας (drift 5.8%) του χάλυβα Hysteretic.



Σχήμα 5.4.3: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02

Η καμπύλη pushover του μοντέλου Hysteretic διαθέτει αυξανόμενο, σταθερό και πτωτικό κλάδο και ως εκ τούτου προσεγγίζει καλύτερα τη θεωρητική μορφή της καμπύλης. Είναι εύλογο λοιπόν οι επόμενες αναλύσεις να χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο.

Τέλος είναι προφανές ότι η ολοκληρωμένη μορφή της καμπύλης οφείλεται στη ρουτίνα σύγκλισης και πως η χρήση της είναι αναγκαία για τις επόμενες αναλύσεις.

Σχόλιο: Στο πεδίο των παραμορφώσεων που εξετάζουμε η ρουτίνα δεν φαίνεται να χρειάζεται για τον χάλυβα Steel02.

5.4.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ

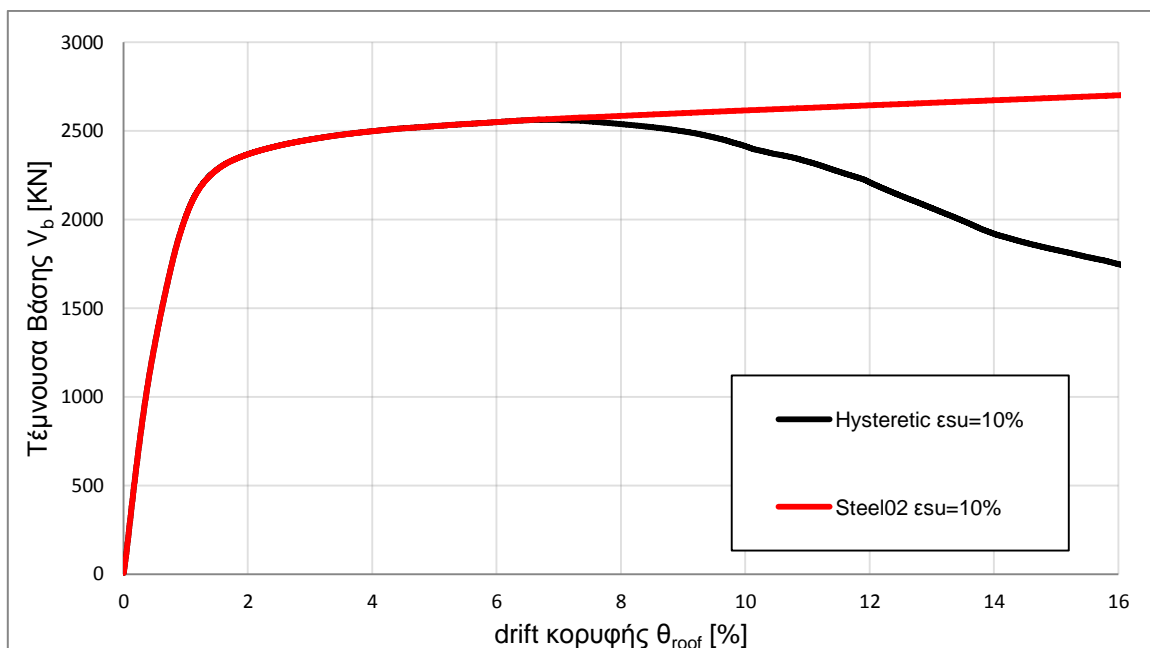
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.2.2.2 η επιμήκυνση ϵ_u του χάλυβα στο μέγιστο φορτίο έχει ληφθεί ίση με την χαρακτηριστική και έχει τιμή:

$$\epsilon_u = 7.5\%$$

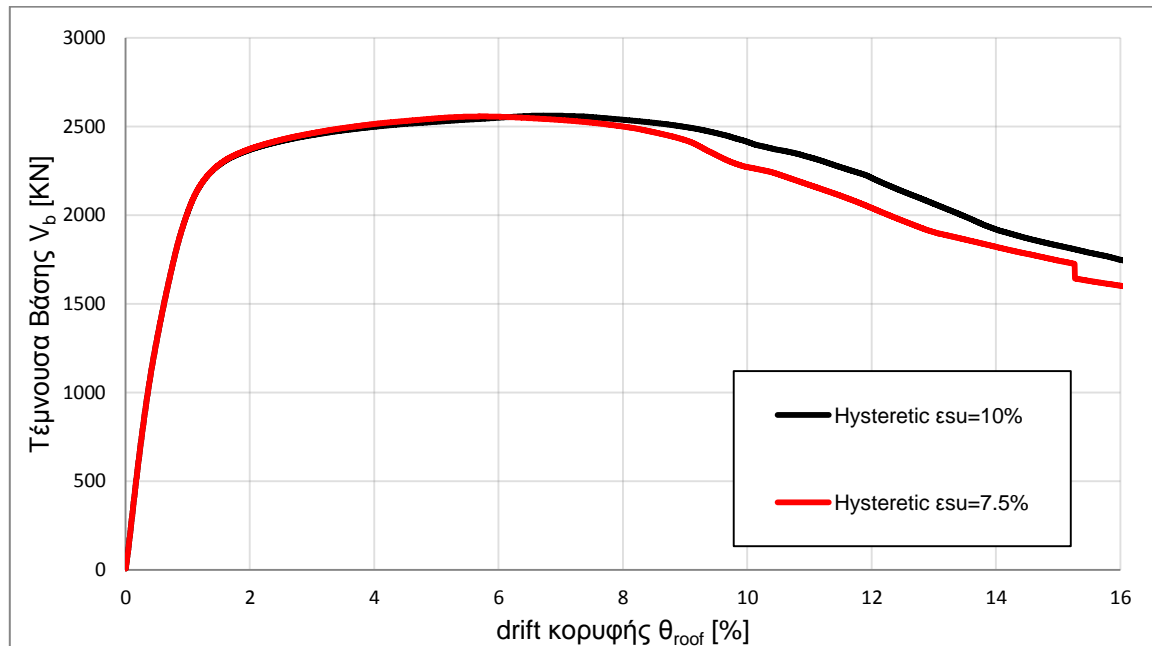
Για να εξετάσουμε την επίδραση του χάλυβα στις αντοχές της κατασκευής δοκιμάζουμε παραμόρφωση με τιμή 20-30% μεγαλύτερη της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για λόγους απλότητας θεωρούμε αντοχή μεγαλύτερη κατά 33% δηλαδή:

$$\epsilon_u = 10.0\%$$

Στο Σχήμα 5.4.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες pushover για μοντέλο χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$ ενώ στο Σχήμα 5.4.5 γίνεται σύγκριση του χάλυβα Hysteretic για τις δύο τιμές παραμόρφωσης ϵ_u .



Σχήμα 5.4.4: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10.0\%$



Σχήμα 5.4.5: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic με $\epsilon_u = 7.5\%$ και 10.0%

Οι δύο καμπύλες αρχίζουν να διαφοροποιούνται αισθητά όταν η καμπύλη για $\epsilon_u = 7.5\%$ περάσει στον πτωτικό κλάδο. Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί στα κρίσιμα μέλη ο χάλυβας πέρασε τη θέση μέγιστης αντοχής. Επίσης το γεγονός ότι στον περίπου σταθερό κλάδο η καμπύλη 7.5% δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές από αυτήν για 10% φαίνεται να επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση δεδομένης της μεγαλύτερης κλίσης του κρατυνόμενου κλάδου.

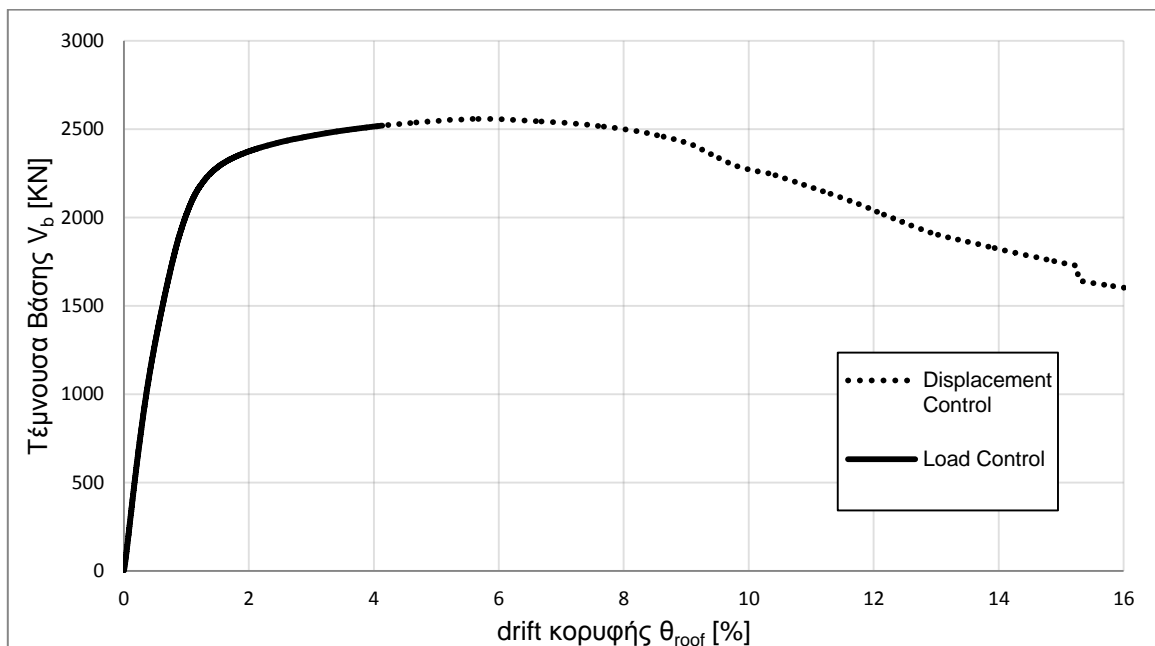
Η μετακίνηση μέγιστης αντοχής της καμπύλης 10% συναντάται λίγο μετά από αυτήν για 7.5% ενώ η τιμή της μέγιστης αντοχής είναι πρακτικά η ίδια. Επομένως, η καμπύλη pushover επί της ουσίας δεν επηρεάζεται από την επιλογή της επιμήκυνσης ϵ_u .

5.4.3. LOADCONTROL PUSHOVER

Η ανάλυση pushover εξ' αρχής πραγματοποιήθηκε με δεδομένο ότι σε κάθε βήμα θα καταγράφεται συγκεκριμένη μετακίνηση κορυφής, ούτως ώστε να αποτυπωθεί ο πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η μορφή αυτή πράγματι καταγράφεται, επομένως η επιλογή που έγινε φαίνεται σε πρώτο βαθμό να είναι επιτυχημένη. Για να επιβεβαιωθεί όμως ότι δεν εμφανίζονται τυχόν αριθμητικά προβλήματα, πραγματοποιείται ανάλυση με σταθερά αυξανόμενα φορτία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι:

integrator LoadControl

Στο Σχήμα 5.4.6 δίνονται οι καμπύλες pushover για τα δύο είδη αναλύσεων.



Σχήμα 5.4.6: Καμπύλες pushover για σταθερό βήμα μετακίνησης και φορτίου

Όπως είχε προβλεφθεί, η Load Control ανάλυση δεν αποτυπώνει τη πτώση των αντοχών καθώς σταματάει στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας. Το βασικότερο όμως είναι ότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται για όσο συνυπάρχουν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάλυση με έλεγχο μετατοπίσεων είναι επιτυχημένη.

5.4.4. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ

Προκειμένου να κατασκευαστεί το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου πρέπει, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1, να υπολογιστούν:

- η μάζα m^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος [ton]
- ο συντελεστής συμμετοχής Γ
- το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής

Χρησιμοποιώντας την κατανομή των φορτίων με την οποία πραγματοποιήθηκε η pushover, δηλαδή την τριγωνική, προκύπτουν οι εξής συντελεστές:

Πίνακας 5.4.2: Συντελεστές Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

m^*	879.26
Γ	1.446
α	0.780

Στη συνέχεια εντοπίζεται η μετακίνηση για την οποία θεωρείται ότι έχει σχηματιστεί μηχανισμός και πέραν αυτής η καμπύλη αντίστασης παύει να περιγράφει σωστά τη κατασκευή. Λόγω της μορφής της καμπύλης η μετακίνηση αυτή δεν είναι προφανής. Μια πρώτη εκτίμηση θα ήταν η θέση μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο με αυτή την επιλογή παραλείπεται ένα μικρό τμήμα για το οποίο η κατασκευή συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία χωρίς ιδιαίτερη πτώση αντοχών. Αναζητείται λοιπόν μια τιμή στην οποία έχει αρχίσει να εμφανίζεται ο πτωτικός κλάδος χωρίς όμως αυτός να είναι μεγάλος.

Οι τιμές στις οποίες καταλήξαμε είναι οι:

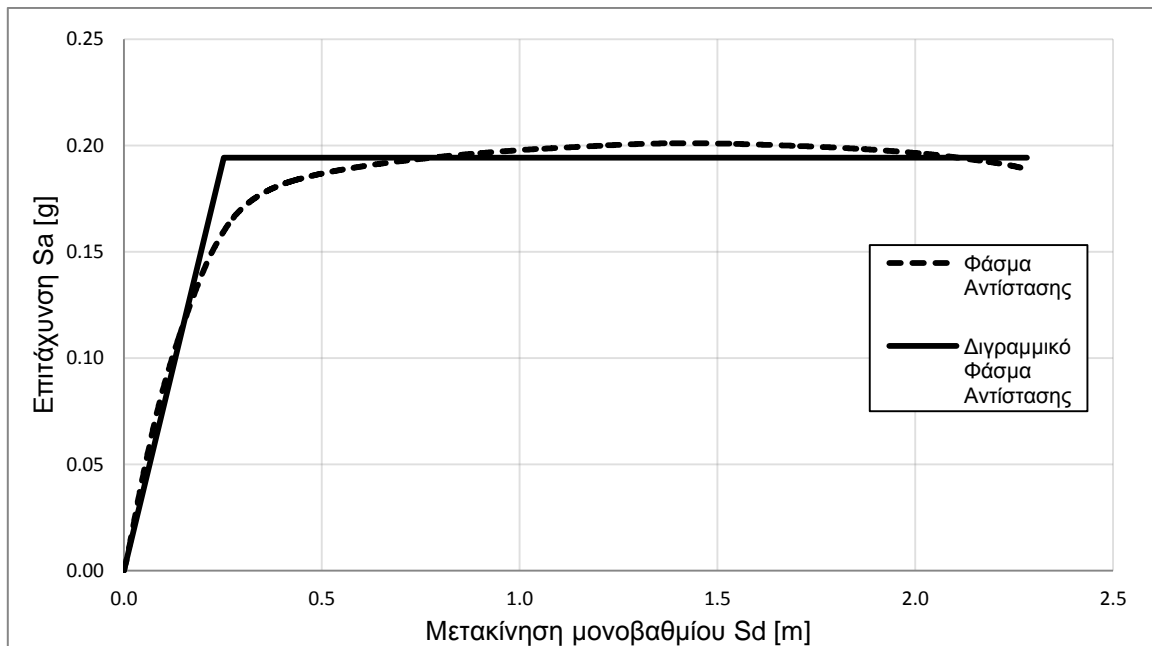
- $d_{max} = 3.2 \text{ m (drift 8.9\%)}$
- $d_{max} = 3.3 \text{ m (drift 9.2\%)}$
- $d_{max} = 3.6 \text{ m (drift 10.0\%)}$

Πίνακας 5.4.3: Στοιχεία διγραμμικού φάσματος αντίστασης

	d_{max}		
	3.2	3.3	3.6
T^* [sec]	2.264	2.264	2.261
S_{ay} [g]	0.194	0.194	0.193
S_{dy} [m]	0.252	0.252	0.250
S_{du} [m]	2.213	2.282	2.490

Οι διαφορές στις τιμές της ιδιοπεριόδου T^* , της επιτάχυνσης διαρροής S_{ay} και της μετακίνησης διαρροής S_{dy} του διγραμμικού φάσματος αντίστασης είναι αμελητέες (διαφορά του 3^{ου} δεκαδικού) με αποτέλεσμα οι τρεις λύσεις να είναι ισοδύναμες. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή $d_{max} = 3.3 \text{ m}$ (drift 9.2%) ως (πλασματική) μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου και το αντίστοιχο διγραμμικό δίνονται στο Σχήμα 5.4.7:



Σχήμα 5.4.7: Φάσμα Αντίστασης Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

5.4.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER

Από το ισοδύναμο μονοβάθμιο και τη θεωρητική (τριγωνική) κατανομή των φορτίων προκύπτει μετακίνηση του ορόφου i ίση με:

$$d_i = S_d \cdot \Gamma \cdot \varphi_i = \frac{d_{top} \cdot \varphi_i}{\varphi_{top}}$$

Θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικές τις κατανομές στη μετακίνηση μέγιστης αντοχής d_{Vmax} και στη μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης d_{max} που υπολογίστηκε προηγουμένως, κατασκευάζονται οι παρακάτω πίνακες.

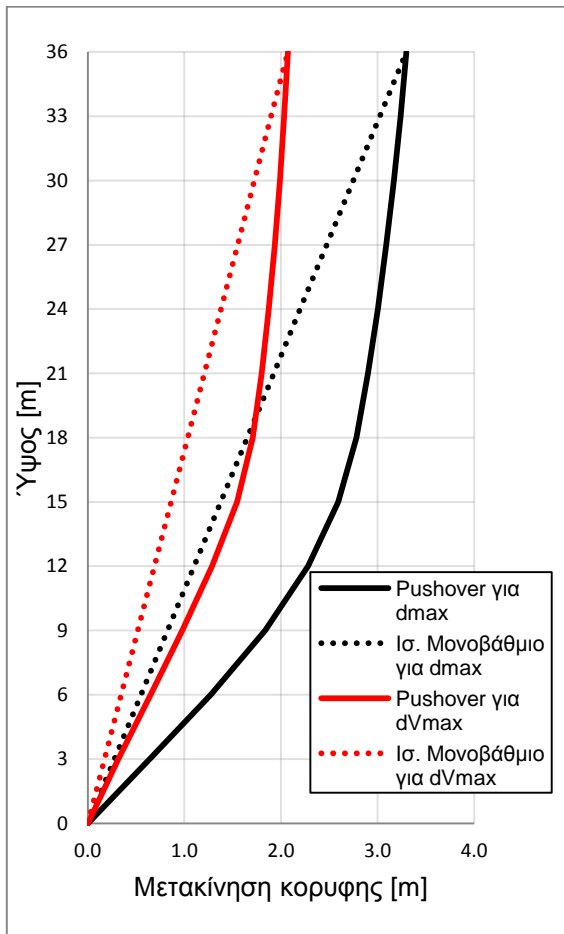
Πίνακας 5.4.4: Κατανομή μετακινήσεων για d_{max}

	d_{max} 3.300		Διαφορά (%)
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	
Όροφος 1	0.639	0.275	132.44
Όροφος 2	1.273	0.550	131.53
Όροφος 3	1.838	0.825	122.75
Όροφος 4	2.282	1.100	107.48
Όροφος 5	2.592	1.375	88.50
Όροφος 6	2.782	1.650	68.61
Όροφος 7	2.902	1.925	50.75
Όροφος 8	3.002	2.200	36.48
Όροφος 9	3.090	2.475	24.86
Όροφος 10	3.168	2.750	15.20
Όροφος 11	3.237	3.025	7.02
Όροφος 12	3.300	3.300	0.00

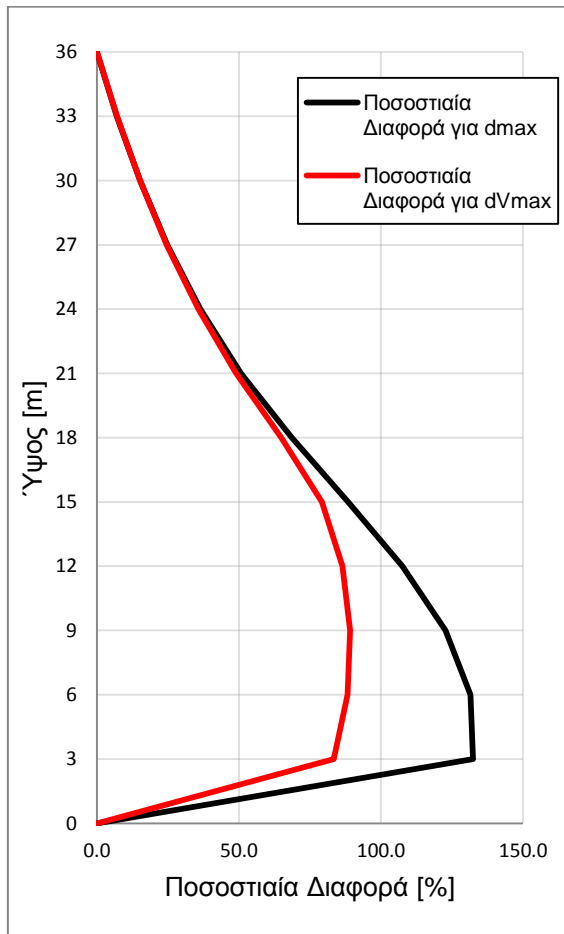
Πίνακας 5.4.5: Κατανομή μετακινήσεων για d_{Vmax}

	d_{Vmax} 2.071		Διαφορά (%)
	πραγματικά d	Τριγωνική Κατανομή	
Όροφος 1	0.317	0.173	83.42
Όροφος 2	0.650	0.345	88.26
Όροφος 3	0.979	0.518	89.13
Όροφος 4	1.287	0.690	86.47
Όροφος 5	1.547	0.863	79.27
Όροφος 6	1.708	1.036	64.91
Όροφος 7	1.800	1.208	49.01
Όροφος 8	1.874	1.381	35.74
Όροφος 9	1.936	1.553	24.65
Όροφος 10	1.988	1.726	15.21
Όροφος 11	2.033	1.898	7.08
Όροφος 12	2.071	2.071	0.00

Τα Σχήματα 5.4.8 και 5.4.9 αποτυπώνουν τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις σε σύγκριση με τις ιδεατές της τριγωνικής κατανομής καθώς και τις ποσοστιαίες διαφορές τους.



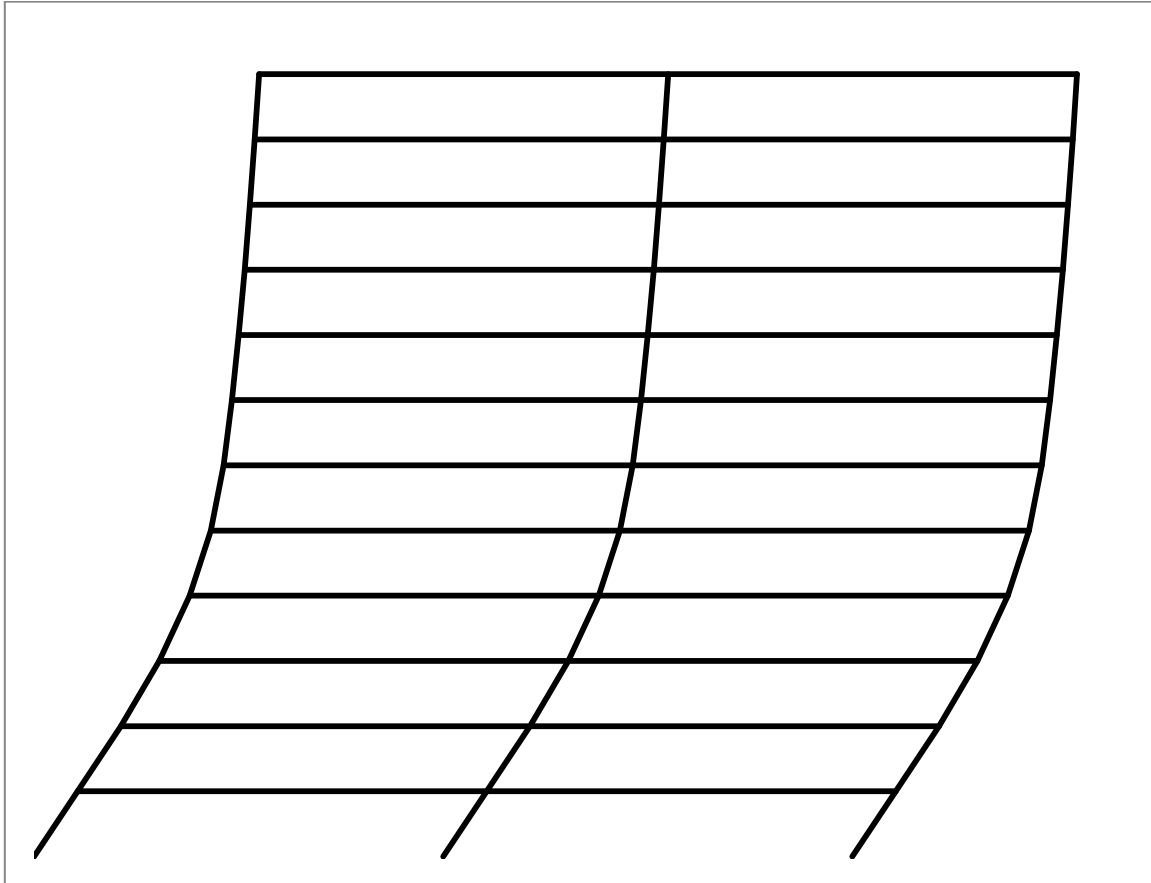
Σχήμα 5.4.8: Κατανομή μετακινήσεων



Σχήμα 5.4.9: Κατανομή Ποσοστιαίων Διαφορών

Είναι προφανές πως για μετακίνηση κορυφής d_{Vmax} η κατανομή των μετακινήσεων προσεγγίζει την ιδεατή περισσότερο απ' ό,τι για μετακίνηση d_{max} . Αυτό είναι λογικό καθώς η γραμμική κατανομή ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ελαστικό τμήμα των παραμορφώσεων, στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα αστοχίες μελών. Η θέση μέγιστης αντοχής, παρόλο που βρίσκεται βαθιά μέσα στο ανελαστικό τμήμα απόκρισης, δεν εμφανίζει τόσες βλάβες όπως στη θέση d_{max} και ο μηχανισμός κατάρρευσης δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί με αποτέλεσμα η κατανομή των μετακινήσεων να είναι πλησιέστερα στη θεωρητική.

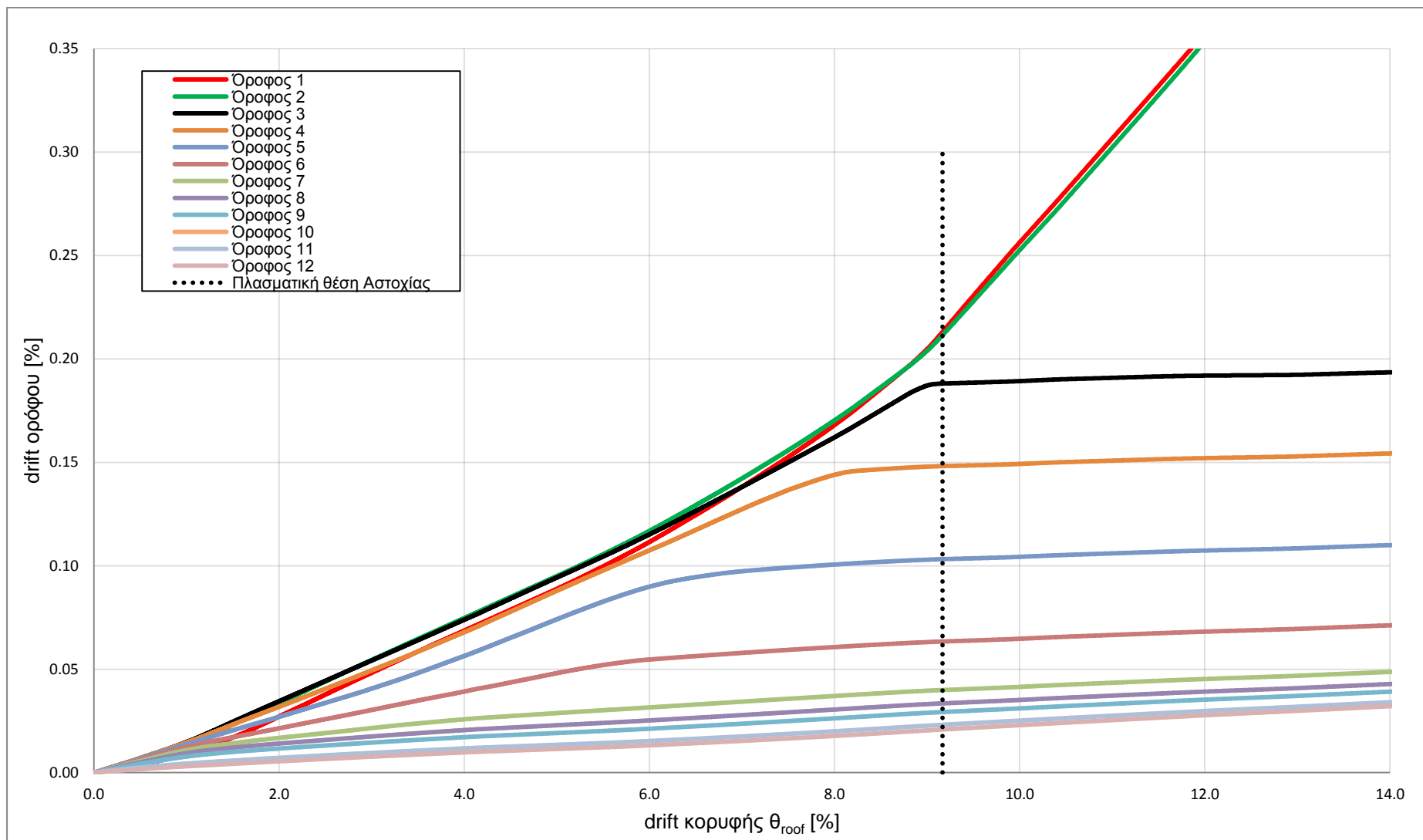
Στο Σχήμα 5.4.10 παρουσιάζεται ο φορέας στην παραμορφωμένη κατάσταση για μετακίνηση κορυφής d_{max} .



Σχήμα 5.4.10: Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα για μετακίνηση κορυφής d_{max}

Είναι φανερό πως οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων μειώνονται καθ' ύψος πλησιάζοντας έτσι την παραβολική κατανομή που δίνουν οι αμιγώς πλαισιωτοί φορείς.

Καταγράφοντας την εξέλιξη του drift κάθε ορόφου (Σχήμα 5.4.11) μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι τέσσερις πρώτοι όροφοι εμφανίζουν παραπλήσια drift για μεγάλο διάστημα με αποτέλεσμα οι παραμορφώσεις να συγκεντρώνονται στο τέλος του 4^{ου} ορόφου. Ωστόσο λίγο πριν τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας το drift του 3^{ου} και του 4^{ου} σταματάει να αυξάνεται σε αντίθεση με του 1^{ου} και του 2^{ου}, γεγονός που μαρτυρά ότι η κατάρρευση επέρχεται λόγω **μηχανισμού ορόφου στον 1^ο και 2^ο όροφο.**



Σχήμα 5.4.11: drift ορόφων συναρτήσει του ολικού drift

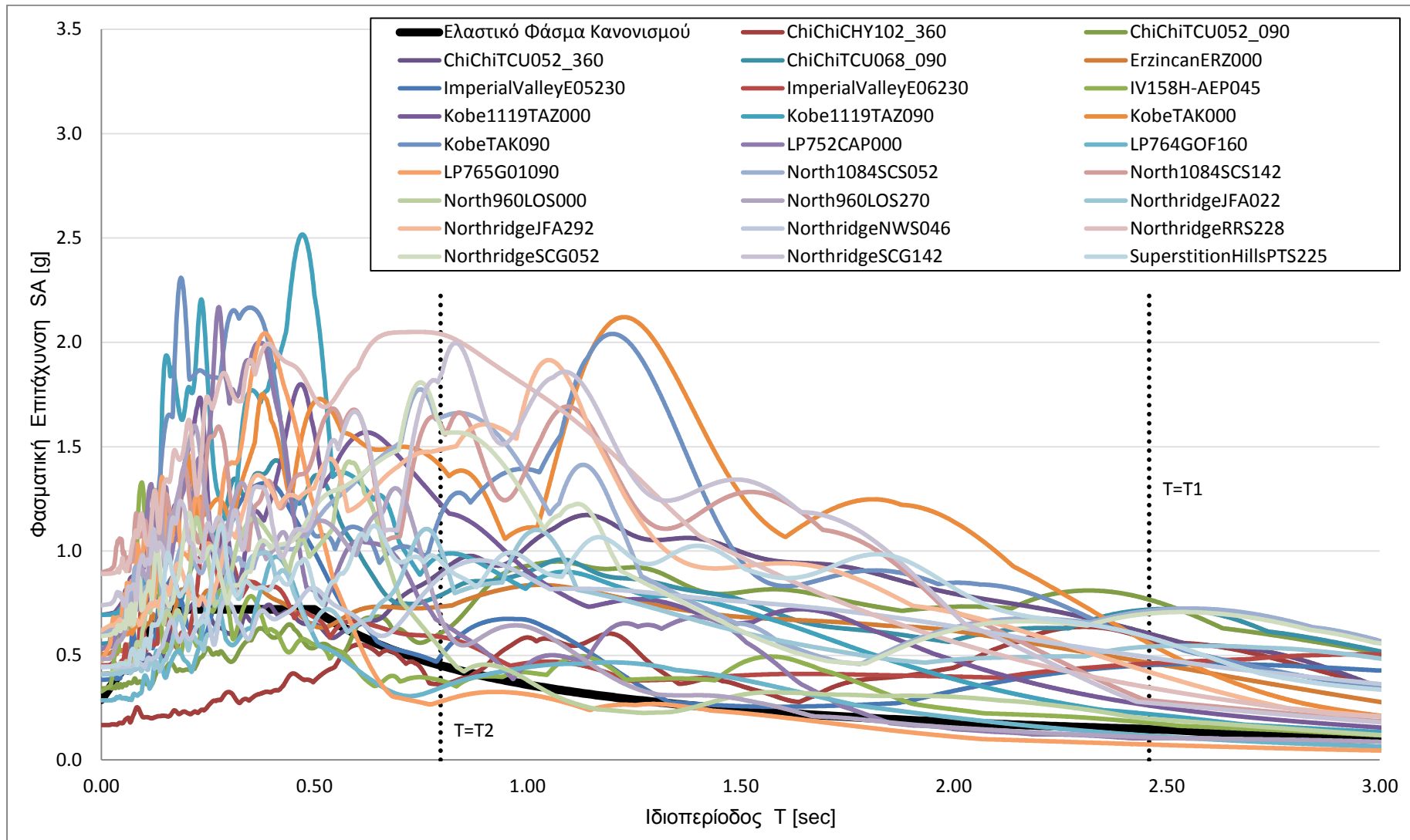
5.4.6. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής δίνονται στον Πίνακα 5.4.6 ενώ περισσότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 5.4.68: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Καταγραφή
1	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	CHY102	ChiChiCHY102_360
2	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_090
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_360
4	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU068	ChiChiTCU068_090
5	Erzincan	13/03/92	Erzincan	ErzincanERZ000
6	Imperial Valley	15/10/79	El Centro Array #5	ImperialValleyE05230
7	Imperial Valley	15/10/79	El Centro Array #6	ImperialValleyE06230
8	Imperial Valley	15/10/79	Aeropuerto Mexicali	IV158H-AEP045
9	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ000
10	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090
11	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK000
12	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090
13	Loma Prieta	18/10/89	Capitola	LP752CAP000
14	Loma Prieta	18/10/89	Gilroy-Historic Bldg.	LP764GOF160
15	Loma Prieta	18/10/89	Gilroy Array #1	LP765G01090
16	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS052
17	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS142
18	Northridge	17/01/94	Canyon Country-W Lost Cany	North960LOS000
19	Northridge	17/01/94	Canyon Country-W Lost Cany	North960LOS270
20	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA022
21	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA292
22	Northridge	17/01/94	Newhall-W Pico Canyon Rd.	NorthridgeNWS046
23	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228
24	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG052
25	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG142
26	Superstition Hills	24/11/87	Parachute Test Site	SuperstitionHillsPTS225

Στο Σχήμα 5.4.12 έχουν σχεδιαστεί τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των καταγραφών και το φάσμα σχεδιασμού. Η καταλληλότητα των επιλεγμένων σεισμών φαίνεται από το πλήθος των φασμάτων που για τις τιμές των ιδιοπεριόδων T_1 και T_2 υπερβαίνουν τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.



Σχήμα 5.4.12: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων για απόσβεση ζ=5%

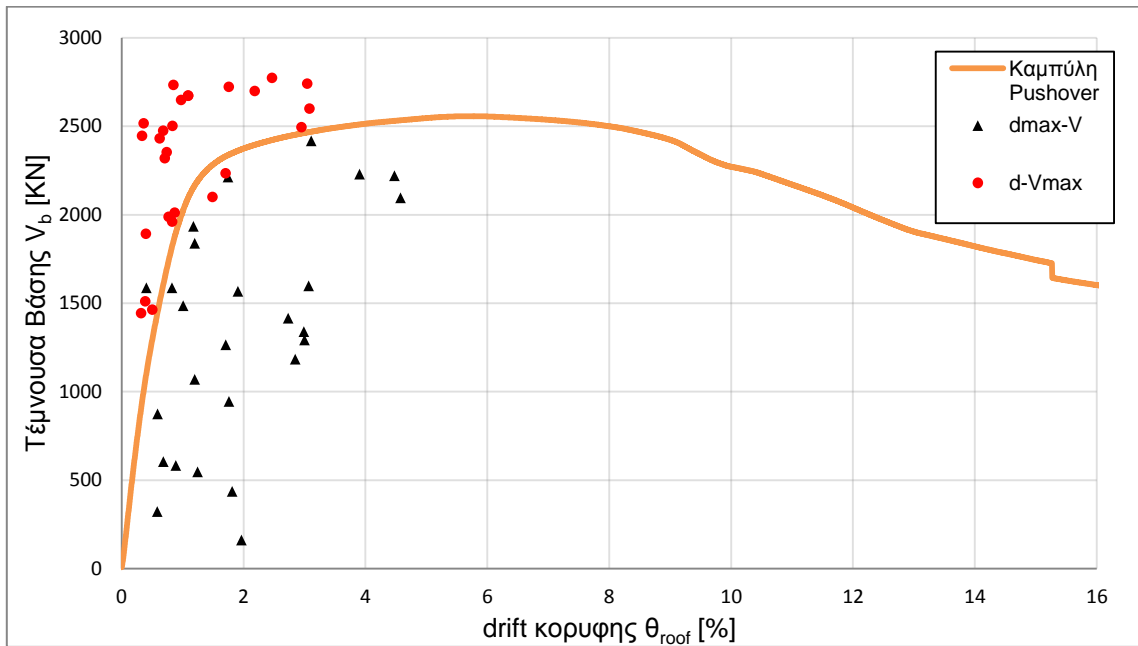
5.4.7. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 5.4.7.

Πίνακας 5.4.7: Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις κορυφής και τέμνουσες βάσης

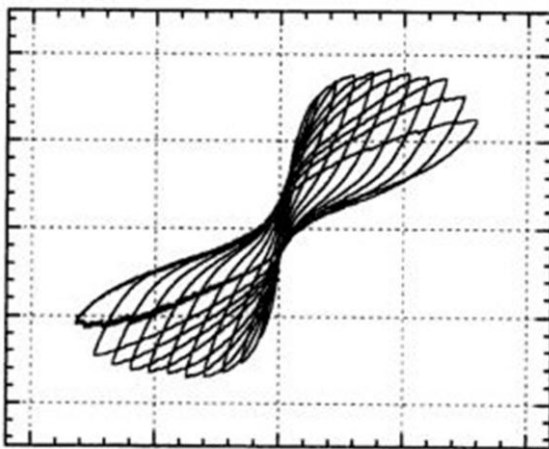
		d_{max} [m]	V_{dmax} [KN]	d_{vmax} [m]	V_{max} [KN]
ChiChiCHY102_360	scale 1.0	0.629	2214.5	0.617	2233.4
ChiChiTCU052_090	scale 1.0	1.648	2095.7	1.065	2494.2
ChiChiTCU052_360	scale 1.0	0.985	1416.6	0.635	2722.6
ChiChiTCU068_090	scale 1.0	1.613	2221.6	1.098	2740.0
ErzincanERZ000	scale 1.0	0.688	1568.1	0.269	2353.2
ImperialValleyE05230	scale 1.0	1.121	2418.6	1.111	2598.3
ImperialValleyE06230	scale 1.0	1.407	2230.8	0.890	2772.1
IV158H-AEP045	scale 1.0	0.298	1588.0	0.279	1987.1
Kobe1119TAZ000	scale 1.0	0.450	546.7	0.256	2317.8
Kobe1119TAZ090	scale 1.0	0.321	582.6	0.300	1960.1
KobeTAK000	scale 1.0	0.636	944.5	0.132	2515.4
KobeTAK090	scale 1.0	0.433	1069.8	0.122	2445.1
LP752CAP000	scale 1.0	0.212	322.6	0.142	1509.6
LP764GOF160	scale 1.0	0.247	604.9	0.182	1463.2
LP765G01090	scale 1.0	0.148	1587.4	0.144	1891.3
North1084SCS052	scale 1.0	1.082	1293.4	0.394	2670.9
North1084SCS142	scale 1.0	0.432	1839.8	0.247	2475.0
North960LOS000	scale 1.0	0.363	1485.7	0.316	2011.4
North960LOS270	scale 1.0	0.213	874.4	0.116	1443.7
NorthridgeJFA022	scale 1.0	1.027	1184.5	0.787	2698.3
NorthridgeJFA292	scale 1.0	0.653	436.2	0.307	2733.4
NorthridgeNWS046	scale 1.0	1.106	1599.3	0.301	2500.6
NorthridgeRRS228	scale 1.0	0.709	161.0	0.353	2647.8
NorthridgeSCG052	scale 1.0	1.078	1338.9	0.395	2672.6
NorthridgeSCG142	scale 1.0	0.425	1935.8	0.226	2431.0
SuperstitionHillsPTS225	scale 1.0	0.615	1266.3	0.539	2099.5

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την pushover προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (Σχήμα 5.4.13).



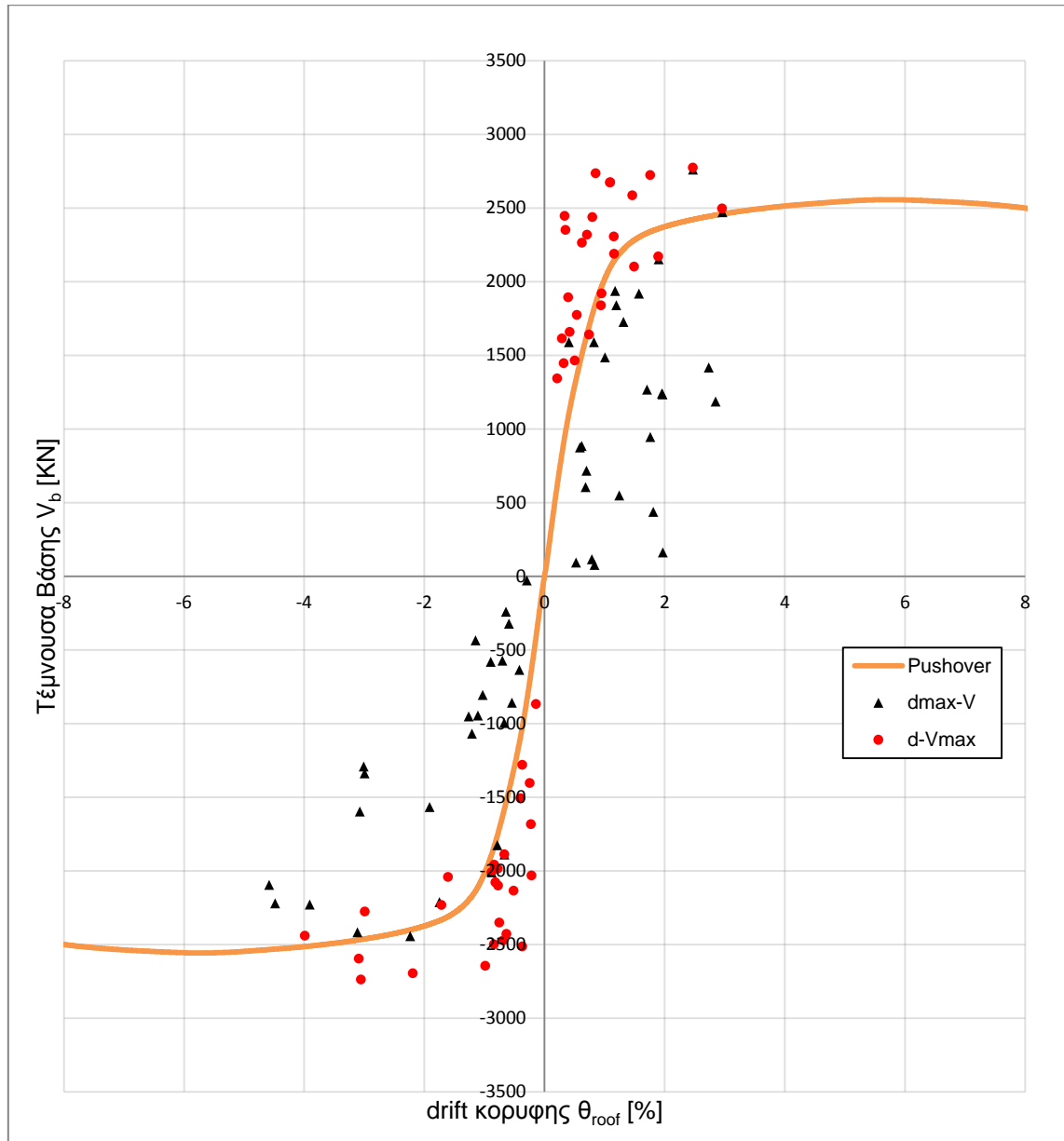
Σχήμα 5.4.13: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

Όπως διαπιστώνεται, οι περισσότεροι σεισμοί (όσον αφορά τα d_{max}) ωθούν την κατασκευή μέχρι την αρχή του πλατό. Αυτοί που την οδηγούν βαθιά μέσα στην ανελαστική περιοχή είναι ελάχιστοι. Είναι προφανές ότι η καμπύλη pushover αποτελεί ένα κάτω όριο για τα σημεία μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο τα προσεγγίζει σχετικά ικανοποιητικά. Αντιθέτως τα σημεία μέγιστης μετακίνησης απέχουν αρκετά από την καμπύλη και η προσομοίωσή τους είναι ανεπιτυχής. Για να επιβεβαιωθεί η ορθότητα αυτού του ισχυρισμού σχεδιάζονται τα ζεύγη και προς τις δύο κατευθύνσεις παραμόρφωσης (Σχήμα 5.4.15) δίνοντας έτσι τις πραγματικές κατανομές. Στο νέο σχήμα οι αποκλίσεις παραμένουν στην ίδια κλίμακα.



Σχήμα 5.4.14: Θεωρητική μορφή δυναμικής απόκρισης

Λόγω της σταδιακής πτώσης της δυσκαμψίας η θεωρητική μορφή της καμπύλης τέμνουσας-μετακίνησης κορυφής είναι αυτή του Σχήματος 5.4.14 και υποδηλώνει ότι τα σημεία μέγιστης μετακίνησης θα έπρεπε να εντοπίζονται κοντά στον πτωτικό κλάδο της pushover ή έστω στο πλατό.



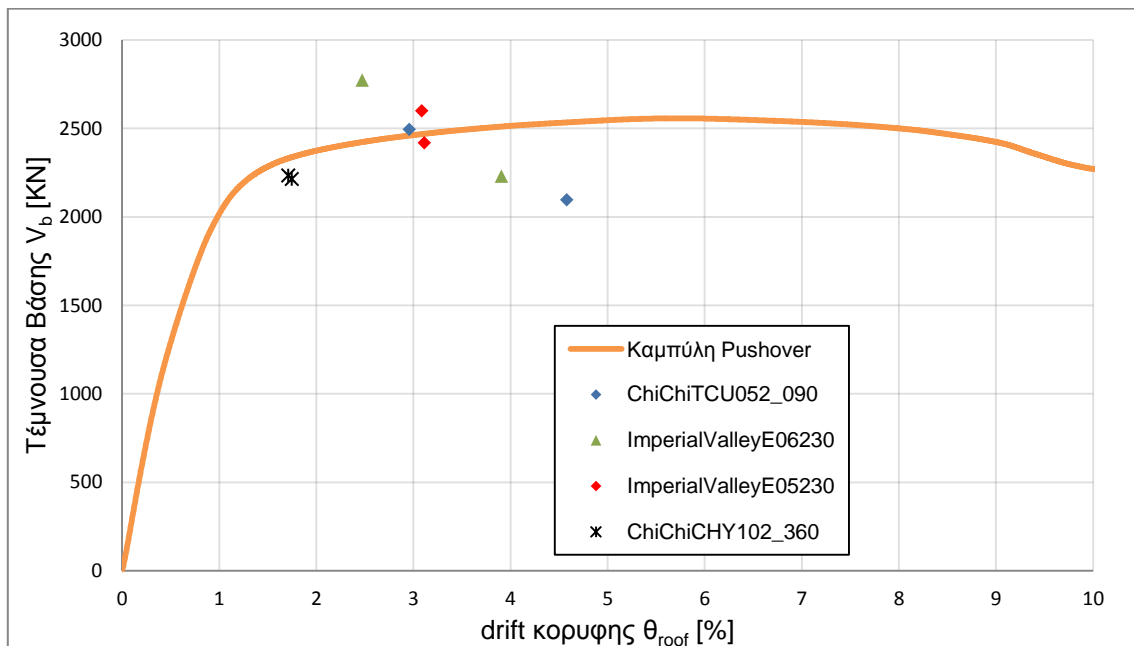
Σχήμα 5.4.15: Ζεύγη (d_{max}, V_{dmax}) και (d_{Vmax}, V_{max}) επί της καμπύλης pushover

5.4.8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη pushover προσεγγίζει περισσότερο τα σημεία μέγιστης τέμνουσας παρά μετακίνησης. Προκειμένου να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για τους λόγους αυτής της διαφοροποίησης, θα εξεταστεί η κατανομή των μετακινήσεων για ορισμένες καταγραφές και της pushover για ίδια μετακίνηση κορυφής. Οι καταγραφές που επιλέγονται διαθέτουν μια εκ των δύο τιμών (d_{max} ή d_{Vmax}) κοντά στην καμπύλη pushover. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αναμενόμενες αποκλίσεις είναι μικρές.

Οι καταγραφές που επιλέχθηκαν (Σχήμα 5.4.16) είναι οι:

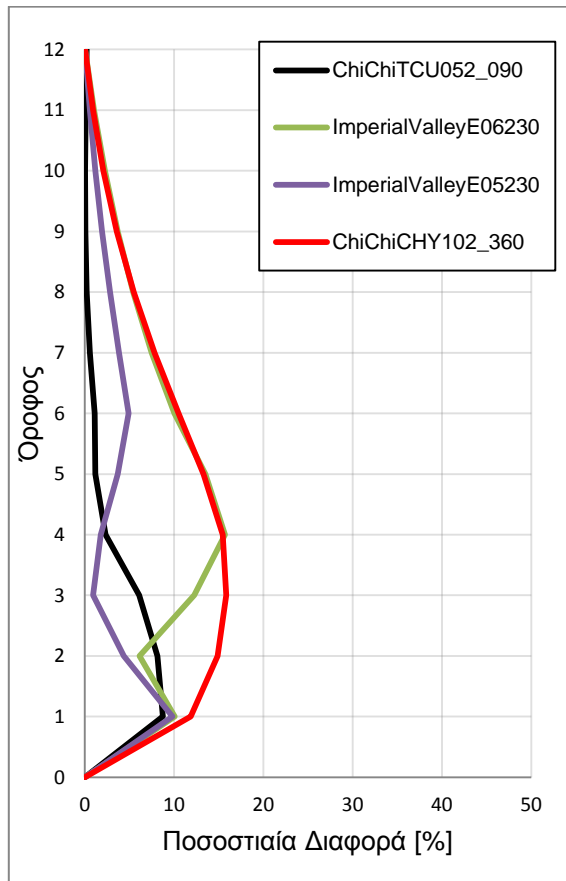
- **ChiChiTCU052_090** (σημείο d_{Vmax} κοντά σε καμπύλη)
- **ImperialValleyE06230** (μέγιστο d_{Vmax})
- **ImperialValleyE05230** (σημείο d_{max} κοντά σε καμπύλη)
- **ChiChiCHY102_360** (σημεία d_{Vmax} και d_{max} κοντά σε καμπύλη)



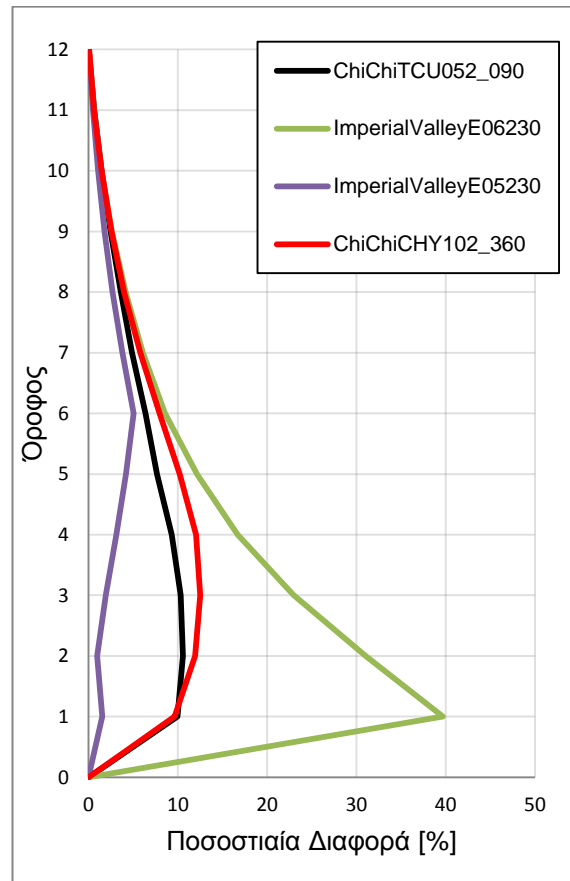
Σχήμα 5.4.16: Επιλεγμένες καταγραφές για έλεγχο της κατανομής των μετακινήσεων

Για τη σύγκριση χρησιμοποιούνται οι μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί από τη δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας του σεισμικού συμβάντος και οι μετακινήσεις της pushover για τις οποίες η μετακίνηση κορυφής είναι ίδια.

Στα Σχήματα 5.4.17 και 5.4.18 δίνεται η κατανομή της ποσοστιαίας διαφοράς και όχι καθ' εαυτού η μετακίνηση καθώς επιτρέπει τη πραγματοποίηση συγκρίσεων.



Σχήμα 5.4.17: Ποσοστιαία διαφορά για d_{max}



Σχήμα 5.4.18: Ποσοστιαία διαφορά για d_{Vmax}

Καταρχάς πρέπει να τονιστεί ότι οι διαφορές από την κατανομή της pushover είναι δικαιολογημένες καθώς δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών.

Εξετάζοντας κάθε καταγραφή ξεχωριστά διαπιστώνεται ότι για τα σημεία d_{Vmax} δεν ισχύει ο κανόνας που αναφέρθηκε στο τριώροφο και το εξαώροφο, σύμφωνα με τον οποίο η καταγραφή που βρίσκεται πλησιέστερα στην καμπύλη παρουσιάζει τη μικρότερη απόκλιση στο ζεύγος. Το φαινόμενο εξακολουθεί να ισχύει για τα σημεία d_{max} και στο δωδεκαώροφο, ωστόσο οι αποκλίσεις σε σχέση με τα d_{Vmax} είναι σε γενικές γραμμές μικρότερες.

Συγκρίνοντας αντίστοιχα σημεία σε διαφορετικές καταγραφές η κατάσταση επαναλαμβάνεται. Για τα σημεία d_{Vmax} οι καταγραφές που βρίσκονται κοντά στην καμπύλη δεν εμφανίζουν πάντα μικρότερη απόκλιση από άλλες πιο απομακρυσμένες. Ωστόσο τα σημεία d_{max} φαίνεται να συμπεριφέρονται καλύτερα.

5.4.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R_{μ} - μ

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί για κάθε σεισμό η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ και ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} .

Καταρχάς από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων κάθε καταγραφής εντοπίζεται η φασματική επιτάχυνση SA που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο $T^*=2.264$ sec του ισοδύναμου μονοβάθμιου και διαιρείται με την επιτάχυνση διαρροής Say . Στη συνέχεια υπολογίζεται η Δεσπόζουσα Περίοδος T_p της εδαφικής κίνησης θεωρώντας απλοποιητικά ότι πρόκειται για την περίοδο στην οποία το φάσμα ταχυτήτων λαμβάνει μέγιστη τιμή. Τέλος από τη μετακίνηση κορυφής και από τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου υπολογίζεται η πλαστιμότητα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το ψευδοφάσμα επιταχύνσεων και ταχυτήτων.

Πίνακας 5.4.8: Τιμές Φασματικών & ΨευδοΦασματικών επιταχύνσεων και περιόδων T_p

	Από Φάσματα		Από ΨευδοΦάσματα	
	SA (T*) [g]	T_p [sec]	SA (T*) [g]	T_p [sec]
ChiChiCHY102_360	0.6308	2.4110	0.6275	2.3550
ChiChiTCU052_090	0.8038	6.5000	0.8003	5.1800
ChiChiTCU052_360	0.7009	10.0500	0.6979	8.2900
ChiChiTCU068_090	0.6300	8.8600	0.6269	9.3100
ErzincanERZ000	0.5309	1.8130	0.5285	2.0350
ImperialValleyE05230	0.4205	3.5990	0.4190	3.3790
ImperialValleyE06230	0.4325	3.3570	0.4303	3.5940
IV158H-AEP045	0.2072	1.6360	0.2058	1.5970
Kobe1119TAZ000	0.3308	1.7490	0.3290	1.6920
Kobe1119TAZ090	0.2673	1.3350	0.2656	0.4790
KobeTAK000	0.7866	1.2780	0.7822	1.2610
KobeTAK090	0.7314	1.2570	0.7271	1.2290
LP752CAP000	0.1204	1.4890	0.1188	1.4240
LP764GOF160	0.1464	1.3180	0.1445	1.4160
LP765G01090	0.0859	0.4120	0.0836	0.3990
North1084SCS052	0.6691	2.9480	0.6648	2.6650
North1084SCS142	0.4578	1.6280	0.4531	1.5790
North960LOS000	0.2535	0.5950	0.2523	0.5950
North960LOS270	0.1233	0.7110	0.1228	0.6970
NorthridgeJFA022	0.4958	2.7750	0.4933	2.8210
NorthridgeJFA292	0.5491	1.1140	0.5437	1.0690
NorthridgeNWS046	0.5491	2.1490	0.5467	1.9840
NorthridgeRRS228	0.4244	1.0350	0.4217	1.0780
NorthridgeSCG052	0.6533	2.9270	0.6491	2.6660
NorthridgeSCG142	0.4277	1.6110	0.4228	1.1110
SuperstitionHillsPTS225	0.6631	1.9160	0.6599	1.8590

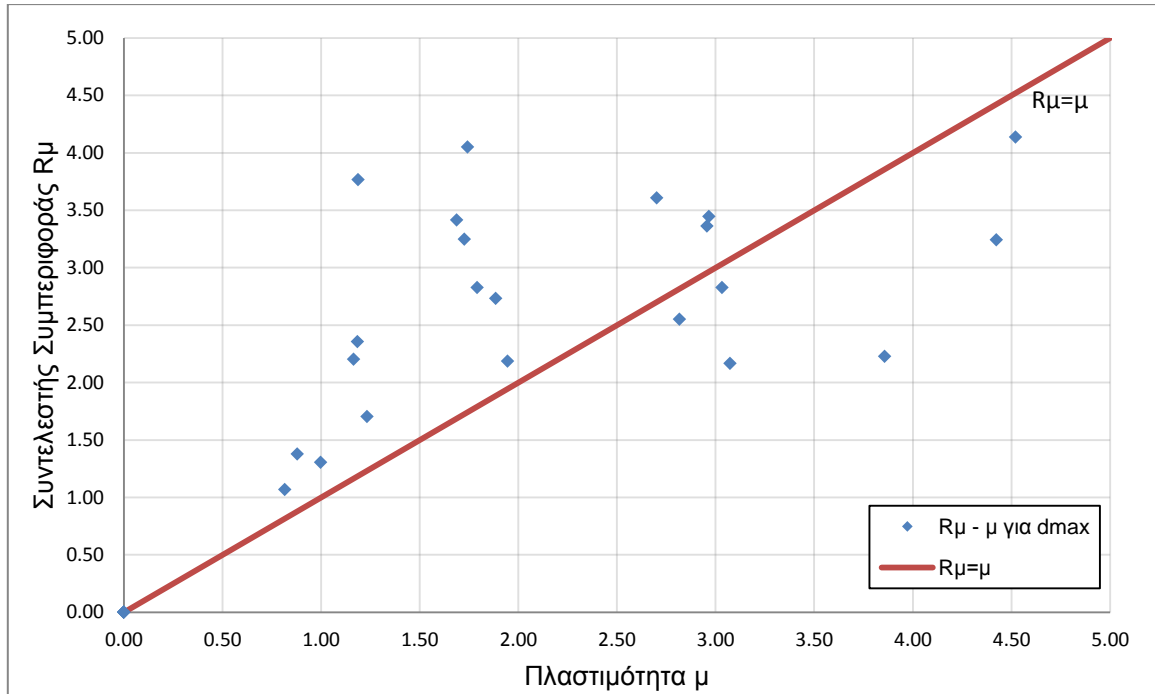
Πίνακας 5.4.9: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S _{A,el} [g]	R _μ = S _{A,el} / S _{ay}	T _p [sec]	μ / R _μ	T* / T _p
	για d _{max}								
ChiChiCHY102_360	για d _{max}	0.6292	0.4351	1.725	0.6308	3.248	2.411	0.531	0.939
ChiChiTCU052_090	για d _{max}	1.6483	1.1400	4.520	0.8038	4.138	6.500	1.092	0.348
ChiChiTCU052_360	για d _{max}	0.9852	0.6813	2.702	0.7009	3.609	10.050	0.749	0.225
ChiChiTCU068_090	για d _{max}	1.6129	1.1155	4.423	0.6300	3.243	8.860	1.364	0.256
ErzincanERZ000	για d _{max}	0.6876	0.4755	1.886	0.5309	2.733	1.813	0.690	1.249
ImperialValleyE05230	για d _{max}	1.1208	0.7751	3.074	0.4205	2.165	3.599	1.420	0.629
ImperialValleyE06230	για d _{max}	1.4067	0.9729	3.858	0.4325	2.227	3.357	1.732	0.674
IV158H-AEP045	για d _{max}	0.2977	0.2059	0.816	0.2072	1.067	1.636	0.765	1.384
Kobe1119TAZ000	για d _{max}	0.4497	0.3110	1.233	0.3308	1.703	1.749	0.724	1.294
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.3208	0.2219	0.880	0.2673	1.376	1.335	0.639	1.696
KobeTAK000	για d _{max}	0.6356	0.4396	1.743	0.7866	4.050	1.278	0.430	1.772
KobeTAK090	για d _{max}	0.4332	0.2996	1.188	0.7314	3.766	1.257	0.315	1.801
LP752CAP000	για d _{max}	0.2115	0.1463	0.580	0.1204	0.620	1.489	0.936	1.520
LP764GOF160	για d _{max}	0.2466	0.1706	0.676	0.1464	0.754	1.318	0.897	1.718
LP765G01090	για d _{max}	0.1478	0.1022	0.405	0.0859	0.442	0.412	0.916	5.495
North1084SCS052	για d _{max}	1.0818	0.7482	2.967	0.6691	3.445	2.948	0.861	0.768
North1084SCS142	για d _{max}	0.4319	0.2987	1.184	0.4578	2.357	1.628	0.503	1.391
North960LOS000	για d _{max}	0.3634	0.2514	0.997	0.2535	1.305	0.595	0.764	3.805
North960LOS270	για d _{max}	0.2134	0.1476	0.585	0.1233	0.635	0.711	0.922	3.184
NorthridgeJFA022	για d _{max}	1.0269	0.7102	2.816	0.4958	2.552	2.775	1.103	0.816
NorthridgeJFA292	για d _{max}	0.6529	0.4516	1.791	0.5491	2.827	1.114	0.633	2.032
NorthridgeNWS046	για d _{max}	1.1057	0.7647	3.032	0.5491	2.827	2.149	1.073	1.054
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.7091	0.4904	1.945	0.4244	2.185	1.035	0.890	2.187
NorthridgeSCG052	για d _{max}	1.0779	0.7455	2.956	0.6533	3.364	2.927	0.879	0.773
NorthridgeSCG142	για d _{max}	0.4247	0.2937	1.165	0.4277	2.202	1.611	0.529	1.405
SuperstitionHillsPTS225	για d _{max}	0.6151	0.4254	1.687	0.6631	3.414	1.916	0.494	1.182

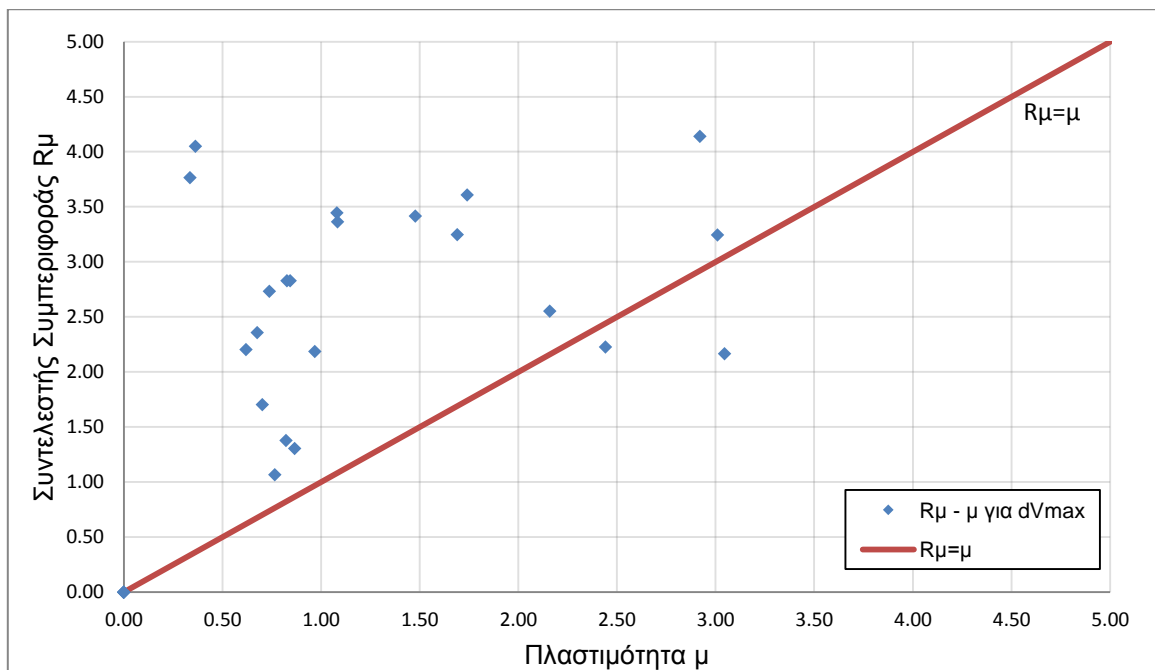
Πίνακας 5.4.10: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.6165	0.4264	1.691	0.6308	3.248	2.411	0.521	0.939
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	1.0647	0.7364	2.920	0.8038	4.138	6.500	0.706	0.348
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.6349	0.4391	1.741	0.7009	3.609	10.050	0.483	0.225
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	1.0978	0.7593	3.011	0.6300	3.243	8.860	0.928	0.256
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.2688	0.1859	0.737	0.5309	2.733	1.813	0.270	1.249
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	1.1106	0.7681	3.046	0.4205	2.165	3.599	1.407	0.629
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.8903	0.6157	2.442	0.4325	2.227	3.357	1.097	0.674
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.2790	0.1930	0.765	0.2072	1.067	1.636	0.717	1.384
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.2559	0.1770	0.702	0.3308	1.703	1.749	0.412	1.294
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.2997	0.2072	0.822	0.2673	1.376	1.335	0.597	1.696
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.1325	0.0916	0.363	0.7866	4.050	1.278	0.090	1.772
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.1224	0.0846	0.336	0.7314	3.766	1.257	0.089	1.801
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.1420	0.0982	0.389	0.1204	0.620	1.489	0.628	1.520
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.1825	0.1262	0.500	0.1464	0.754	1.318	0.664	1.718
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.1442	0.0997	0.395	0.0859	0.442	0.412	0.894	5.495
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.3941	0.2726	1.081	0.6691	3.445	2.948	0.314	0.768
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.2467	0.1706	0.677	0.4578	2.357	1.628	0.287	1.391
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.3158	0.2184	0.866	0.2535	1.305	0.595	0.664	3.805
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.1161	0.0803	0.318	0.1233	0.635	0.711	0.501	3.184
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.7873	0.5445	2.159	0.4958	2.552	2.775	0.846	0.816
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.3072	0.2125	0.843	0.5491	2.827	1.114	0.298	2.032
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.3015	0.2085	0.827	0.5491	2.827	2.149	0.292	1.054
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3529	0.2441	0.968	0.4244	2.185	1.035	0.443	2.187
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.3952	0.2733	1.084	0.6533	3.364	2.927	0.322	0.773
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2258	0.1562	0.619	0.4277	2.202	1.611	0.281	1.405
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.5392	0.3729	1.479	0.6631	3.414	1.916	0.433	1.182

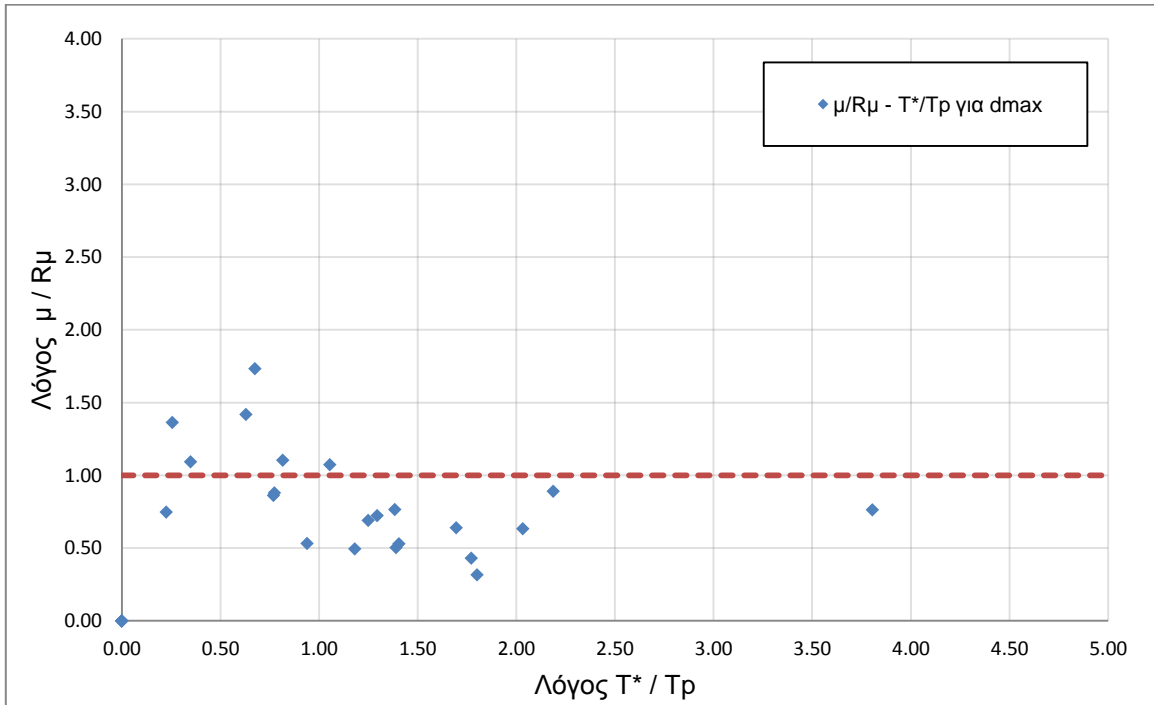
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 5.4.19 και 5.4.20) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 5.4.21 και 5.4.22).



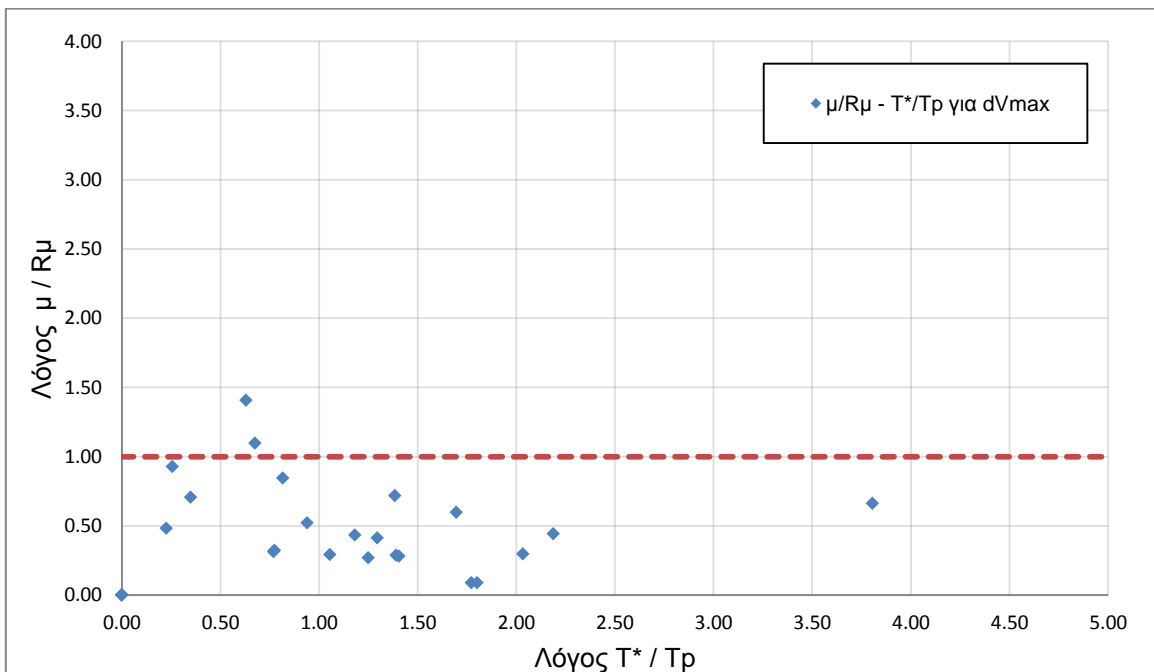
Σχήμα 5.4.19: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.4.20: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}



Σχήμα 5.4.21: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max}



Σχήμα 5.4.22: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax}

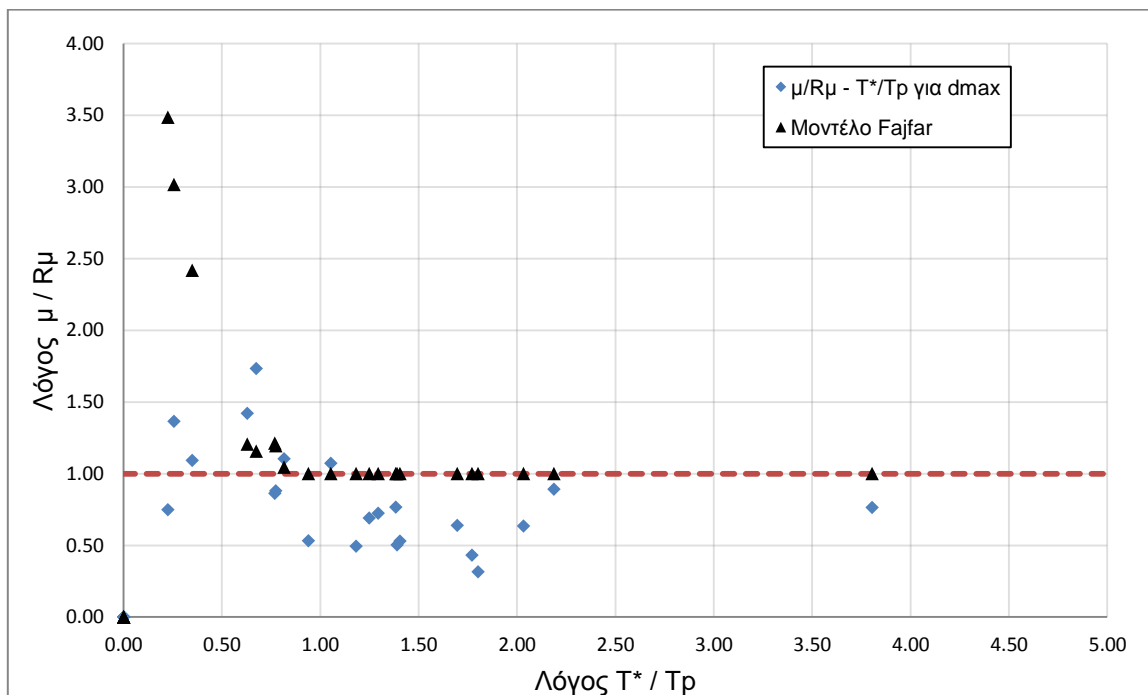
Σύμφωνα με τον Fajfar οι σχέσεις που συνδέουν τη πλαστιμότητα με τον συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T^*}{T_o} + 1 \quad \text{για } T^* \leq T_o$$

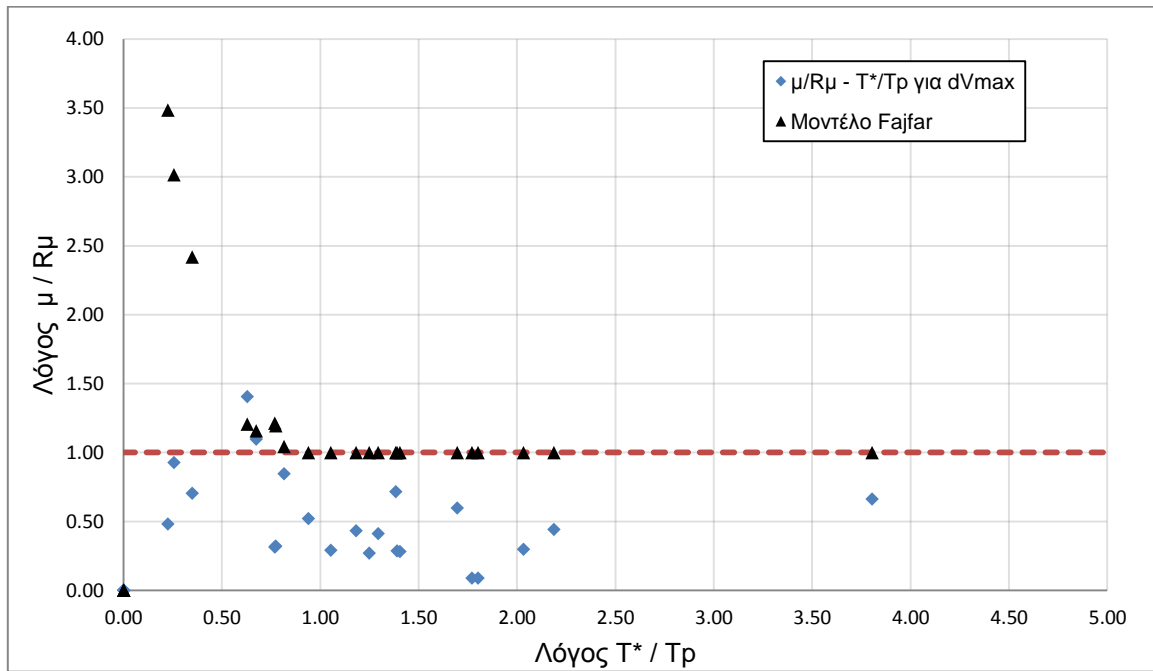
$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για } T^* > T_o$$

όπου $T_o = 0.65 \mu^{0.3} T_p \leq T_p$

Ακολουθώντας το μοντέλο του Fajfar και θεωρώντας ως μοναδικό άγνωστο τη πλαστιμότητα σχεδιάζουμε τα διαγράμματα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για τις σεισμικές καταγραφές (Σχήματα 5.4.23 και 5.4.24).



Σχήμα 5.4.23: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 5.4.24: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

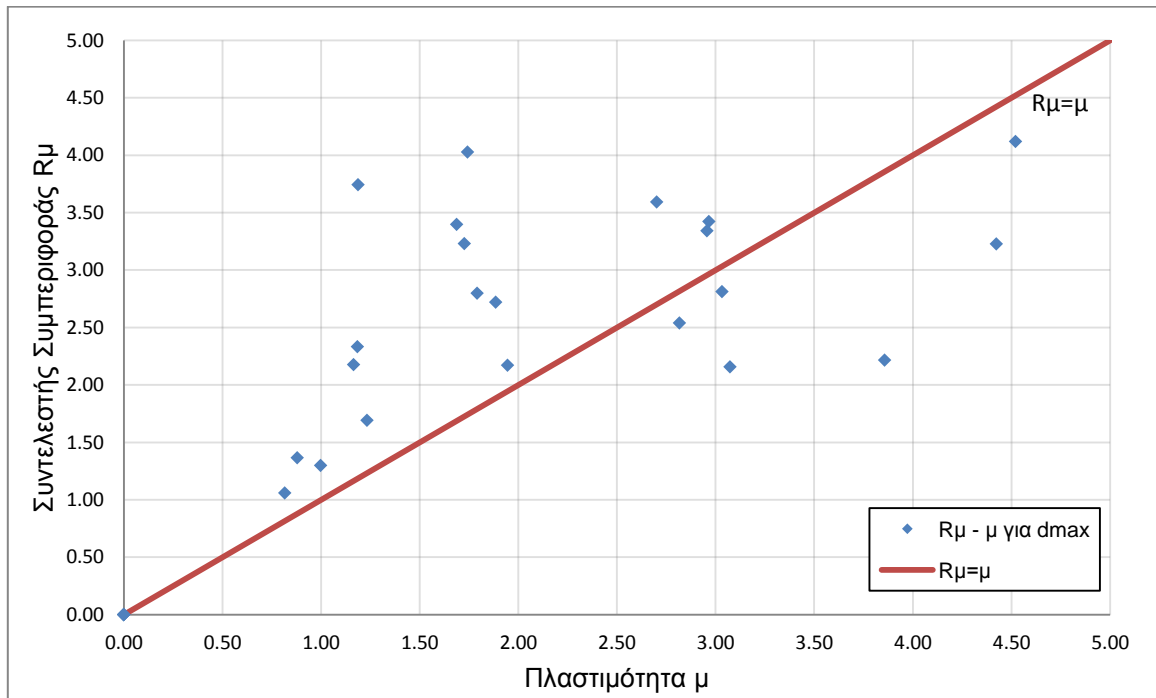
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 5.4.11 και 5.2.12 καθώς και τα Σχήματα 5.4.25 έως 5.2.28.

Πίνακας 5.4.11: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

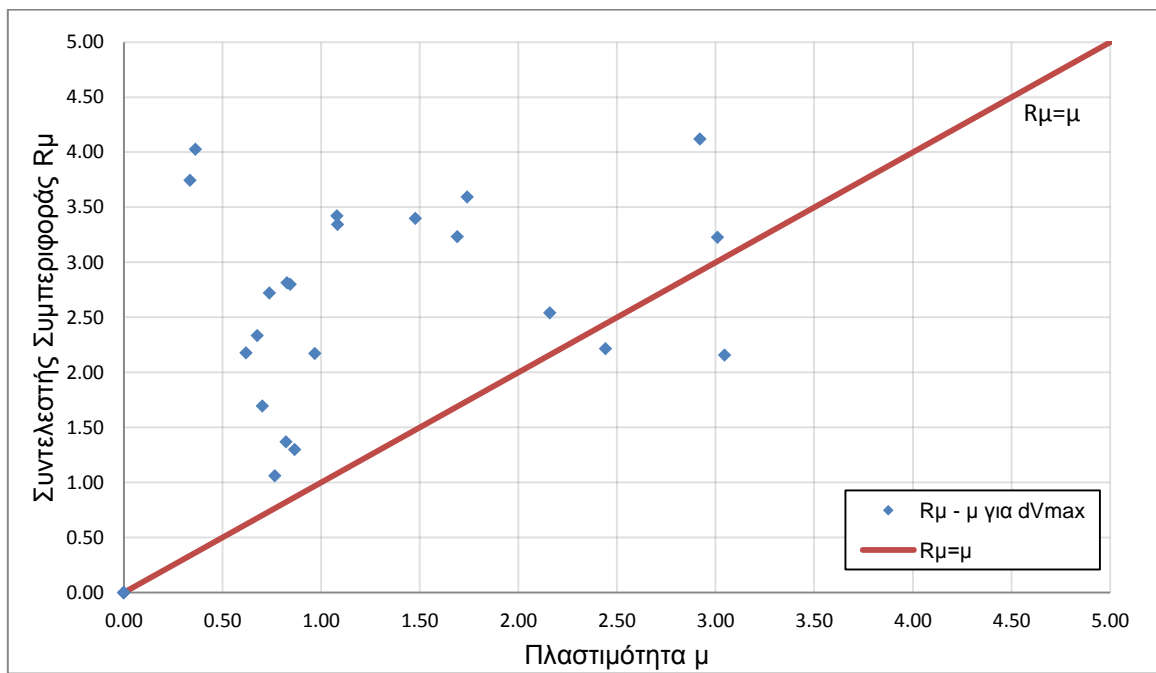
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA _{el} [g]	R $\mu = PSA_{el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
	για d _{max}								
ChiChiCHY102_360	για d _{max}	0.6292	0.4351	1.725	0.6275	3.231	2.355	0.534	0.961
ChiChiTCU052_090	για d _{max}	1.6483	1.1400	4.520	0.8003	4.120	5.180	1.097	0.437
ChiChiTCU052_360	για d _{max}	0.9852	0.6813	2.702	0.6979	3.593	8.290	0.752	0.273
ChiChiTCU068_090	για d _{max}	1.6129	1.1155	4.423	0.6269	3.228	9.310	1.370	0.243
ErzincanERZ000	για d _{max}	0.6876	0.4755	1.886	0.5285	2.721	2.035	0.693	1.113
ImperialValleyE05230	για d _{max}	1.1208	0.7751	3.074	0.4190	2.157	3.379	1.425	0.670
ImperialValleyE06230	για d _{max}	1.4067	0.9729	3.858	0.4303	2.216	3.594	1.741	0.630
IV158H-AEP045	για d _{max}	0.2977	0.2059	0.816	0.2058	1.060	1.597	0.771	1.418
Kobe1119TAZ000	για d _{max}	0.4497	0.3110	1.233	0.3290	1.694	1.692	0.728	1.338
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.3208	0.2219	0.880	0.2656	1.367	0.479	0.643	4.727
KobeTAK000	για d _{max}	0.6356	0.4396	1.743	0.7822	4.027	1.261	0.433	1.795
KobeTAK090	για d _{max}	0.4332	0.2996	1.188	0.7271	3.743	1.229	0.317	1.842
LP752CAP000	για d _{max}	0.2115	0.1463	0.580	0.1188	0.612	1.424	0.948	1.590
LP764GOF160	για d _{max}	0.2466	0.1706	0.676	0.1445	0.744	1.416	0.909	1.599
LP765G01090	για d _{max}	0.1478	0.1022	0.405	0.0836	0.430	0.399	0.941	5.674
North1084SCS052	για d _{max}	1.0818	0.7482	2.967	0.6648	3.423	2.665	0.867	0.850
North1084SCS142	για d _{max}	0.4319	0.2987	1.184	0.4531	2.333	1.579	0.508	1.434
North960LOS000	για d _{max}	0.3634	0.2514	0.997	0.2523	1.299	0.595	0.767	3.805
North960LOS270	για d _{max}	0.2134	0.1476	0.585	0.1228	0.632	0.697	0.926	3.248
NorthridgeJFA022	για d _{max}	1.0269	0.7102	2.816	0.4933	2.540	2.821	1.109	0.803
NorthridgeJFA292	για d _{max}	0.6529	0.4516	1.791	0.5437	2.799	1.069	0.640	2.118
NorthridgeNWS046	για d _{max}	1.1057	0.7647	3.032	0.5467	2.814	1.984	1.077	1.141
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.7091	0.4904	1.945	0.4217	2.171	1.078	0.896	2.100
NorthridgeSCG052	για d _{max}	1.0779	0.7455	2.956	0.6491	3.342	2.666	0.885	0.849
NorthridgeSCG142	για d _{max}	0.4247	0.2937	1.165	0.4228	2.177	1.111	0.535	2.038
SuperstitionHillsPTS225	για d _{max}	0.6151	0.4254	1.687	0.6599	3.398	1.859	0.496	1.218

Πίνακας 5.4.12: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

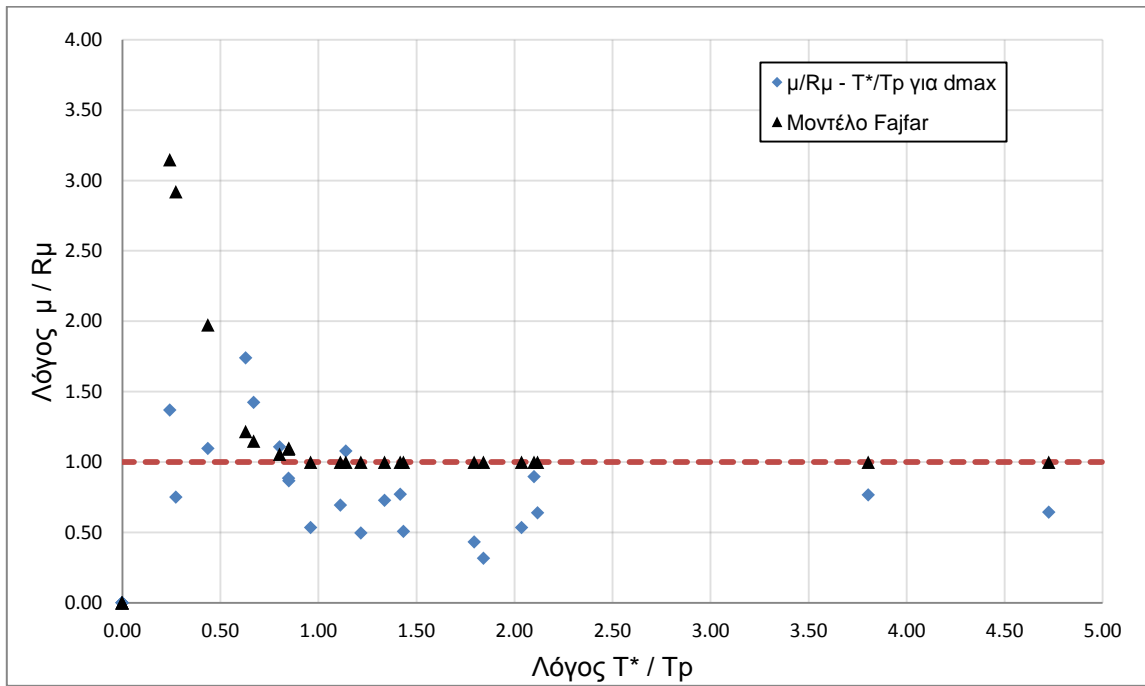
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	dtop [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA _{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{Vmax}								
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.6165	0.4264	1.691	0.6275	3.231	2.355	0.523	0.961
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	1.0647	0.7364	2.920	0.8003	4.120	5.180	0.709	0.437
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.6349	0.4391	1.741	0.6979	3.593	8.290	0.485	0.273
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	1.0978	0.7593	3.011	0.6269	3.228	9.310	0.933	0.243
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.2688	0.1859	0.737	0.5285	2.721	2.035	0.271	1.113
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	1.1106	0.7681	3.046	0.4190	2.157	3.379	1.412	0.670
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.8903	0.6157	2.442	0.4303	2.216	3.594	1.102	0.630
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.2790	0.1930	0.765	0.2058	1.060	1.597	0.722	1.418
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.2559	0.1770	0.702	0.3290	1.694	1.692	0.414	1.338
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.2997	0.2072	0.822	0.2656	1.367	0.479	0.601	4.727
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.1325	0.0916	0.363	0.7822	4.027	1.261	0.090	1.795
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.1224	0.0846	0.336	0.7271	3.743	1.229	0.090	1.842
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.1420	0.0982	0.389	0.1188	0.612	1.424	0.637	1.590
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.1825	0.1262	0.500	0.1445	0.744	1.416	0.673	1.599
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.1442	0.0997	0.395	0.0836	0.430	0.399	0.919	5.674
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.3941	0.2726	1.081	0.6648	3.423	2.665	0.316	0.850
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.2467	0.1706	0.677	0.4531	2.333	1.579	0.290	1.434
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.3158	0.2184	0.866	0.2523	1.299	0.595	0.667	3.805
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.1161	0.0803	0.318	0.1228	0.632	0.697	0.503	3.248
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.7873	0.5445	2.159	0.4933	2.540	2.821	0.850	0.803
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.3072	0.2125	0.843	0.5437	2.799	1.069	0.301	2.118
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.3015	0.2085	0.827	0.5467	2.814	1.984	0.294	1.141
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3529	0.2441	0.968	0.4217	2.171	1.078	0.446	2.100
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.3952	0.2733	1.084	0.6491	3.342	2.666	0.324	0.849
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2258	0.1562	0.619	0.4228	2.177	1.111	0.284	2.038
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.5392	0.3729	1.479	0.6599	3.398	1.859	0.435	1.218



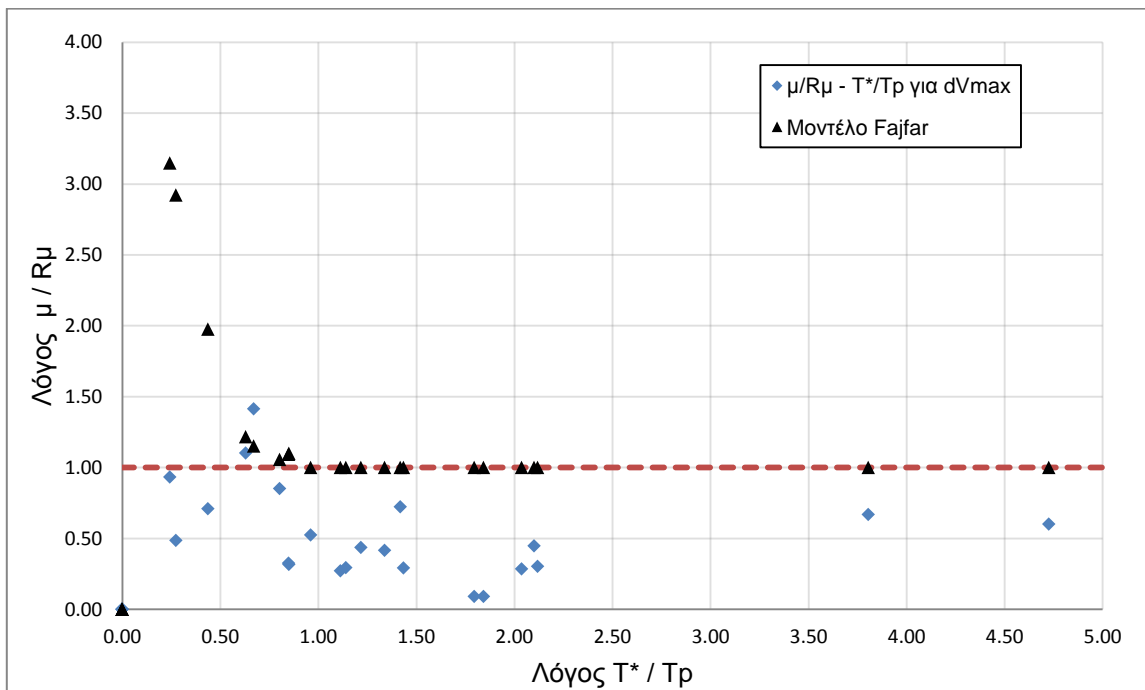
Σχήμα 5.4.25: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.4.26: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

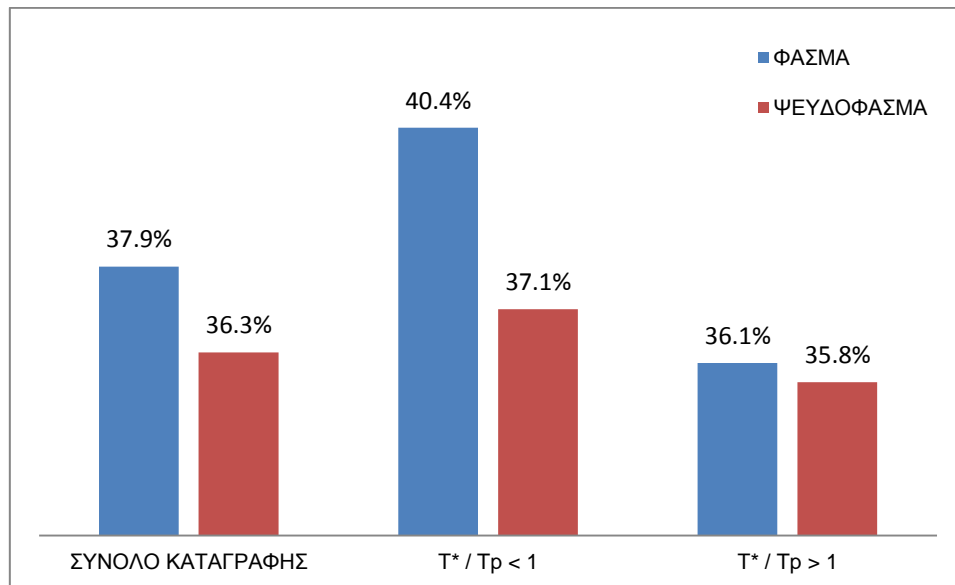


Σχήμα 5.4.27: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{\max} και μοντέλο Fajfar

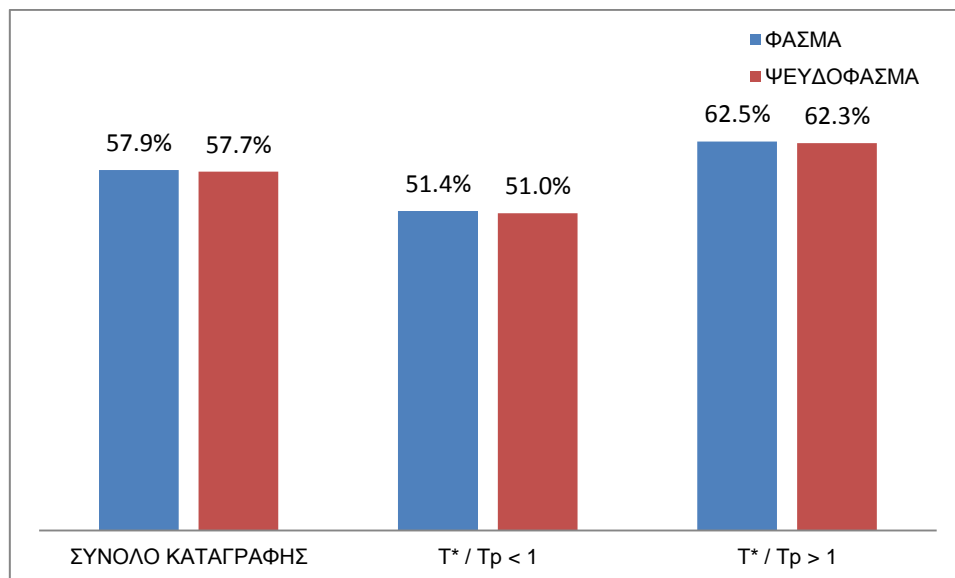


Σχήμα 5.4.28: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για $d_{V\max}$ και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.4.29 και 5.4.30.



Σχήμα 5.4.29: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 5.4.30: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{Vmax}

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{Vmax} . Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το φυσικό νόημα της πλαστιμότητας είναι η μέγιστη μετακίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια του σεισμού και υπό αυτή την έννοια δεν έχει αξία η μελέτη της μετακίνησης μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Το μοντέλο του Fajfar, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.22, μεγάλες πλαστιμότητες - σε σχέση με το R_{μ} - για περιόδους προ της δεσπόζουσας περιόδου T_p ενώ στη συνέχεια θεωρεί ότι ο λόγος πλησιάζει τη μονάδα. Για τις περισσότερες καταγραφές με $T^* > T_p$ κάτι τέτοιο φαίνεται να επαληθεύεται, με την απόκλιση να λαμβάνει μικρές τιμές, αντιθέτως για τις περιπτώσεις $T^* < T_p$ οι αποκλίσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.

Τέλος διαπιστώνεται ότι με χρήση των ψευδοφασμάτων η συνολική απόκλιση είναι μικρότερη. Οι διαφορές των φασμάτων και ψευδοφασμάτων ταχύτητας είναι συνήθως μεγαλύτερες των διαφορών των επιταχύνσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου T_p χωρίς ταυτόχρονη μείωση του R_{μ} . Προκαλείται λοιπόν μια μετατόπιση των σημείων σε μεγαλύτερους λόγους T^*/T_p με παραπλήσιο όμως λόγο R_{μ}/μ . Η μετατόπιση αυτή δεν προκαλεί μετακίνηση καμίας καταγραφής από τη περιοχή $T^*/T_p < 1$ στην περιοχή $T^*/T_p > 1$ και κατά συνέπεια τα ποσοστά της τελευταίας δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 5.4.9 διαπιστώνουμε ότι η πλαστιμότητα μ έχει σχετικά μικρές τιμές ενώ υπάρχουν καταγραφές στις οποίες $\mu < 1$ παρόλο που ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τα παραπάνω φαινόμενα πιθανολογείται ότι οφείλονται στο γεγονός πως η πλαστιμότητα υπολογίστηκε μέσω της αναγωγής της μετακίνησης κορυφής σε μετακίνηση ισοδύναμου μονοβάθμιου παρόλο που η τριγωνική κατανομή δεν είναι ρεαλιστική στην ανελαστική περιοχή. Δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις συγκεντρώνονται στους πρώτους ορόφους λόγω του μηχανισμού κατάρρευσης, αποφασίστηκε η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

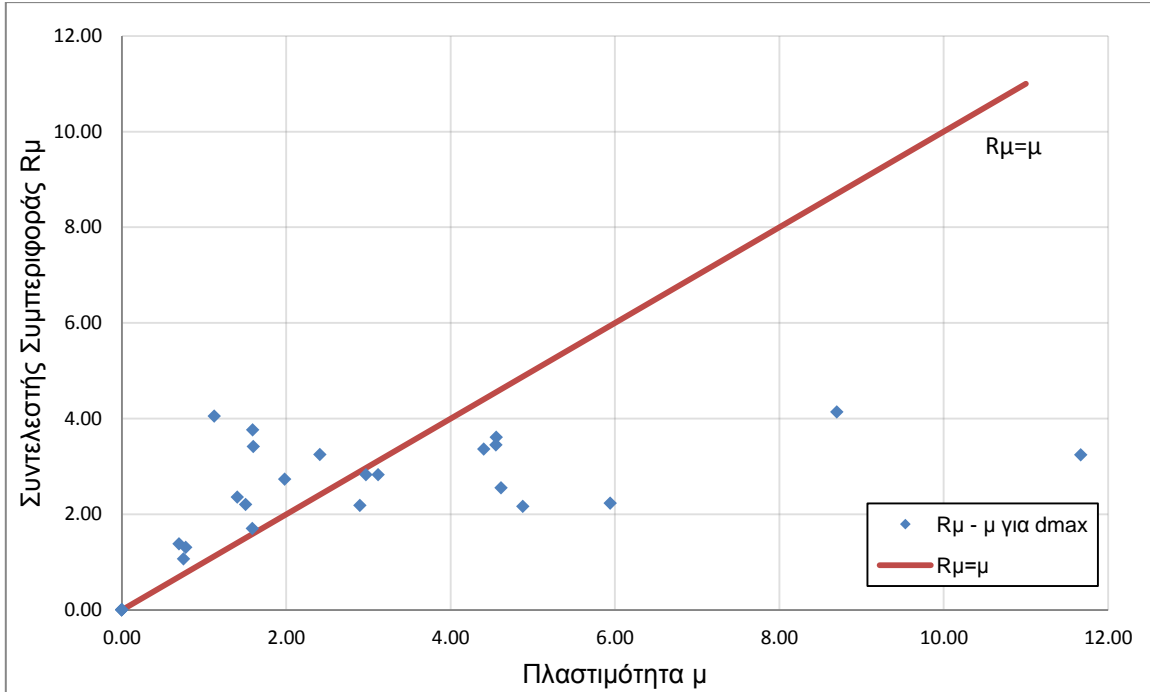
Πίνακας 5.4.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{\max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{\text{1ου ορόφου}}$ [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p	
ChiChiCHY102_360	για d_{\max}	0.0733	0.0733	2.411	0.6308	3.248	2.411	0.742	0.939
ChiChiTCU052_090	για d_{\max}	0.2644	0.2644	8.700	0.8038	4.138	6.500	2.102	0.348
ChiChiTCU052_360	για d_{\max}	0.1385	0.1385	4.558	0.7009	3.609	10.050	1.263	0.225
ChiChiTCU068_090	για d_{\max}	0.3546	0.3546	11.669	0.6300	3.243	8.860	3.598	0.256
ErzincanERZ000	για d_{\max}	0.0603	0.0603	1.983	0.5309	2.733	1.813	0.725	1.249
ImperialValleyE05230	για d_{\max}	0.1482	0.1482	4.878	0.4205	2.165	3.599	2.253	0.629
ImperialValleyE06230	για d_{\max}	0.1806	0.1806	5.944	0.4325	2.227	3.357	2.670	0.674
IV158H-AEP045	για d_{\max}	0.0228	0.0228	0.751	0.2072	1.067	1.636	0.704	1.384
Kobe1119TAZ000	για d_{\max}	0.0483	0.0483	1.588	0.3308	1.703	1.749	0.932	1.294
Kobe1119TAZ090	για d_{\max}	0.0211	0.0211	0.696	0.2673	1.376	1.335	0.506	1.696
KobeTAK000	για d_{\max}	0.0342	0.0342	1.125	0.7866	4.050	1.278	0.278	1.772
KobeTAK090	για d_{\max}	0.0484	0.0484	1.593	0.7314	3.766	1.257	0.423	1.801
LP752CAP000	για d_{\max}	0.0141	0.0141	0.463	0.1204	0.620	1.489	0.746	1.520
LP764GOF160	για d_{\max}	0.0139	0.0139	0.458	0.1464	0.754	1.318	0.608	1.718
LP765G01090	για d_{\max}	0.0174	0.0174	0.574	0.0859	0.442	0.412	1.298	5.495
North1084SCS052	για d_{\max}	0.1383	0.1383	4.552	0.6691	3.445	2.948	1.321	0.768
North1084SCS142	για d_{\max}	0.0426	0.0426	1.403	0.4578	2.357	1.628	0.595	1.391
North960LOS000	για d_{\max}	0.0236	0.0236	0.777	0.2535	1.305	0.595	0.596	3.805
North960LOS270	για d_{\max}	0.0154	0.0154	0.506	0.1233	0.635	0.711	0.797	3.184
NorthridgeJFA022	για d_{\max}	0.1402	0.1402	4.613	0.4958	2.552	2.775	1.807	0.816
NorthridgeJFA292	για d_{\max}	0.0903	0.0903	2.972	0.5491	2.827	1.114	1.051	2.032
NorthridgeNWS046	για d_{\max}	0.0948	0.0948	3.119	0.5491	2.827	2.149	1.103	1.054
NorthridgeRRS228	για d_{\max}	0.0880	0.0880	2.895	0.4244	2.185	1.035	1.325	2.187
NorthridgeSCG052	για d_{\max}	0.1339	0.1339	4.405	0.6533	3.364	2.927	1.310	0.773
NorthridgeSCG142	για d_{\max}	0.0458	0.0458	1.506	0.4277	2.202	1.611	0.684	1.405
SuperstitionHillsPTS225	για d_{\max}	0.0486	0.0486	1.600	0.6631	3.414	1.916	0.469	1.182

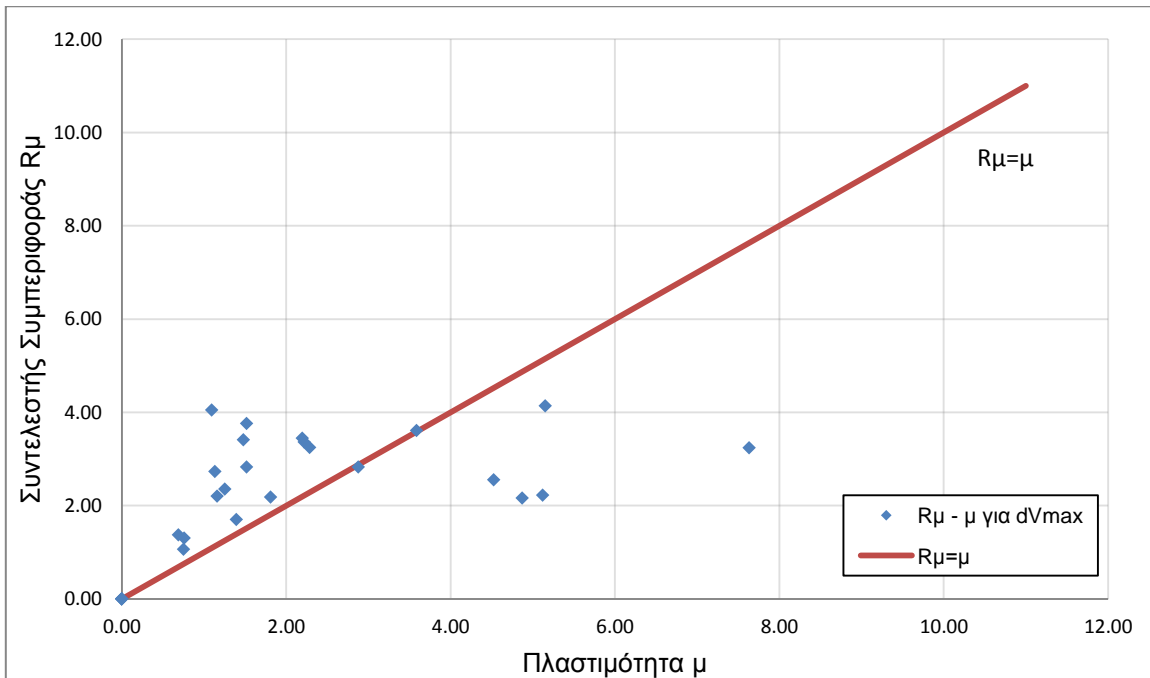
Πίνακας 5.4.14: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_\mu = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_μ	T* / Tp
	για d_{Vmax}								
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.0695	0.0695	2.286	0.6308	3.248	2.411	0.704	0.939
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	0.1565	0.1565	5.150	0.8038	4.138	6.500	1.244	0.348
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.1089	0.1089	3.584	0.7009	3.609	10.050	0.993	0.225
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	0.2319	0.2319	7.632	0.6300	3.243	8.860	2.353	0.256
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.0344	0.0344	1.132	0.5309	2.733	1.813	0.414	1.249
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	0.1480	0.1480	4.870	0.4205	2.165	3.599	2.250	0.629
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.1556	0.1556	5.121	0.4325	2.227	3.357	2.300	0.674
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.0228	0.0228	0.751	0.2072	1.067	1.636	0.704	1.384
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.0424	0.0424	1.394	0.3308	1.703	1.749	0.818	1.294
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0209	0.0209	0.688	0.2673	1.376	1.335	0.500	1.696
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.0332	0.0332	1.093	0.7866	4.050	1.278	0.270	1.772
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0461	0.0461	1.517	0.7314	3.766	1.257	0.403	1.801
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0123	0.0123	0.403	0.1204	0.620	1.489	0.651	1.520
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.0136	0.0136	0.449	0.1464	0.754	1.318	0.595	1.718
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.0172	0.0172	0.567	0.0859	0.442	0.412	1.282	5.495
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.0667	0.0667	2.194	0.6691	3.445	2.948	0.637	0.768
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.0381	0.0381	1.254	0.4578	2.357	1.628	0.532	1.391
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.0231	0.0231	0.759	0.2535	1.305	0.595	0.582	3.805
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.0153	0.0153	0.505	0.1233	0.635	0.711	0.795	3.184
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.1375	0.1375	4.524	0.4958	2.552	2.775	1.772	0.816
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0874	0.0874	2.878	0.5491	2.827	1.114	1.018	2.032
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.0461	0.0461	1.516	0.5491	2.827	2.149	0.536	1.054
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.0550	0.0550	1.811	0.4244	2.185	1.035	0.829	2.187
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.0674	0.0674	2.217	0.6533	3.364	2.927	0.659	0.773
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.0352	0.0352	1.159	0.4277	2.202	1.611	0.526	1.405
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0450	0.0450	1.480	0.6631	3.414	1.916	0.433	1.182

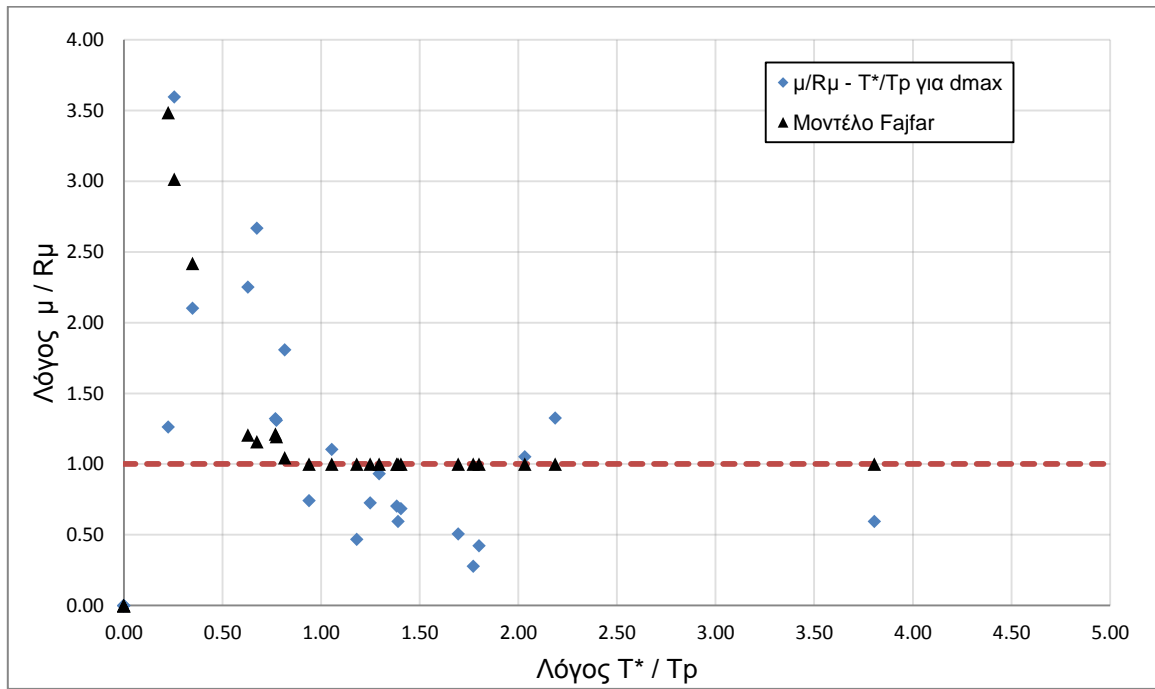
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 5.4.31 και 5.4.32) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 5.4.33 και 5.4.34).



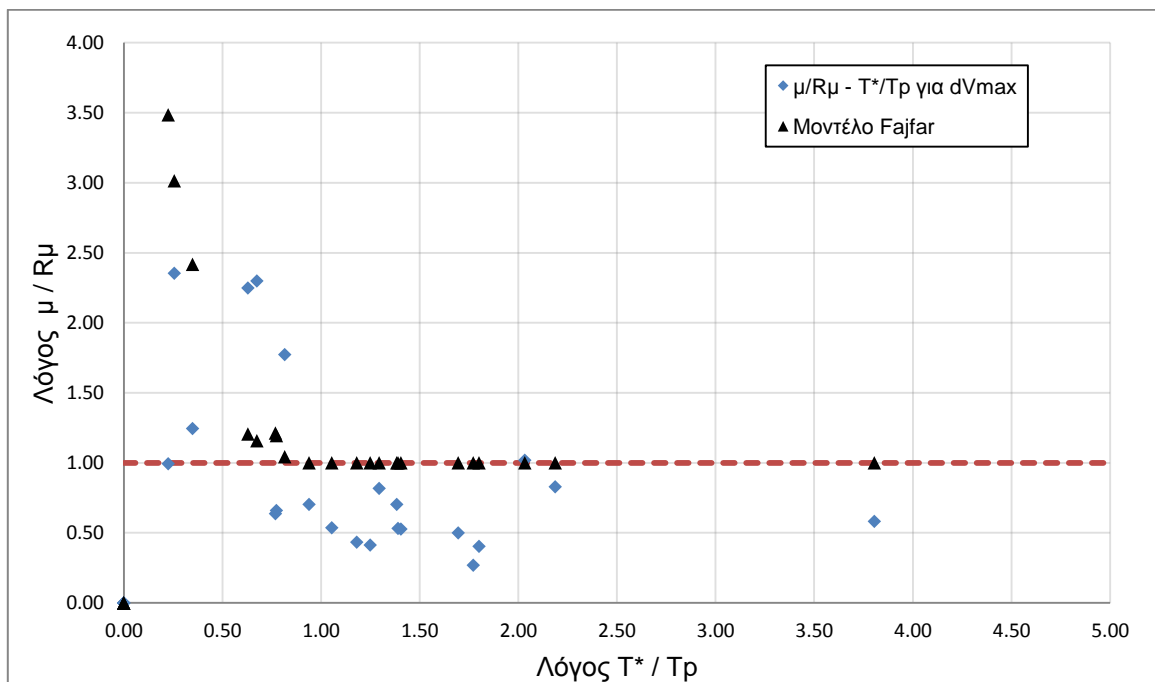
Σχήμα 5.4.31: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.4.32: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}



Σχήμα 5.4.33: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{\max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 5.4.34: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για $d_{V\max}$ και μοντέλο Fajfar

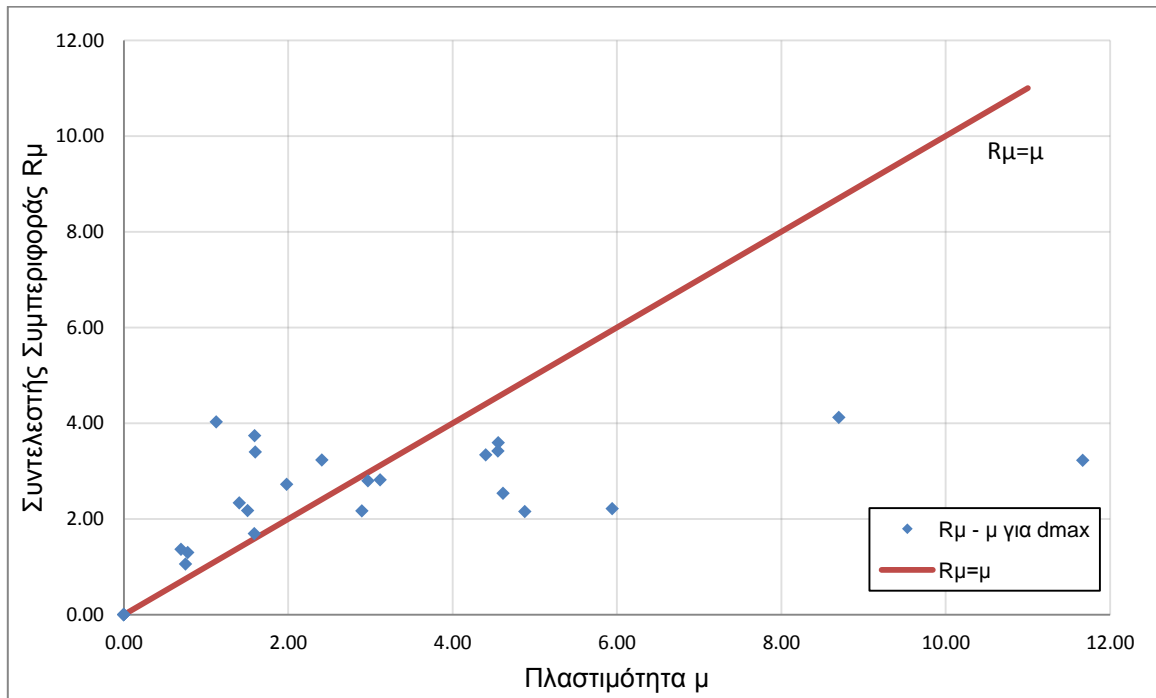
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 5.4.15 και 5.4.16 καθώς και τα Σχήματα 5.4.35 έως 5.4.38.

Πίνακας 5.4.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

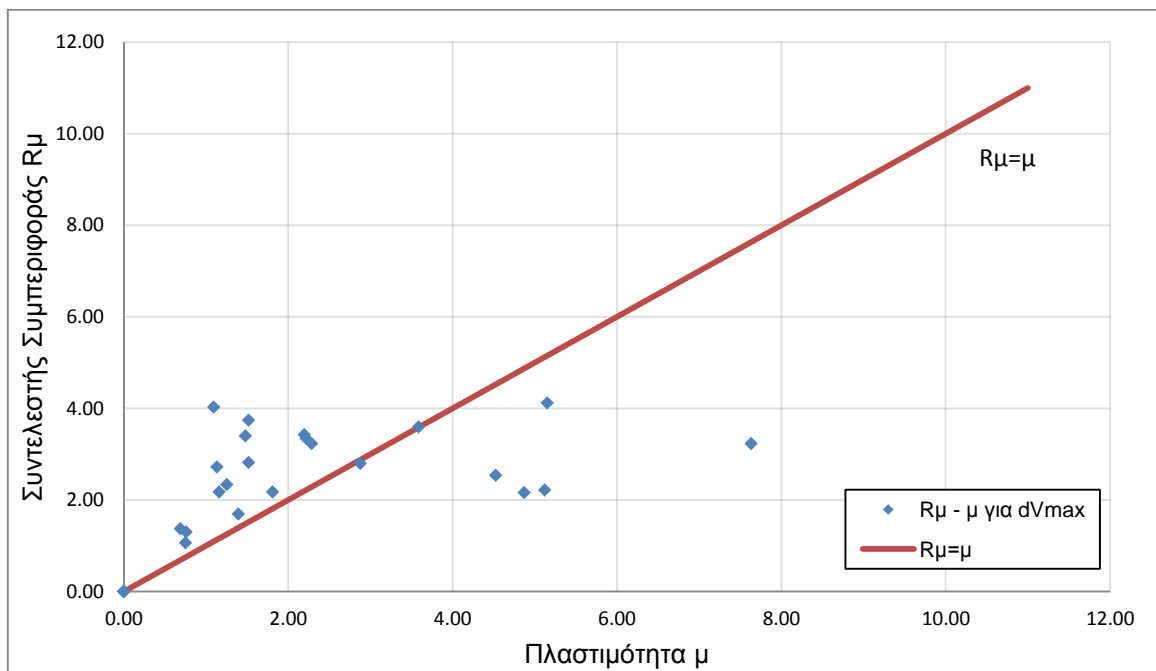
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA_{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY102_360	για d_{max}	0.0733	0.0733	2.411	0.6275	3.231	2.355	0.746	0.961
ChiChiTCU052_090	για d_{max}	0.2644	0.2644	8.700	0.8003	4.120	5.180	2.112	0.437
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.1385	0.1385	4.558	0.6979	3.593	8.290	1.268	0.273
ChiChiTCU068_090	για d_{max}	0.3546	0.3546	11.669	0.6269	3.228	9.310	3.615	0.243
ErzincanERZ000	για d_{max}	0.0603	0.0603	1.983	0.5285	2.721	2.035	0.729	1.113
ImperialValleyE05230	για d_{max}	0.1482	0.1482	4.878	0.4190	2.157	3.379	2.261	0.670
ImperialValleyE06230	για d_{max}	0.1806	0.1806	5.944	0.4303	2.216	3.594	2.683	0.630
IV158H-AEP045	για d_{max}	0.0228	0.0228	0.751	0.2058	1.060	1.597	0.708	1.418
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.0483	0.0483	1.588	0.3290	1.694	1.692	0.938	1.338
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.0211	0.0211	0.696	0.2656	1.367	0.479	0.509	4.727
KobeTAK000	για d_{max}	0.0342	0.0342	1.125	0.7822	4.027	1.261	0.279	1.795
KobeTAK090	για d_{max}	0.0484	0.0484	1.593	0.7271	3.743	1.229	0.426	1.842
LP752CAP000	για d_{max}	0.0141	0.0141	0.463	0.1188	0.612	1.424	0.757	1.590
LP764GOF160	για d_{max}	0.0139	0.0139	0.458	0.1445	0.744	1.416	0.616	1.599
LP765G01090	για d_{max}	0.0174	0.0174	0.574	0.0836	0.430	0.399	1.334	5.674
North1084SCS052	για d_{max}	0.1383	0.1383	4.552	0.6648	3.423	2.665	1.330	0.850
North1084SCS142	για d_{max}	0.0426	0.0426	1.403	0.4531	2.333	1.579	0.602	1.434
North960LOS000	για d_{max}	0.0236	0.0236	0.777	0.2523	1.299	0.595	0.598	3.805
North960LOS270	για d_{max}	0.0154	0.0154	0.506	0.1228	0.632	0.697	0.800	3.248
NorthridgeJFA022	για d_{max}	0.1402	0.1402	4.613	0.4933	2.540	2.821	1.817	0.803
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.0903	0.0903	2.972	0.5437	2.799	1.069	1.062	2.118
NorthridgeNWS046	για d_{max}	0.0948	0.0948	3.119	0.5467	2.814	1.984	1.108	1.141
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.0880	0.0880	2.895	0.4217	2.171	1.078	1.334	2.100
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.1339	0.1339	4.405	0.6491	3.342	2.666	1.318	0.849
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.0458	0.0458	1.506	0.4228	2.177	1.111	0.692	2.038
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.0486	0.0486	1.600	0.6599	3.398	1.859	0.471	1.218

Πίνακας 5.4.16: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

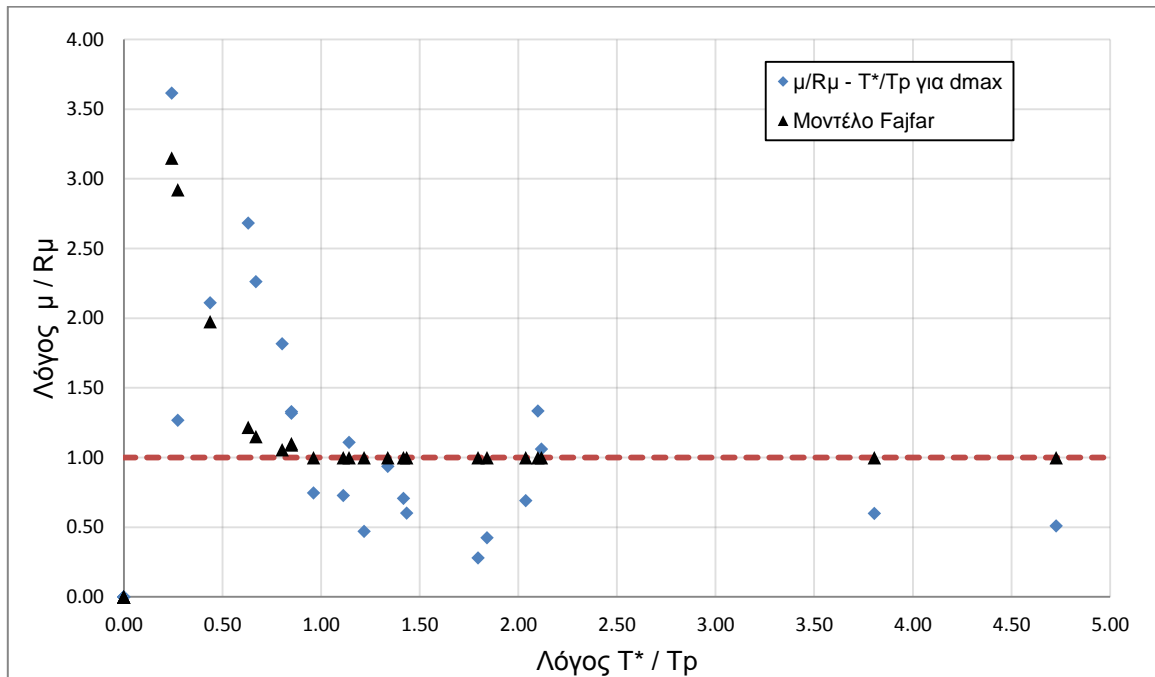
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA _{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{Vmax}								
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.0695	0.0695	2.286	0.6275	3.231	2.355	0.708	0.961
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	0.1565	0.1565	5.150	0.8003	4.120	5.180	1.250	0.437
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.1089	0.1089	3.584	0.6979	3.593	8.290	0.998	0.273
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	0.2319	0.2319	7.632	0.6269	3.228	9.310	2.365	0.243
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.0344	0.0344	1.132	0.5285	2.721	2.035	0.416	1.113
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	0.1480	0.1480	4.870	0.4190	2.157	3.379	2.258	0.670
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.1556	0.1556	5.121	0.4303	2.216	3.594	2.311	0.630
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.0228	0.0228	0.751	0.2058	1.060	1.597	0.708	1.418
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.0424	0.0424	1.394	0.3290	1.694	1.692	0.823	1.338
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0209	0.0209	0.688	0.2656	1.367	0.479	0.503	4.727
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.0332	0.0332	1.093	0.7822	4.027	1.261	0.271	1.795
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0461	0.0461	1.517	0.7271	3.743	1.229	0.405	1.842
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0123	0.0123	0.403	0.1188	0.612	1.424	0.659	1.590
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.0136	0.0136	0.449	0.1445	0.744	1.416	0.603	1.599
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.0172	0.0172	0.567	0.0836	0.430	0.399	1.317	5.674
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.0667	0.0667	2.194	0.6648	3.423	2.665	0.641	0.850
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.0381	0.0381	1.254	0.4531	2.333	1.579	0.537	1.434
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.0231	0.0231	0.759	0.2523	1.299	0.595	0.584	3.805
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.0153	0.0153	0.505	0.1228	0.632	0.697	0.798	3.248
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.1375	0.1375	4.524	0.4933	2.540	2.821	1.781	0.803
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0874	0.0874	2.878	0.5437	2.799	1.069	1.028	2.118
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.0461	0.0461	1.516	0.5467	2.814	1.984	0.539	1.141
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.0550	0.0550	1.811	0.4217	2.171	1.078	0.834	2.100
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.0674	0.0674	2.217	0.6491	3.342	2.666	0.664	0.849
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.0352	0.0352	1.159	0.4228	2.177	1.111	0.533	2.038
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0450	0.0450	1.480	0.6599	3.398	1.859	0.436	1.218



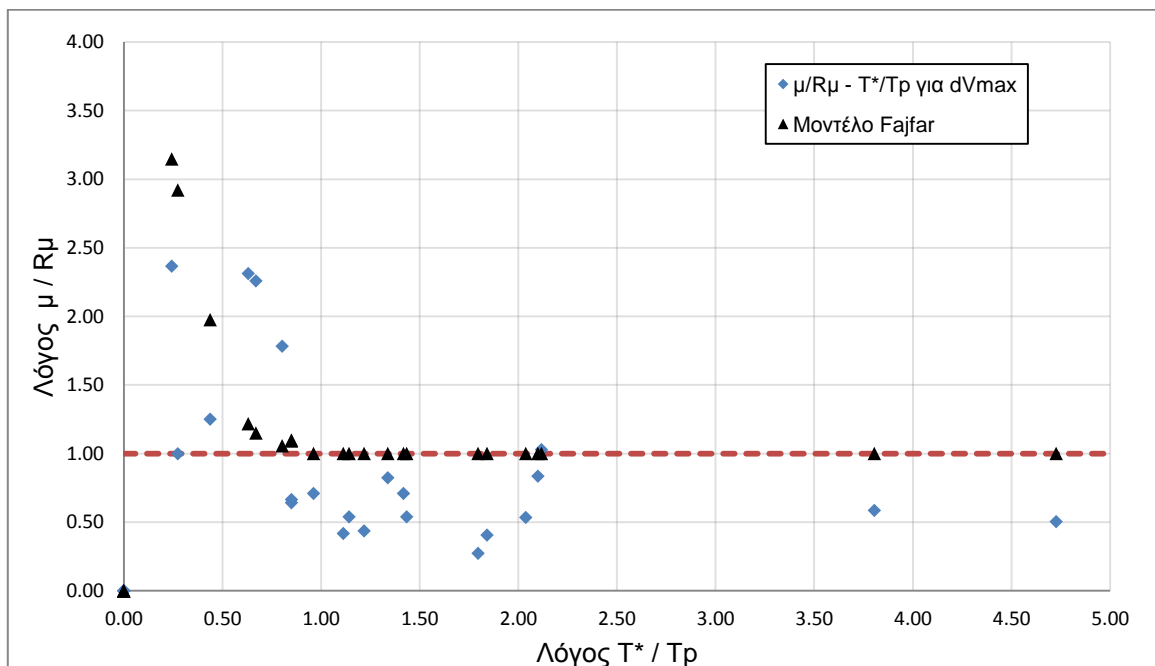
Σχήμα 5.4.35: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 5.4.36: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

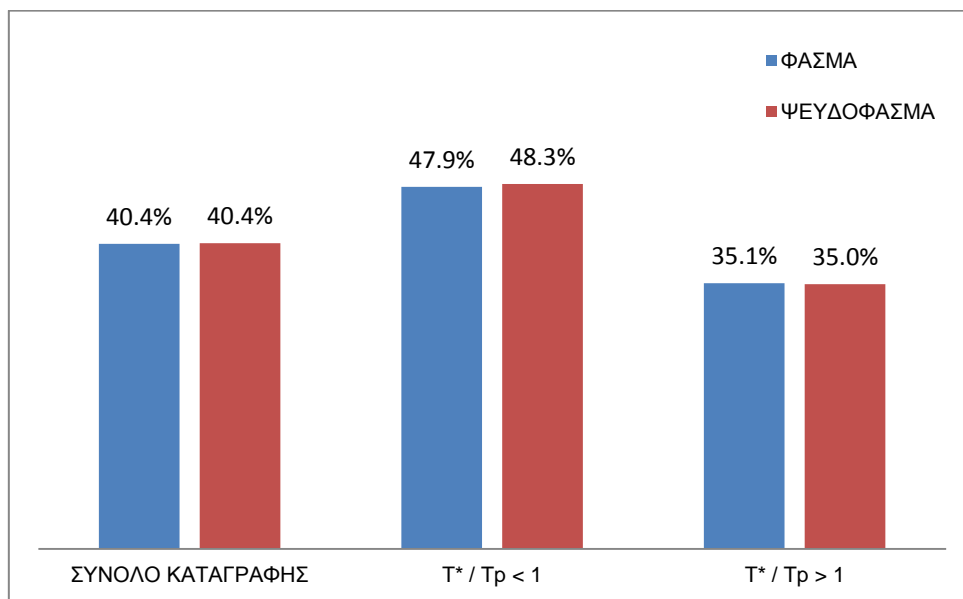


Σχήμα 5.4.37: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

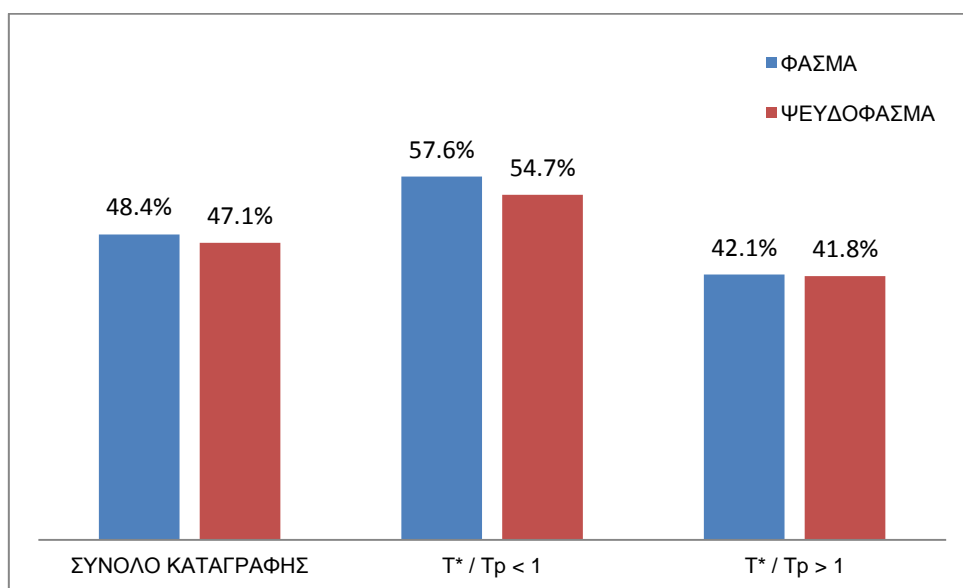


Σχήμα 5.4.38: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_μ από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.4.39 και 5.4.40.



Σχήμα 5.4.39: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 5.4.40: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{vmax}

Στα Σχήματα 5.4.39 και 5.4.40 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει κατά κανόνα μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{vmax} . Επιπλέον η χρήση των ψευδοφασμάτων δεν προκαλεί ουσιαστική διαφορά στην τιμή των αποκλίσεων.

Η αντικατάσταση της διαδικασίας που στηρίζεται στην μετακίνηση κορυφής από αυτήν που χρησιμοποιεί τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν ζεύγη με $\mu < 1$ και $R\mu > 1$ παρά την αύξηση της τιμής της πλαστιμότητας ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή αυξάνονται.

6. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΜΕ P-Δ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

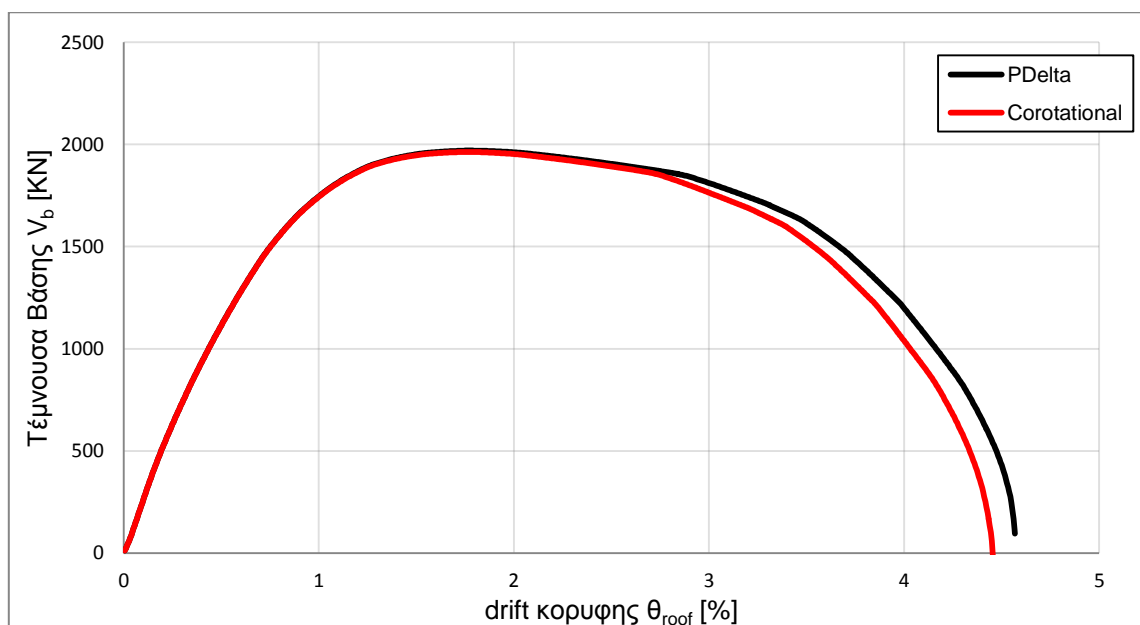
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν λαμβάνοντας υπ' όψιν τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως P-Δ στην απόκριση των κατασκευών. Η ενσωμάτωση των φαινομένων αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί από το OpenSees με δύο τρόπους.

Ο πρώτος (**Corotational Transformation**) χρησιμοποιεί τις ακριβείς σχέσεις μετασχηματισμού από τον απαραμόρφωτο στον παραμορφωμένο φορέα και επομένως κατασκευάζει το ακριβές γεωμετρικό μητρώο δυσκαμψίας. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν δέχεται κατανεμημένα φορτία κατά μήκος των στοιχείων αλλά μόνο επικόμβια.

Η δεύτερη επιλογή (**PDelta Transformation**) κατασκευάζει το γεωμετρικό μητρώο δυσκαμψίας κάνοντας τις εξής προσεγγίσεις:

- Αγνοείται η μεταβολή του μήκους L του στοιχείου λόγω των παραμορφώσεων
- Η γωνία θ μεταξύ του απαραμόρφωτου άξονα και της χορδής της παραμορφωμένης κατάστασης θεωρείται επαρκώς μικρή ώστε να ισχύει $\cos\theta=1$
- Ο λόγος παραμόρφωση / L^2 έχει μηδενική τιμή

Προκειμένου να αποφασιστεί ποια μεθοδολογία θα εφαρμοστεί για όλες τις αναλύσεις, εξετάστηκε η επίδραση και τον δύο στη μορφή της καμπύλης pushover του εξάρωρου (Σχήμα 6.1).



Σχήμα 6.1: Καμπύλες pushover εξάρωρου για PDelta και Corotational

Οι καμπύλες απέχουν ελάχιστα μεταξύ τους, με τις διαφορές να εντοπίζονται στον πτωτικό κλάδο, στην περιοχή δηλαδή της καμπύλης που έπεται της κατάρρευσης, επομένως είναι ασφαλές τα δύο μοντέλα να θεωρηθούν ισοδύναμα.

Το μειονέκτημα της προσομοίωσης με την επιλογή Corotational κρίνεται σημαντικότερο και γι' αυτό υιοθετείται η επιλογή PDelta.

Σχόλιο: Το εξάωροφο είναι η κατασκευή ενδιάμεσης δυσκαμψίας που μελετήθηκε, επομένως τα συμπεράσματα που προκύπτουν μπορούν να γενικευτούν και για τους τρεις φορείς.

6.2. ΤΡΙΩΡΟΦΟ

Η κατασκευή διαθέτει 9 ιδιομορφές των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 6.2.1.

Πίνακας 6.2.1: Ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]
1	0.6203
2	0.6140
3	0.4930
4	0.1817
5	0.1792
6	0.1586
7	0.0893
8	0.0868
9	0.0797

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5 και 7-8.

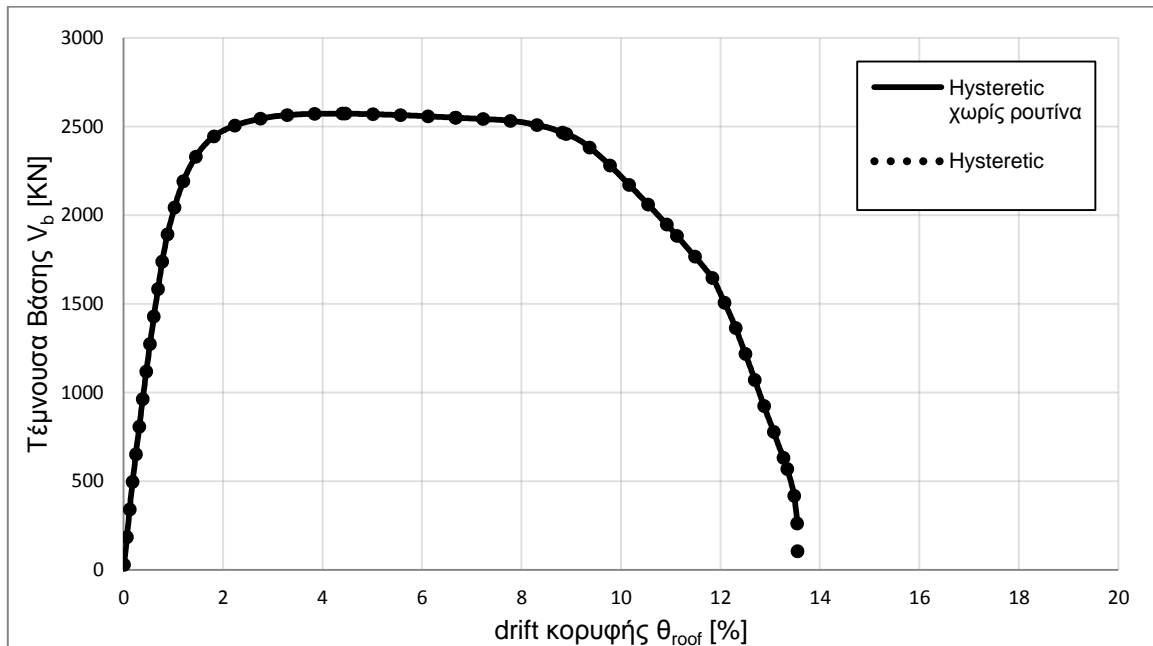
Για σεισμό κατά τη διεύθυνση X η ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι η 2^η και η επόμενη είναι η 5^η. Στη συνέχεια αυτές θα αναφέρονται ως 1^η και 2^η ιδιομορφή.

6.2.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ

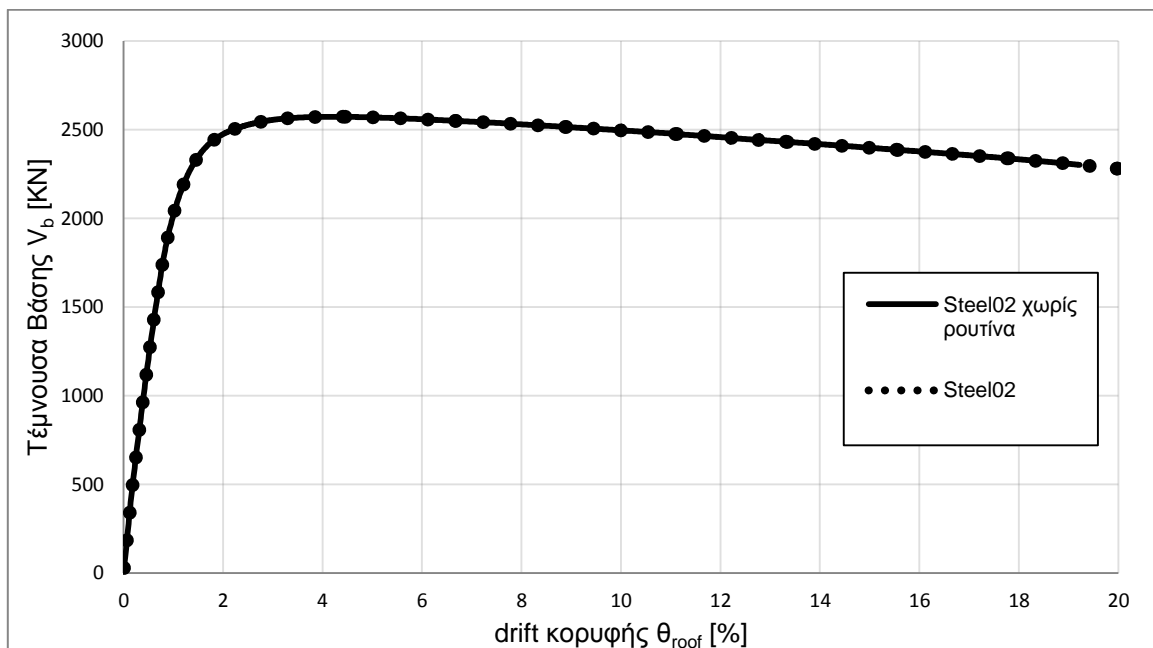
Στα πλαίσια της αναζήτησης του ιδανικότερου προσομοιώματος χάλυβα (αναλυτικότερη περιγραφή στο κεφάλαιο 3.2.2.2) σχεδιάστηκαν οι καμπύλες pushover για τα παρακάτω μοντέλα:

- **Hysteretic** (Σχήμα 6.2.1)
- **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 6.2.2)

Οι αναλύσεις pushover πραγματοποιήθηκαν με και χωρίς τη χρήση της ρουτίνας σύγκλισης που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.

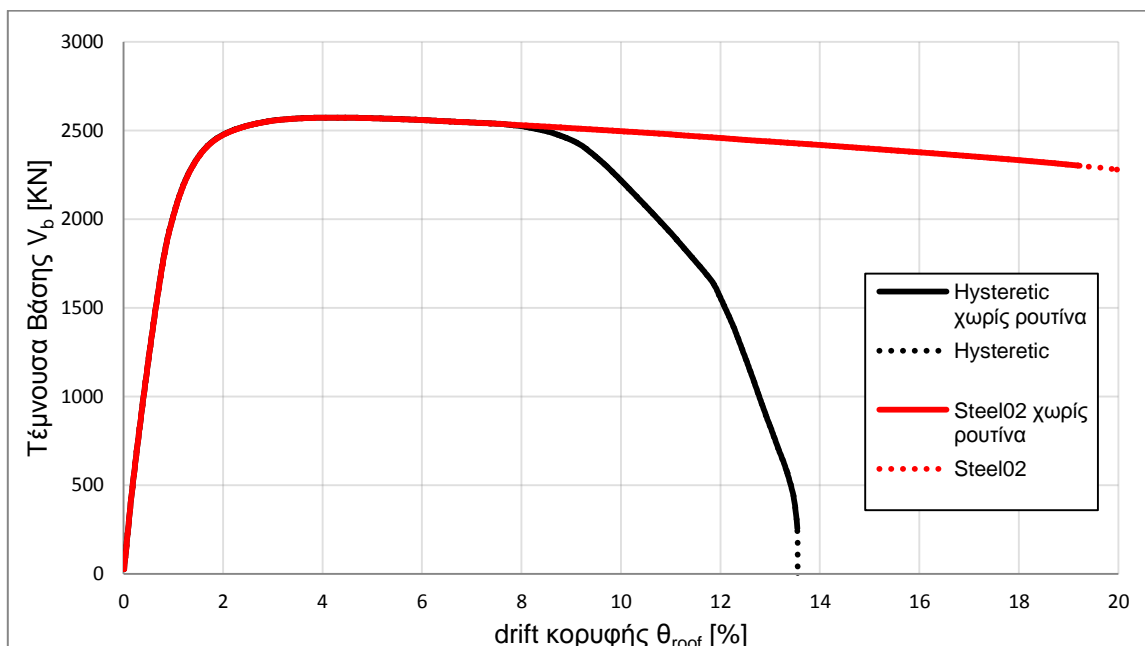


Σχήμα 6.2.1: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic



Σχήμα 6.2.2: Καμπύλες pushover για χάλυβα Steel02

Παρατηρούμε πως με το Steel02 η καμπύλη φτάνει σε πολύ μεγάλες τιμές drift (μεγαλύτερες του 20%) με αρνητική αλλά σταθερή κλίση. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην αδυναμία του μοντέλου να αποτυπώσει την πτώση των αντοχών του χάλυβα μετά το σημείο μέγιστης αντοχής f_u , μέχρι το οποίο άλλωστε συμπίπτει με το μοντέλο Hysteretic. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από το Σχήμα 6.2.3 αφού παρατηρούμε πως οι καμπύλες ταυτίζονται έως το σημείο που η καμπύλη του χάλυβα Hysteretic εισέρχεται στον πτωτικό κλάδο μεγάλης κλίσης.



Σχήμα 6.2.3: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02

Η καμπύλη pushover του μοντέλου Hysteretic διαθέτει έναν αυξανόμενο, έναν περίπου σταθερό ή ελαφρώς πτωτικό και έναν απότομα πτωτικό κλάδο και ως εκ τούτου προσεγγίζει καλύτερα τη θεωρητική μορφή της καμπύλης. Είναι εύλογο λοιπόν οι επόμενες αναλύσεις να χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο.

Τέλος είναι προφανές ότι η ολοκληρωμένη μορφή της καμπύλης οφείλεται στη ρουτίνα σύγκλισης και πως η χρήση της είναι αναγκαία για τις επόμενες αναλύσεις.

6.2.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ

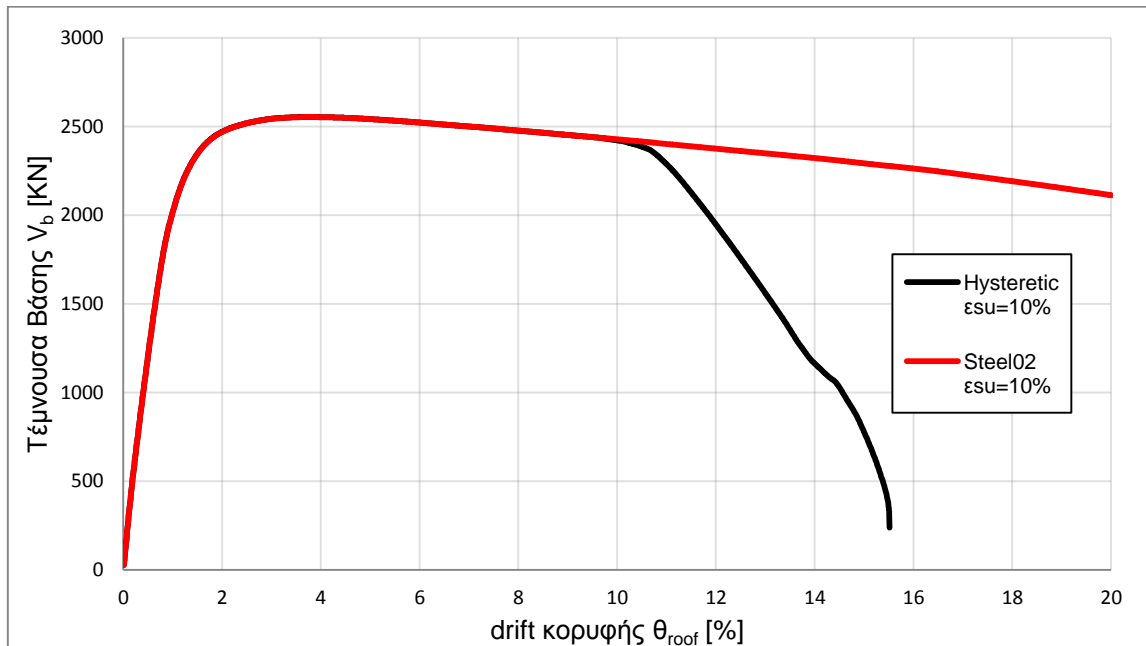
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.2.2.2 η επιμήκυνση ϵ_u του χάλυβα στο μέγιστο φορτίο έχει ληφθεί ίση με την χαρακτηριστική και έχει τιμή:

$$\epsilon_u = 7.5\%$$

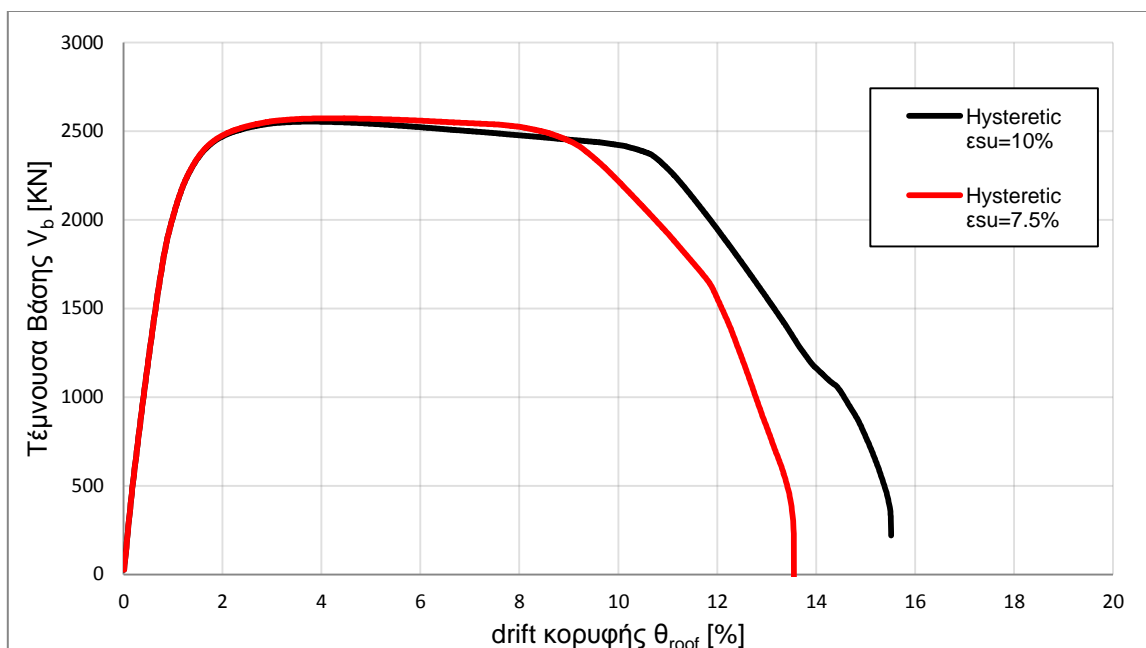
Για να εξετάσουμε την επίδραση του χάλυβα στις αντοχές της κατασκευής δοκιμάζουμε παραμόρφωση με τιμή 20-30% μεγαλύτερη της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για λόγους απλότητας θεωρούμε αντοχή μεγαλύτερη κατά 33% δηλαδή:

$$\epsilon_u = 10.0\%$$

Στο Σχήμα 6.2.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες pushover για μοντέλο χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$ ενώ στο Σχήμα 6.2.5 γίνεται σύγκριση του χάλυβα Hysteretic για τις δύο τιμές παραμόρφωσης ϵ_u .



Σχήμα 6.2.4: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10.0\%$



Σχήμα 6.2.5: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic με $\epsilon_u = 7.5\%$ και 10.0%

Οι δύο καμπύλες αρχίζουν να διαφοροποιούνται μόλις μπουν στον ελαφρώς πτωτικό κλάδο-πλατό, ωστόσο οι ουσιαστικές διαφορές εμφανίζονται όταν η καμπύλη για $\epsilon_u = 7.5\%$ περάσει στον απότομο πτωτικό κλάδο. Αυτό προφανώς συμβαίνει γιατί στα κρίσιμα μέλη ο χάλυβας πέρασε τη θέση μέγιστης αντοχής. Επίσης το γεγονός ότι στον περίπου σταθερό κλάδο η καμπύλη 7.5% δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές από αυτήν για

10% φαίνεται να επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση δεδομένης της μεγαλύτερης κλίσης του κρατυνόμενου κλάδου.

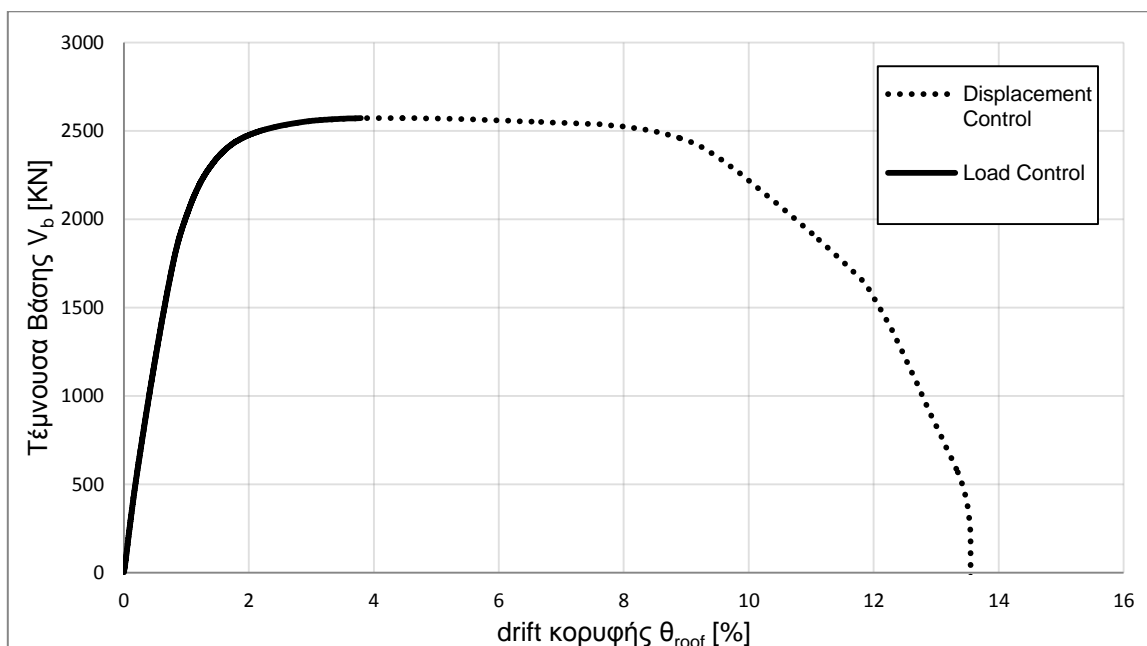
Η μετακίνηση και η τιμή μέγιστης τέμνουσας είναι ίδιες και για τις δύο καμπύλες, επομένως η pushover δεν επηρεάζεται από την επιλογή της επιμήκυνσης ϵ_u .

6.2.3. LOADCONTROL PUSHOVER

Η ανάλυση pushover εξ' αρχής πραγματοποιήθηκε με δεδομένο ότι σε κάθε βήμα θα καταγράφεται συγκεκριμένη μετακίνηση κορυφής, ούτως ώστε να αποτυπωθεί ο πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η μορφή αυτή πράγματι καταγράφεται, επομένως η επιλογή που έγινε φαίνεται σε πρώτο βαθμό να είναι επιτυχημένη. Για να επιβεβαιωθεί όμως ότι δεν εμφανίζονται τυχόν αριθμητικά προβλήματα, πραγματοποιείται ανάλυση με σταθερά αυξανόμενα φορτία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι:

integrator LoadControl

Στο Σχήμα 6.2.6 δίνονται οι καμπύλες pushover για τα δύο είδη αναλύσεων.



Σχήμα 6.2.6: Καμπύλες pushover για σταθερό βήμα μετακίνησης και φορτίου

Όπως είχε προβλεφθεί, η Load Control ανάλυση δεν αποτυπώνει τη πτώση των αντοχών καθώς σταματάει στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας. Το βασικότερο όμως είναι ότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται για όσο συνυπάρχουν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάλυση με έλεγχο μετατοπίσεων είναι επιτυχημένη.

6.2.4. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ

Προκειμένου να κατασκευαστεί το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου πρέπει, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1, να υπολογιστούν:

- η μάζα m^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος [ton]
- ο συντελεστής συμμετοχής Γ
- το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής

Χρησιμοποιώντας την κατανομή των φορτίων με την οποία πραγματοποιήθηκε η pushover, δηλαδή την τριγωνική, προκύπτουν οι εξής συντελεστές:

Πίνακας 6.2.2: Συντελεστές Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

m^*	259.62
Γ	1.295
α	0.856

Στη συνέχεια εντοπίζεται η μετακίνηση για την οποία θεωρείται ότι έχει σχηματιστεί μηχανισμός και πέραν αυτής η καμπύλη αντίστασης παύει να περιγράφει σωστά τη κατασκευή. Λόγω της μορφής της καμπύλης η μετακίνηση αυτή δεν είναι προφανής. Μια πρώτη εκτίμηση θα ήταν η θέση μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο με αυτή την επιλογή παραλείπεται ένα μικρό τμήμα για το οποίο η κατασκευή συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία χωρίς ιδιαίτερη πτώση αντοχών. Αναζητείται λοιπόν μια τιμή στην οποία έχει αρχίσει να εμφανίζεται ο πτωτικός κλάδος χωρίς όμως αυτός να είναι μεγάλος.

Οι τιμές στις οποίες καταλήξαμε είναι οι:

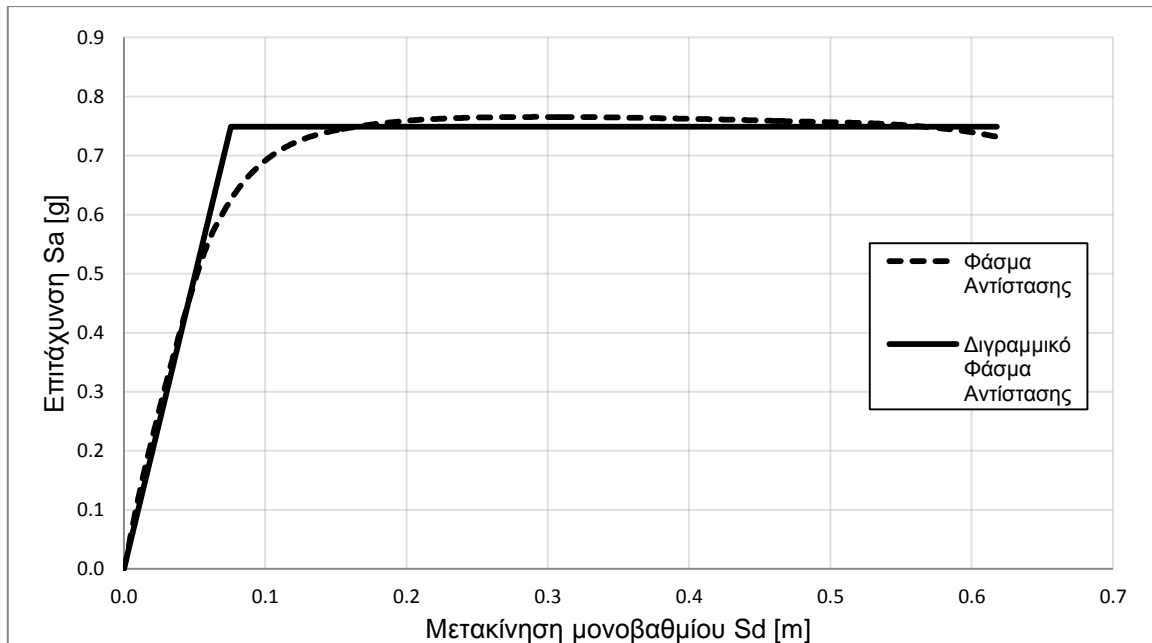
- $d_{max} = 0.80 \text{ m (drift 8.9\%)}$
- $d_{max} = 0.85 \text{ m (drift 9.4\%)}$
- $d_{max} = 0.90 \text{ m (drift 10.0\%)}$

Πίνακας 6.2.3: Στοιχεία διγραμμικού φάσματος αντίστασης

	dmax		
	0.80	0.85	0.90
T* [sec]	0.632	0.632	0.631
Say [g]	0.749	0.747	0.743
Sdy [m]	0.076	0.075	0.075
Sdu [m]	0.618	0.656	0.695

Οι διαφορές στις τιμές της ιδιοπεριόδου T^* , της επιτάχυνσης διαρροής S_{ay} και της μετακίνησης διαρροής S_{dy} του διγραμμικού φάσματος αντίστασης είναι αμελητέες (διαφορά του 3^{ου} δεκαδικού) με αποτέλεσμα οι τρεις λύσεις να είναι ισοδύναμες. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή $d_{max} = 0.80$ m (drift 8.9%) ως (πλασματική) μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου και το αντίστοιχο διγραμμικό δίνονται στο Σχήμα 6.2.7:



Σχήμα 6.2.7: Φάσμα Αντίστασης Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

6.2.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER

Από το ισοδύναμο μονοβάθμιο και τη θεωρητική (τριγωνική) κατανομή των φορτίων προκύπτει μετακίνηση του ορόφου i ίση με:

$$d_i = S_d \cdot \Gamma \cdot \varphi_i = \frac{d_{top} \cdot \varphi_i}{\varphi_{top}}$$

Θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικές τις κατανομές στη μετακίνηση μέγιστης αντοχής d_{Vmax} και στη μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης d_{max} που υπολογίστηκε προηγουμένως, κατασκευάζονται οι παρακάτω πίνακες.

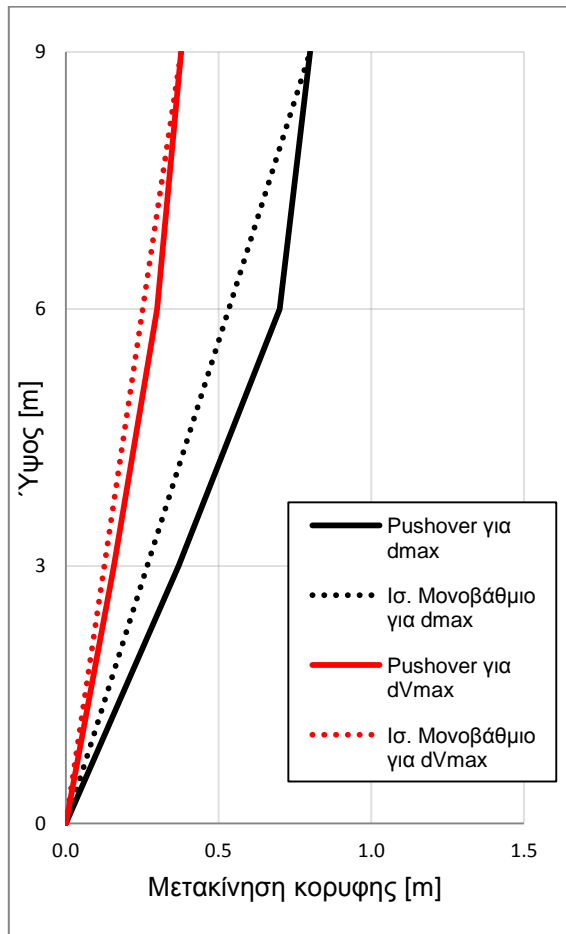
Πίνακας 6.2.4: Κατανομή μετακινήσεων για d_{max}

	d_{max} 0.800		
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	Διαφορά (%)
Όροφος 1	0.369	0.267	38.46
Όροφος 2	0.700	0.533	31.28
Όροφος 3	0.800	0.800	0.00

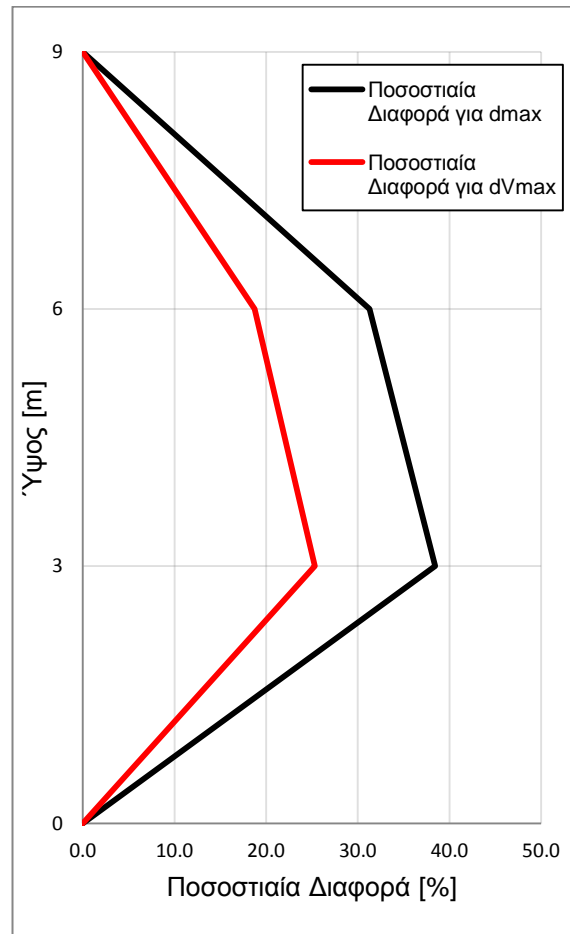
Πίνακας 6.2.5: Κατανομή μετακινήσεων για d_{Vmax}

	d_{Vmax} 0.378		
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	Διαφορά (%)
Όροφος 1	0.158	0.126	25.30
Όροφος 2	0.299	0.252	18.76
Όροφος 3	0.378	0.378	0.00

Τα Σχήματα 6.2.8 και 6.2.9 αποτυπώνουν τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις σε σύγκριση με τις ιδεατές της τριγωνικής κατανομής καθώς και τις ποσοστιαίες διαφορές τους.



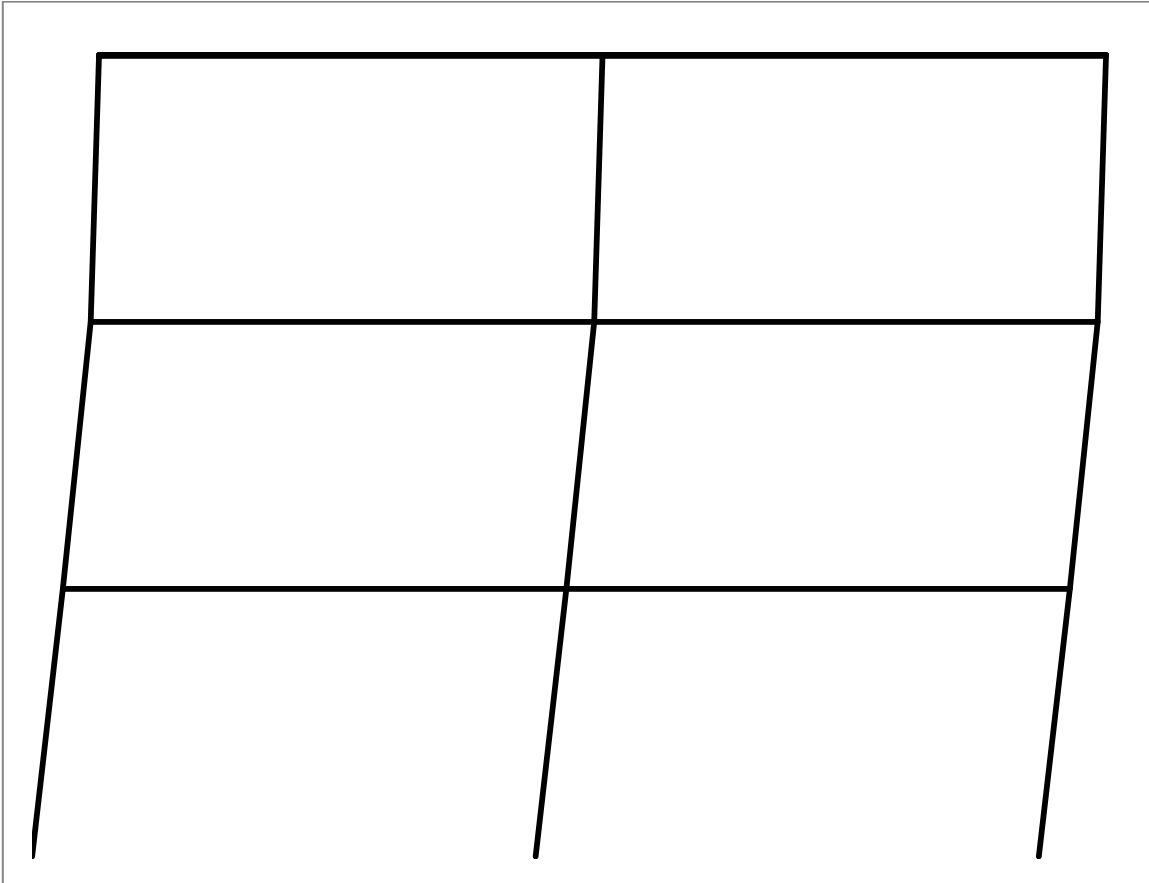
Σχήμα 6.2.8: Κατανομή μετακινήσεων



Σχήμα 6.2.9: Κατανομή Ποσοστιαίων Διαφορών

Είναι προφανές πως για μετακίνηση κορυφής d_{Vmax} η κατανομή των μετακινήσεων προσεγγίζει την ιδεατή περισσότερο απ' ό τι για μετακίνηση d_{max} . Αυτό είναι λογικό καθώς η γραμμική κατανομή ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ελαστικό τμήμα των παραμορφώσεων, στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα αστοχίες μελών. Η θέση μέγιστης αντοχής, παρόλο που βρίσκεται βαθιά μέσα στο ανελαστικό τμήμα απόκρισης, δεν εμφανίζει τόσες βλάβες όπως στη θέση d_{max} και ο μηχανισμός κατάρρευσης δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί με αποτέλεσμα η κατανομή των μετακινήσεων να είναι πλησιέστερα στη θεωρητική.

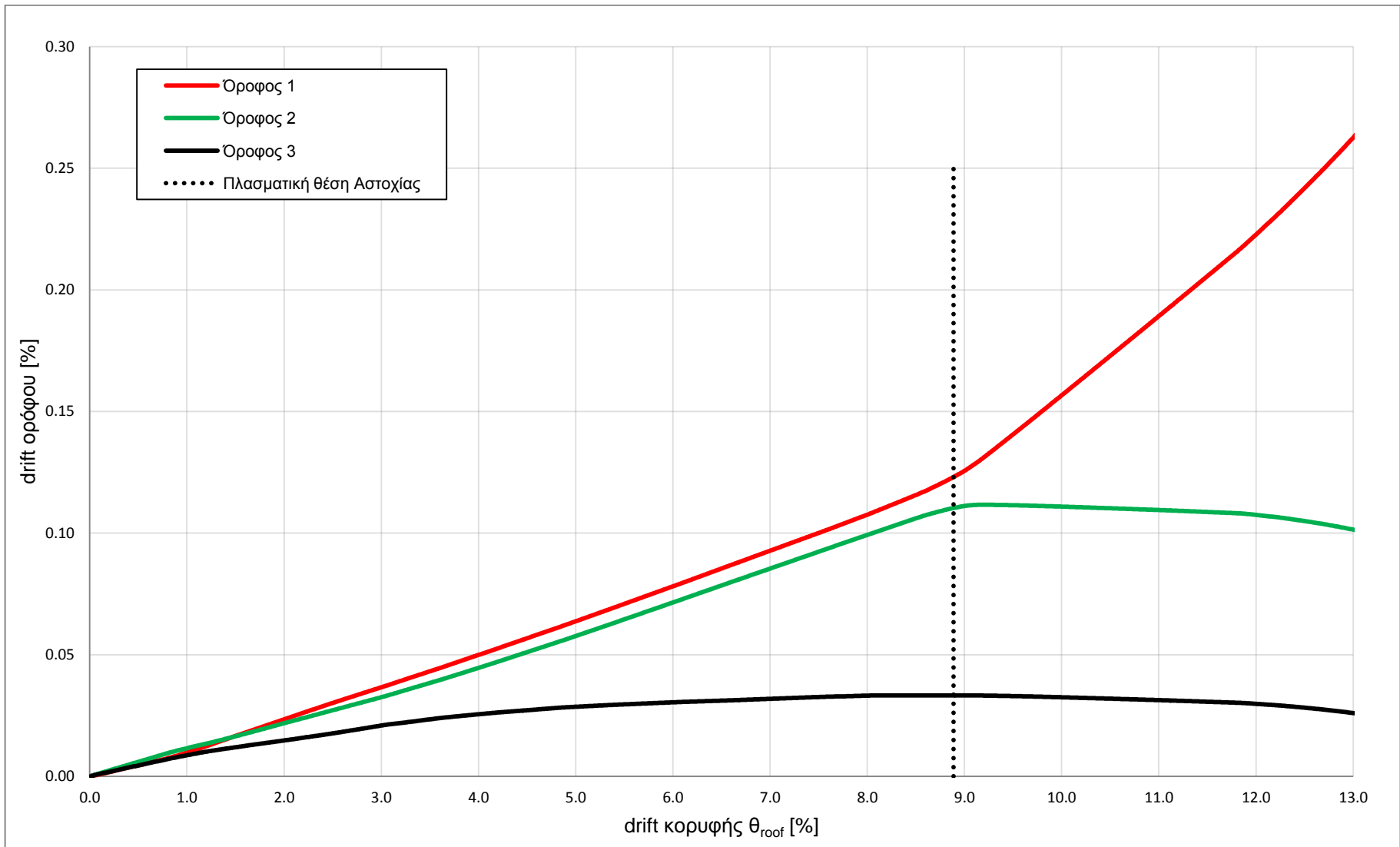
Στο Σχήμα 6.2.10 παρουσιάζεται ο φορέας στην παραμορφωμένη κατάσταση για μετακίνηση κορυφής d_{max} .



Σχήμα 6.2.10: Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα για μετακίνηση κορυφής d_{max}

Είναι φανερό πως οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων μειώνονται καθ' ύψος πλησιάζοντας έτσι την παραβολική κατανομή που δίνουν οι αμιγώς πλαισιωτοί φορείς.

Καταγράφοντας την εξέλιξη του drift κάθε ορόφου (Σχήμα 6.2.11) μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι όροφοι 1 και 2 εμφανίζουν κοινά drift για μεγάλο διάστημα με αποτέλεσμα οι παραμορφώσεις να συγκεντρώνονται στο τέλος του 2^{ου} ορόφου. Ωστόσο στη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας το drift του 2^{ου} σταματάει να αυξάνεται σε αντίθεση με του 1^{ου}, γεγονός που μαρτυρά ότι η κατάρρευση επέρχεται λόγω **μηχανισμού ορόφου στον 1^ο όροφο**.



Σχήμα 6.2.11: drift ορόφων συναρτήσει του ολικού drift

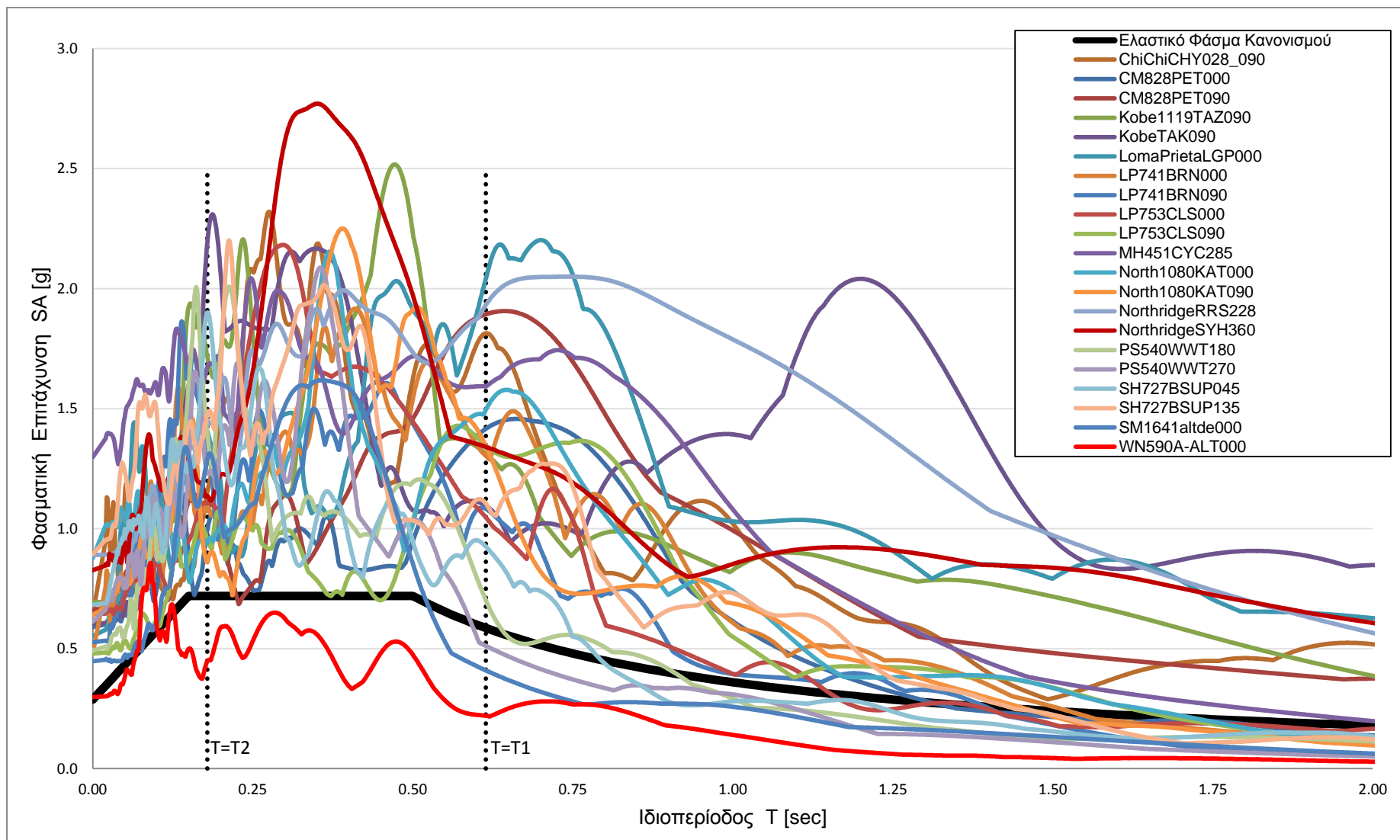
6.2.6. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής (πρόκειται για τις ίδιες με την χωρίς Ρ-Δ ανάλυση) δίνονται στον Πίνακα 6.2.6 ενώ περισσότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 6.2.6: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Καταγραφή
1	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET000
2	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET090
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	CHY028	ChiChiCHY028_090
4	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090
5	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090
6	Loma Prieta	18/10/89	Los Gatos Presentation Center	LomaPrietaLGP000
7	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN000
8	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN090
9	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS000
10	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS090
11	Morgan Hill	24/04/84	Coyote Lake Dam (SW Abut)	MH451CYC285
12	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT180
13	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT270
14	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT000
15	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT090
16	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228
17	Northridge	17/01/94	Sylmar Country Hospital	NorthridgeSYH360
18	Sierra Madre	28/06/91	Altadena-Eaton Canyon	SM1641altde000
19	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP045
20	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP135
21	Whittier Narrows	01/10/87	Altadena-Eaton Canyon	WN590A-ALT000

Στο Σχήμα 6.2.12 έχουν σχεδιαστεί τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των καταγραφών και το φάσμα σχεδιασμού. Η καταλληλότητα των επιλεγμένων σεισμών φαίνεται από το πλήθος των φασμάτων που για τις τιμές των ιδιοπεριόδων T_1 και T_2 υπερβαίνουν τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.



Σχήμα 6.2.12: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων για απόσβεση $\zeta=5\%$

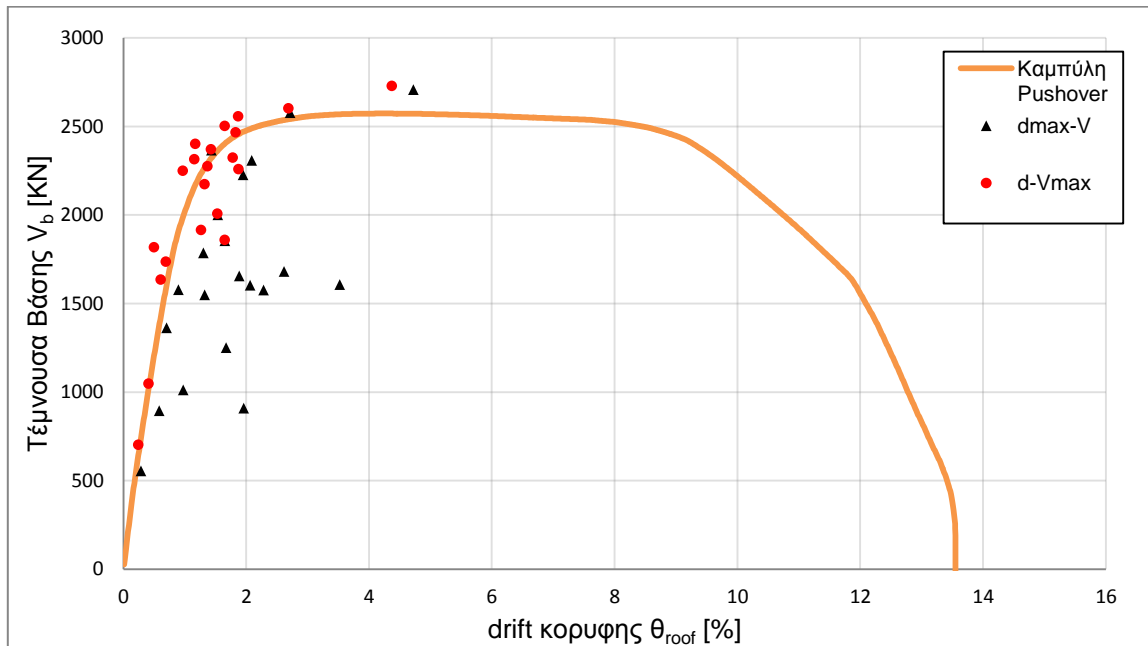
6.2.7. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 6.2.7.

Πίνακας 6.2.7: Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις κορυφής και τέμνουσες βάσης

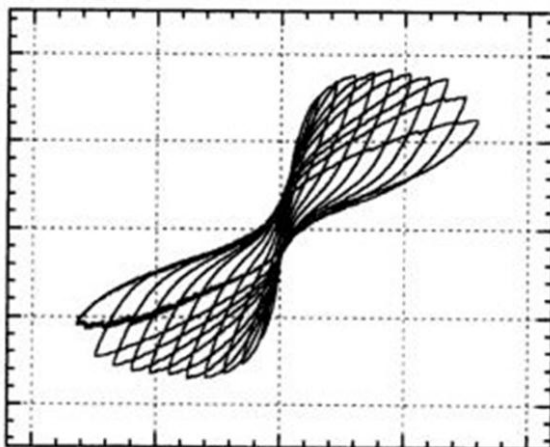
		d_{max} [m]	V_{dmax} [KN]	d_{vmax} [m]	V_{max} [KN]
ChiChiCHY028_090	scale 1.0	0.129	2366.7	0.129	2369.9
CM828PET000	scale 1.0	0.186	1604.2	0.149	2501.4
CM828PET090	scale 1.0	0.236	1682.1	0.168	2556.1
Kobe1119TAZ090	scale 1.0	0.170	1656.1	0.160	2323.8
KobeTAK090	scale 1.0	0.317	1607.1	0.124	2274.5
LomaPrietaLGP000	scale 1.0	0.205	1577.3	0.104	2313.3
LP741BRN000	scale 1.0	0.151	1251.6	0.119	2172.3
LP741BRN090	scale 1.0	0.117	1786.2	0.114	1914.7
LP753CLS000	scale 1.0	0.119	1550.3	0.087	2249.8
LP753CLS090	scale 1.0	0.177	910.3	0.165	2466.7
MH451CYC285	scale 1.0	0.245	2577.7	0.242	2601.7
North1080KAT000	scale 1.0	0.188	2308.6	0.106	2401.6
North1080KAT090	scale 1.0	0.149	1854.7	0.149	1858.6
NorthridgeRRS228	scale 1.0	0.425	2707.5	0.393	2728.7
NorthridgeSYH360	scale 1.0	0.175	2226.8	0.169	2257.5
PS540WWT180	scale 1.0	0.081	1578.9	0.055	1634.3
PS540WWT270	scale 1.0	0.063	1363.8	0.045	1817.8
SH727BSUP045	scale 1.0	0.088	1013.4	0.062	1735.1
SH727BSUP135	scale 1.0	0.138	2001.4	0.138	2007.3
SM1641altde000	scale 1.0	0.052	895.4	0.037	1046.4
WN590A-ALT000	scale 1.0	0.026	556.0	0.022	702.1

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την pushover προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (Σχήμα 6.2.13).



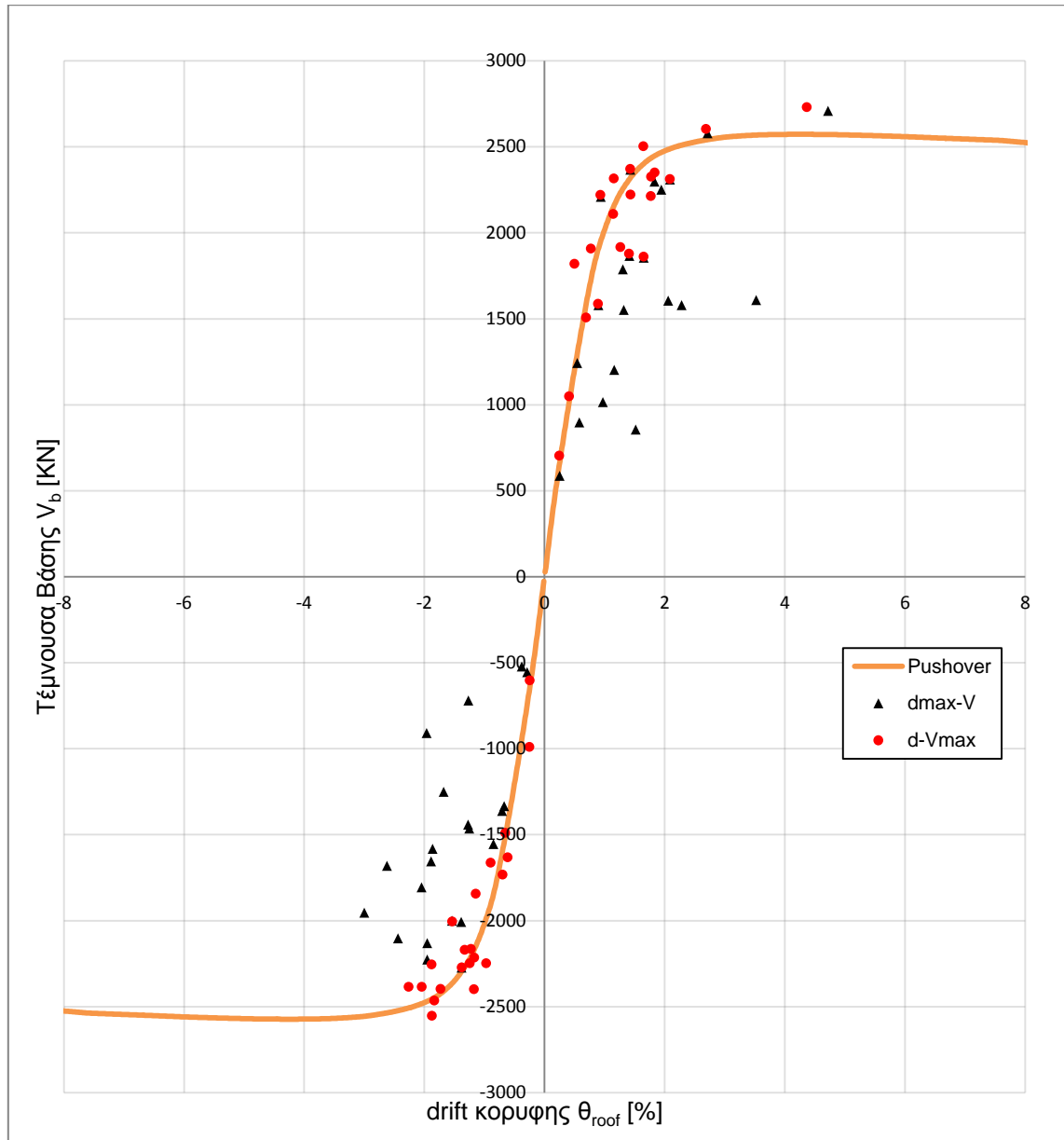
Σχήμα 6.2.13: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

Όπως διαπιστώνεται, οι περισσότεροι σεισμοί καταπονούν την κατασκευή στην ελαστική περιοχή ή στα όρια αυτής, ελάχιστοι όμως την ωθούν βαθιά μέσα στην ανελαστική περιοχή. Είναι προφανές ότι τα σημεία μέγιστης τέμνουσας προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την καμπύλη pushover κάτι τέτοιο όμως δεν συμβαίνει με τα σημεία μέγιστης μετακίνησης. Για να επιβεβαιωθεί η ορθότητα αυτού του ισχυρισμού σχεδιάζονται τα ζεύγη και προς τις δύο κατευθύνσεις παραμόρφωσης (Σχήμα 6.2.15) δίνοντας έτσι τις πραγματικές κατανομές. Στο νέο σχήμα οι αποκλίσεις μειώνονται, ωστόσο παραμένουν σημαντικές.



Σχήμα 6.2.14: Θεωρητική μορφή δυναμικής απόκρισης

Λόγω της σταδιακής πτώσης της δυσκαμψίας η θεωρητική μορφή της καμπύλης τέμνουσας-μετακίνησης κορυφής είναι αυτή του Σχήματος 6.2.14 και υποδηλώνει ότι τα σημεία μέγιστης μετακίνησης θα έπρεπε να εντοπίζονται κοντά στον πτωτικό κλάδο της pushover ή έστω στο πλατό.



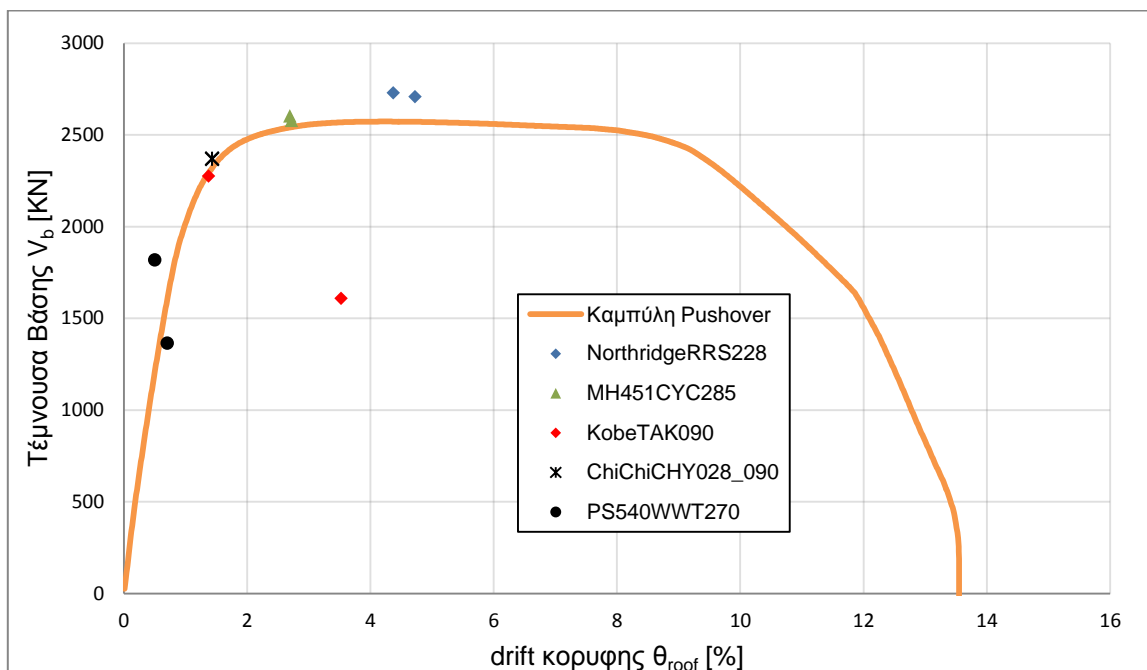
Σχήμα 6.2.15: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

6.2.8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη pushover προσεγγίζει περισσότερο τα σημεία μέγιστης τέμνουσας παρά μετακίνησης. Προκειμένου να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για τους λόγους αυτής της διαφοροποίησης, θα εξεταστεί η κατανομή των μετακινήσεων για ορισμένες καταγραφές και της pushover για ίδια μετακίνηση κορυφής. Οι καταγραφές που επιλέγονται διαθέτουν μια εκ των δύο τιμών (d_{max} ή d_{Vmax}) κοντά στην καμπύλη pushover. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αναμενόμενες αποκλίσεις είναι μικρές.

Οι καταγραφές που επιλέχθηκαν (Σχήμα 6.2.16) είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση χωρίς P-Δ και είναι οι:

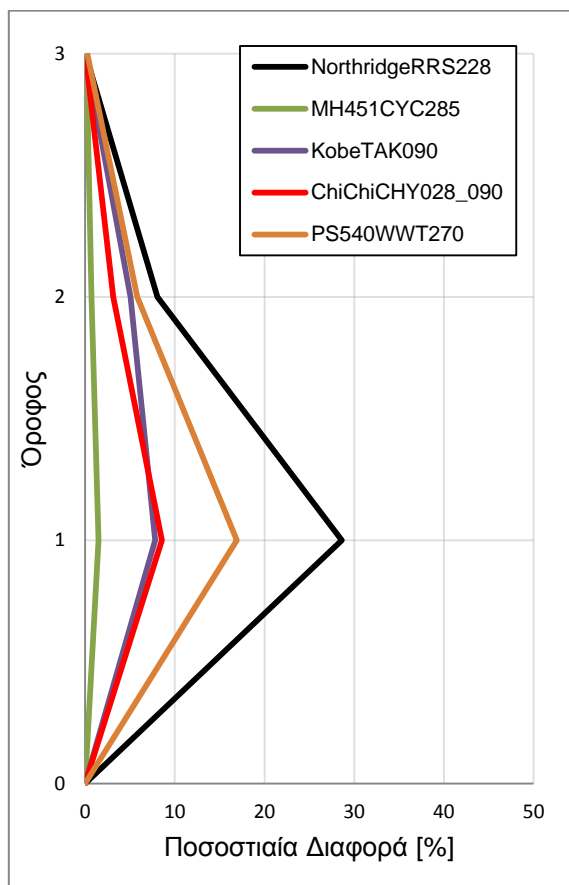
- **NorthridgeRRS228**
- **MH451CYC285**
- **KobeTAK090**
- **ChiChiCHY028_090**
- **PS540WWT270**



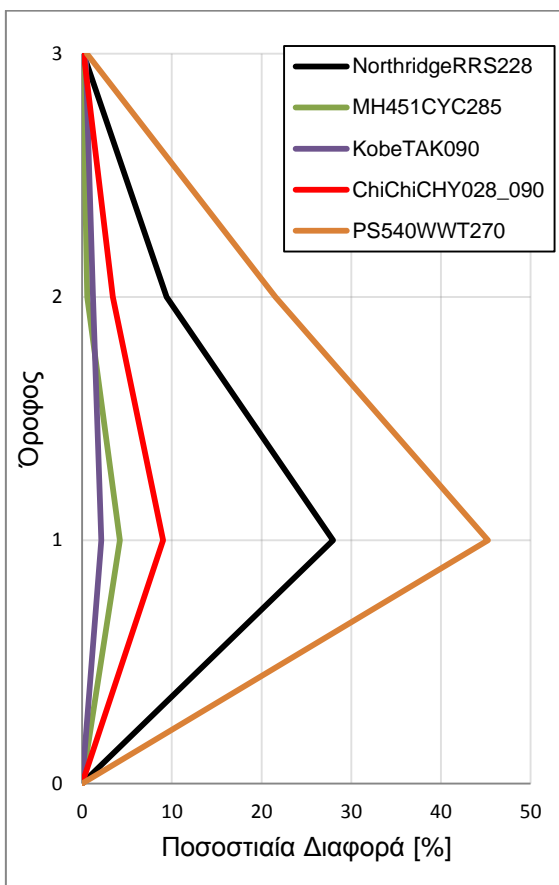
Σχήμα 6.2.16: Επιλεγμένες καταγραφές για έλεγχο της κατανομής των μετακινήσεων

Για τη σύγκριση χρησιμοποιούνται οι μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί από τη δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας του σεισμικού συμβάντος και οι μετακινήσεις της pushover για τις οποίες η μετακίνηση κορυφής είναι ίδια.

Στα Σχήματα 6.2.17 και 6.2.18 δίνεται η κατανομή της ποσοστιαίας διαφοράς και όχι καθ' εαυτού η μετακίνηση καθώς επιτρέπει τη πραγματοποίηση συγκρίσεων.



Σχήμα 6.2.17: Ποσοστιαία διαφορά για d_{max}



Σχήμα 6.2.18: Ποσοστιαία διαφορά για d_{vmax}

Εξετάζοντας κάθε καταγραφή ξεχωριστά επιβεβαιώνεται ότι το σημείο (d_{max} ή d_{vmax}) που βρίσκεται πλησιέστερα στην καμπύλη εμφανίζει μικρότερη απόκλιση. Οι διαφορές από την κατανομή της pushover είναι δικαιολογημένες καθώς δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών.

Όταν όμως επιχειρείται να γίνει σύγκριση μεταξύ αντίστοιχων σημείων σε διαφορετικές καταγραφές η κατάσταση περιπλέκεται. Για τα σημεία d_{vmax} οι καταγραφές που βρίσκονται κοντά στην καμπύλη πράγματι εμφανίζουν μικρότερη απόκλιση από άλλες πιο απομακρυσμένες. Ωστόσο αυτός ο κανόνας δεν ισχύει για τα σημεία d_{max} . Για παράδειγμα η απόκλιση του NorthridgeRRS228 είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του KobeTAK090 παρόλο που η πρώτη είναι κοντά στην καμπύλη ενώ η δεύτερη όχι.

Η πιθανότερη εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι πως για θέση d_{max} ο φορέας έχει αποδιοργανωθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα οι ανώτερες ιδιομορφές να παίζουν σημαντικότερο ρόλο απ' ότι στην αρχή, αλλάζοντας την κατανομή των φορτίων.

6.2.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R_{μ} - μ

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί για κάθε σεισμό η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ και ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} .

Καταρχάς από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων κάθε καταγραφής εντοπίζεται η φασματική επιτάχυνση SA που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο $T^*=0.632$ sec του ισοδύναμου μονοβάθμιου και διαιρείται με την επιτάχυνση διαρροής S_{ay} . Στη συνέχεια υπολογίζεται η Δεσπόζουσα Περίοδος T_p της εδαφικής κίνησης θεωρώντας απλοποιητικά ότι πρόκειται για την περίοδο στην οποία το φάσμα ταχυτήτων λαμβάνει μέγιστη τιμή. Τέλος από τη μετακίνηση κορυφής και από τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου υπολογίζεται η πλαστιμότητα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το ψευδοφάσμα επιταχύνσεων και ταχυτήτων.

Πίνακας 6.2.8: Τιμές Φασματικών & ΨευδοΦασματικών επιταχύνσεων και περιόδων T_p

	Από Φάσματα		Από ΨευδοΦάσματα	
	SA (T*) [g]	T_p [sec]	SA (T*) [g]	T_p [sec]
ChiChiCHY028_090	1.7573	1.9350	1.7479	0.6230
CM828PET000	1.4415	0.7400	1.4352	0.7530
CM828PET090	1.9038	0.7560	1.8949	0.7110
Kobe1119TAZ090	1.2666	1.3350	1.2595	0.4790
KobeTAK090	1.0494	1.2570	1.0458	1.2290
LomaPrietaLGP000	2.1768	0.7400	2.1661	0.7330
LP741BRN000	1.3849	0.8840	1.3792	0.6630
LP741BRN090	1.0428	0.4770	1.0370	0.4660
LP753CLS000	0.9938	0.7360	0.9880	0.7230
LP753CLS090	1.3119	0.7620	1.3052	0.7910
MH451CYC285	1.6249	0.8020	1.6185	0.8320
North1080KAT000	1.5623	0.6660	1.5548	0.6780
North1080KAT090	1.2309	0.5340	1.2239	0.5130
NorthridgeRRS228	1.9899	1.0350	1.9812	1.0780
NorthridgeSYH360	1.3233	2.5840	1.3138	1.6250
PS540WWT180	0.6074	0.5220	0.6030	0.5330
PS540WWT270	0.4887	0.3690	0.4847	0.3600
SH727BSUP045	0.8704	0.6270	0.8663	0.6060
SH727BSUP135	1.0689	0.7320	1.0637	0.7290
SM1641altde000	0.3883	0.4020	0.3851	0.4110
WN590A-ALT000	0.2312	0.4920	0.2296	0.4800

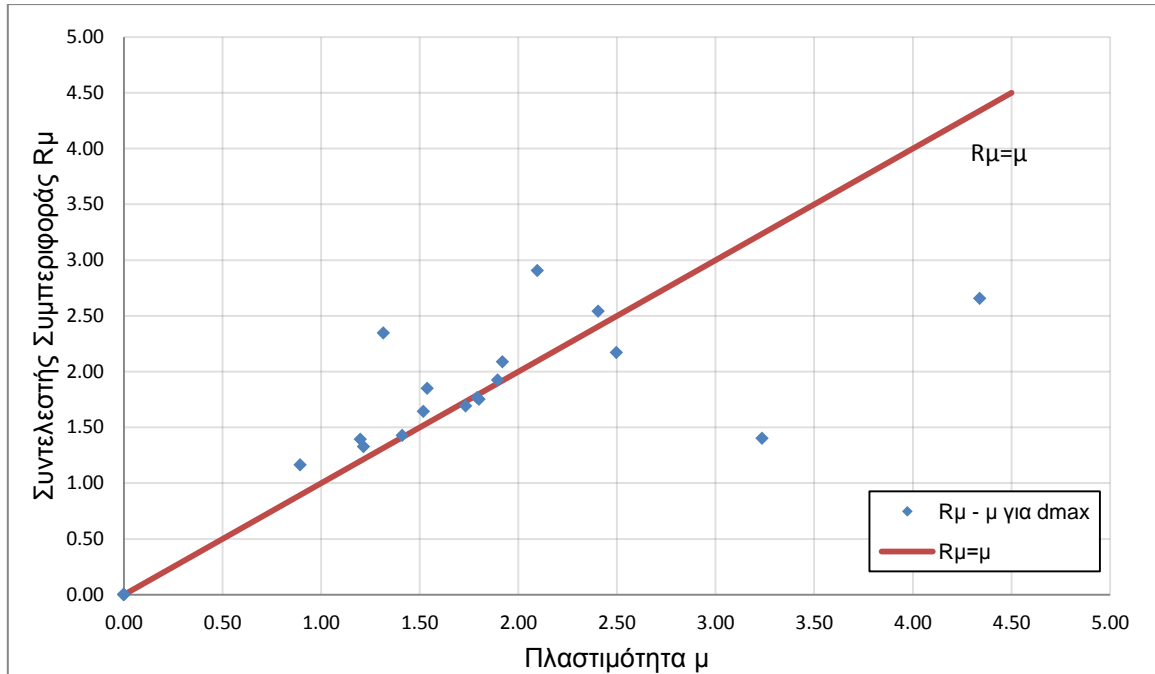
Πίνακας 6.2.9: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S _{A,el} [g]	R $\mu = S_{A,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
	για d _{max}								
ChiChiCHY028_090	για d _{max}	0.1290	0.0996	1.316	1.7573	2.347	1.935	0.561	0.327
CM828PET000	για d _{max}	0.1857	0.1434	1.895	1.4415	1.925	0.740	0.984	0.854
CM828PET090	για d _{max}	0.2357	0.1820	2.405	1.9038	2.543	0.756	0.946	0.836
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.1697	0.1311	1.732	1.2666	1.692	1.335	1.024	0.473
KobeTAK090	για d _{max}	0.3171	0.2449	3.236	1.0494	1.401	1.257	2.309	0.503
LomaPrietaLGP000	για d _{max}	0.2054	0.1587	2.096	2.1768	2.907	0.740	0.721	0.854
LP741BRN000	για d _{max}	0.1507	0.1164	1.538	1.3849	1.850	0.884	0.832	0.715
LP741BRN090	για d _{max}	0.1175	0.0907	1.198	1.0428	1.393	0.477	0.861	1.325
LP753CLS000	για d _{max}	0.1190	0.0919	1.214	0.9938	1.327	0.736	0.915	0.859
LP753CLS090	για d _{max}	0.1765	0.1363	1.801	1.3119	1.752	0.762	1.028	0.829
MH451CYC285	για d _{max}	0.2446	0.1889	2.496	1.6249	2.170	0.802	1.150	0.788
North1080KAT000	για d _{max}	0.1881	0.1453	1.919	1.5623	2.086	0.666	0.920	0.949
North1080KAT090	για d _{max}	0.1488	0.1149	1.519	1.2309	1.644	0.534	0.924	1.184
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.4252	0.3284	4.338	1.9899	2.657	1.035	1.633	0.611
NorthridgeSYH360	για d _{max}	0.1755	0.1355	1.791	1.3233	1.767	2.584	1.013	0.245
PS540WWT180	για d _{max}	0.0809	0.0625	0.825	0.6074	0.811	0.522	1.018	1.211
PS540WWT270	για d _{max}	0.0632	0.0488	0.644	0.4887	0.653	0.369	0.987	1.713
SH727BSUP045	για d _{max}	0.0875	0.0676	0.893	0.8704	1.162	0.627	0.768	1.008
SH727BSUP135	για d _{max}	0.1383	0.1068	1.412	1.0689	1.428	0.732	0.989	0.863
SM1641altde000	για d _{max}	0.0524	0.0405	0.535	0.3883	0.519	0.402	1.032	1.572
WN590A-ALT000	για d _{max}	0.0260	0.0201	0.265	0.2312	0.309	0.492	0.859	1.285

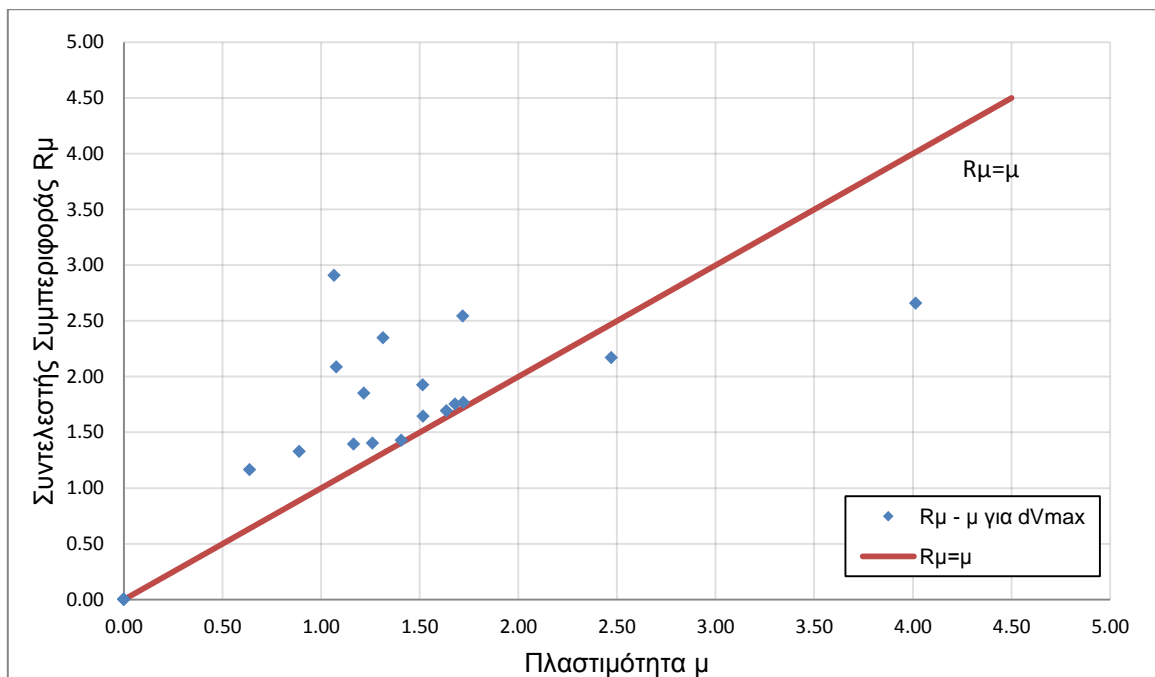
Πίνακας 6.2.10: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	dtop [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{Vmax}								
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.1288	0.0995	1.314	1.7573	2.347	1.935	0.560	0.327
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.1485	0.1147	1.516	1.4415	1.925	0.740	0.787	0.854
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.1684	0.1301	1.719	1.9038	2.543	0.756	0.676	0.836
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.1602	0.1238	1.635	1.2666	1.692	1.335	0.967	0.473
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.1235	0.0954	1.261	1.0494	1.401	1.257	0.900	0.503
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.1044	0.0806	1.065	2.1768	2.907	0.740	0.366	0.854
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.1193	0.0921	1.217	1.3849	1.850	0.884	0.658	0.715
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.1142	0.0882	1.165	1.0428	1.393	0.477	0.837	1.325
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0871	0.0673	0.889	0.9938	1.327	0.736	0.670	0.859
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.1645	0.1271	1.679	1.3119	1.752	0.762	0.958	0.829
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2422	0.1870	2.471	1.6249	2.170	0.802	1.139	0.788
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1055	0.0815	1.077	1.5623	2.086	0.666	0.516	0.949
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.1487	0.1149	1.518	1.2309	1.644	0.534	0.923	1.184
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3935	0.3039	4.015	1.9899	2.657	1.035	1.511	0.611
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.1687	0.1303	1.722	1.3233	1.767	2.584	0.974	0.245
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0548	0.0423	0.559	0.6074	0.811	0.522	0.689	1.211
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0452	0.0349	0.462	0.4887	0.653	0.369	0.707	1.713
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0624	0.0482	0.637	0.8704	1.162	0.627	0.548	1.008
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1379	0.1065	1.407	1.0689	1.428	0.732	0.985	0.863
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0371	0.0286	0.378	0.3883	0.519	0.402	0.730	1.572
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0223	0.0172	0.227	0.2312	0.309	0.492	0.736	1.285

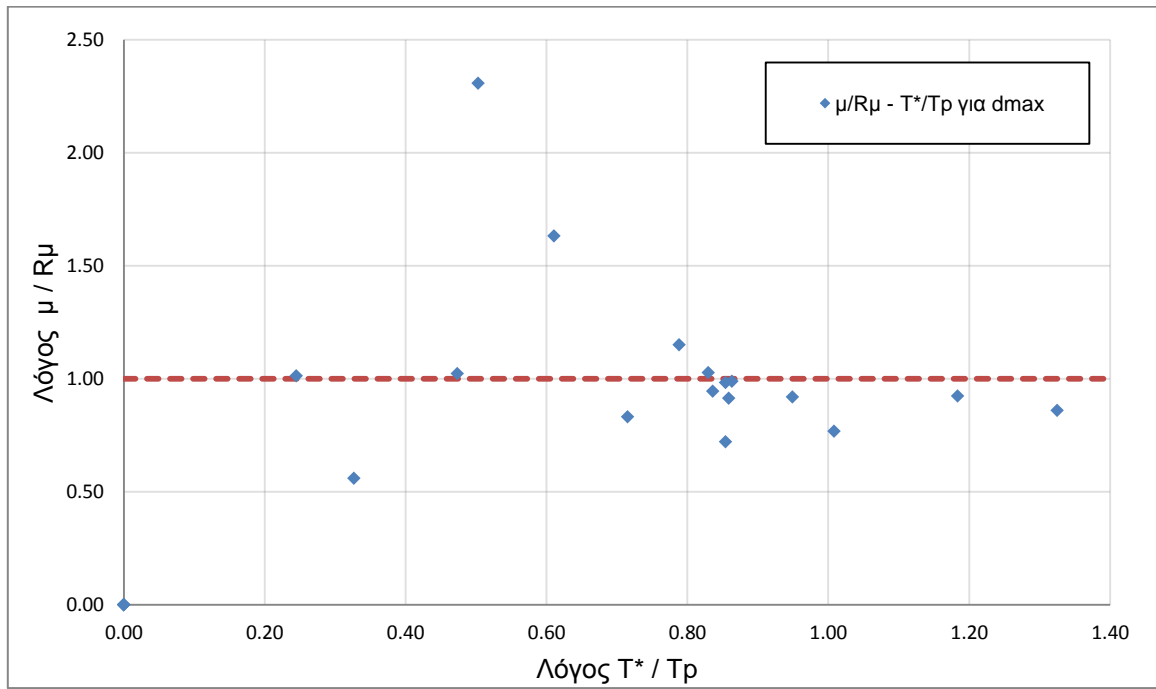
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 6.2.19 και 6.2.20) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 6.2.21 και 6.2.22).



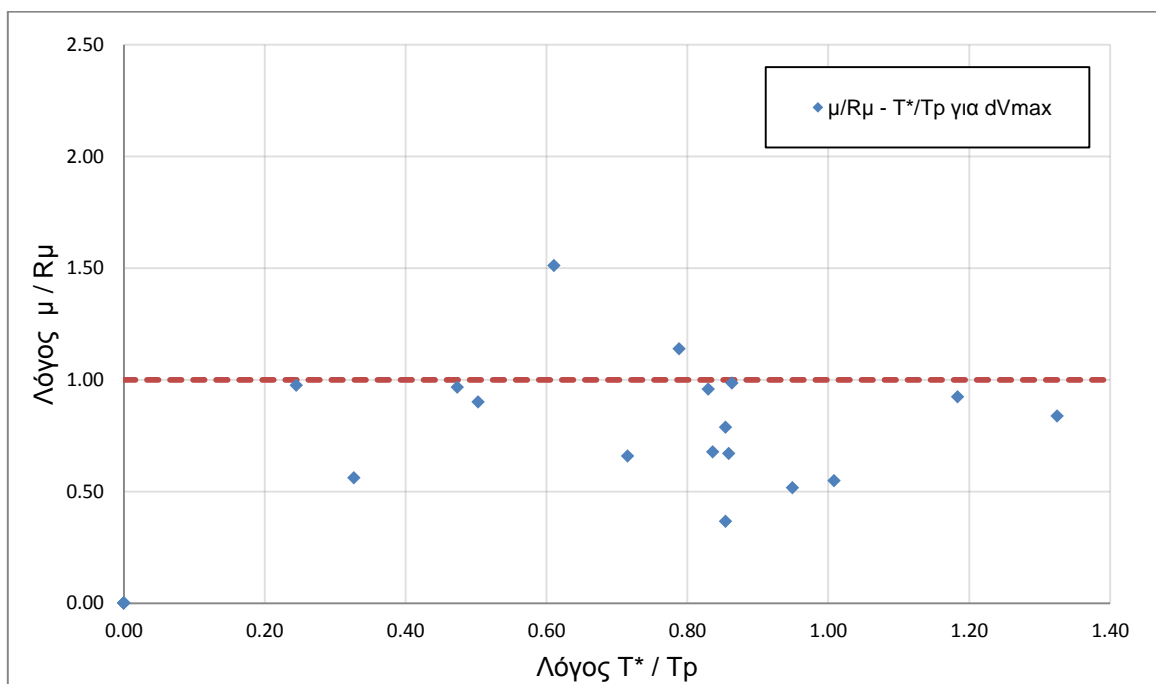
Σχήμα 6.2.19: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.2.20: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}



Σχήμα 6.2.21: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max}



Σχήμα 6.2.22: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax}

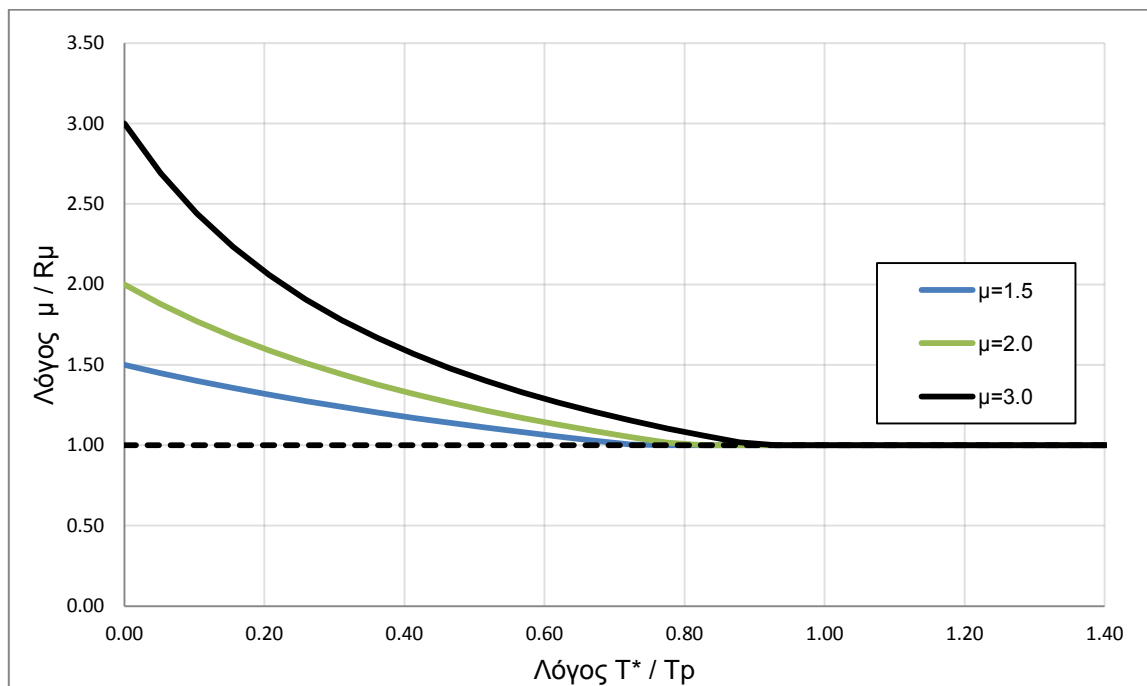
Σύμφωνα με τον Fajfar οι σχέσεις που συνδέουν τη πλαστιμότητα με τον συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T^*}{T_o} + 1 \quad \text{για } T^* \leq T_o$$

$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για } T^* > T_o$$

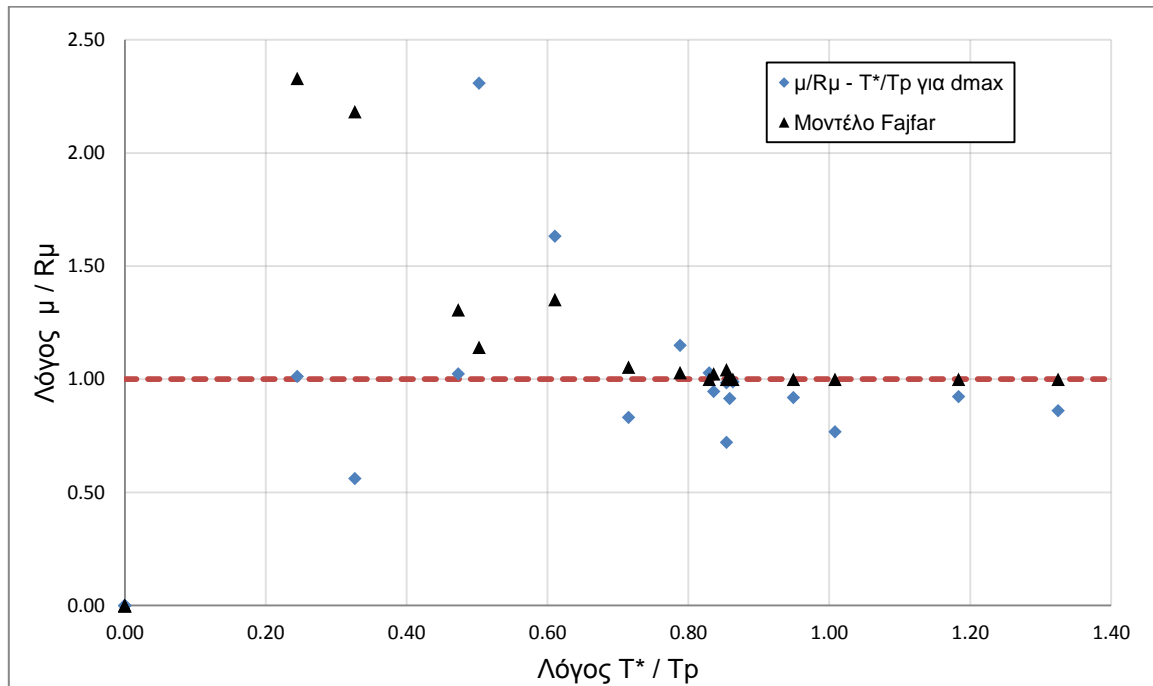
όπου $T_o = 0.65 \mu^{0.3} T_p \leq T_p$

Η μορφή των παραπάνω σχέσεων αποτυπώνεται στο Σχήμα 6.2.23 για διάφορες τιμές πλαστιμότητας χρησιμοποιώντας την περίοδο T_p της καταγραφής ChiChiCHY028_090.

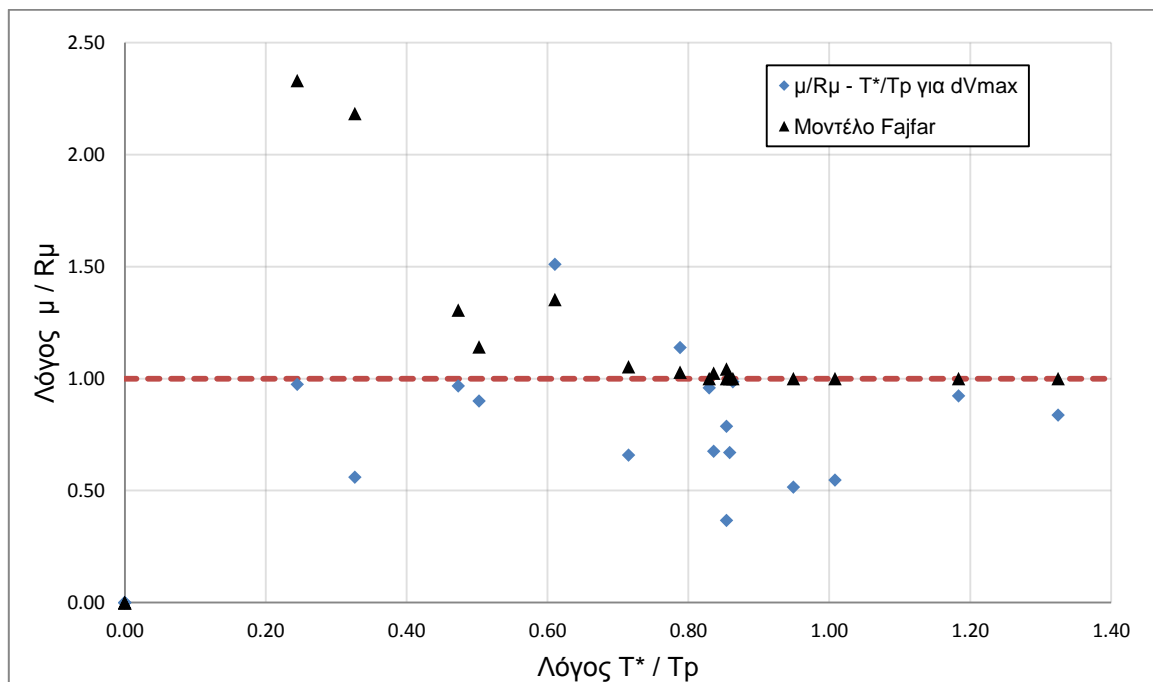


Σχήμα 6.2.23: Διάγραμμα μ/R_{μ} - T^*/T_p σύμφωνα με το μοντέλο του Fajfar

Ακολουθώντας το μοντέλο του Fajfar και θεωρώντας ως μοναδικό άγνωστο τη πλαστιμότητα σχεδιάζουμε τα διάγραμμα μ/R_{μ} - T^*/T_p για τις σεισμικές καταγραφές (Σχήματα 6.2.24 και 6.2.25)



Σχήμα 6.2.24: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 6.2.25: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

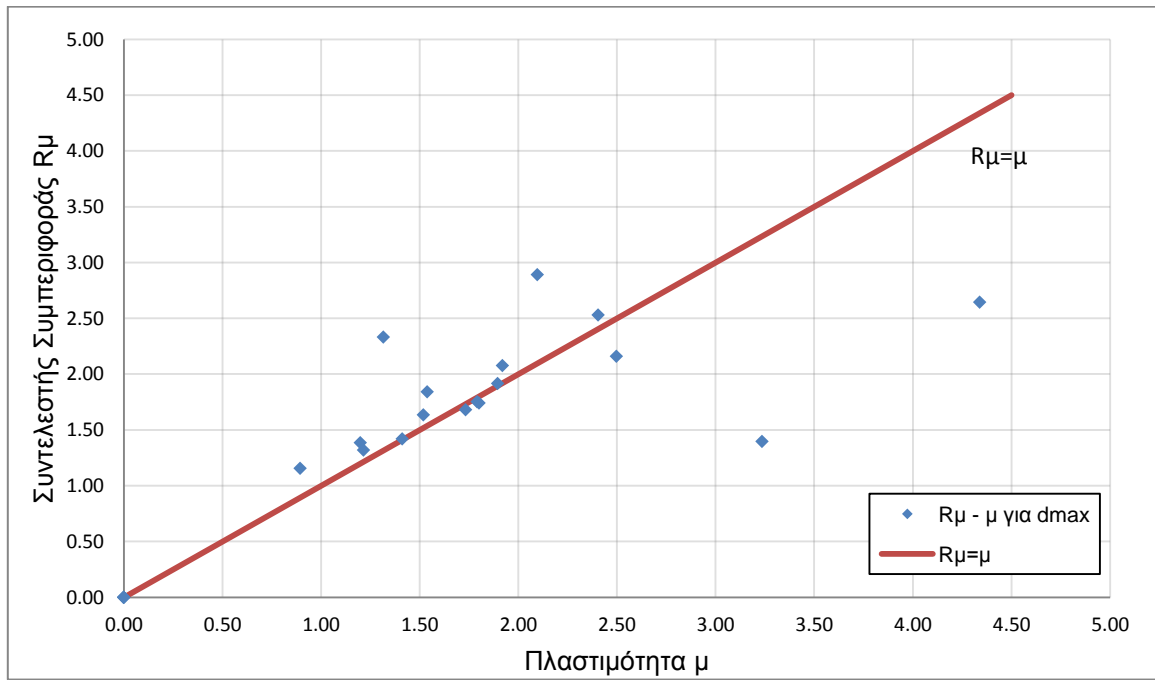
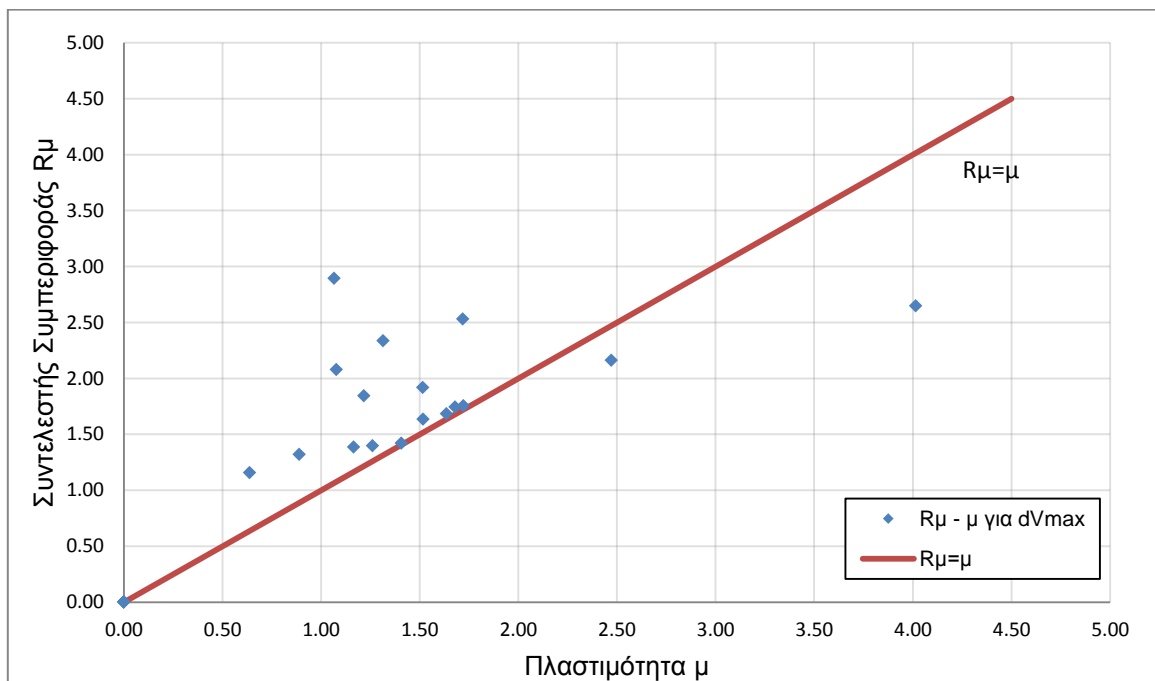
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 6.2.11 και 6.2.12 καθώς και τα Σχήματα 6.2.26 έως 6.2.29.

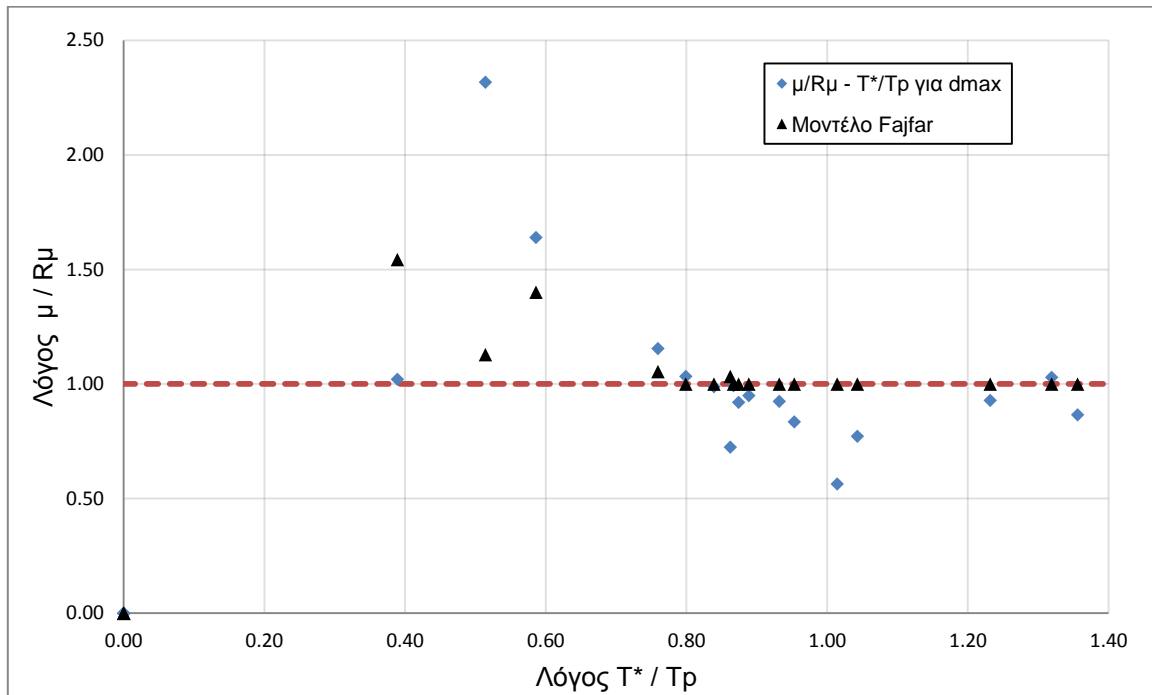
Πίνακας 6.2.11: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{\max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA_{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY028_090	για d_{\max}	0.1290	0.0996	1.316	1.7479	2.334	0.623	0.564	1.014
CM828PET000	για d_{\max}	0.1857	0.1434	1.895	1.4352	1.917	0.753	0.989	0.839
CM828PET090	για d_{\max}	0.2357	0.1820	2.405	1.8949	2.531	0.711	0.950	0.889
Kobe1119TAZ090	για d_{\max}	0.1697	0.1311	1.732	1.2595	1.682	0.479	1.030	1.319
KobeTAK090	για d_{\max}	0.3171	0.2449	3.236	1.0458	1.397	1.229	2.317	0.514
LomaPrietaLGP000	για d_{\max}	0.2054	0.1587	2.096	2.1661	2.893	0.733	0.725	0.862
LP741BRN000	για d_{\max}	0.1507	0.1164	1.538	1.3792	1.842	0.663	0.835	0.953
LP741BRN090	για d_{\max}	0.1175	0.0907	1.198	1.0370	1.385	0.466	0.865	1.356
LP753CLS000	για d_{\max}	0.1190	0.0919	1.214	0.9880	1.319	0.723	0.920	0.874
LP753CLS090	για d_{\max}	0.1765	0.1363	1.801	1.3052	1.743	0.791	1.033	0.799
MH451CYC285	για d_{\max}	0.2446	0.1889	2.496	1.6185	2.161	0.832	1.155	0.760
North1080KAT000	για d_{\max}	0.1881	0.1453	1.919	1.5548	2.076	0.678	0.924	0.932
North1080KAT090	για d_{\max}	0.1488	0.1149	1.519	1.2239	1.635	0.513	0.929	1.232
NorthridgeRRS228	για d_{\max}	0.4252	0.3284	4.338	1.9812	2.646	1.078	1.640	0.586
NorthridgeSYH360	για d_{\max}	0.1755	0.1355	1.791	1.3138	1.755	1.625	1.021	0.389
PS540WWT180	για d_{\max}	0.0809	0.0625	0.825	0.6030	0.805	0.533	1.025	1.186
PS540WWT270	για d_{\max}	0.0632	0.0488	0.644	0.4847	0.647	0.360	0.996	1.756
SH727BSUP045	για d_{\max}	0.0875	0.0676	0.893	0.8663	1.157	0.606	0.772	1.043
SH727BSUP135	για d_{\max}	0.1383	0.1068	1.412	1.0637	1.421	0.729	0.994	0.867
SM1641altde000	για d_{\max}	0.0524	0.0405	0.535	0.3851	0.514	0.411	1.040	1.538
WN590A-ALT000	για d_{\max}	0.0260	0.0201	0.265	0.2296	0.307	0.480	0.865	1.317

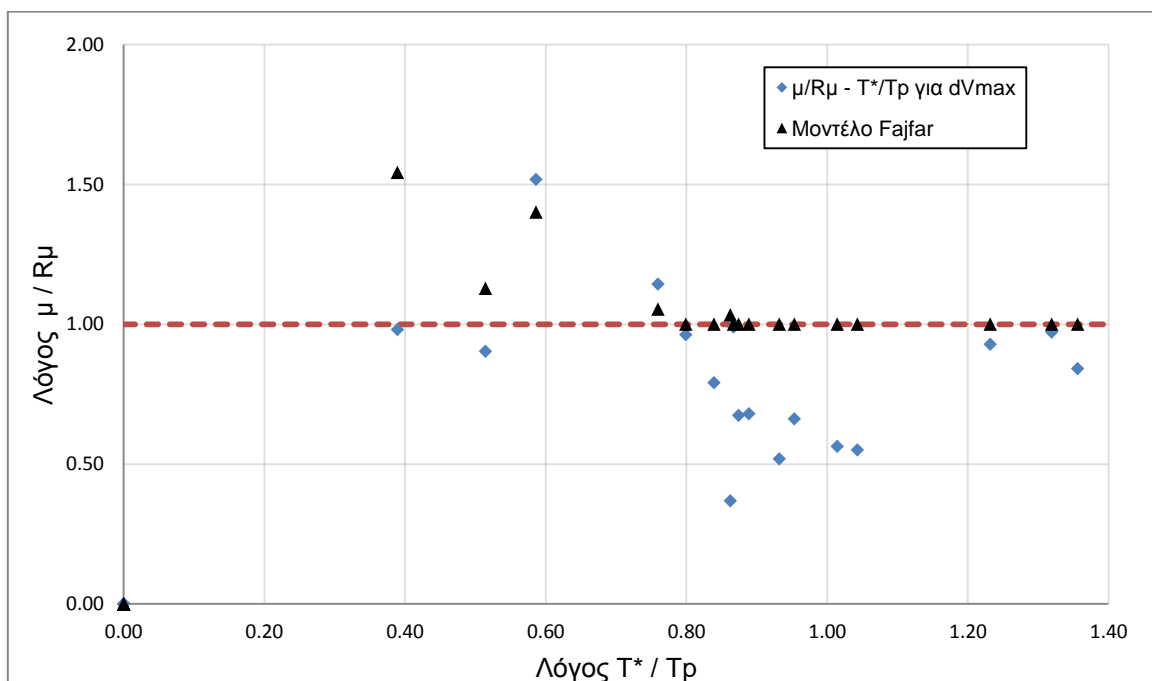
Πίνακας 6.2.12: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA _{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
ChiChiCHY028_090	για d _{Vmax}	0.1288	0.0995	1.314	1.7479	2.334	0.623	0.563	1.014
CM828PET000	για d _{Vmax}	0.1485	0.1147	1.516	1.4352	1.917	0.753	0.791	0.839
CM828PET090	για d _{Vmax}	0.1684	0.1301	1.719	1.8949	2.531	0.711	0.679	0.889
Kobe1119TAZ090	για d _{Vmax}	0.1602	0.1238	1.635	1.2595	1.682	0.479	0.972	1.319
KobeTAK090	για d _{Vmax}	0.1235	0.0954	1.261	1.0458	1.397	1.229	0.903	0.514
LomaPrietaLGP000	για d _{Vmax}	0.1044	0.0806	1.065	2.1661	2.893	0.733	0.368	0.862
LP741BRN000	για d _{Vmax}	0.1193	0.0921	1.217	1.3792	1.842	0.663	0.661	0.953
LP741BRN090	για d _{Vmax}	0.1142	0.0882	1.165	1.0370	1.385	0.466	0.841	1.356
LP753CLS000	για d _{Vmax}	0.0871	0.0673	0.889	0.9880	1.319	0.723	0.674	0.874
LP753CLS090	για d _{Vmax}	0.1645	0.1271	1.679	1.3052	1.743	0.791	0.963	0.799
MH451CYC285	για d _{Vmax}	0.2422	0.1870	2.471	1.6185	2.161	0.832	1.143	0.760
North1080KAT000	για d _{Vmax}	0.1055	0.0815	1.077	1.5548	2.076	0.678	0.519	0.932
North1080KAT090	για d _{Vmax}	0.1487	0.1149	1.518	1.2239	1.635	0.513	0.928	1.232
NorthridgeRRS228	για d _{Vmax}	0.3935	0.3039	4.015	1.9812	2.646	1.078	1.517	0.586
NorthridgeSYH360	για d _{Vmax}	0.1687	0.1303	1.722	1.3138	1.755	1.625	0.981	0.389
PS540WWT180	για d _{Vmax}	0.0548	0.0423	0.559	0.6030	0.805	0.533	0.694	1.186
PS540WWT270	για d _{Vmax}	0.0452	0.0349	0.462	0.4847	0.647	0.360	0.713	1.756
SH727BSUP045	για d _{Vmax}	0.0624	0.0482	0.637	0.8663	1.157	0.606	0.550	1.043
SH727BSUP135	για d _{Vmax}	0.1379	0.1065	1.407	1.0637	1.421	0.729	0.990	0.867
SM1641altde000	για d _{Vmax}	0.0371	0.0286	0.378	0.3851	0.514	0.411	0.736	1.538
WN590A-ALT000	για d _{Vmax}	0.0223	0.0172	0.227	0.2296	0.307	0.480	0.741	1.317

Σχήμα 6.2.26: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{max} Σχήμα 6.2.27: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{Vmax}

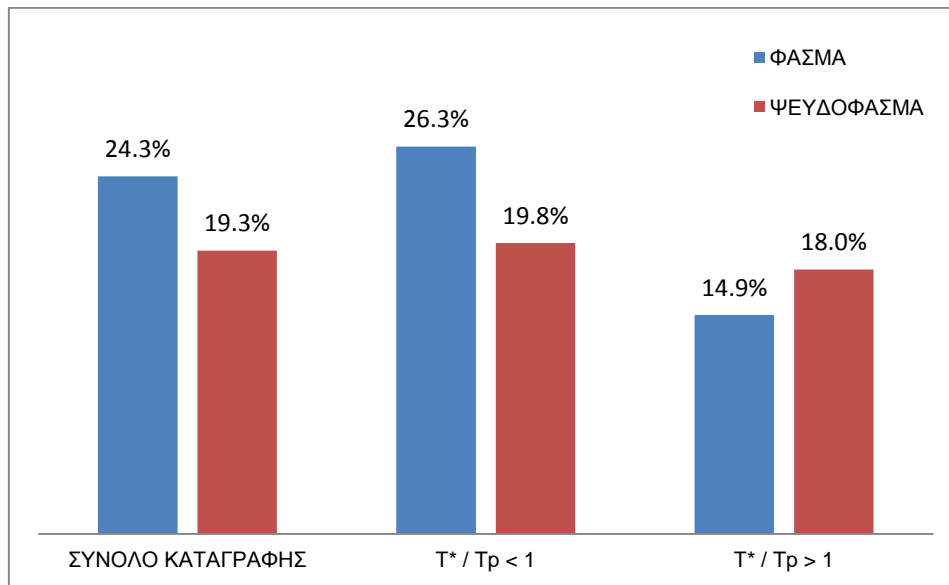


Σχήμα 6.2.28: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

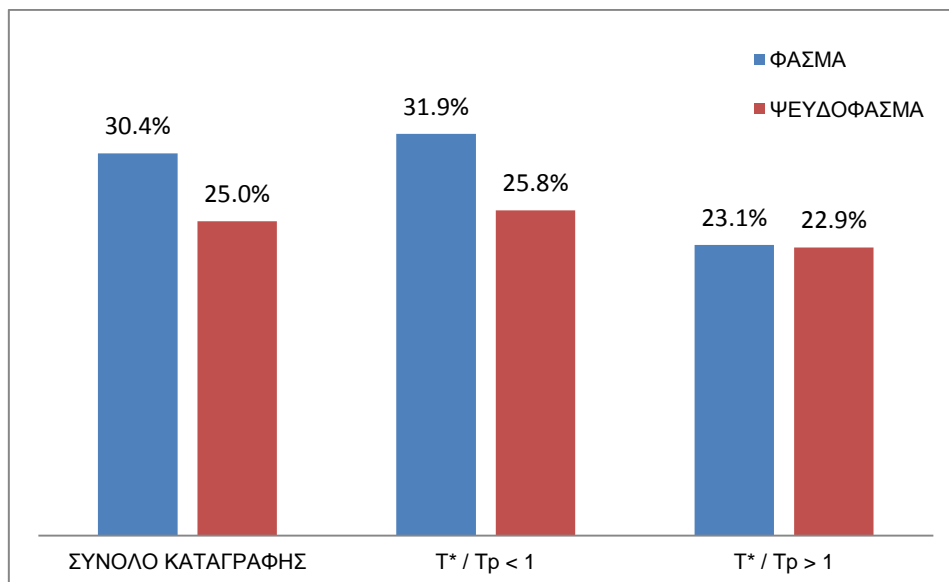


Σχήμα 6.2.29: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.2.30 και 6.2.31.



Σχήμα 6.2.30: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 6.2.31: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{Vmax}

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων d_{\max} εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία $d_{V\max}$. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το φυσικό νόημα της πλαστιμότητας είναι η μέγιστη μετακίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια του σεισμού και υπό αυτή την έννοια δεν έχει αξία η μελέτη της μετακίνησης μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Το μοντέλο του Fajfar δέχεται μεγάλες πλαστιμότητες - σε σχέση με το R_{μ} - για περιόδους προ της δεσπόζουσας περιόδου T_p ενώ στη συνέχεια θεωρεί ότι ο λόγος πλησιάζει τη μονάδα. Για τις περισσότερες καταγραφές με $T^* > T_p$ κάτι τέτοιο φαίνεται να επαληθεύεται, με την απόκλιση να λαμβάνει μικρές τιμές, αντιθέτως για τις περιπτώσεις $T^* < T_p$ οι αποκλίσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.

Τέλος διαπιστώνεται ότι με χρήση των ψευδοφασμάτων η συνολική απόκλιση είναι μικρότερη. Οι διαφορές των φασμάτων και ψευδοφασμάτων ταχύτητας είναι συνήθως μεγαλύτερες των διαφορών των επιταχύνσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου T_p χωρίς ταυτόχρονη μείωση του R_{μ} . Προκαλείται λοιπόν μια μετατόπιση των σημείων σε μεγαλύτερους λόγους T^*/T_p με παραπλήσιο όμως λόγο μ/R_{μ} , αυξάνοντας κατά συνέπεια την απόκλιση στη περιοχή $T^*/T_p > 1$ και μειώνοντάς τη στην περιοχή $T^*/T_p < 1$.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 6.2.9 διαπιστώνουμε ότι η πλαστιμότητα μ έχει σχετικά μικρές τιμές ενώ υπάρχουν καταγραφές στις οποίες $\mu < 1$ παρόλο που ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τα παραπάνω φαινόμενα πιθανολογείται ότι οφείλονται στο γεγονός πως η πλαστιμότητα υπολογίστηκε μέσω της αναγωγής της μετακίνησης κορυφής σε μετακίνηση ισοδύναμου μονοβάθμιου παρόλο που η τριγωνική κατανομή δεν είναι ρεαλιστική στην ανελαστική περιοχή. Δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις συγκεντρώνονται στους πρώτους ορόφους λόγω του μηχανισμού κατάρρευσης, αποφασίστηκε η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

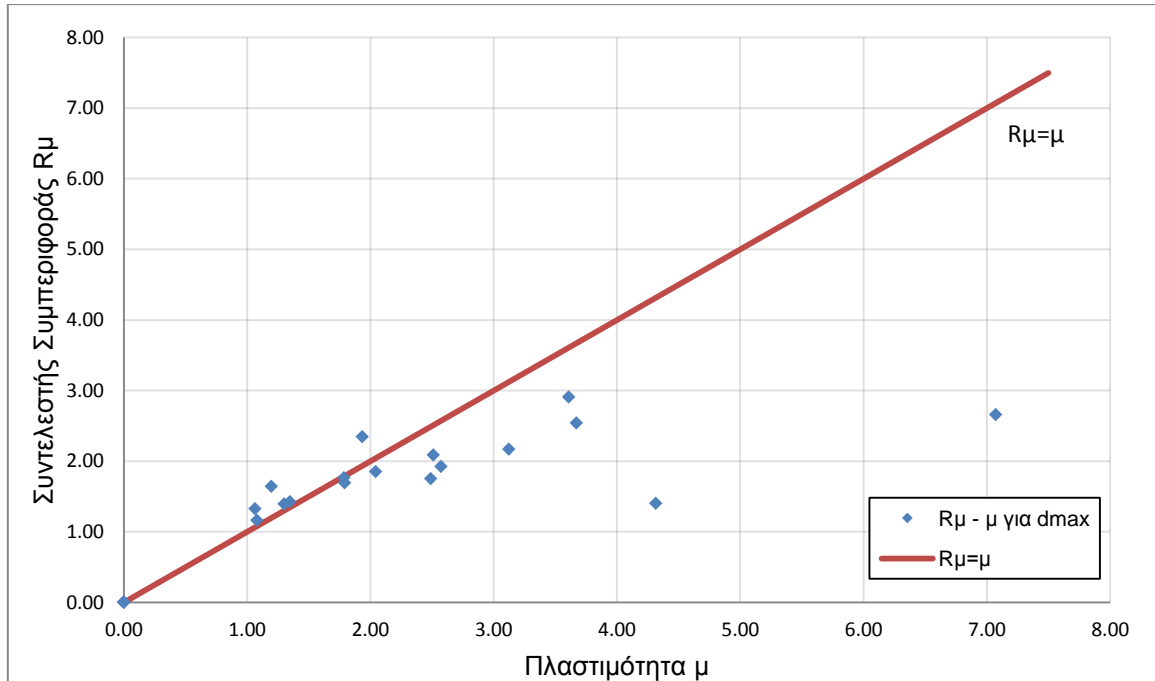
Πίνακας 6.2.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{max}								
ChiChiCHY028_090	για d_{max}	0.0631	0.0631	1.933	1.7573	2.347	1.935	0.824	0.327
CM828PET000	για d_{max}	0.0840	0.0840	2.572	1.4415	1.925	0.740	1.336	0.854
CM828PET090	για d_{max}	0.1199	0.1199	3.671	1.9038	2.543	0.756	1.444	0.836
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.0585	0.0585	1.791	1.2666	1.692	1.335	1.059	0.473
KobeTAK090	για d_{max}	0.1409	0.1409	4.314	1.0494	1.401	1.257	3.078	0.503
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1179	0.1179	3.609	2.1768	2.907	0.740	1.241	0.854
LP741BRN000	για d_{max}	0.0667	0.0667	2.043	1.3849	1.850	0.884	1.105	0.715
LP741BRN090	για d_{max}	0.0425	0.0425	1.301	1.0428	1.393	0.477	0.934	1.325
LP753CLS000	για d_{max}	0.0348	0.0348	1.064	0.9938	1.327	0.736	0.802	0.859
LP753CLS090	για d_{max}	0.0813	0.0813	2.488	1.3119	1.752	0.762	1.420	0.829
MH451CYC285	για d_{max}	0.1020	0.1020	3.123	1.6249	2.170	0.802	1.439	0.788
North1080KAT000	για d_{max}	0.0820	0.0820	2.510	1.5623	2.086	0.666	1.203	0.949
North1080KAT090	για d_{max}	0.0391	0.0391	1.196	1.2309	1.644	0.534	0.727	1.184
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.2310	0.2310	7.072	1.9899	2.657	1.035	2.661	0.611
NorthridgeSYH360	για d_{max}	0.0583	0.0583	1.784	1.3233	1.767	2.584	1.010	0.245
PS540WWT180	για d_{max}	0.0223	0.0223	0.683	0.6074	0.811	0.522	0.842	1.211
PS540WWT270	για d_{max}	0.0199	0.0199	0.610	0.4887	0.653	0.369	0.934	1.713
SH727BSUP045	για d_{max}	0.0353	0.0353	1.080	0.8704	1.162	0.627	0.930	1.008
SH727BSUP135	για d_{max}	0.0440	0.0440	1.346	1.0689	1.428	0.732	0.943	0.863
SM1641altde000	για d_{max}	0.0120	0.0120	0.368	0.3883	0.519	0.402	0.710	1.572
WN590A-ALT000	για d_{max}	0.0070	0.0070	0.215	0.2312	0.309	0.492	0.697	1.285

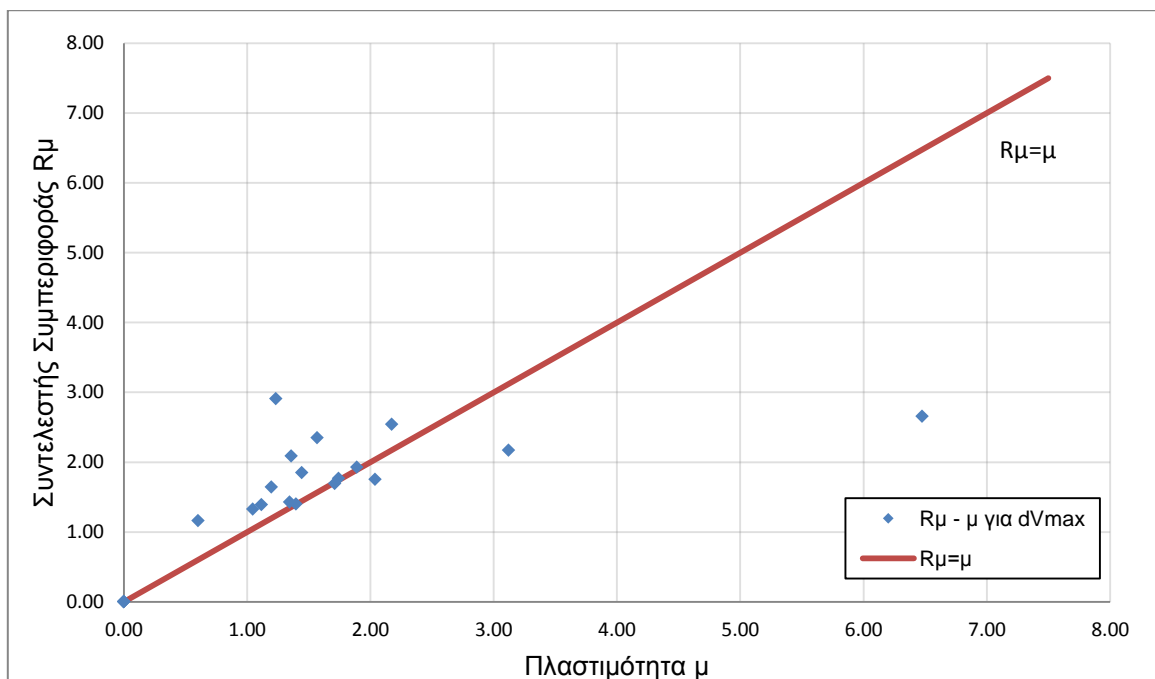
Πίνακας 6.2.14: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.0512	0.0512	1.568	1.7573	2.347	1.935	0.668	0.327
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.0617	0.0617	1.889	1.4415	1.925	0.740	0.981	0.854
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.0709	0.0709	2.172	1.9038	2.543	0.756	0.854	0.836
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0559	0.0559	1.711	1.2666	1.692	1.335	1.012	0.473
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0456	0.0456	1.396	1.0494	1.401	1.257	0.996	0.503
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.0402	0.0402	1.231	2.1768	2.907	0.740	0.424	0.854
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.0471	0.0471	1.443	1.3849	1.850	0.884	0.780	0.715
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0364	0.0364	1.114	1.0428	1.393	0.477	0.800	1.325
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0341	0.0341	1.045	0.9938	1.327	0.736	0.787	0.859
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0666	0.0666	2.038	1.3119	1.752	0.762	1.163	0.829
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.1020	0.1020	3.121	1.6249	2.170	0.802	1.438	0.788
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0443	0.0443	1.357	1.5623	2.086	0.666	0.650	0.949
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0391	0.0391	1.196	1.2309	1.644	0.534	0.727	1.184
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.2115	0.2115	6.475	1.9899	2.657	1.035	2.436	0.611
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.0569	0.0569	1.742	1.3233	1.767	2.584	0.986	0.245
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0183	0.0183	0.562	0.6074	0.811	0.522	0.692	1.211
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0199	0.0199	0.609	0.4887	0.653	0.369	0.933	1.713
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0196	0.0196	0.600	0.8704	1.162	0.627	0.516	1.008
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0439	0.0439	1.345	1.0689	1.428	0.732	0.942	0.863
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0114	0.0114	0.348	0.3883	0.519	0.402	0.672	1.572
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0070	0.0070	0.215	0.2312	0.309	0.492	0.697	1.285

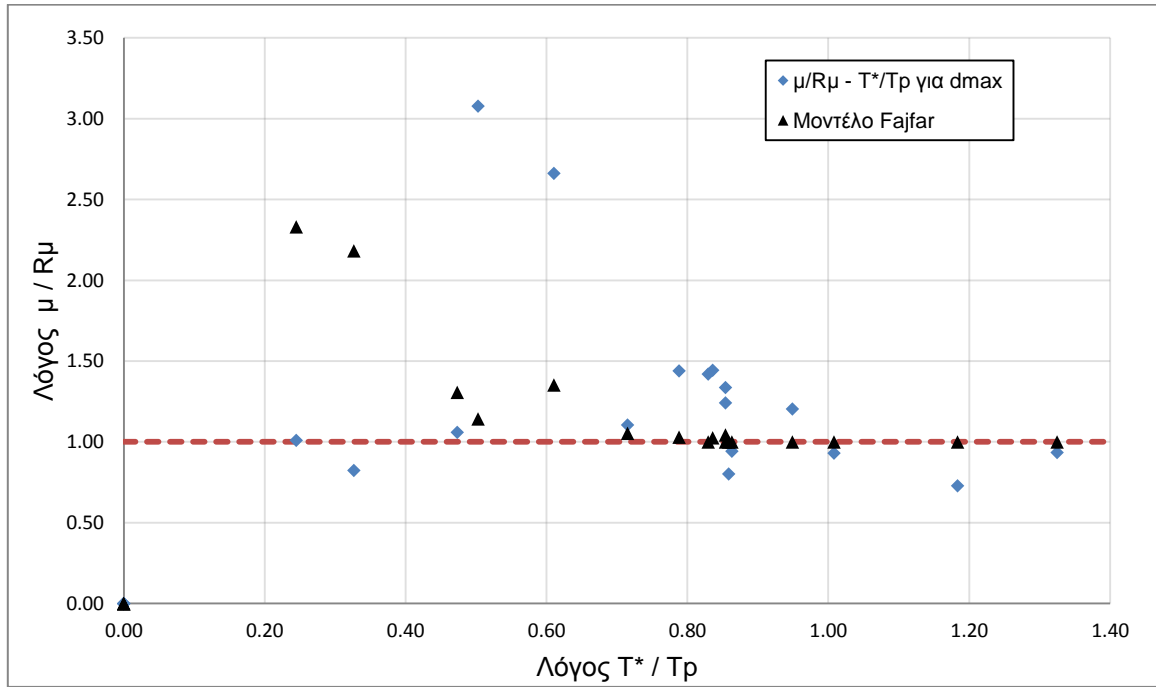
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 6.2.32 και 6.2.33) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 6.2.34 και 6.2.35).



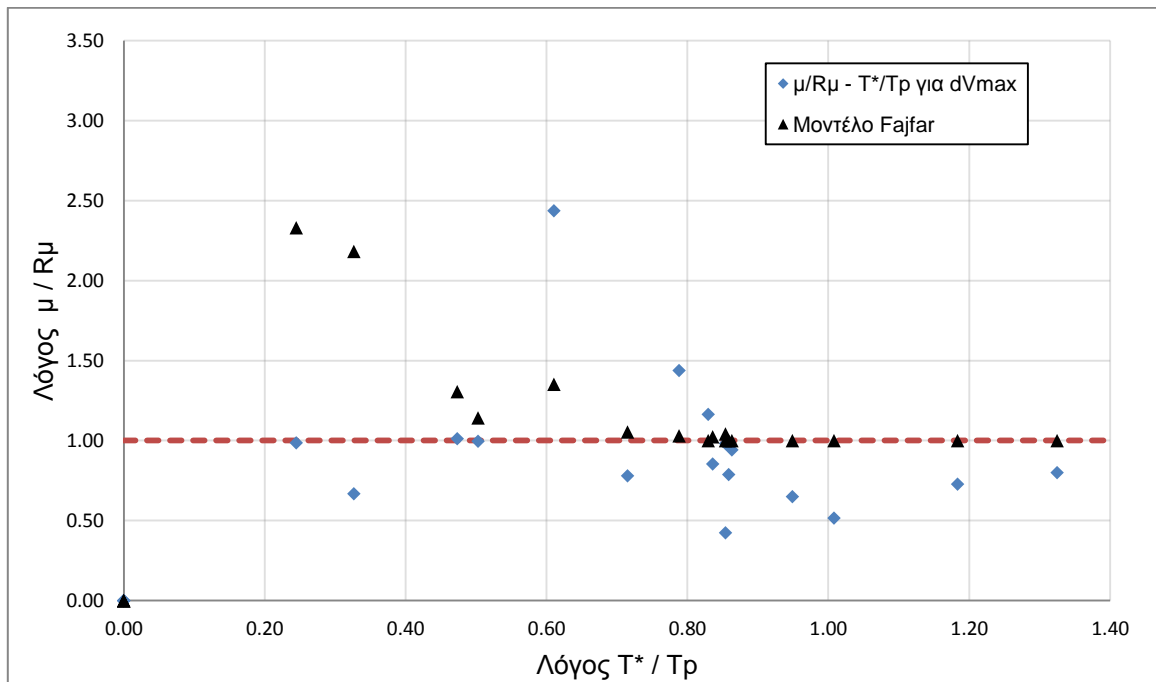
Σχήμα 6.2.32: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.2.33: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}



Σχήμα 6.2.34: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 6.2.35: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

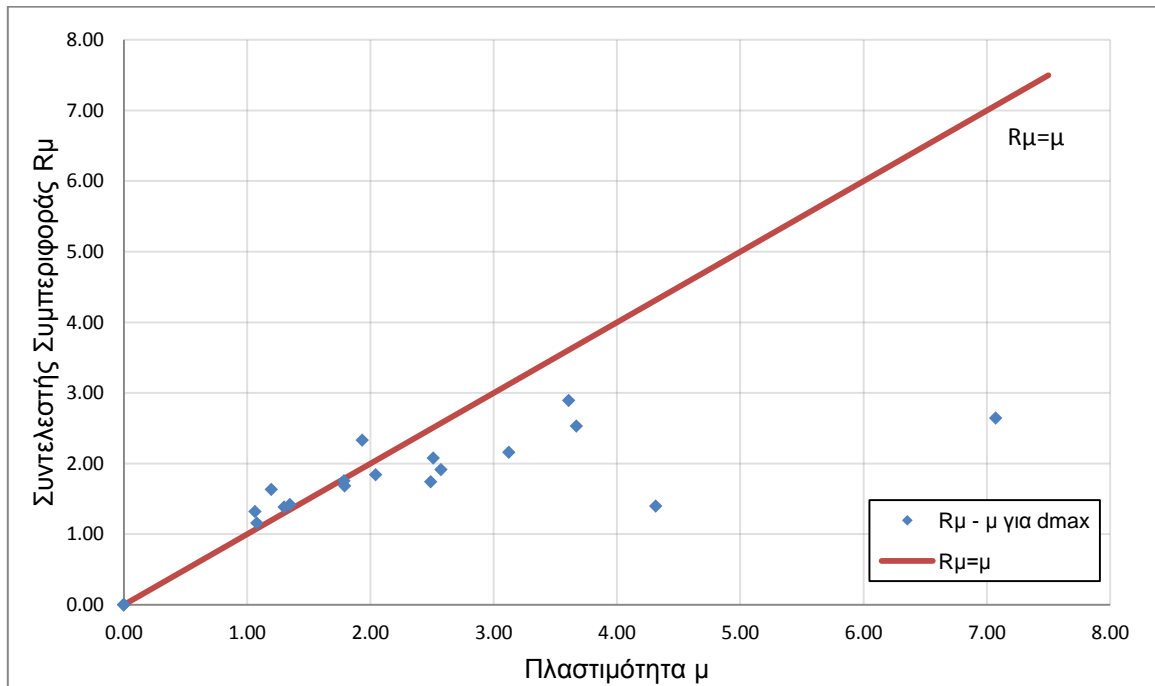
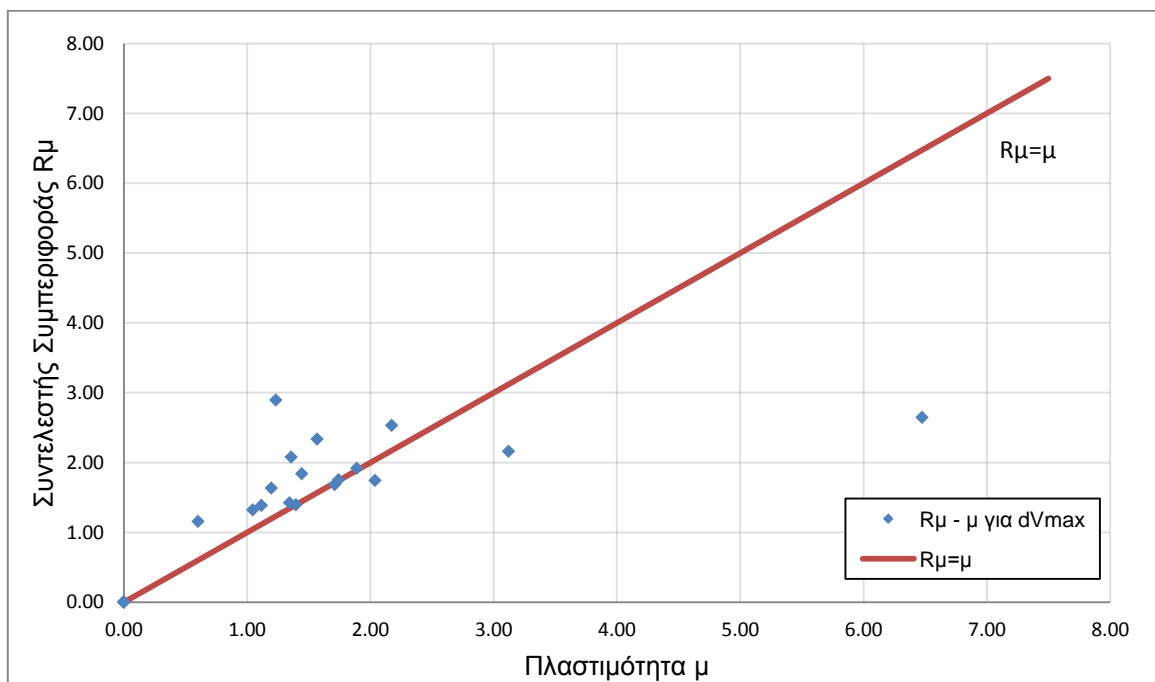
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 6.2.15 και 6.2.16 καθώς και τα Σχήματα 6.2.36 έως 6.2.39.

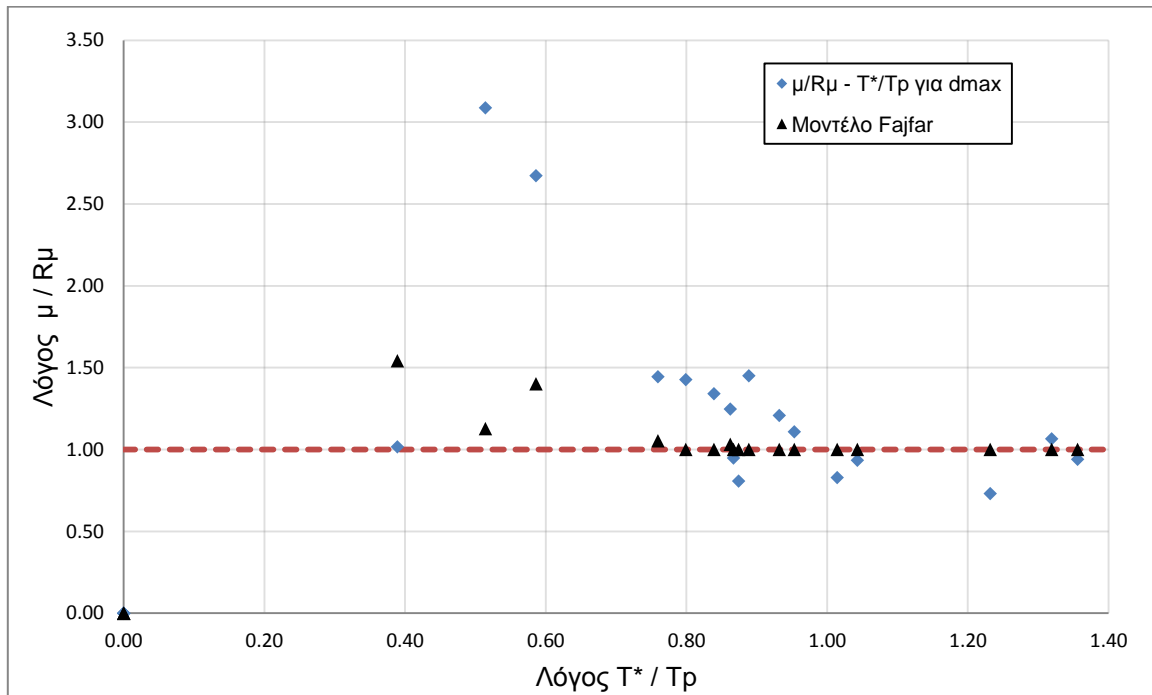
Πίνακας 6.2.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{\max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{10\text{ου ορόφου}}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$PSA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = PSA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
	για d_{\max}								
ChiChiCHY028_090	για d_{\max}	0.0631	0.0631	1.933	1.7479	2.334	0.623	0.828	1.014
CM828PET000	για d_{\max}	0.0840	0.0840	2.572	1.4352	1.917	0.753	1.342	0.839
CM828PET090	για d_{\max}	0.1199	0.1199	3.671	1.8949	2.531	0.711	1.451	0.889
Kobe1119TAZ090	για d_{\max}	0.0585	0.0585	1.791	1.2595	1.682	0.479	1.065	1.319
KobeTAK090	για d_{\max}	0.1409	0.1409	4.314	1.0458	1.397	1.229	3.089	0.514
LomaPrietaLGP000	για d_{\max}	0.1179	0.1179	3.609	2.1661	2.893	0.733	1.248	0.862
LP741BRN000	για d_{\max}	0.0667	0.0667	2.043	1.3792	1.842	0.663	1.109	0.953
LP741BRN090	για d_{\max}	0.0425	0.0425	1.301	1.0370	1.385	0.466	0.939	1.356
LP753CLS000	για d_{\max}	0.0348	0.0348	1.064	0.9880	1.319	0.723	0.806	0.874
LP753CLS090	για d_{\max}	0.0813	0.0813	2.488	1.3052	1.743	0.791	1.428	0.799
MH451CYC285	για d_{\max}	0.1020	0.1020	3.123	1.6185	2.161	0.832	1.445	0.760
North1080KAT000	για d_{\max}	0.0820	0.0820	2.510	1.5548	2.076	0.678	1.209	0.932
North1080KAT090	για d_{\max}	0.0391	0.0391	1.196	1.2239	1.635	0.513	0.731	1.232
NorthridgeRRS228	για d_{\max}	0.2310	0.2310	7.072	1.9812	2.646	1.078	2.673	0.586
NorthridgeSYH360	για d_{\max}	0.0583	0.0583	1.784	1.3138	1.755	1.625	1.017	0.389
PS540WWT180	για d_{\max}	0.0223	0.0223	0.683	0.6030	0.805	0.533	0.848	1.186
PS540WWT270	για d_{\max}	0.0199	0.0199	0.610	0.4847	0.647	0.360	0.942	1.756
SH727BSUP045	για d_{\max}	0.0353	0.0353	1.080	0.8663	1.157	0.606	0.934	1.043
SH727BSUP135	για d_{\max}	0.0440	0.0440	1.346	1.0637	1.421	0.729	0.947	0.867
SM1641altde000	για d_{\max}	0.0120	0.0120	0.368	0.3851	0.514	0.411	0.716	1.538
WN590A-ALT000	για d_{\max}	0.0070	0.0070	0.215	0.2296	0.307	0.480	0.702	1.317

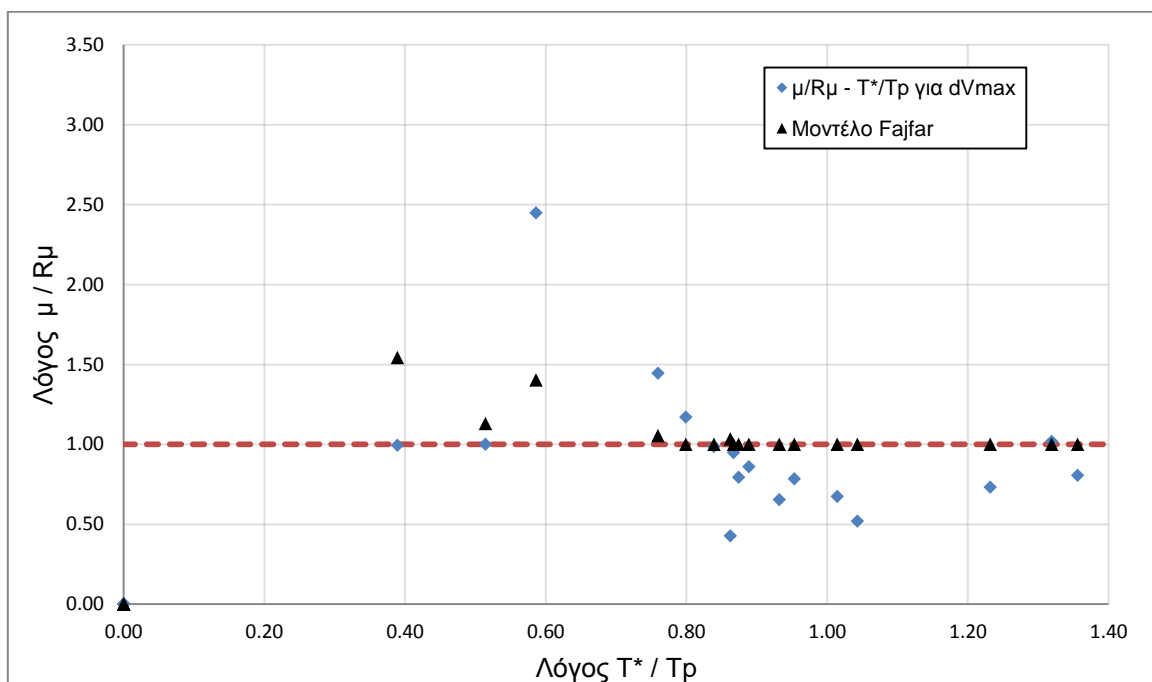
Πίνακας 6.2.16: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{10\text{ου ορόφου}}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA _{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / Say$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
	για d_{Vmax}								
ChiChiCHY028_090	για d_{Vmax}	0.0512	0.0512	1.568	1.7479	2.334	0.623	0.672	1.014
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.0617	0.0617	1.889	1.4352	1.917	0.753	0.986	0.839
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.0709	0.0709	2.172	1.8949	2.531	0.711	0.858	0.889
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0559	0.0559	1.711	1.2595	1.682	0.479	1.017	1.319
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0456	0.0456	1.396	1.0458	1.397	1.229	1.000	0.514
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.0402	0.0402	1.231	2.1661	2.893	0.733	0.426	0.862
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.0471	0.0471	1.443	1.3792	1.842	0.663	0.783	0.953
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0364	0.0364	1.114	1.0370	1.385	0.466	0.805	1.356
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0341	0.0341	1.045	0.9880	1.319	0.723	0.792	0.874
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0666	0.0666	2.038	1.3052	1.743	0.791	1.169	0.799
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.1020	0.1020	3.121	1.6185	2.161	0.832	1.444	0.760
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0443	0.0443	1.357	1.5548	2.076	0.678	0.653	0.932
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0391	0.0391	1.196	1.2239	1.635	0.513	0.731	1.232
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.2115	0.2115	6.475	1.9812	2.646	1.078	2.447	0.586
NorthridgeSYH360	για d_{Vmax}	0.0569	0.0569	1.742	1.3138	1.755	1.625	0.993	0.389
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0183	0.0183	0.562	0.6030	0.805	0.533	0.697	1.186
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0199	0.0199	0.609	0.4847	0.647	0.360	0.941	1.756
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0196	0.0196	0.600	0.8663	1.157	0.606	0.519	1.043
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0439	0.0439	1.345	1.0637	1.421	0.729	0.947	0.867
SM1641altde000	για d_{Vmax}	0.0114	0.0114	0.348	0.3851	0.514	0.411	0.677	1.538
WN590A-ALT000	για d_{Vmax}	0.0070	0.0070	0.215	0.2296	0.307	0.480	0.702	1.317

Σχήμα 6.2.36: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{max} Σχήμα 6.2.37: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{Vmax}

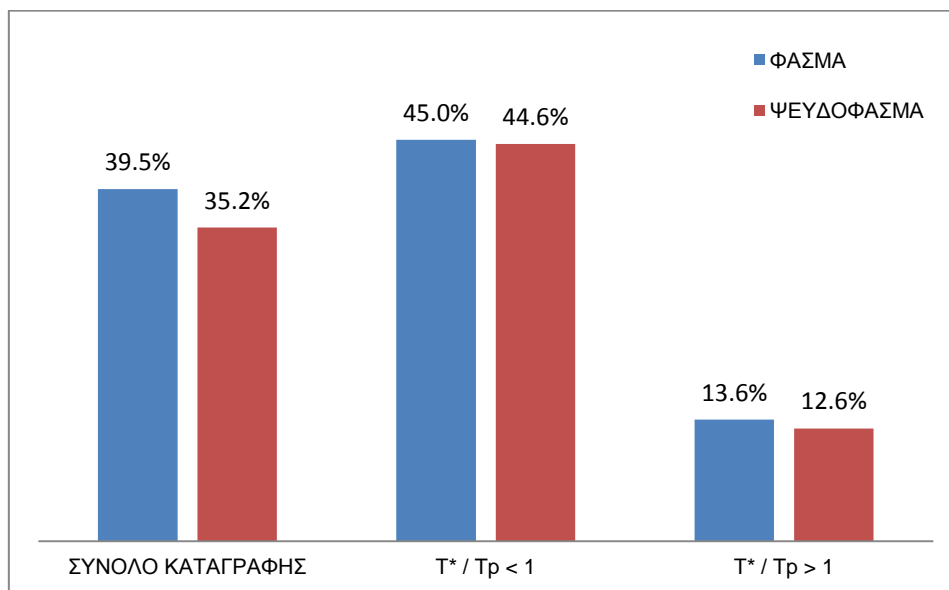


Σχήμα 6.2.38: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

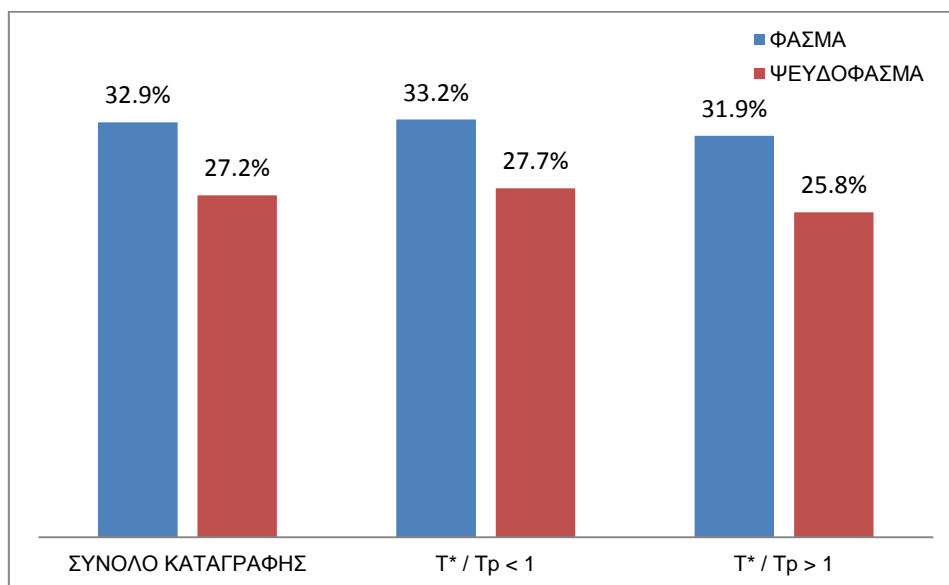


Σχήμα 6.2.39: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_μ από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.2.40 και 6.2.41.



Σχήμα 6.2.40: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 6.2.41: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{vmax}

Στα Σχήματα 6.2.40 και 6.2.41 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει κατά κανόνα μεγαλύτερες αποκλίσεις από την θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{vmax} . Επιπλέον η χρήση των ψευδοφασμάτων οδηγεί σε ελαφρώς μικρότερες αποκλίσεις, κάτι που ισχύει ακόμα και για την ζώνη $T^* > T_r$ ανατρέποντας επομένως όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η αντικατάσταση της διαδικασίας που στηρίζεται στην μετακίνηση κορυφής από αυτήν που χρησιμοποιεί τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν ζεύγη με $\mu < 1$ και $R\mu > 1$ παρά την αύξηση της τιμής της πλαστιμότητας ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή αυξάνονται.

6.3. ΕΞΑΩΡΟΦΟ

Η κατασκευή διαθέτει 18 ιδιομορφές των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 6.3.1.

Πίνακας 6.3.7: Ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]
1	1.3020
2	1.2946
3	1.0031
4	0.4085
5	0.4046
6	0.3275
7	0.2186
8	0.2155
9	0.1853
10	0.1372
11	0.1346
12	0.1200
13	0.0945
14	0.0923
15	0.0840
16	0.0722
17	0.0704
18	0.0653

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5, 7-8, 10-11, 13-14 και 16-17.

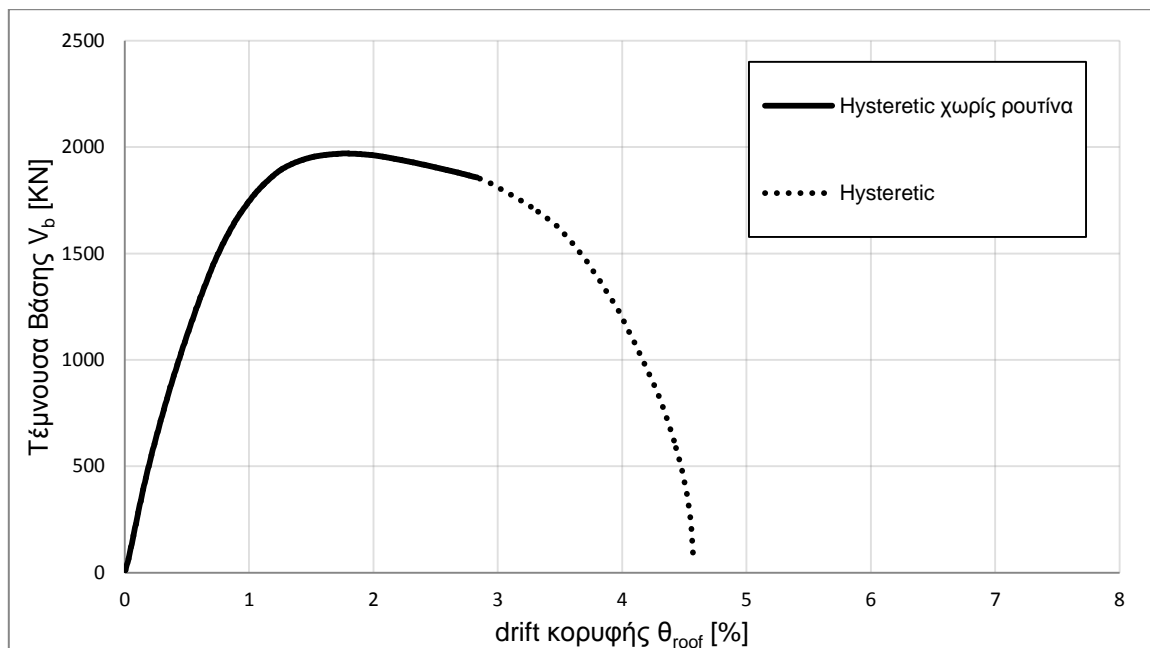
Για σεισμό κατά τη διεύθυνση X η ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι η 2^η και η επόμενη είναι η 5^η. Στη συνέχεια αυτές θα αναφέρονται ως 1^η και 2^η ιδιομορφή.

6.3.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ

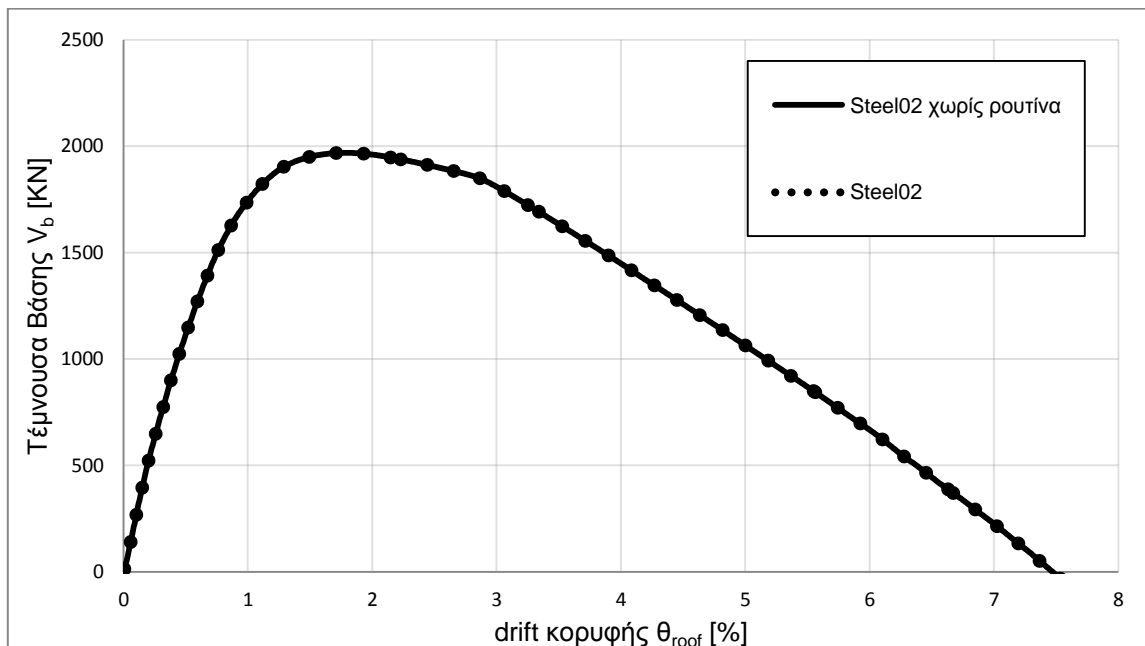
Στα πλαίσια της αναζήτησης του ιδανικότερου προσομοιώματος χάλυβα (αναλυτικότερη περιγραφή στο κεφάλαιο 3.2.2.2) σχεδιάστηκαν οι καμπύλες pushover για τα παρακάτω μοντέλα:

- **Hysteretic** (Σχήμα 6.3.1)
- **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 6.3.2)

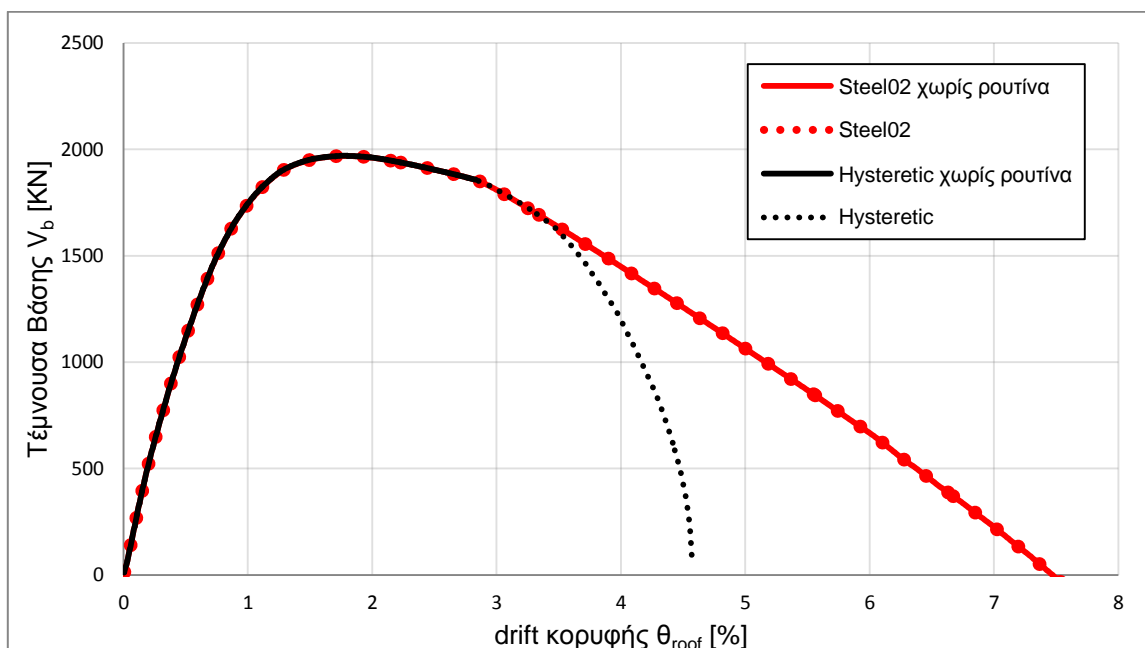
Οι αναλύσεις pushover πραγματοποιήθηκαν με και χωρίς τη χρήση της ρουτίνας σύγκλισης που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.



Σχήμα 6.3.1: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic



Σχήμα 6.3.2: Καμπύλες pushover για χάλυβα Steel02



Σχήμα 6.3.3: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02

Οι δύο καμπύλες pushover διαθέτουν αυξανόμενο και στη συνέχεια πτωτικό κλάδο και ως εκ τούτου προσεγγίζουν ικανοποιητικά τη θεωρητική μορφή της καμπύλης. Στο μεγαλύτερό τους τμήμα συμπίπτουν, ενώ οι διαφορές εμφανίζονται όταν ο πτωτικός κλάδος του Hysteretic αρχίζει να αποκτά μεγάλη κλίση. Το μοντέλο Steel02 φθίνει έχοντας σταθερή κλίση γεγονός που πιθανότατα να οφείλεται στην αδυναμία του μοντέλου να αποτυπώσει την πτώση των αντοχών του χάλυβα μετά το σημείο μέγιστης αντοχής f_u , μέχρι το οποίο άλλωστε συμπίπτει με το μοντέλο Hysteretic. Η χρήση του

μοντέλου Hysteretic στις υπόλοιπες κατασκευές καθιστά υποχρεωτική την υιοθέτησή του και στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Τέλος είναι προφανές ότι η ολοκληρωμένη μορφή της καμπύλης (για μοντέλο Hysteretic) οφείλεται στη ρουτίνα σύγκλισης και πως η χρήση της είναι αναγκαία για τις επόμενες αναλύσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατασκευή οδηγείται σε μικρά drift και για τα δύο μοντέλα.

6.3.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ

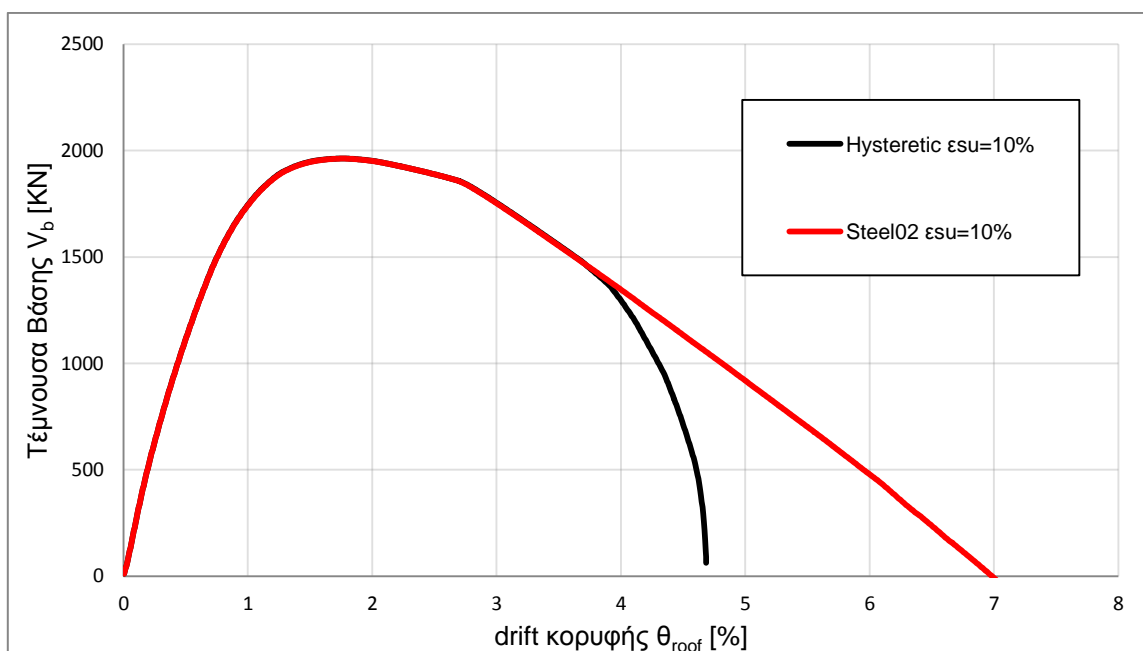
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.2.2.2 η επιμήκυνση ϵ_u του χάλυβα στο μέγιστο φορτίο έχει ληφθεί ίση με την χαρακτηριστική και έχει τιμή

$$\epsilon_u = 7.5\%$$

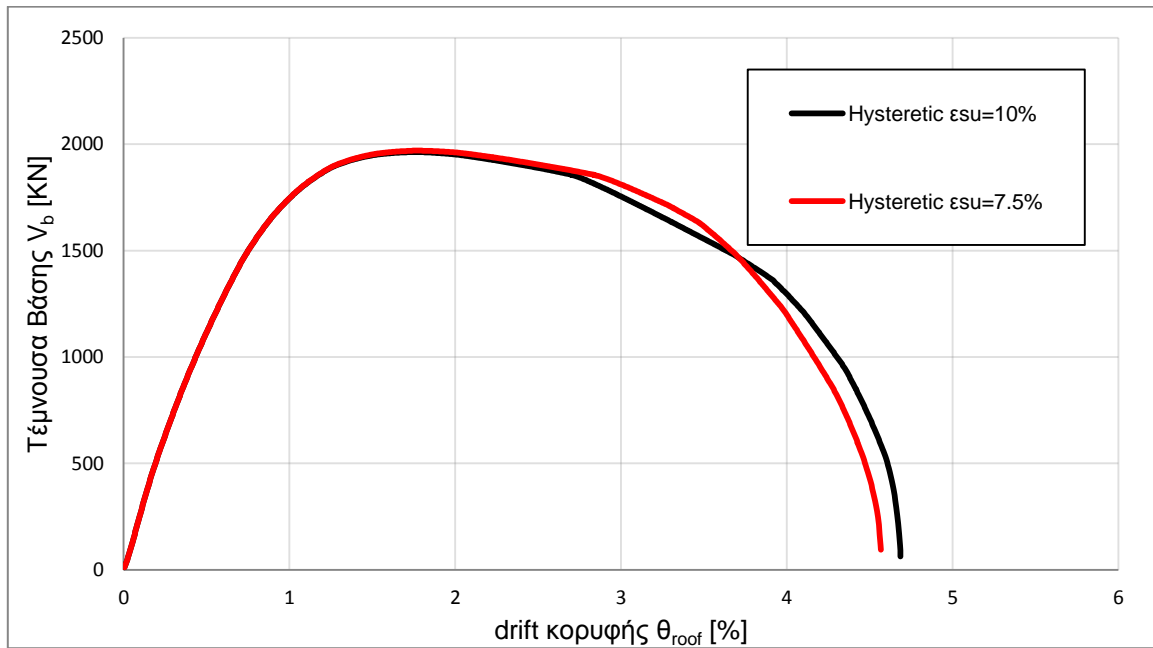
Για να εξετάσουμε την επίδραση του χάλυβα στις αντοχές της κατασκευής δοκιμάζουμε παραμόρφωση με τιμή 20-30% μεγαλύτερη της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για λόγους απλότητας θεωρούμε αντοχή μεγαλύτερη κατά 33% δηλαδή:

$$\epsilon_u = 10.0\%$$

Στο Σχήμα 6.3.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες pushover για μοντέλο χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$ ενώ στο Σχήμα 6.3.5 γίνεται σύγκριση του χάλυβα Hysteretic για τις δύο τιμές παραμόρφωσης ϵ_u .



Σχήμα 6.3.4: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10.0\%$



Σχήμα 6.3.5: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic με $\epsilon_u = 7.5\%$ και 10.0%

Οι δύο καμπύλες αρχίζουν να διαφοροποιούνται μόλις μπουν στον ελαφρώς πτωτικό κλάδο ωστόσο οι ουσιαστικές διαφορές εμφανίζονται όταν η καμπύλη για $\epsilon_u = 7.5\%$ περάσει στον απότομο πτωτικό κλάδο. Επίσης το γεγονός ότι στον ελαφρώς πτωτικό κλάδο-πλατό η καμπύλη 7.5% δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές από αυτήν για 10% φαίνεται να επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση δεδομένης της μεγαλύτερης κλίσης του κρατυνόμενου κλάδου.

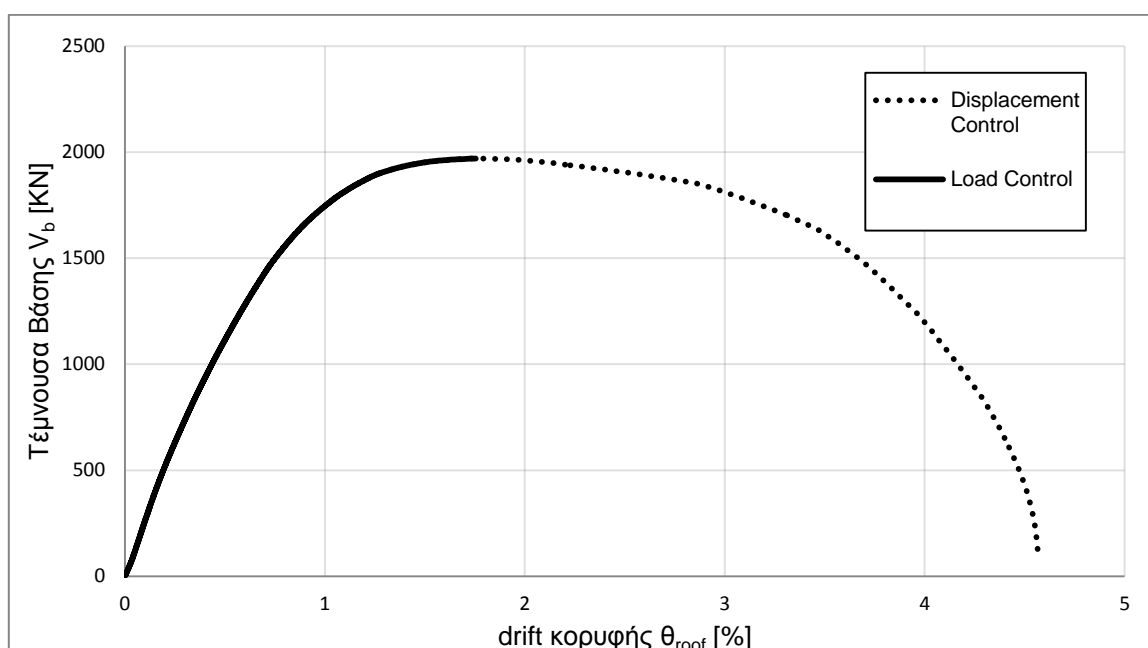
Η μετακίνηση και η τιμή μέγιστης τέμνουσας είναι ίδιες και για τις δύο καμπύλες, επομένως η pushover δεν επηρεάζεται από την επιλογή της επιμήκυνσης ϵ_u .

6.3.3. LOADCONTROL PUSHOVER

Η ανάλυση pushover εξ' αρχής πραγματοποιήθηκε με δεδομένο ότι σε κάθε βήμα θα καταγράφεται συγκεκριμένη μετακίνηση κορυφής, ούτως ώστε να αποτυπωθεί ο πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η μορφή αυτή πράγματι καταγράφεται, επομένως η επιλογή που έγινε φαίνεται σε πρώτο βαθμό να είναι επιτυχημένη. Για να επιβεβαιωθεί όμως ότι δεν εμφανίζονται τυχόν αριθμητικά προβλήματα, πραγματοποιείται ανάλυση με σταθερά αυξανόμενα φορτία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι:

integrator LoadControl

Στο Σχήμα 6.3.6 δίνονται οι καμπύλες pushover για τα δύο είδη αναλύσεων.



Σχήμα 6.3.6: Καμπύλες pushover για σταθερό βήμα μετακίνησης και φορτίου

Όπως είχε προβλεφθεί, η Load Control ανάλυση δεν αποτυπώνει τη πτώση των αντοχών καθώς σταματάει στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας. Το βασικότερο όμως είναι ότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται για όσο συνυπάρχουν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάλυση με έλεγχο μετατοπίσεων είναι επιτυχημένη.

6.3.4. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ

Προκειμένου να κατασκευαστεί το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου πρέπει, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1, να υπολογιστούν:

- η μάζα m^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος [ton]
- ο συντελεστής συμμετοχής Γ
- το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής

Χρησιμοποιώντας την κατανομή των φορτίων με την οποία πραγματοποιήθηκε η pushover, δηλαδή την τριγωνική, προκύπτουν οι εξής συντελεστές:

Πίνακας 6.3.8: Συντελεστές Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

m^*	459.12
Γ	1.392
α	0.807

Στη συνέχεια εντοπίζεται η μετακίνηση για την οποία θεωρείται ότι έχει σχηματιστεί μηχανισμός και πέραν αυτής η καμπύλη αντίστασης παύει να περιγράφει σωστά τη κατασκευή. Λόγω της μορφής της καμπύλης η μετακίνηση αυτή δεν είναι προφανής. Μια πρώτη εκτίμηση θα ήταν η θέση μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο με αυτή την επιλογή παραλείπεται ένα μικρό τμήμα για το οποίο η κατασκευή συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία χωρίς ιδιαίτερη πτώση αντοχών. Αναζητείται λοιπόν μια τιμή στην οποία έχει αρχίσει να εμφανίζεται ο πτωτικός κλάδος χωρίς όμως αυτός να είναι μεγάλος.

Οι τιμές στις οποίες καταλήξαμε είναι οι:

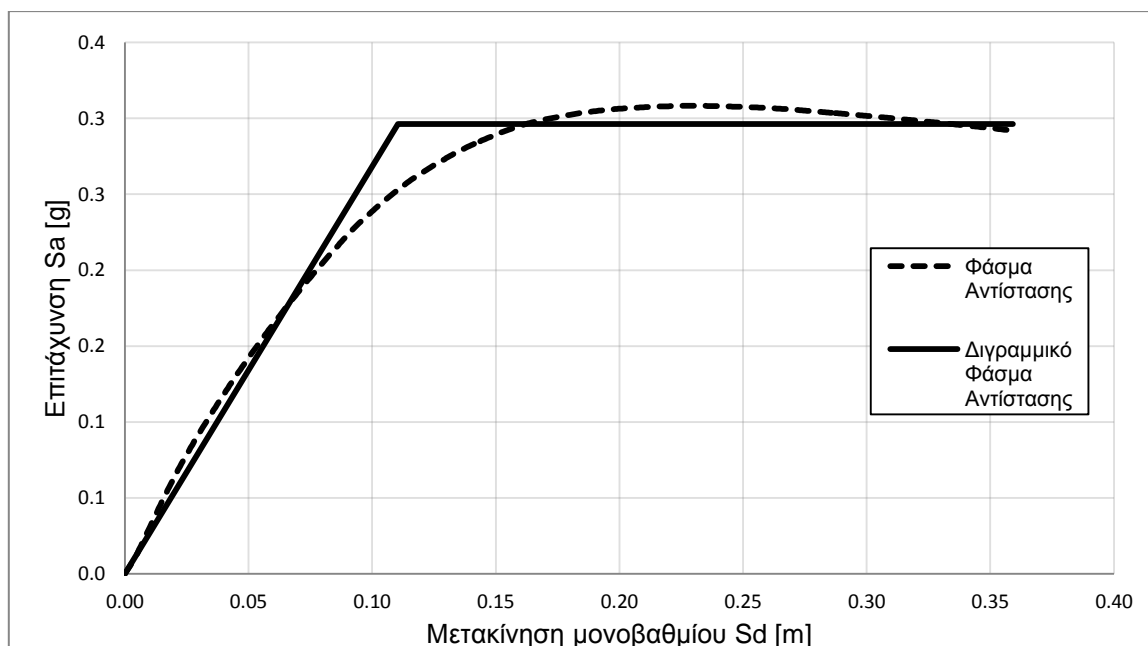
- $d_{max} = 0.40 \text{ m (drift 2.2\%)}$
- $d_{max} = 0.50 \text{ m (drift 2.8\%)}$
- $d_{max} = 0.60 \text{ m (drift 3.3\%)}$

Πίνακας 6.3.9: Στοιχεία διγραμμικού φάσματος αντίστασης

	dmax		
	0.40	0.50	0.60
T* [sec]	1.213	1.213	1.211
Say [g]	0.295	0.296	0.293
Sdy [m]	0.110	0.110	0.109
Sdu [m]	0.287	0.359	0.427

Οι διαφορές στις τιμές της ιδιοπεριόδου T^* , της επιτάχυνσης διαρροής S_{ay} και της μετακίνησης διαρροής S_{dy} του διγραμμικού φάσματος αντίστασης είναι αμελητέες (διαφορά του 3^{ου} δεκαδικού) με αποτέλεσμα οι τρεις λύσεις να είναι ισοδύναμες. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή $d_{max} = 0.50$ m (drift 2.8%) ως (πλασματική) μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου και το αντίστοιχο διγραμμικό δίνονται στο Σχήμα 6.3.7:



Σχήμα 6.3.7: Φάσμα Αντίστασης Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

6.3.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER

Από το ισοδύναμο μονοβάθμιο και τη θεωρητική (τριγωνική) κατανομή των φορτίων προκύπτει μετακίνηση του ορόφου i ίση με:

$$d_i = S_d \cdot \Gamma \cdot \varphi_i = \frac{d_{top} \cdot \varphi_i}{\varphi_{top}}$$

Θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικές τις κατανομές στη μετακίνηση μέγιστης αντοχής d_{Vmax} και στη μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης d_{max} που υπολογίστηκε προηγουμένως, κατασκευάζονται οι παρακάτω πίνακες.

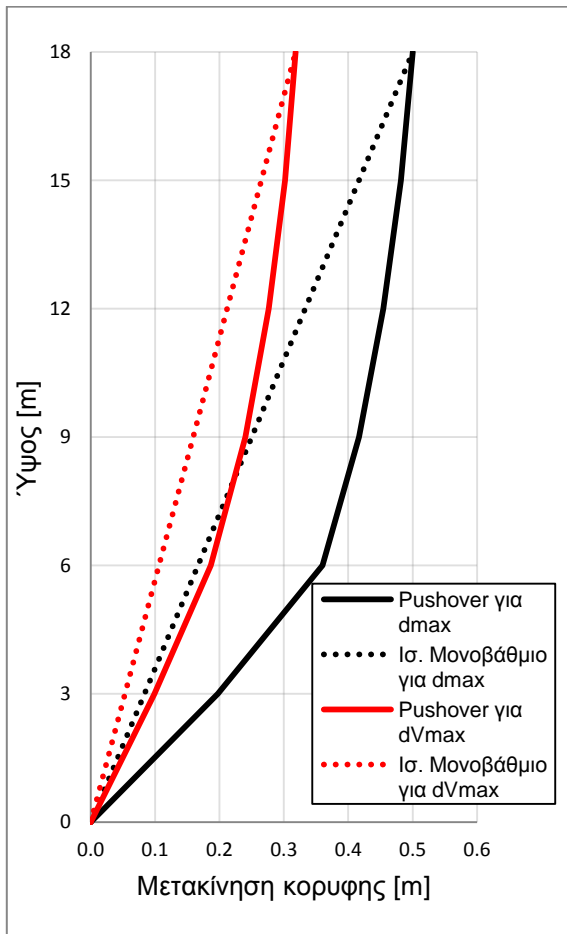
Πίνακας 6.3.10: Κατανομή μετακινήσεων για d_{max}

	d_{max} 0.500		
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	Διαφορά (%)
Όροφος 1	0.197	0.083	136.59
Όροφος 2	0.360	0.167	116.13
Όροφος 3	0.417	0.250	66.73
Όροφος 4	0.455	0.333	36.40
Όροφος 5	0.482	0.417	15.57
Όροφος 6	0.500	0.500	0.00

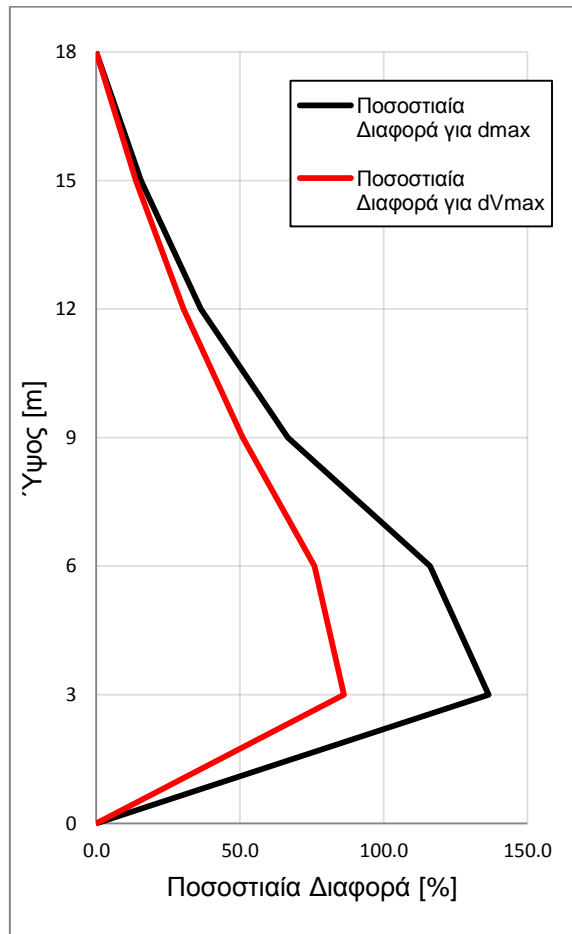
Πίνακας 6.3.11: Κατανομή μετακινήσεων για d_{Vmax}

	d_{Vmax} 0.318		
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	Διαφορά (%)
Όροφος 1	0.099	0.053	86.16
Όροφος 2	0.186	0.106	75.94
Όροφος 3	0.240	0.159	51.01
Όροφος 4	0.276	0.212	30.37
Όροφος 5	0.302	0.265	13.80
Όροφος 6	0.318	0.318	0.00

Τα Σχήματα 6.3.8 και 6.3.9 αποτυπώνουν τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις σε σύγκριση με τις ιδεατές της τριγωνικής κατανομής καθώς και τις ποσοστιαίες διαφορές τους.



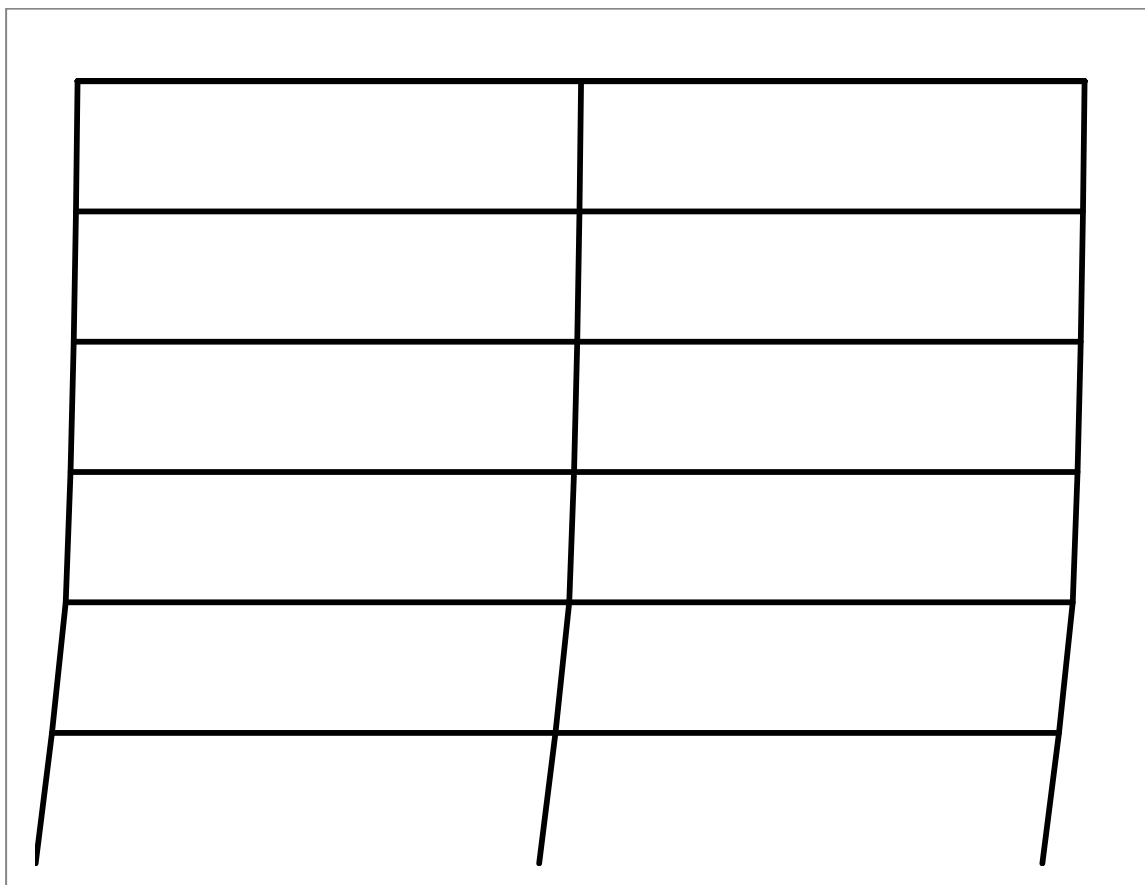
Σχήμα 6.3.8: Κατανομή μετακινήσεων



Σχήμα 6.3.9: Κατανομή Ποσοστιαίων Διαφορών

Είναι προφανές πως για μετακίνηση κορυφής d_{Vmax} η κατανομή των μετακινήσεων προσεγγίζει την ιδεατή περισσότερο απ' ό,τι για μετακίνηση d_{max} . Αυτό είναι λογικό καθώς η γραμμική κατανομή ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ελαστικό τμήμα των παραμορφώσεων, στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα αστοχίες μελών. Η θέση μέγιστης αντοχής, παρόλο που βρίσκεται βαθιά μέσα στο ανελαστικό τμήμα απόκρισης, δεν εμφανίζει τόσες βλάβες όπως στη θέση d_{max} και ο μηχανισμός κατάρρευσης δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί με αποτέλεσμα η κατανομή των μετακινήσεων να είναι πλησιέστερα στη θεωρητική.

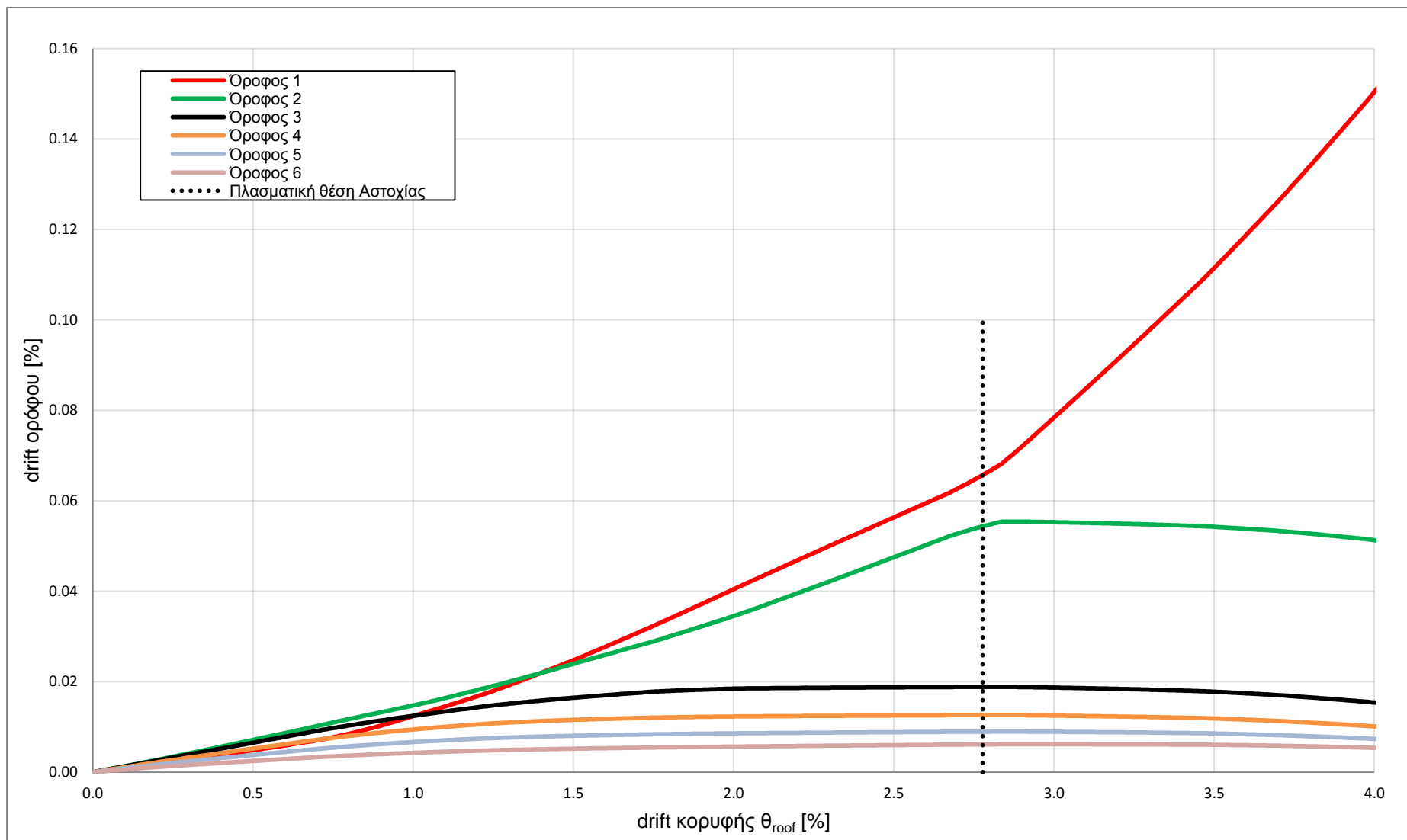
Στο Σχήμα 6.3.10 παρουσιάζεται ο φορέας στην παραμορφωμένη κατάσταση για μετακίνηση κορυφής d_{max} .



Σχήμα 6.3.30: Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα για μετακίνηση κορυφής d_{max}

Είναι φανερό πως οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων μειώνονται καθ' ύψος πλησιάζοντας έτσι την παραβολική κατανομή που δίνουν οι αμιγώς πλαισιωτοί φορείς.

Καταγράφοντας την εξέλιξη του drift κάθε ορόφου (Σχήμα 5.3.11) μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι όροφοι 1 και 2 εμφανίζουν κοινά drift για μεγάλο διάστημα με αποτέλεσμα οι παραμορφώσεις να συγκεντρώνονται στο τέλος του 2^{ου} ορόφου. Ωστόσο, λίγο πριν τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας το drift του 2^{ου} σταματάει να αυξάνεται σε αντίθεση με του 1^{ου}, γεγονός που μαρτυρά ότι η κατάρρευση επέρχεται λόγω **μηχανισμού ορόφου στον 1^ο όροφο.**



Σχήμα 6.3.11: drift ορόφων συναρτήσει του ολικού drift

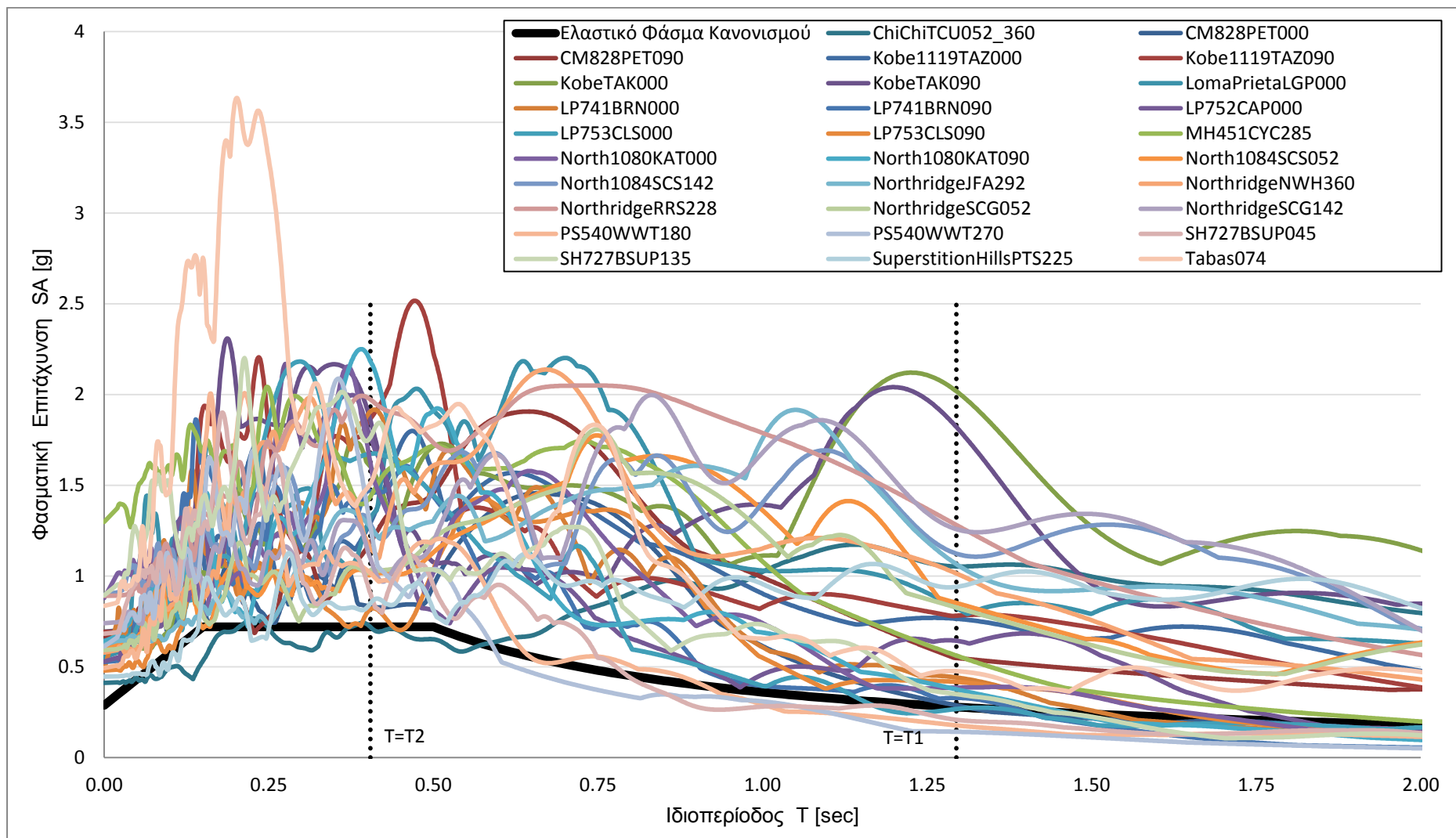
6.3.6. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής (πρόκειται για τις ίδιες με την χωρίς Ρ-Δ ανάλυση) δίνονται στον Πίνακα 6.3.6 ενώ περισσότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 6.3.12: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Καταγραφή
1	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET000
2	Cape Mendocino	25/04/92	Petrolia	CM828PET090
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_360
4	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ000
5	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090
6	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK000
7	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090
8	Loma Prieta	18/10/89	Los Gatos Presentation Center	LomaPrietaLGP000
9	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN000
10	Loma Prieta	18/10/89	BRAN	LP741BRN090
11	Loma Prieta	18/10/89	Capitola	LP752CAP000
12	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS000
13	Loma Prieta	18/10/89	Corralitos	LP753CLS090
14	Morgan Hill	24/04/84	Coyote Lake Dam (SW Abut)	MH451CYC285
15	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT180
16	N. Palm Springs	08/07/86	Whitewater Trout Farm	PS540WWT270
17	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT000
18	Northridge	17/01/94	Simi Valley-Katherine Rd	North1080KAT090
19	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS052
20	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS142
21	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA292
22	Northridge	17/01/94	Newhall-Fire Station	NorthridgeNWH360
23	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228
24	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG052
25	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG142
26	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP045
27	Superstition Hills	24/11/87	Superstition Mtn Camera	SH727BSUP135
28	Superstition Hills	24/11/87	Parachute Test Site	SuperstitionHillsPTS225
29	Tabas	16/09/78	Tabas	Tabas074

Στο Σχήμα 6.3.12 έχουν σχεδιαστεί τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των καταγραφών και το φάσμα σχεδιασμού. Η καταλληλότητα των επιλεγμένων σεισμών φαίνεται από το πλήθος των φασμάτων που για τις τιμές των ιδιοπεριόδων T_1 και T_2 υπερβαίνουν τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.



Σχήμα 6.3.12: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων για απόσβεση $\zeta=5\%$

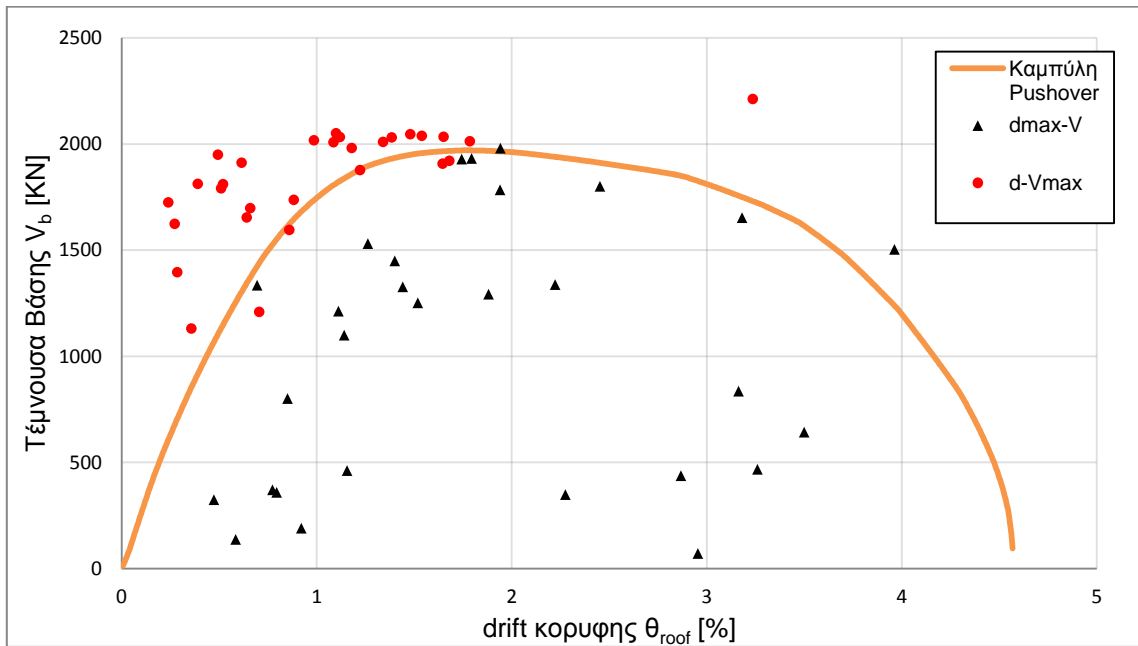
6.3.7. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 6.3.7.

Πίνακας 6.3.7: Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις κορυφής και τέμνουσες βάσης

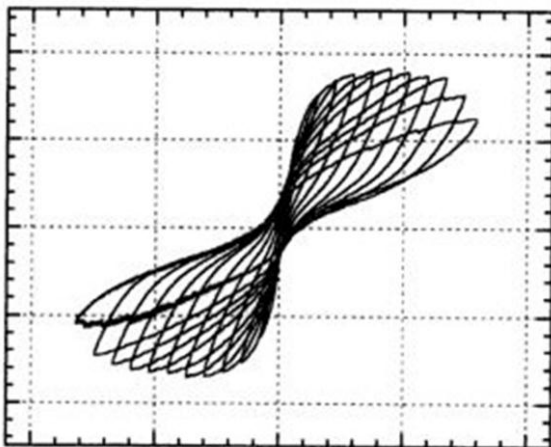
		d_{max} [m]	V_{dmax} [KN]	d_{vmax} [m]	V_{max} [KN]
ChiChiTCU052_360	scale 1.0	0.516	438.3	0.322	2012.4
CM828PET000	scale 1.0	0.153	801.1	0.127	1208.3
CM828PET090	scale 1.0	0.314	1928.8	0.242	2009.6
Kobe1119TAZ000	scale 1.0	0.587	467.6	0.303	1920.8
Kobe1119TAZ090	scale 1.0	0.400	1337.6	0.202	2031.7
KobeTAK000	scale 1.0	0.349	1784.1	0.178	2017.3
KobeTAK090	scale 1.0	0.532	72.0	0.249	2030.0
LomaPrietaLGP000	scale 1.0	0.442	1801.0	0.196	2007.7
LP741BRN000	scale 1.0	0.206	1100.2	0.111	1911.2
LP741BRN090	scale 1.0	0.143	359.2	0.089	1949.2
LP752CAP000	scale 1.0	0.252	1450.0	0.071	1811.1
LP753CLS000	scale 1.0	0.139	371.9	0.052	1395.7
LP753CLS090	scale 1.0	0.227	1531.0	0.155	1594.3
MH451CYC285	scale 1.0	0.260	1327.1	0.220	1876.5
North1080KAT000	scale 1.0	0.200	1212.3	0.159	1736.4
North1080KAT090	scale 1.0	0.208	461.4	0.094	1810.8
North1084SCS052	scale 1.0	0.410	348.2	0.267	2045.7
North1084SCS142	scale 1.0	0.630	643.2	0.583	2211.8
NorthridgeJFA292	scale 1.0	0.569	835.7	0.297	1906.2
NorthridgeNWH360	scale 1.0	0.323	1932.5	0.213	1980.3
NorthridgeRRS228	scale 1.0	0.713	1504.4	0.198	2049.8
NorthridgeSCG052	scale 1.0	0.350	1980.8	0.277	2038.2
NorthridgeSCG142	scale 1.0	0.573	1653.7	0.297	2032.9
PS540WWT180	scale 1.0	0.105	138.1	0.049	1622.5
PS540WWT270	scale 1.0	0.085	325.0	0.065	1130.1
SH727BSUP045	scale 1.0	0.125	1334.8	0.092	1790.9
SH727BSUP135	scale 1.0	0.166	190.2	0.119	1696.7
SuperstitionHillsPTS225	scale 1.0	0.339	1292.6	0.116	1653.9
Tabas074	scale 1.0	0.273	1252.1	0.043	1724.5

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την pushover προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (Σχήμα 6.3.13).



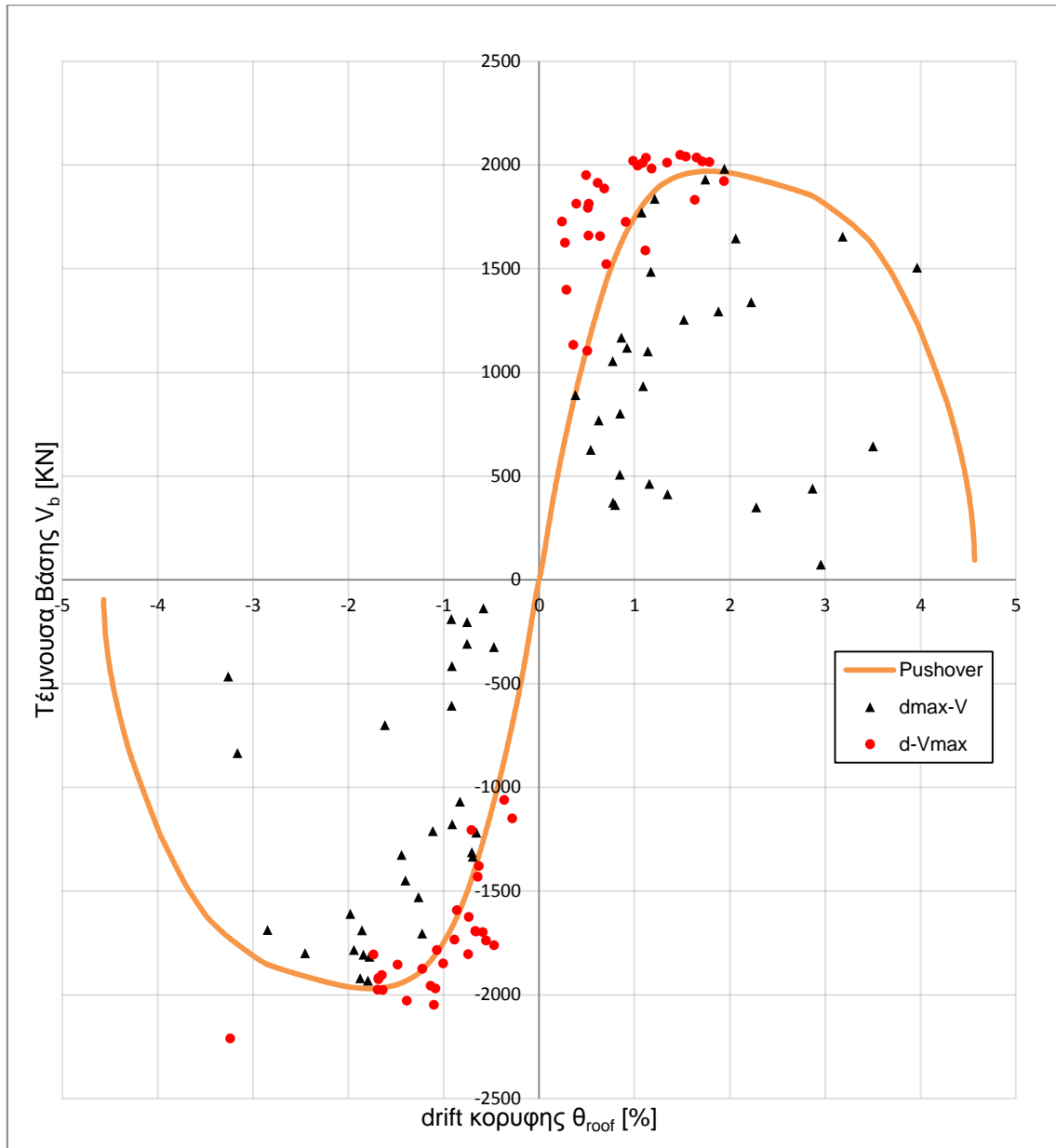
Σχήμα 6.3.13: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

Όπως διαπιστώνεται, οι περισσότεροι σεισμοί (όσον αφορά τα d_{max}) ωθούν την κατασκευή στα όρια της ελαστικής περιοχής και μέχρι την αρχή του πτωτικού κλάδου. Αυτοί που την οδηγούν βαθιά μέσα στην ανελαστική περιοχή είναι ελάχιστοι. Είναι προφανές ότι η καμπύλη pushover αποτελεί ένα κάτω όριο για τα σημεία μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο τα προσεγγίζει σχετικά ικανοποιητικά. Αντιθέτως τα σημεία μέγιστης μετακίνησης απέχουν αρκετά από την καμπύλη και μάλιστα εμφανίζουν πολύ μικρές τέμνουσες. Παρόλο που μερικά σημεία με μεγάλες μετακινήσεις προσεγγίζουν τον πτωτικό κλάδο της pushover, η προσομοίωση του συνόλου θεωρείται ανεπιτυχής. Για να επιβεβαιωθεί η ορθότητα αυτού του ισχυρισμού σχεδιάζονται τα ζεύγη και προς τις δύο κατευθύνσεις παραμόρφωσης (Σχήμα 6.3.15) δίνοντας έτσι τις πραγματικές κατανομές. Στο νέο σχήμα οι αποκλίσεις παραμένουν στην ίδια κλίμακα.



Σχήμα 6.3.14: Θεωρητική μορφή δυναμικής απόκρισης

Λόγω της σταδιακής πτώσης της δυσκαμψίας η θεωρητική μορφή της καμπύλης τέμνουσας-μετακίνησης κορυφής είναι αυτή του Σχήματος 6.3.14 και υποδηλώνει ότι τα σημεία μέγιστης μετακίνησης θα έπρεπε να εντοπίζονται κοντά στον πτωτικό κλάδο της pushover ή έστω στο πλατό.



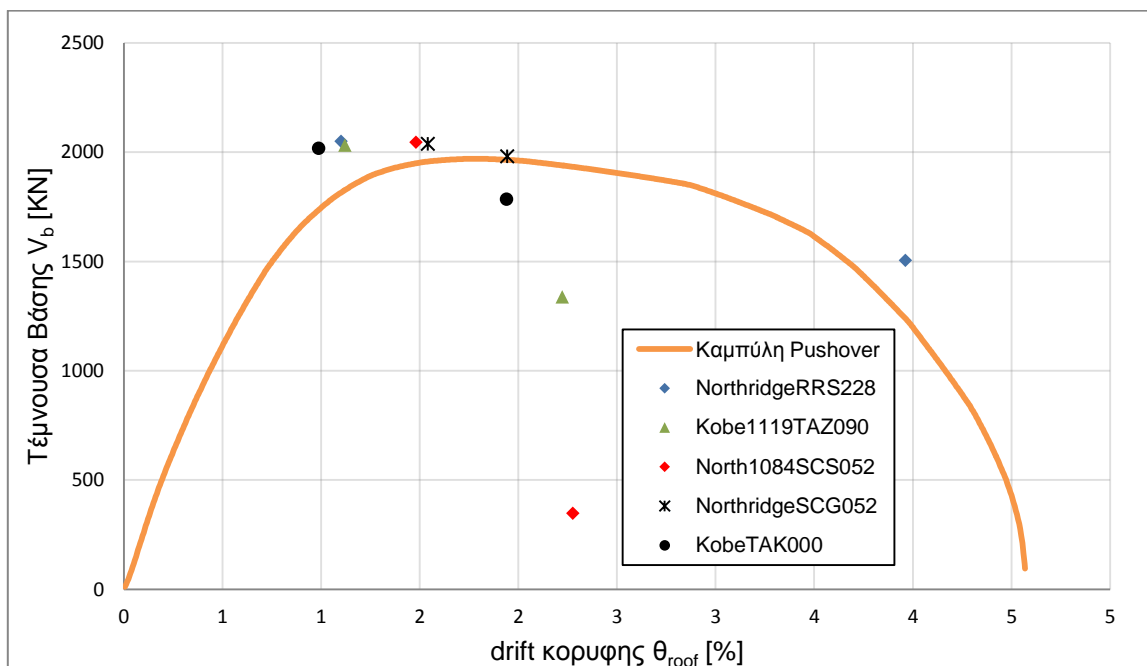
Σχήμα 6.3.15: Ζεύγη (d_{max}, V_{dmax}) και (d_{Vmax}, V_{max}) επί της καμπύλης pushover

6.3.8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη pushover προσεγγίζει περισσότερο τα σημεία μέγιστης τέμνουσας παρά μετακίνησης. Προκειμένου να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για τους λόγους αυτής της διαφοροποίησης, θα εξεταστεί η κατανομή των μετακινήσεων για ορισμένες καταγραφές και της pushover για ίδια μετακίνηση κορυφής. Οι καταγραφές που επιλέγονται διαθέτουν μια εκ των δύο τιμών (d_{max} ή d_{Vmax}) κοντά στην καμπύλη pushover. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αναμενόμενες αποκλίσεις είναι μικρές.

Οι καταγραφές που επιλέχθηκαν (Σχήμα 6.3.16) είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση χωρίς P-Δ και είναι οι:

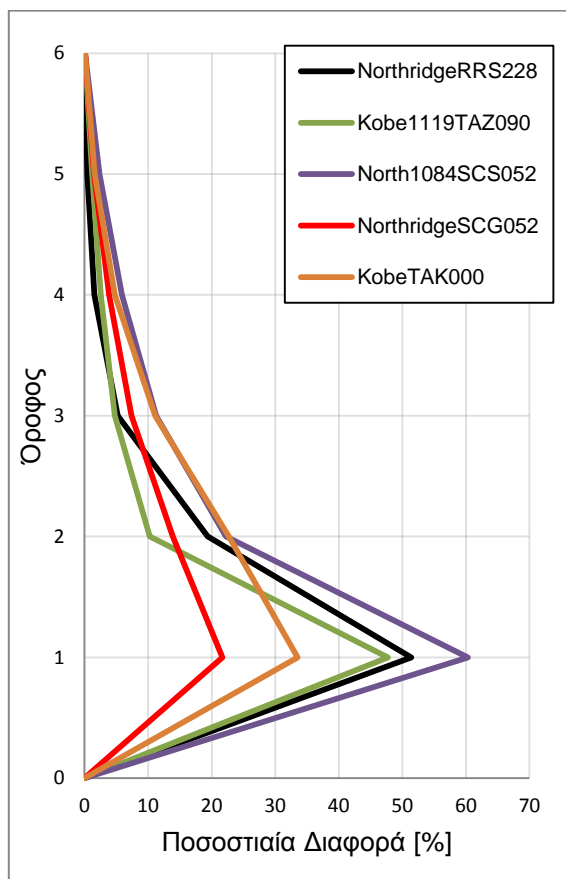
- **NorthridgeRRS228**
- **Kobe1119TAZ090**
- **North1084SCS052**
- **NorthridgeSCG052**
- **KobeTAK000**



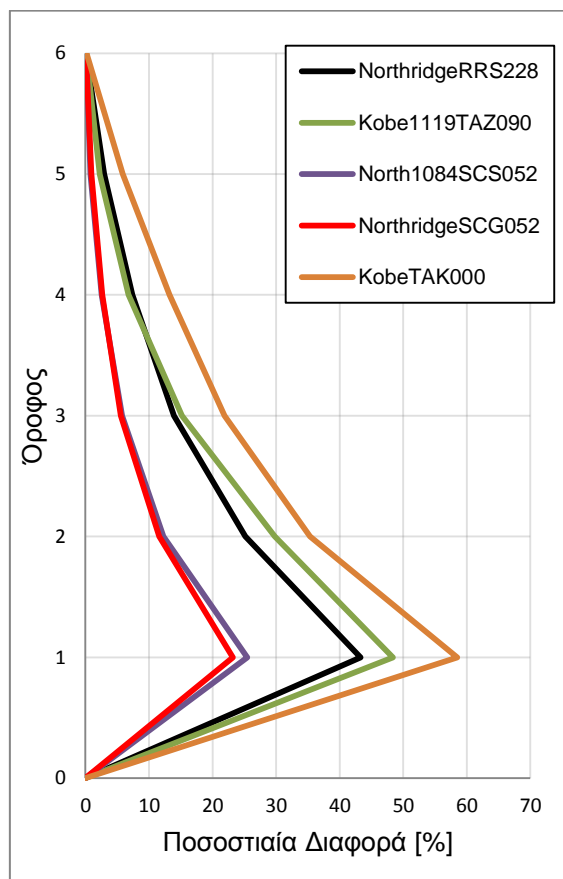
Σχήμα 6.3.16: Επιλεγμένες καταγραφές για έλεγχο της κατανομής των μετακινήσεων

Για τη σύγκριση χρησιμοποιούνται οι μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί από τη δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας του σεισμικού συμβάντος και οι μετακινήσεις της pushover για τις οποίες η μετακίνηση κορυφής είναι ίδια.

Στα Σχήματα 6.3.17 και 6.3.18 δίνεται η κατανομή της ποσοστιαίας διαφοράς και όχι καθ' εαυτού η μετακίνηση καθώς επιτρέπει τη πραγματοποίηση συγκρίσεων.



Σχήμα 6.3.17: Ποσοστιαία διαφορά για d_{max}



Σχήμα 6.3.18: Ποσοστιαία διαφορά για d_{Vmax}

Καταρχάς πρέπει να τονιστεί ότι οι διαφορές από την κατανομή της pushover είναι δικαιολογημένες καθώς δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών.

Εξετάζοντας κάθε καταγραφή ξεχωριστά διαπιστώνεται ότι για τα σημεία d_{Vmax} που βρίσκονται πλησιέστερα στην καμπύλη η απόκλιση είναι η μικρότερη του ζεύγους. Η παρατήρηση όμως αυτή δεν επαληθεύεται όταν τα σημεία κοντά στη καμπύλη είναι τα d_{max} .

Συγκρίνοντας αντίστοιχα σημεία σε διαφορετικές καταγραφές φαίνεται ότι, τόσο για τα σημεία d_{Vmax} όσο και τα σημεία d_{max} , οι καταγραφές που βρίσκονται κοντά στην καμπύλη πράγματι εμφανίζουν μικρότερη απόκλιση από άλλες πιο απομακρυσμένες.

6.3.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R_{μ} - μ

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί για κάθε σεισμό η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ και ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} .

Καταρχάς από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων κάθε καταγραφής εντοπίζεται η φασματική επιτάχυνση SA που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο $T^*=1.213$ sec του ισοδύναμου μονοβάθμιου και διαιρείται με την επιτάχυνση διαρροής S_{ay} . Στη συνέχεια υπολογίζεται η Δεσπόζουσα Περίοδος T_p της εδαφικής κίνησης θεωρώντας απλοποιητικά ότι πρόκειται για την περίοδο στην οποία το φάσμα ταχυτήτων λαμβάνει μέγιστη τιμή. Τέλος από τη μετακίνηση κορυφής και από τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου υπολογίζεται η πλαστιμότητα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το ψευδοφάσμα επιταχύνσεων και ταχυτήτων.

Πίνακας 6.3.8: Τιμές Φασματικών & ΨευδοΦασματικών επιταχύνσεων και περιόδων T_p

	Από Φάσματα		Από ΨευδοΦάσματα	
	SA (T*) [g]	T_p [sec]	SA (T*) [g]	T_p [sec]
ChiChiTCU052_360	1.1139	10.0500	1.1089	8.2900
CM828PET000	0.3496	0.7400	0.3458	0.7530
CM828PET090	0.6598	0.7560	0.6538	0.7110
Kobe1119TAZ000	0.7611	1.7490	0.7579	1.6920
Kobe1119TAZ090	0.8290	1.3350	0.8261	0.4790
KobeTAK000	2.1159	1.2780	2.1060	1.2610
KobeTAK090	2.0355	1.2570	2.0260	1.2290
LomaPrietaLGP000	0.9647	0.7400	0.9584	0.7330
LP741BRN000	0.4829	0.8840	0.4793	0.6630
LP741BRN090	0.3897	0.4770	0.3860	0.4660
LP752CAP000	0.6480	1.4890	0.6443	1.4240
LP753CLS000	0.2458	0.7360	0.2438	0.7230
LP753CLS090	0.4255	0.7620	0.4226	0.7910
MH451CYC285	0.6710	0.8020	0.6664	0.8320
North1080KAT000	0.3801	0.6660	0.3778	0.6780
North1080KAT090	0.4377	0.5340	0.4339	0.5130
North1084SCS052	1.1489	2.9480	1.1425	2.6650
North1084SCS142	1.3482	1.6280	1.3409	1.5790
NorthridgeJFA292	1.3238	1.1140	1.3158	1.0690
NorthridgeNWH360	1.1176	1.2700	1.1131	0.7020
NorthridgeRRS228	1.4418	1.0350	1.4330	1.0780
NorthridgeSCG052	0.9272	2.9270	0.9218	2.6660
NorthridgeSCG142	1.4766	1.6110	1.4681	1.1110
PS540WWT180	0.2088	0.5220	0.2069	0.5330
PS540WWT270	0.1556	0.3690	0.1538	0.3600
SH727BSUP045	0.2690	0.6270	0.2663	0.6060
SH727BSUP135	0.4423	0.7320	0.4401	0.7290
SuperstitionHillsPTS225	1.0215	1.9160	1.0185	1.8590
Tabas074	0.5140	4.7110	0.5113	4.8670

Πίνακας 6.3.9: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S _{A,el} [g]	$R_{\mu} = S_{A,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
ChiChiTCU052_360	για d _{max}	0.5164	0.3710	3.359	1.1139	3.761	10.050	0.893	0.121
CM828PET000	για d _{max}	0.1531	0.1100	0.996	0.3496	1.180	0.740	0.844	1.639
CM828PET090	για d _{max}	0.3139	0.2255	2.042	0.6598	2.228	0.756	0.917	1.604
Kobe1119TAZ000	για d _{max}	0.5871	0.4217	3.819	0.7611	2.570	1.749	1.486	0.694
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.4002	0.2875	2.603	0.8290	2.799	1.335	0.930	0.909
KobeTAK000	για d _{max}	0.3493	0.2509	2.272	2.1159	7.143	1.278	0.318	0.949
KobeTAK090	για d _{max}	0.5319	0.3821	3.460	2.0355	6.872	1.257	0.503	0.965
LomaPrietaLGP000	για d _{max}	0.4416	0.3172	2.872	0.9647	3.257	0.740	0.882	1.639
LP741BRN000	για d _{max}	0.2055	0.1476	1.337	0.4829	1.630	0.884	0.820	1.372
LP741BRN090	για d _{max}	0.1432	0.1029	0.932	0.3897	1.316	0.477	0.708	2.543
LP752CAP000	για d _{max}	0.2523	0.1812	1.641	0.6480	2.188	1.489	0.750	0.815
LP753CLS000	για d _{max}	0.1394	0.1001	0.907	0.2458	0.830	0.736	1.092	1.648
LP753CLS090	για d _{max}	0.2273	0.1633	1.478	0.4255	1.437	0.762	1.029	1.592
MH451CYC285	για d _{max}	0.2597	0.1865	1.689	0.6710	2.265	0.802	0.746	1.512
North1080KAT000	για d _{max}	0.2003	0.1439	1.303	0.3801	1.283	0.666	1.015	1.821
North1080KAT090	για d _{max}	0.2081	0.1495	1.353	0.4377	1.478	0.534	0.916	2.272
North1084SCS052	για d _{max}	0.4097	0.2943	2.665	1.1489	3.879	2.948	0.687	0.411
North1084SCS142	για d _{max}	0.6302	0.4527	4.099	1.3482	4.552	1.628	0.901	0.745
NorthridgeJFA292	για d _{max}	0.5695	0.4091	3.704	1.3238	4.469	1.114	0.829	1.089

Πίνακας 6.3.9: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_μ	T^* / T_p
NorthridgeNWH360	για d_{max}	0.3232	0.2322	2.102	1.1176	3.773	1.270	0.557	0.955
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.7133	0.5124	4.640	1.4418	4.868	1.035	0.953	1.172
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.3497	0.2512	2.275	0.9272	3.130	2.927	0.727	0.414
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.5728	0.4115	3.726	1.4766	4.985	1.611	0.747	0.753
PS540WWT180	για d_{max}	0.1053	0.0756	0.685	0.2088	0.705	0.522	0.971	2.324
PS540WWT270	για d_{max}	0.0853	0.0612	0.555	0.1556	0.525	0.369	1.056	3.287
SH727BSUP045	για d_{max}	0.1251	0.0899	0.814	0.2690	0.908	0.627	0.896	1.935
SH727BSUP135	για d_{max}	0.1659	0.1192	1.079	0.4423	1.493	0.732	0.723	1.657
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.3389	0.2434	2.204	1.0215	3.449	1.916	0.639	0.633
Tabas074	για d_{max}	0.2734	0.1964	1.779	0.5140	1.735	4.711	1.025	0.257

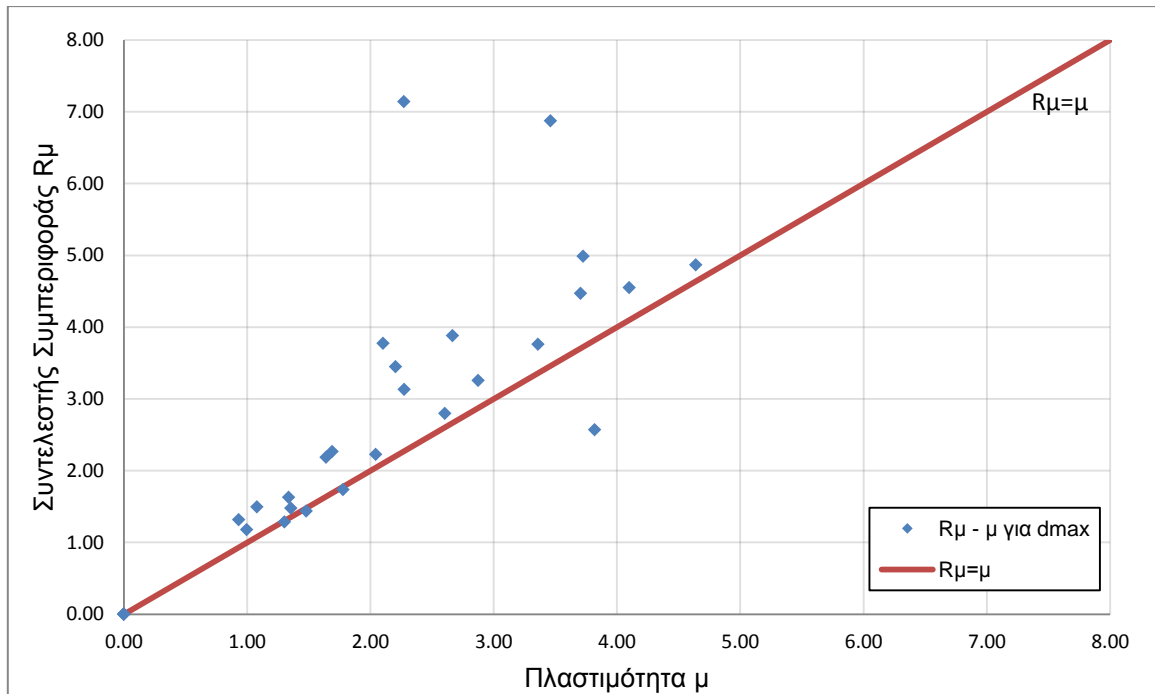
Πίνακας 6.3.10: Υπολογισμός μ και R_μ για d_{vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_μ	T^* / T_p
ChiChiTCU052_360	για d_{vmax}	0.3217	0.2311	2.092	1.1139	3.761	10.050	0.556	0.121
CM828PET000	για d_{vmax}	0.1272	0.0914	0.828	0.3496	1.180	0.740	0.701	1.639
CM828PET090	για d_{vmax}	0.2416	0.1736	1.572	0.6598	2.228	0.756	0.706	1.604
Kobe1119TAZ000	για d_{vmax}	0.3027	0.2174	1.969	0.7611	2.570	1.749	0.766	0.694
Kobe1119TAZ090	για d_{vmax}	0.2018	0.1449	1.312	0.8290	2.799	1.335	0.469	0.909
KobeTAK000	για d_{vmax}	0.1777	0.1277	1.156	2.1159	7.143	1.278	0.162	0.949
KobeTAK090	για d_{vmax}	0.2494	0.1792	1.622	2.0355	6.872	1.257	0.236	0.965
LomaPrietaLGP000	για d_{vmax}	0.1958	0.1406	1.273	0.9647	3.257	0.740	0.391	1.639
LP741BRN000	για d_{vmax}	0.1111	0.0798	0.722	0.4829	1.630	0.884	0.443	1.372
LP741BRN090	για d_{vmax}	0.0890	0.0640	0.579	0.3897	1.316	0.477	0.440	2.543

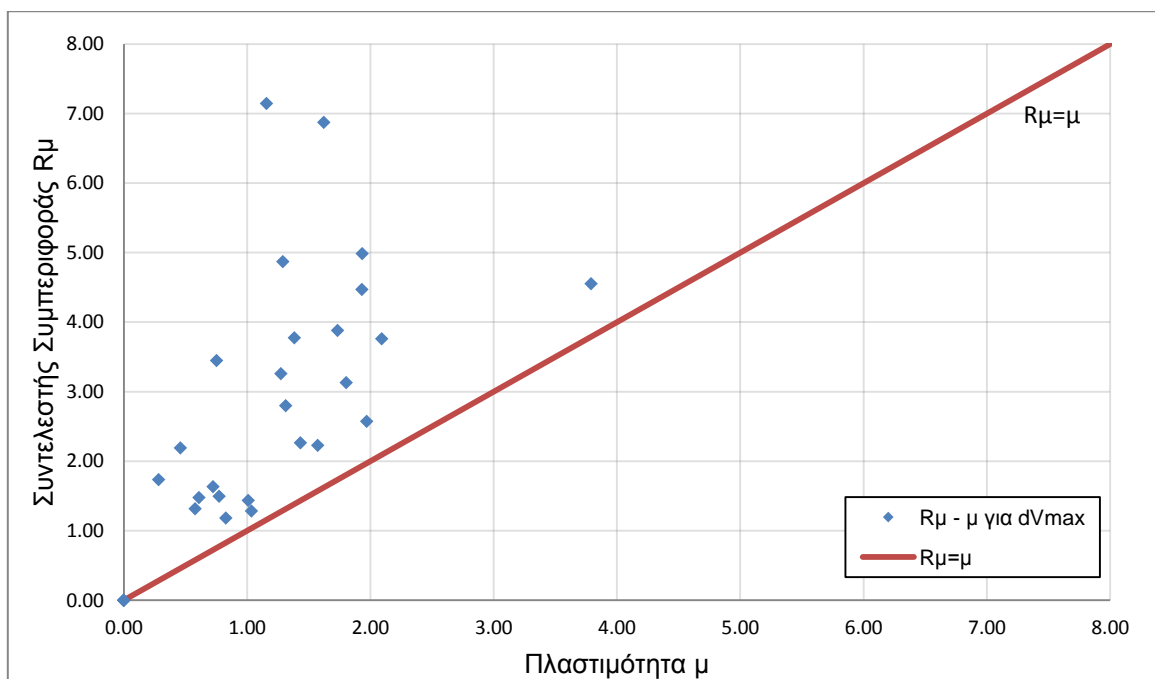
Πίνακας 6.3.10: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	$\mu / R\mu$	T^* / T_p	
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0705	0.0507	0.459	0.6480	2.188	1.489	0.210	0.815
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0518	0.0372	0.337	0.2458	0.830	0.736	0.406	1.648
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.1550	0.1114	1.008	0.4255	1.437	0.762	0.702	1.592
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2203	0.1583	1.433	0.6710	2.265	0.802	0.633	1.512
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1593	0.1144	1.036	0.3801	1.283	0.666	0.807	1.821
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0938	0.0674	0.610	0.4377	1.478	0.534	0.413	2.272
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.2666	0.1915	1.734	1.1489	3.879	2.948	0.447	0.411
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.5829	0.4187	3.791	1.3482	4.552	1.628	0.833	0.745
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.2967	0.2131	1.930	1.3238	4.469	1.114	0.432	1.089
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.2127	0.1528	1.383	1.1176	3.773	1.270	0.367	0.955
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.1981	0.1423	1.289	1.4418	4.868	1.035	0.265	1.172
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.2773	0.1992	1.804	0.9272	3.130	2.927	0.576	0.414
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2975	0.2137	1.935	1.4766	4.985	1.611	0.388	0.753
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0492	0.0353	0.320	0.2088	0.705	0.522	0.454	2.324
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0646	0.0464	0.420	0.1556	0.525	0.369	0.800	3.287
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0921	0.0661	0.599	0.2690	0.908	0.627	0.659	1.935
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1189	0.0854	0.773	0.4423	1.493	0.732	0.518	1.657
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.1156	0.0831	0.752	1.0215	3.449	1.916	0.218	0.633
Tabas074	για d_{Vmax}	0.0432	0.0310	0.281	0.5140	1.735	4.711	0.162	0.257

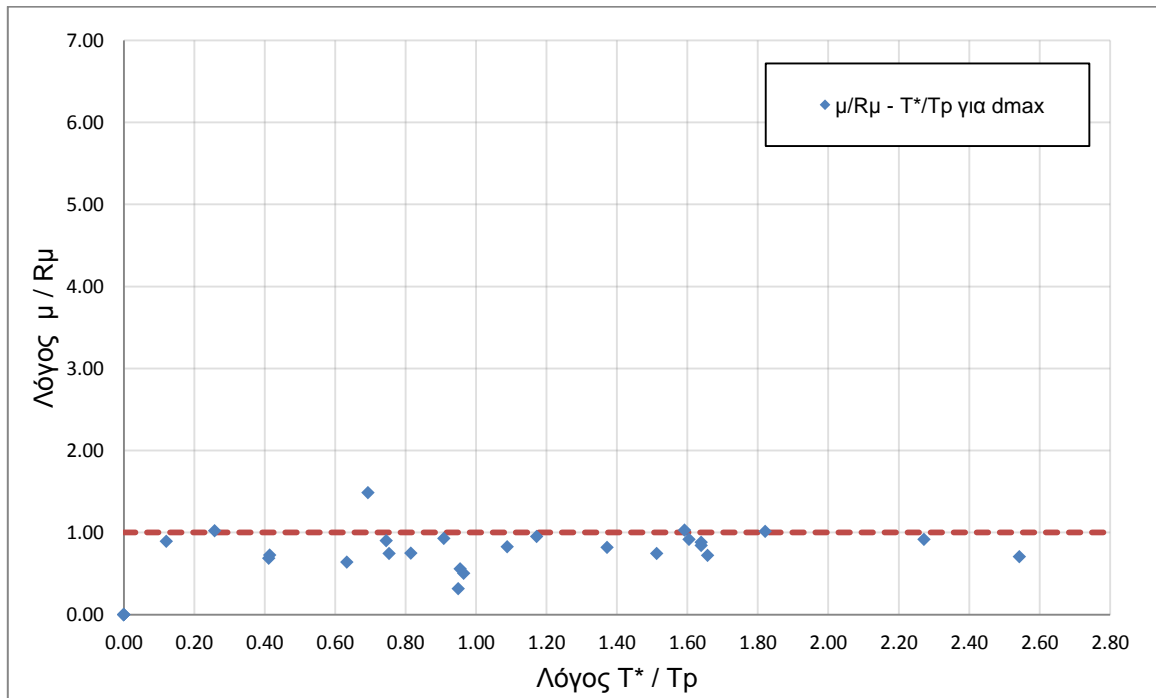
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 6.3.19 και 6.3.20) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 6.3.21 και 6.3.22).



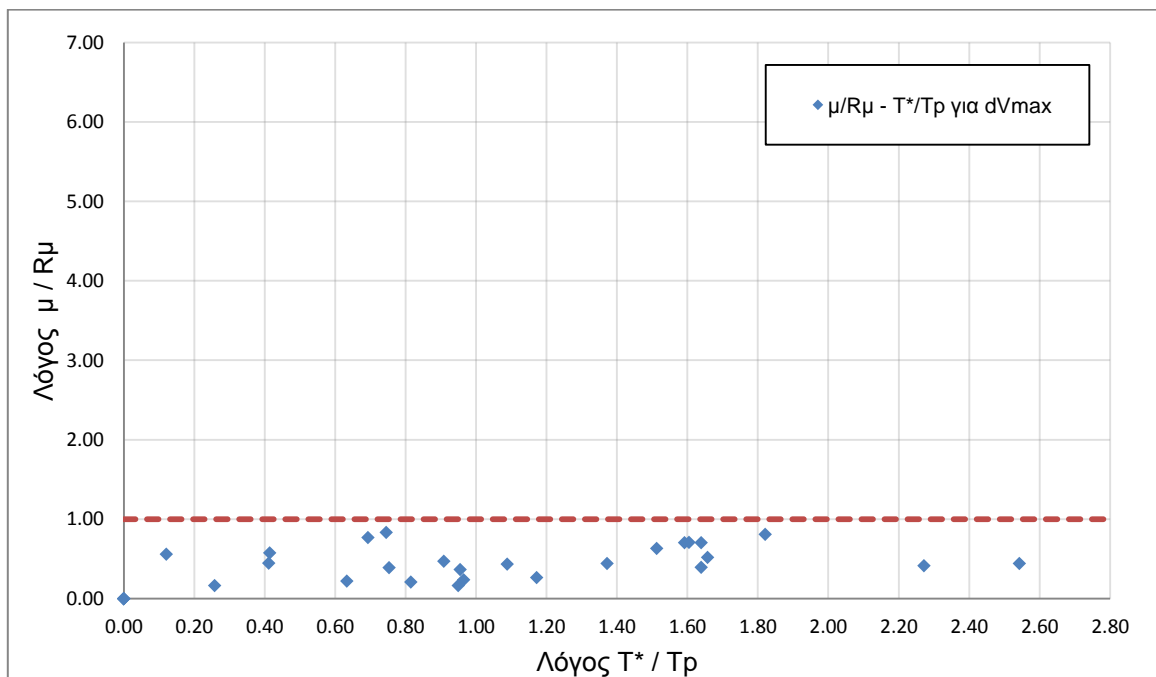
Σχήμα 6.3.19: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.3.20: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}



Σχήμα 6.3.21: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max}



Σχήμα 6.3.22: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax}

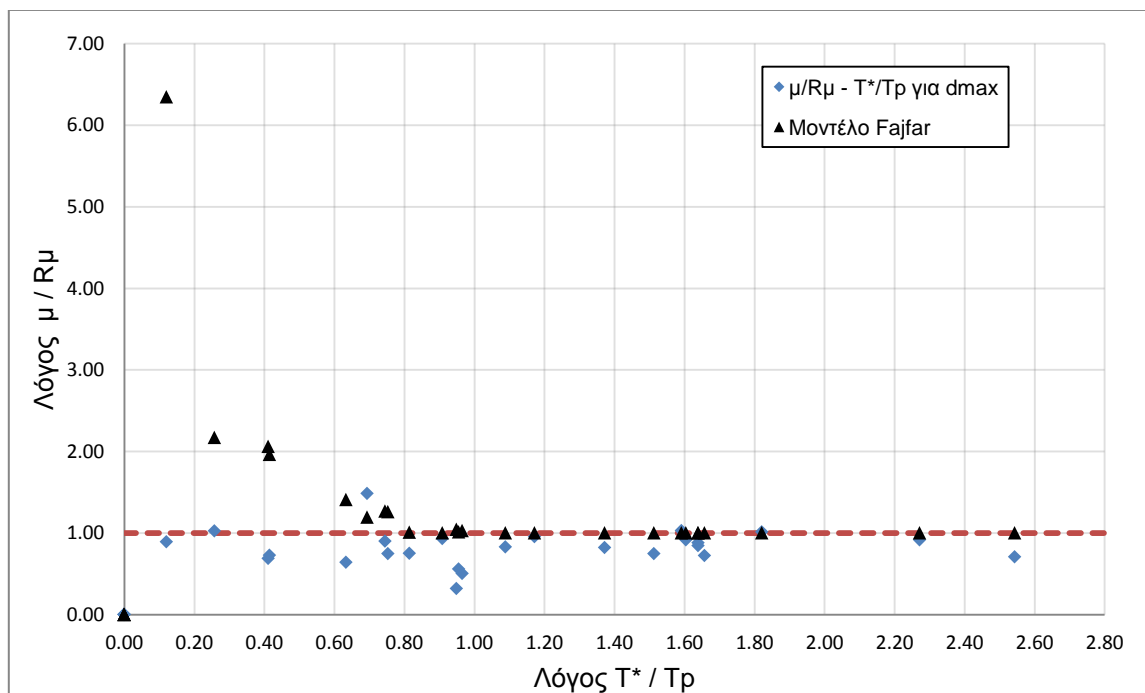
Σύμφωνα με τον Fajfar (βλ. Σχήμα 6.2.23) οι σχέσεις που συνδέουν τη πλαστιμότητα με τον συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T^*}{T_o} + 1 \quad \text{για } T^* \leq T_o$$

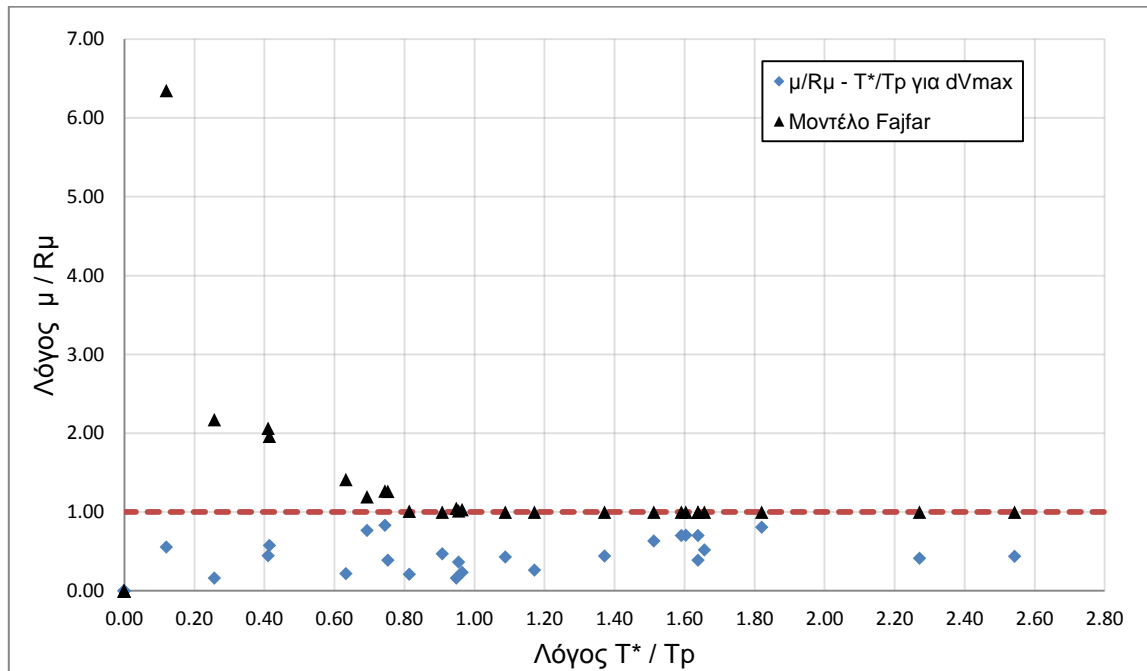
$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για } T^* > T_o$$

όπου $T_o = 0.65 \mu^{0.3} T_p \leq T_p$

Ακολουθώντας το μοντέλο του Fajfar και θεωρώντας ως μοναδικό άγνωστο τη πλαστιμότητα σχεδιάζουμε τα διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για τις σεισμικές καταγραφές (Σχήματα 6.3.23 και 6.3.24).



Σχήμα 6.3.43: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 6.3.24: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 6.3.11 και 6.3.12 καθώς και τα Σχήματα 6.3.25 έως 6.3.28.

Πίνακας 6.3.11: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$S_{A,el}$ [g]	$R_{\mu} = S_{A,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.5164	0.3710	3.359	1.1089	3.744	8.290	0.897	0.146
CM828PET000	για d_{max}	0.1531	0.1100	0.996	0.3458	1.167	0.753	0.853	1.611
CM828PET090	για d_{max}	0.3139	0.2255	2.042	0.6538	2.207	0.711	0.925	1.706
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.5871	0.4217	3.819	0.7579	2.559	1.692	1.492	0.717
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.4002	0.2875	2.603	0.8261	2.789	0.479	0.933	2.532
KobeTAK000	για d_{max}	0.3493	0.2509	2.272	2.1060	7.110	1.261	0.320	0.962
KobeTAK090	για d_{max}	0.5319	0.3821	3.460	2.0260	6.840	1.229	0.506	0.987
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.4416	0.3172	2.872	0.9584	3.236	0.733	0.888	1.655
LP741BRN000	για d_{max}	0.2055	0.1476	1.337	0.4793	1.618	0.663	0.826	1.830
LP741BRN090	για d_{max}	0.1432	0.1029	0.932	0.3860	1.303	0.466	0.715	2.603
LP752CAP000	για d_{max}	0.2523	0.1812	1.641	0.6443	2.175	1.424	0.754	0.852
LP753CLS000	για d_{max}	0.1394	0.1001	0.907	0.2438	0.823	0.723	1.101	1.678
LP753CLS090	για d_{max}	0.2273	0.1633	1.478	0.4226	1.427	0.791	1.036	1.534
MH451CYC285	για d_{max}	0.2597	0.1865	1.689	0.6664	2.250	0.832	0.751	1.458
North1080KAT000	για d_{max}	0.2003	0.1439	1.303	0.3778	1.276	0.678	1.021	1.789
North1080KAT090	για d_{max}	0.2081	0.1495	1.353	0.4339	1.465	0.513	0.924	2.365
North1084SCS052	για d_{max}	0.4097	0.2943	2.665	1.1425	3.857	2.665	0.691	0.455
North1084SCS142	για d_{max}	0.6302	0.4527	4.099	1.3409	4.527	1.579	0.905	0.768
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.5695	0.4091	3.704	1.3158	4.442	1.069	0.834	1.135

Πίνακας 6.3.11: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

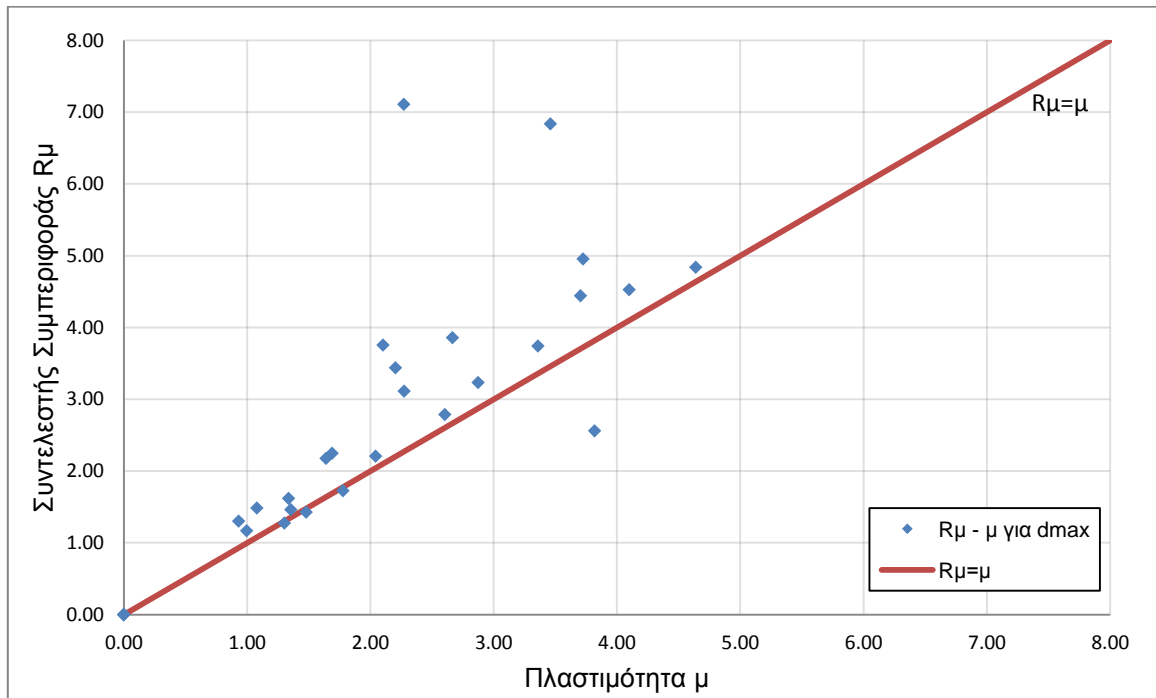
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
NorthridgeNWH360	για d_{max}	0.3232	0.2322	2.102	1.1131	3.758	0.702	0.559	1.728
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.7133	0.5124	4.640	1.4330	4.838	1.078	0.959	1.125
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.3497	0.2512	2.275	0.9218	3.112	2.666	0.731	0.455
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.5728	0.4115	3.726	1.4681	4.957	1.111	0.752	1.092
PS540WWT180	για d_{max}	0.1053	0.0756	0.685	0.2069	0.699	0.533	0.980	2.276
PS540WWT270	για d_{max}	0.0853	0.0612	0.555	0.1538	0.519	0.360	1.068	3.369
SH727BSUP045	για d_{max}	0.1251	0.0899	0.814	0.2663	0.899	0.606	0.905	2.002
SH727BSUP135	για d_{max}	0.1659	0.1192	1.079	0.4401	1.486	0.729	0.726	1.664
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.3389	0.2434	2.204	1.0185	3.438	1.859	0.641	0.653
Tabas074	για d_{max}	0.2734	0.1964	1.779	0.5113	1.726	4.867	1.030	0.249

Πίνακας 6.3.12: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

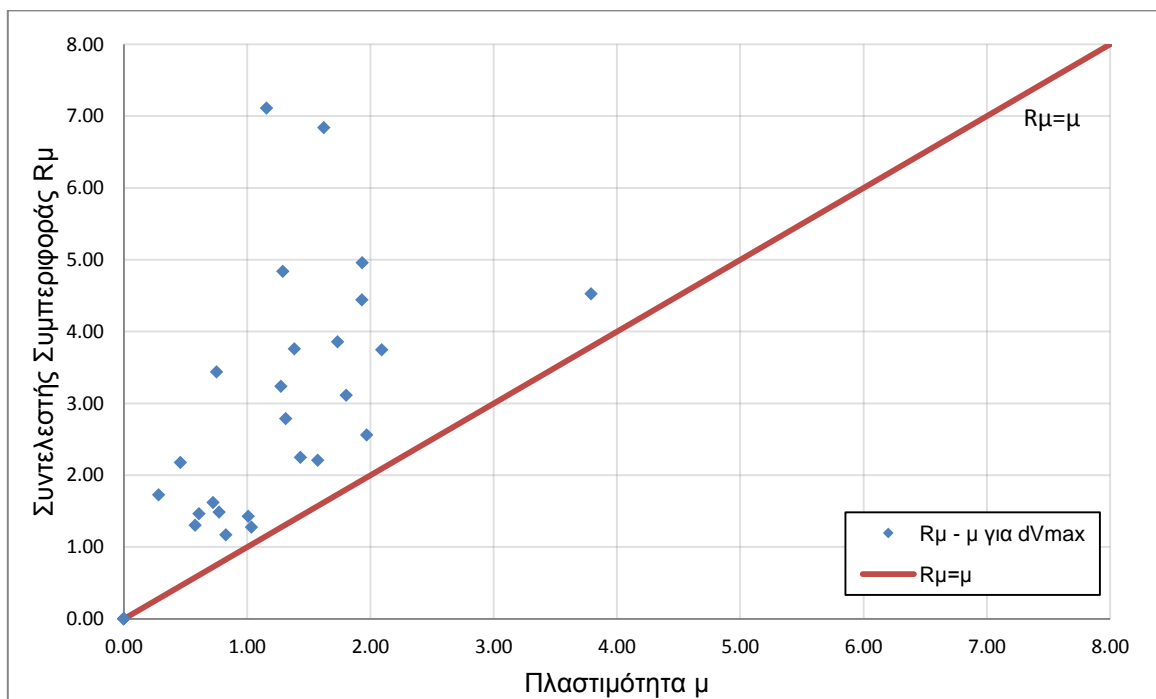
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiTCU052_360	για d_{vmax}	0.3217	0.2311	2.092	1.1089	3.744	8.290	0.559	0.146
CM828PET000	για d_{vmax}	0.1272	0.0914	0.828	0.3458	1.167	0.753	0.709	1.611
CM828PET090	για d_{vmax}	0.2416	0.1736	1.572	0.6538	2.207	0.711	0.712	1.706
Kobe1119TAZ000	για d_{vmax}	0.3027	0.2174	1.969	0.7579	2.559	1.692	0.769	0.717
Kobe1119TAZ090	για d_{vmax}	0.2018	0.1449	1.312	0.8261	2.789	0.479	0.471	2.532
KobeTAK000	για d_{vmax}	0.1777	0.1277	1.156	2.1060	7.110	1.261	0.163	0.962
KobeTAK090	για d_{vmax}	0.2494	0.1792	1.622	2.0260	6.840	1.229	0.237	0.987
LomaPrietaLGP000	για d_{vmax}	0.1958	0.1406	1.273	0.9584	3.236	0.733	0.394	1.655
LP741BRN000	για d_{vmax}	0.1111	0.0798	0.722	0.4793	1.618	0.663	0.446	1.830
LP741BRN090	για d_{vmax}	0.0890	0.0640	0.579	0.3860	1.303	0.466	0.444	2.603

Πίνακας 6.3.12: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

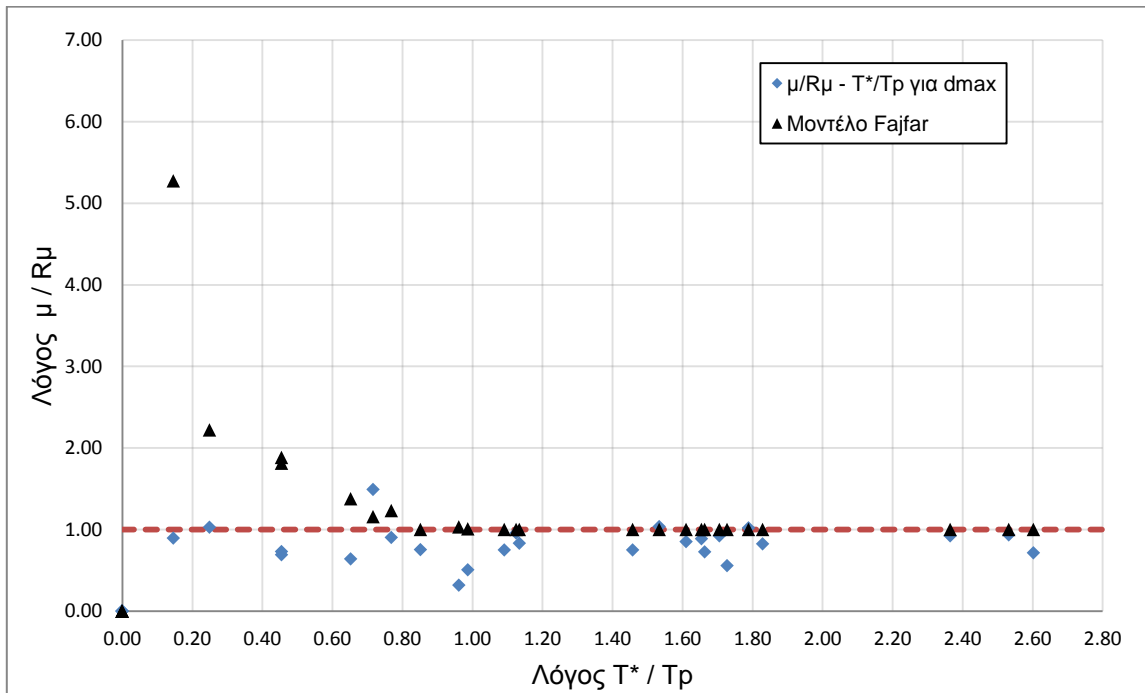
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	$\mu / R\mu$	T^* / T_p
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0705	0.0507	0.459	0.6443	2.175	1.424	0.211	0.852
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0518	0.0372	0.337	0.2438	0.823	0.723	0.409	1.678
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.1550	0.1114	1.008	0.4226	1.427	0.791	0.707	1.534
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.2203	0.1583	1.433	0.6664	2.250	0.832	0.637	1.458
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.1593	0.1144	1.036	0.3778	1.276	0.678	0.812	1.789
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0938	0.0674	0.610	0.4339	1.465	0.513	0.417	2.365
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.2666	0.1915	1.734	1.1425	3.857	2.665	0.450	0.455
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.5829	0.4187	3.791	1.3409	4.527	1.579	0.837	0.768
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.2967	0.2131	1.930	1.3158	4.442	1.069	0.434	1.135
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.2127	0.1528	1.383	1.1131	3.758	0.702	0.368	1.728
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.1981	0.1423	1.289	1.4330	4.838	1.078	0.266	1.125
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.2773	0.1992	1.804	0.9218	3.112	2.666	0.580	0.455
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2975	0.2137	1.935	1.4681	4.957	1.111	0.390	1.092
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0492	0.0353	0.320	0.2069	0.699	0.533	0.458	2.276
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0646	0.0464	0.420	0.1538	0.519	0.360	0.809	3.369
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0921	0.0661	0.599	0.2663	0.899	0.606	0.666	2.002
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.1189	0.0854	0.773	0.4401	1.486	0.729	0.521	1.664
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.1156	0.0831	0.752	1.0185	3.438	1.859	0.219	0.653
Tabas074	για d_{Vmax}	0.0432	0.0310	0.281	0.5113	1.726	4.867	0.163	0.249



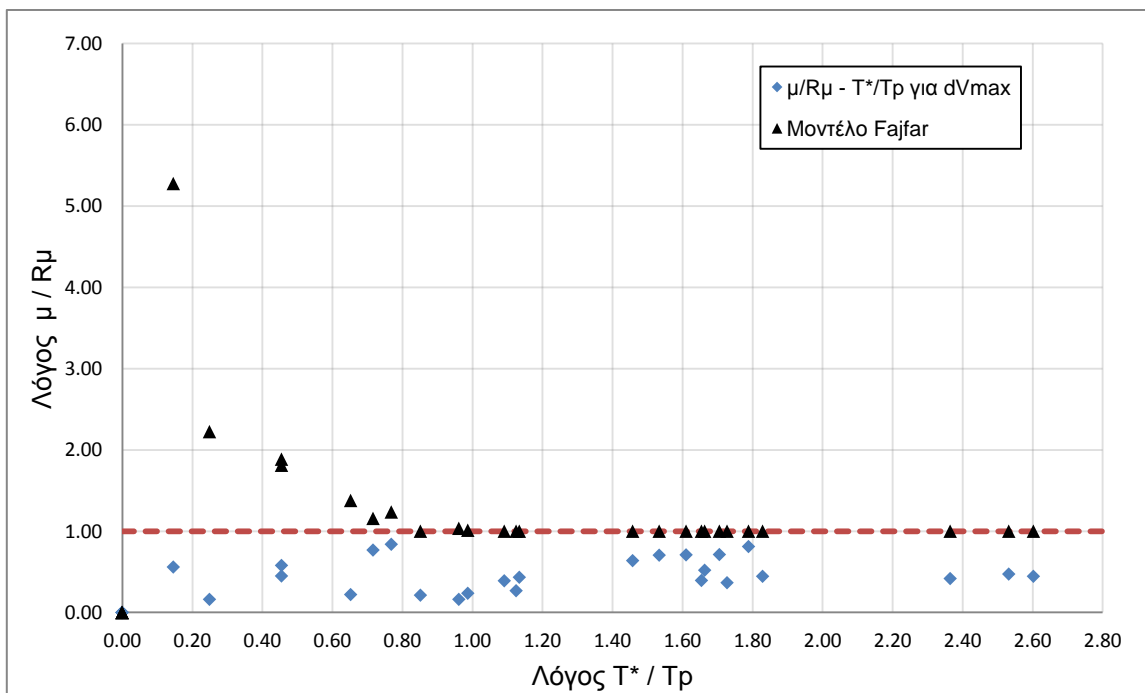
Σχήμα 6.3.25: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.3.26: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{Vmax}

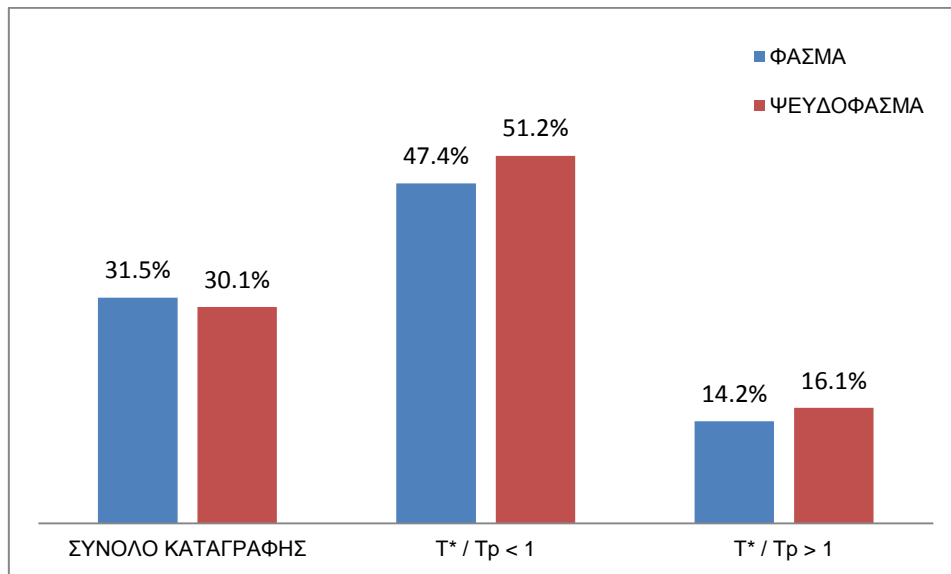


Σχήμα 6.3.27: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

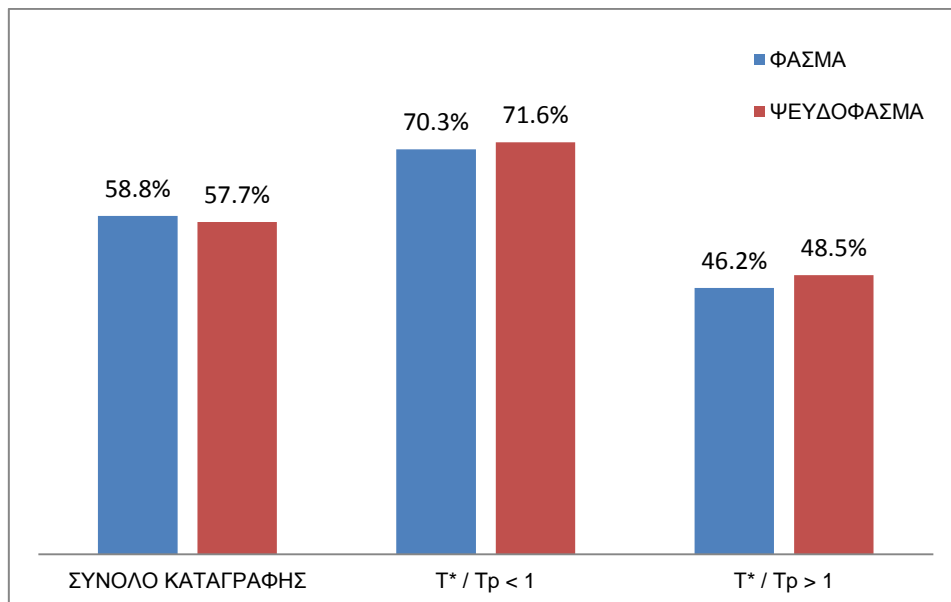


Σχήμα 6.3.28: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.3.29 και 6.3.30.



Σχήμα 6.3.29: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 6.3.30: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{Vmax}

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{Vmax} . Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το φυσικό νόημα της πλαστιμότητας είναι η μέγιστη μετακίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια του σεισμού και υπό αυτή την έννοια δεν έχει αξία η μελέτη της μετακίνησης μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Το μοντέλο του Fajfar, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.2.22, δέχεται μεγάλες πλαστιμότητες - σε σχέση με το R_{μ} - για περιόδους προ της δεσπόζουσας περιόδου T_r ενώ στη συνέχεια θεωρεί ότι ο λόγος πλησιάζει τη μονάδα. Για τις περισσότερες καταγραφές με $T^* > T_r$ κάτι τέτοιο φαίνεται να επαληθεύεται, με την απόκλιση να λαμβάνει μικρές τιμές, αντιθέτως για τις περιπτώσεις $T^* < T_r$ οι αποκλίσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.

Τέλος διαπιστώνεται ότι με χρήση των ψευδοφασμάτων η συνολική απόκλιση είναι μικρότερη. Οι διαφορές των φασμάτων και ψευδοφασμάτων ταχύτητας είναι συνήθως μεγαλύτερες των διαφορών των επιταχύνσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου T_r χωρίς ταυτόχρονη μείωση του R_{μ} . Προκαλείται λοιπόν μια μετατόπιση των σημείων σε μεγαλύτερους λόγους T^*/T_r με παραπλήσιο όμως λόγο μ/R_{μ} , αυξάνοντας κατά συνέπεια την απόκλιση στην περιοχή $T^*/T_r > 1$.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 6.3.9 διαπιστώνουμε ότι η πλαστιμότητα μ έχει σχετικά μικρές τιμές ενώ υπάρχουν καταγραφές στις οποίες $\mu < 1$ παρόλο που ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τα παραπάνω φαινόμενα πιθανολογείται ότι οφείλονται στο γεγονός πως η πλαστιμότητα υπολογίστηκε μέσω της αναγωγής της μετακίνησης κορυφής σε μετακίνηση ισοδύναμου μονοβάθμιου παρόλο που η τριγωνική κατανομή δεν είναι ρεαλιστική στην ανελαστική περιοχή. Δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις συγκεντρώνονται στους πρώτους ορόφους λόγω του μηχανισμού κατάρρευσης, αποφασίστηκε η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

Πίνακας 6.3.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.3224	0.3224	12.583	1.1139	3.761	10.050	3.346	0.121
CM828PET000	για d_{max}	0.0166	0.0166	0.649	0.3496	1.180	0.740	0.550	1.639
CM828PET090	για d_{max}	0.1004	0.1004	3.917	0.6598	2.228	0.756	1.758	1.604
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.2395	0.2395	9.349	0.7611	2.570	1.749	3.638	0.694
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.2204	0.2204	8.601	0.8290	2.799	1.335	3.073	0.909
KobeTAK000	για d_{max}	0.0934	0.0934	3.644	2.1159	7.143	1.278	0.510	0.949
KobeTAK090	για d_{max}	0.1550	0.1550	6.051	2.0355	6.872	1.257	0.881	0.965
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1852	0.1852	7.229	0.9647	3.257	0.740	2.219	1.639
LP741BRN000	για d_{max}	0.0650	0.0650	2.536	0.4829	1.630	0.884	1.555	1.372
LP741BRN090	για d_{max}	0.0433	0.0433	1.689	0.3897	1.316	0.477	1.284	2.543
LP752CAP000	για d_{max}	0.0568	0.0568	2.215	0.6480	2.188	1.489	1.012	0.815
LP753CLS000	για d_{max}	0.0224	0.0224	0.874	0.2458	0.830	0.736	1.053	1.648
LP753CLS090	για d_{max}	0.0334	0.0334	1.305	0.4255	1.437	0.762	0.908	1.592
MH451CYC285	για d_{max}	0.0505	0.0505	1.972	0.6710	2.265	0.802	0.870	1.512
North1080KAT000	για d_{max}	0.0489	0.0489	1.909	0.3801	1.283	0.666	1.487	1.821
North1080KAT090	για d_{max}	0.0703	0.0703	2.743	0.4377	1.478	0.534	1.856	2.272
North1084SCS052	για d_{max}	0.2374	0.2374	9.264	1.1489	3.879	2.948	2.388	0.411
North1084SCS142	για d_{max}	0.4183	0.4183	16.327	1.3482	4.552	1.628	3.587	0.745
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.2481	0.2481	9.681	1.3238	4.469	1.114	2.166	1.089

Πίνακας 6.3.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p	
NorthridgeNWH360	για d_{max}	0.1820	0.1820	7.102	1.1176	3.773	1.270	1.882	0.955
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.2289	0.2289	8.932	1.4418	4.868	1.035	1.835	1.172
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.1410	0.1410	5.504	0.9272	3.130	2.927	1.758	0.414
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.3405	0.3405	13.288	1.4766	4.985	1.611	2.666	0.753
PS540WWT180	για d_{max}	0.0213	0.0213	0.831	0.2088	0.705	0.522	1.179	2.324
PS540WWT270	για d_{max}	0.0145	0.0145	0.565	0.1556	0.525	0.369	1.076	3.287
SH727BSUP045	για d_{max}	0.0318	0.0318	1.241	0.2690	0.908	0.627	1.367	1.935
SH727BSUP135	για d_{max}	0.0558	0.0558	2.177	0.4423	1.493	0.732	1.458	1.657
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.1706	0.1706	6.660	1.0215	3.449	1.916	1.931	0.633
Tabas074	για d_{max}	0.1172	0.1172	4.574	0.5140	1.735	4.711	2.636	0.257

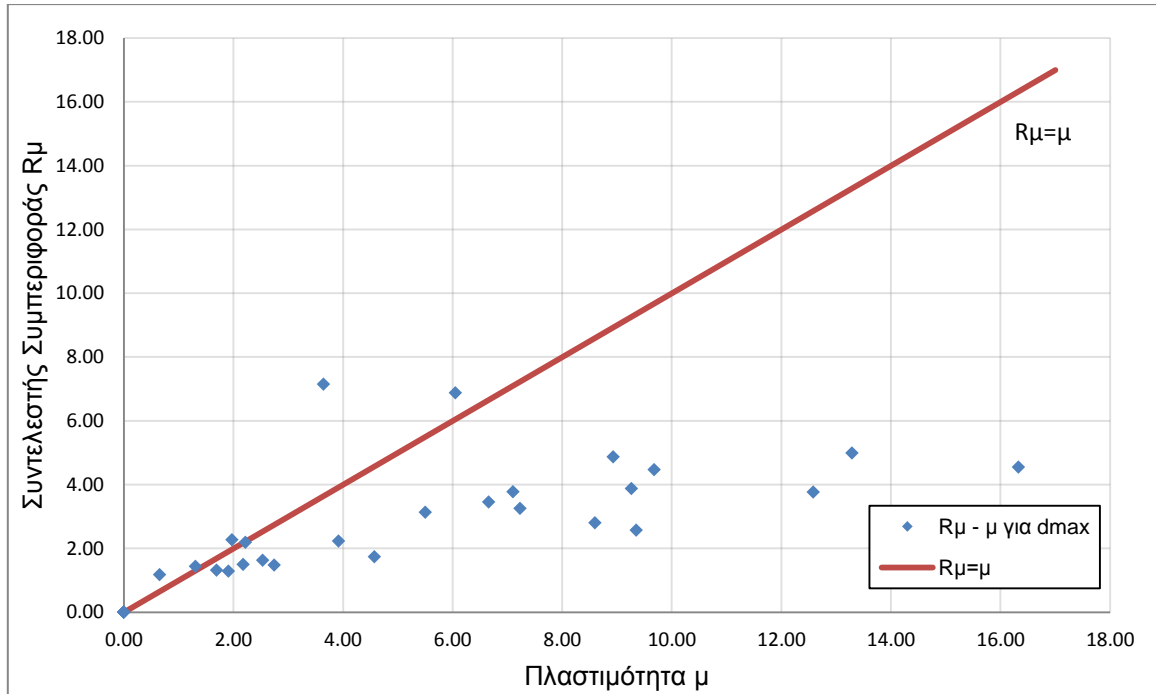
Πίνακας 6.3.14: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	$SA_{,el}$ [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p	
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.1181	0.1181	4.611	1.1139	3.761	10.050	1.226	0.121
CM828PET000	για d_{Vmax}	0.0154	0.0154	0.602	0.3496	1.180	0.740	0.510	1.639
CM828PET090	για d_{Vmax}	0.0703	0.0703	2.743	0.6598	2.228	0.756	1.231	1.604
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.0738	0.0738	2.882	0.7611	2.570	1.749	1.122	0.694
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0670	0.0670	2.613	0.8290	2.799	1.335	0.934	0.909
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.0579	0.0579	2.258	2.1159	7.143	1.278	0.316	0.949
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0842	0.0842	3.287	2.0355	6.872	1.257	0.478	0.965
LomaPrietaLGP000	για d_{Vmax}	0.0593	0.0593	2.314	0.9647	3.257	0.740	0.711	1.639
LP741BRN000	για d_{Vmax}	0.0415	0.0415	1.618	0.4829	1.630	0.884	0.992	1.372
LP741BRN090	για d_{Vmax}	0.0403	0.0403	1.573	0.3897	1.316	0.477	1.195	2.543

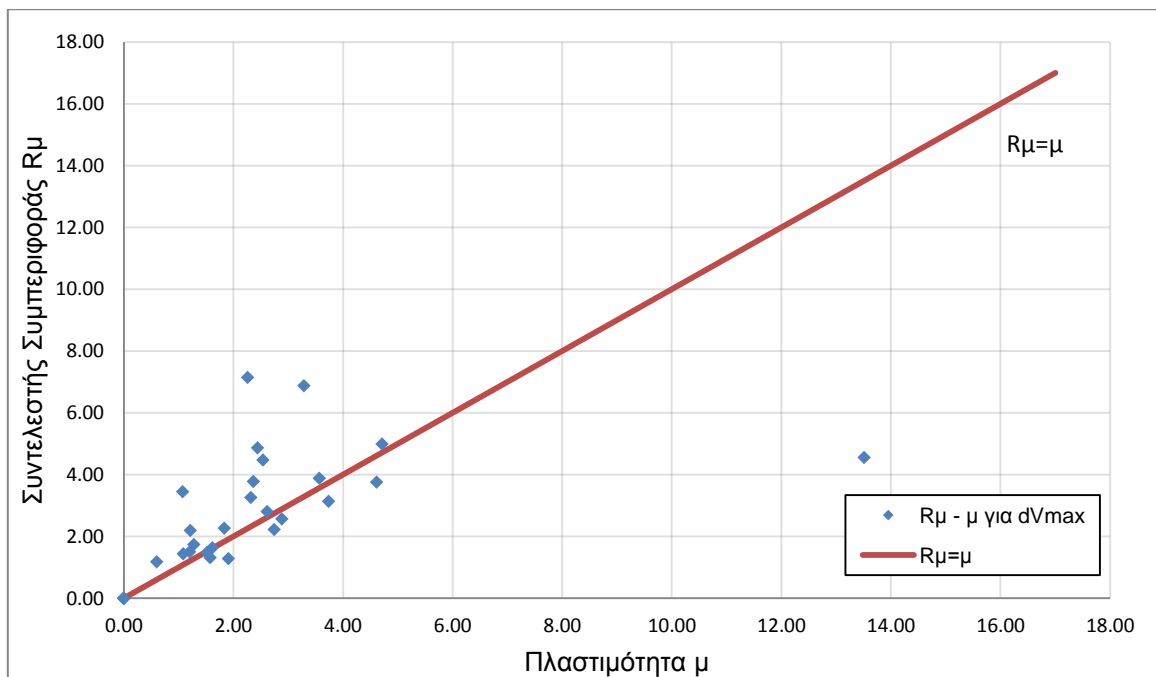
Πίνακας 6.3.14: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]	Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA _{el} [g]	$R\mu = SA_{el} / Say$	T _p [sec]	$\mu / R\mu$	T* / T _p	
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0310	0.0310	1.212	0.6480	2.188	1.489	0.554	0.815
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0177	0.0177	0.691	0.2458	0.830	0.736	0.833	1.648
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0277	0.0277	1.082	0.4255	1.437	0.762	0.753	1.592
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.0470	0.0470	1.832	0.6710	2.265	0.802	0.809	1.512
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0488	0.0488	1.906	0.3801	1.283	0.666	1.485	1.821
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0388	0.0388	1.516	0.4377	1.478	0.534	1.026	2.272
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.0914	0.0914	3.568	1.1489	3.879	2.948	0.920	0.411
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.3462	0.3462	13.510	1.3482	4.552	1.628	2.968	0.745
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0650	0.0650	2.537	1.3238	4.469	1.114	0.568	1.089
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.0606	0.0606	2.366	1.1176	3.773	1.270	0.627	0.955
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.0626	0.0626	2.442	1.4418	4.868	1.035	0.502	1.172
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.0958	0.0958	3.737	0.9272	3.130	2.927	1.194	0.414
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.1208	0.1208	4.714	1.4766	4.985	1.611	0.946	0.753
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0212	0.0212	0.826	0.2088	0.705	0.522	1.171	2.324
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0140	0.0140	0.548	0.1556	0.525	0.369	1.043	3.287
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0318	0.0318	1.239	0.2690	0.908	0.627	1.364	1.935
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0308	0.0308	1.203	0.4423	1.493	0.732	0.806	1.657
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0275	0.0275	1.073	1.0215	3.449	1.916	0.311	0.633
Tabas074	για d_{Vmax}	0.0327	0.0327	1.277	0.5140	1.735	4.711	0.736	0.257

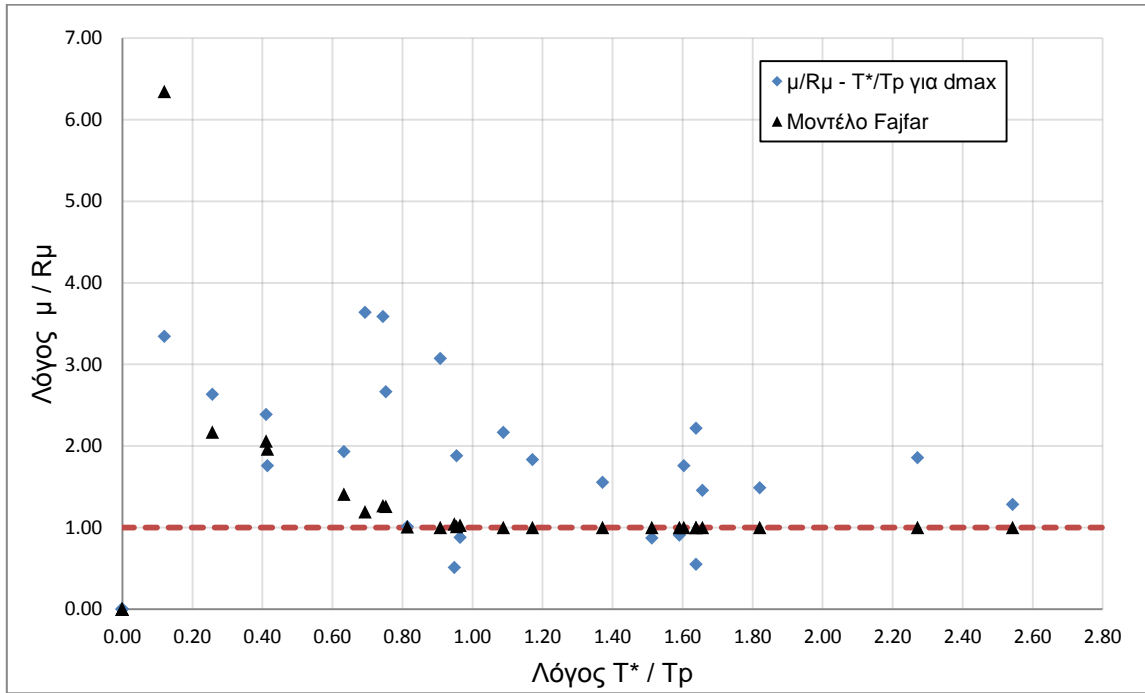
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 6.3.31 και 6.3.32) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 6.3.33 και 6.3.34).



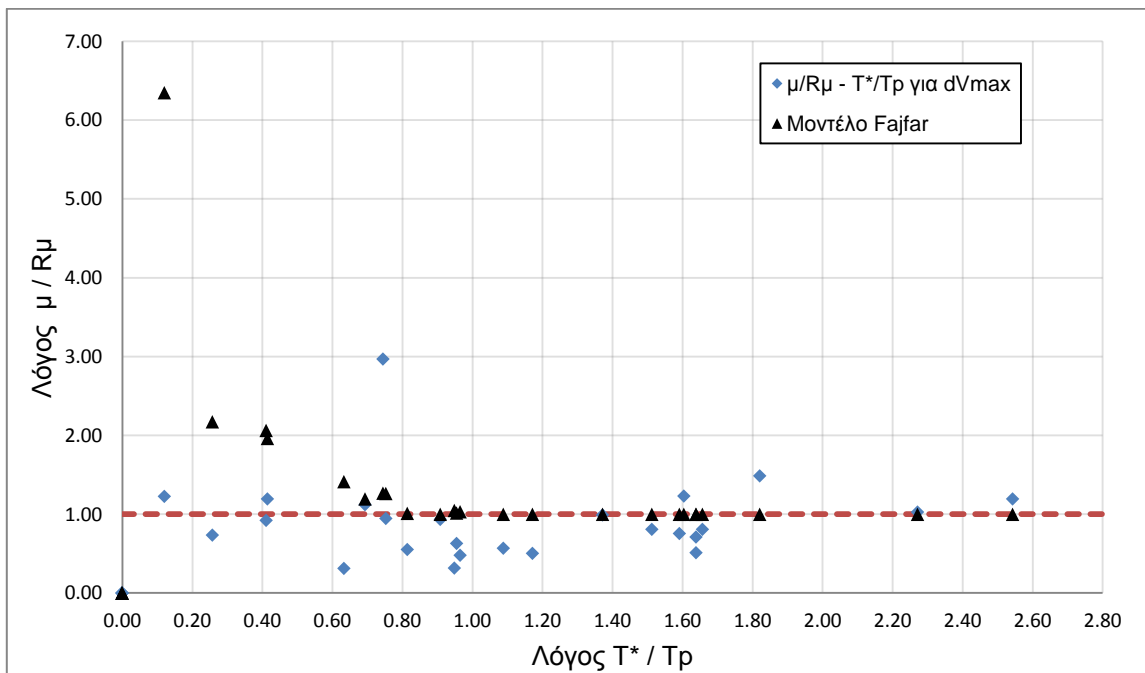
Σχήμα 6.3.31: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.3.32: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}



Σχήμα 6.3.33: Διάγραμμα $\mu/R\mu - T^*/Tr$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 6.3.34: Διάγραμμα $\mu/R\mu - T^*/Tr$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 6.3.15 και 6.3.16 καθώς και τα Σχήματα 6.3.35 έως 6.3.38.

Πίνακας 6.3.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{top} [m]	S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S_{A,el} [g]	$R_{\mu} = S_{A,el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T_p	
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.3224	0.3224	12.583	1.1089	3.744	8.290	3.361	0.146
CM828PET000	για d_{max}	0.0166	0.0166	0.649	0.3458	1.167	0.753	0.556	1.611
CM828PET090	για d_{max}	0.1004	0.1004	3.917	0.6538	2.207	0.711	1.775	1.706
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.2395	0.2395	9.349	0.7579	2.559	1.692	3.654	0.717
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.2204	0.2204	8.601	0.8261	2.789	0.479	3.084	2.532
KobeTAK000	για d_{max}	0.0934	0.0934	3.644	2.1060	7.110	1.261	0.513	0.962
KobeTAK090	για d_{max}	0.1550	0.1550	6.051	2.0260	6.840	1.229	0.885	0.987
LomaPrietaLGP000	για d_{max}	0.1852	0.1852	7.229	0.9584	3.236	0.733	2.234	1.655
LP741BRN000	για d_{max}	0.0650	0.0650	2.536	0.4793	1.618	0.663	1.567	1.830
LP741BRN090	για d_{max}	0.0433	0.0433	1.689	0.3860	1.303	0.466	1.296	2.603
LP752CAP000	για d_{max}	0.0568	0.0568	2.215	0.6443	2.175	1.424	1.018	0.852
LP753CLS000	για d_{max}	0.0224	0.0224	0.874	0.2438	0.823	0.723	1.061	1.678
LP753CLS090	για d_{max}	0.0334	0.0334	1.305	0.4226	1.427	0.791	0.915	1.534
MH451CYC285	για d_{max}	0.0505	0.0505	1.972	0.6664	2.250	0.832	0.876	1.458
North1080KAT000	για d_{max}	0.0489	0.0489	1.909	0.3778	1.276	0.678	1.496	1.789
North1080KAT090	για d_{max}	0.0703	0.0703	2.743	0.4339	1.465	0.513	1.873	2.365
North1084SCS052	για d_{max}	0.2374	0.2374	9.264	1.1425	3.857	2.665	2.402	0.455
North1084SCS142	για d_{max}	0.4183	0.4183	16.327	1.3409	4.527	1.579	3.606	0.768
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.2481	0.2481	9.681	1.3158	4.442	1.069	2.179	1.135

Πίνακας 6.3.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

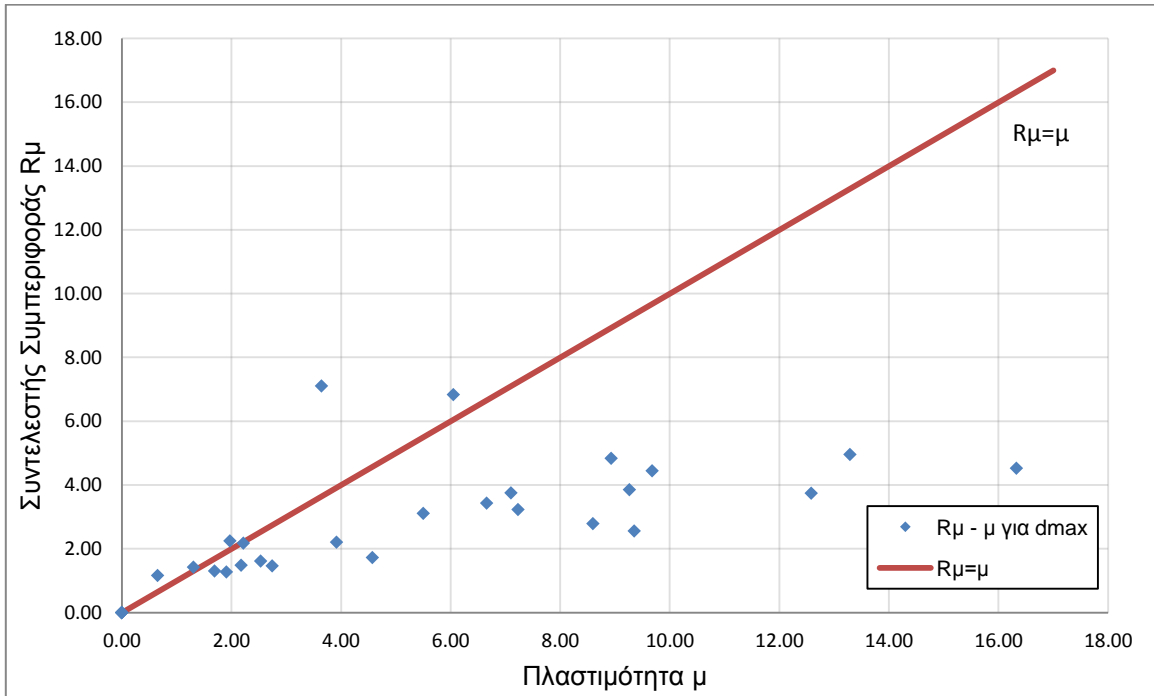
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	SA, _{el} [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
NorthridgeNWH360	για d _{max}	0.1820	0.1820	7.102	1.1131	3.758	0.702	1.890	1.728
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.2289	0.2289	8.932	1.4330	4.838	1.078	1.846	1.125
NorthridgeSCG052	για d _{max}	0.1410	0.1410	5.504	0.9218	3.112	2.666	1.769	0.455
NorthridgeSCG142	για d _{max}	0.3405	0.3405	13.288	1.4681	4.957	1.111	2.681	1.092
PS540WWT180	για d _{max}	0.0213	0.0213	0.831	0.2069	0.699	0.533	1.190	2.276
PS540WWT270	για d _{max}	0.0145	0.0145	0.565	0.1538	0.519	0.360	1.088	3.369
SH727BSUP045	για d _{max}	0.0318	0.0318	1.241	0.2663	0.899	0.606	1.380	2.002
SH727BSUP135	για d _{max}	0.0558	0.0558	2.177	0.4401	1.486	0.729	1.465	1.664
SuperstitionHillsPTS225	για d _{max}	0.1706	0.1706	6.660	1.0185	3.438	1.859	1.937	0.653
Tabas074	για d _{max}	0.1172	0.1172	4.574	0.5113	1.726	4.867	2.650	0.249

Πίνακας 8.3.16: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

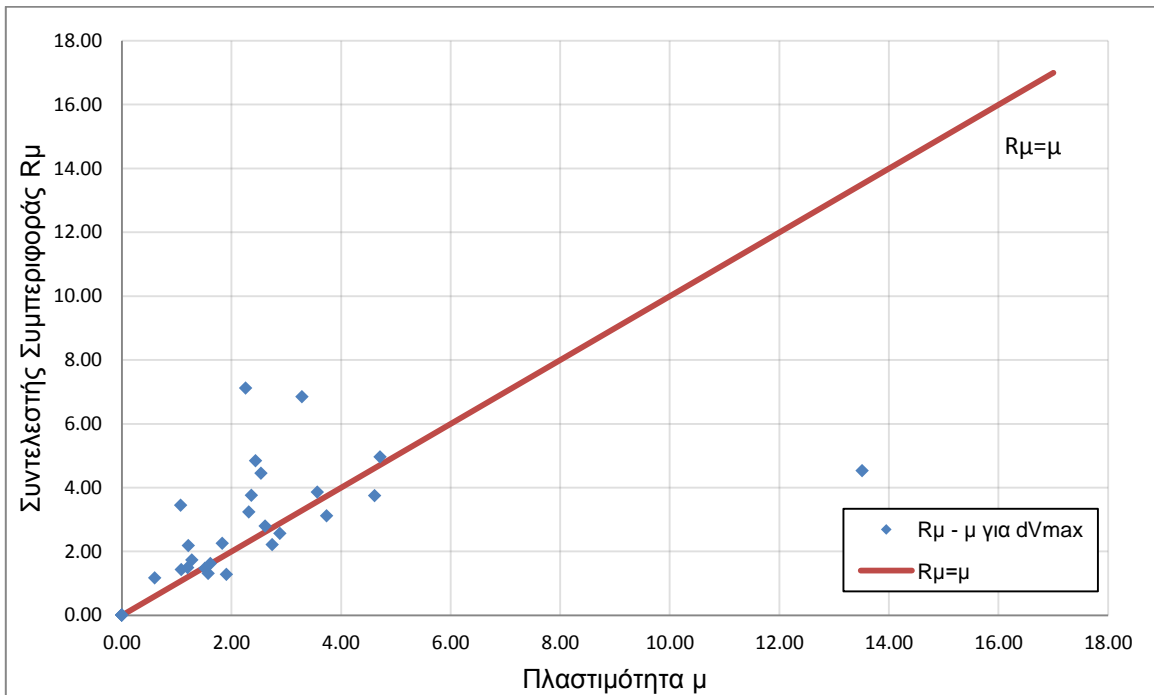
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	SA, _{el} [g]	$R_{\mu} = SA_{,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
ChiChiTCU052_360	για d _{vmax}	0.1181	0.1181	4.611	1.1089	3.744	8.290	1.232	0.146
CM828PET000	για d _{vmax}	0.0154	0.0154	0.602	0.3458	1.167	0.753	0.516	1.611
CM828PET090	για d _{vmax}	0.0703	0.0703	2.743	0.6538	2.207	0.711	1.243	1.706
Kobe1119TAZ000	για d _{vmax}	0.0738	0.0738	2.882	0.7579	2.559	1.692	1.126	0.717
Kobe1119TAZ090	για d _{vmax}	0.0670	0.0670	2.613	0.8261	2.789	0.479	0.937	2.532
KobeTAK000	για d _{vmax}	0.0579	0.0579	2.258	2.1060	7.110	1.261	0.318	0.962
KobeTAK090	για d _{vmax}	0.0842	0.0842	3.287	2.0260	6.840	1.229	0.481	0.987
LomaPrietaLGP000	για d _{vmax}	0.0593	0.0593	2.314	0.9584	3.236	0.733	0.715	1.655
LP741BRN000	για d _{vmax}	0.0415	0.0415	1.618	0.4793	1.618	0.663	1.000	1.830
LP741BRN090	για d _{vmax}	0.0403	0.0403	1.573	0.3860	1.303	0.466	1.207	2.603

Πίνακας 6.3.16: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών (Συνέχεια)

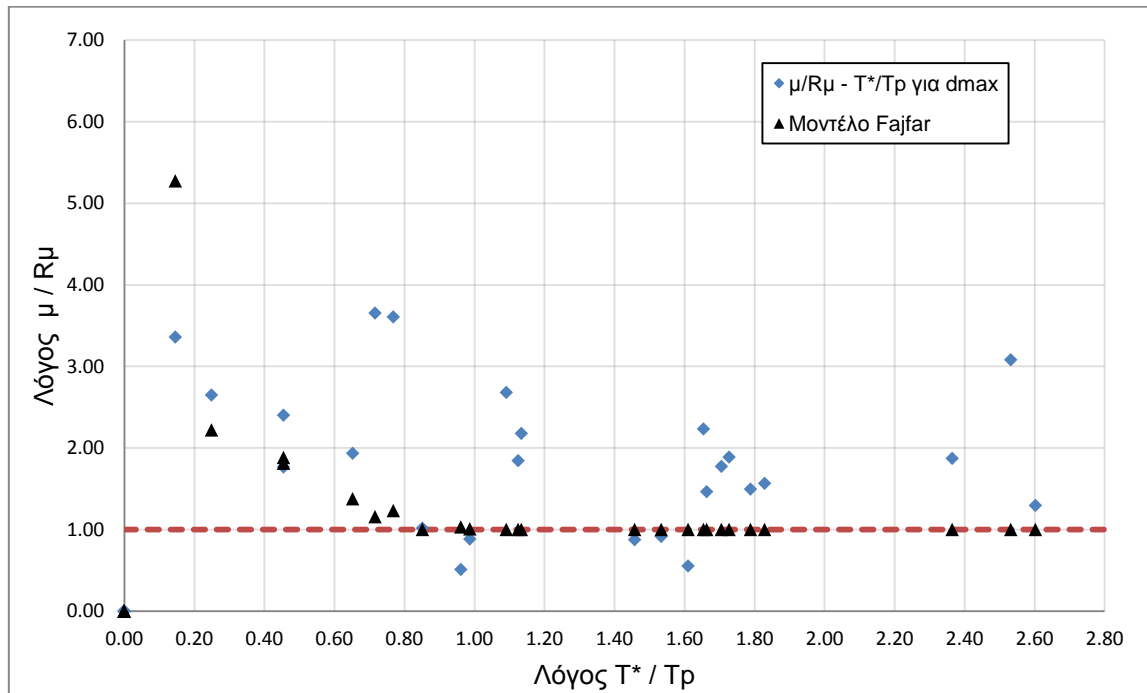
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	SA _{,el} [g]	$R\mu = SA_{,el} / S_{ay}$	T _p [sec]	$\mu / R\mu$	T* / T _p
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0310	0.0310	1.212	0.6443	2.175	1.424	0.557	0.852
LP753CLS000	για d_{Vmax}	0.0177	0.0177	0.691	0.2438	0.823	0.723	0.840	1.678
LP753CLS090	για d_{Vmax}	0.0277	0.0277	1.082	0.4226	1.427	0.791	0.759	1.534
MH451CYC285	για d_{Vmax}	0.0470	0.0470	1.832	0.6664	2.250	0.832	0.814	1.458
North1080KAT000	για d_{Vmax}	0.0488	0.0488	1.906	0.3778	1.276	0.678	1.494	1.789
North1080KAT090	για d_{Vmax}	0.0388	0.0388	1.516	0.4339	1.465	0.513	1.035	2.365
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.0914	0.0914	3.568	1.1425	3.857	2.665	0.925	0.455
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.3462	0.3462	13.510	1.3409	4.527	1.579	2.984	0.768
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0650	0.0650	2.537	1.3158	4.442	1.069	0.571	1.135
NorthridgeNWH360	για d_{Vmax}	0.0606	0.0606	2.366	1.1131	3.758	0.702	0.630	1.728
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.0626	0.0626	2.442	1.4330	4.838	1.078	0.505	1.125
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.0958	0.0958	3.737	0.9218	3.112	2.666	1.201	0.455
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.1208	0.1208	4.714	1.4681	4.957	1.111	0.951	1.092
PS540WWT180	για d_{Vmax}	0.0212	0.0212	0.826	0.2069	0.699	0.533	1.182	2.276
PS540WWT270	για d_{Vmax}	0.0140	0.0140	0.548	0.1538	0.519	0.360	1.055	3.369
SH727BSUP045	για d_{Vmax}	0.0318	0.0318	1.239	0.2663	0.899	0.606	1.378	2.002
SH727BSUP135	για d_{Vmax}	0.0308	0.0308	1.203	0.4401	1.486	0.729	0.810	1.664
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0275	0.0275	1.073	1.0185	3.438	1.859	0.312	0.653
Tabas074	για d_{Vmax}	0.0327	0.0327	1.277	0.5113	1.726	4.867	0.740	0.249



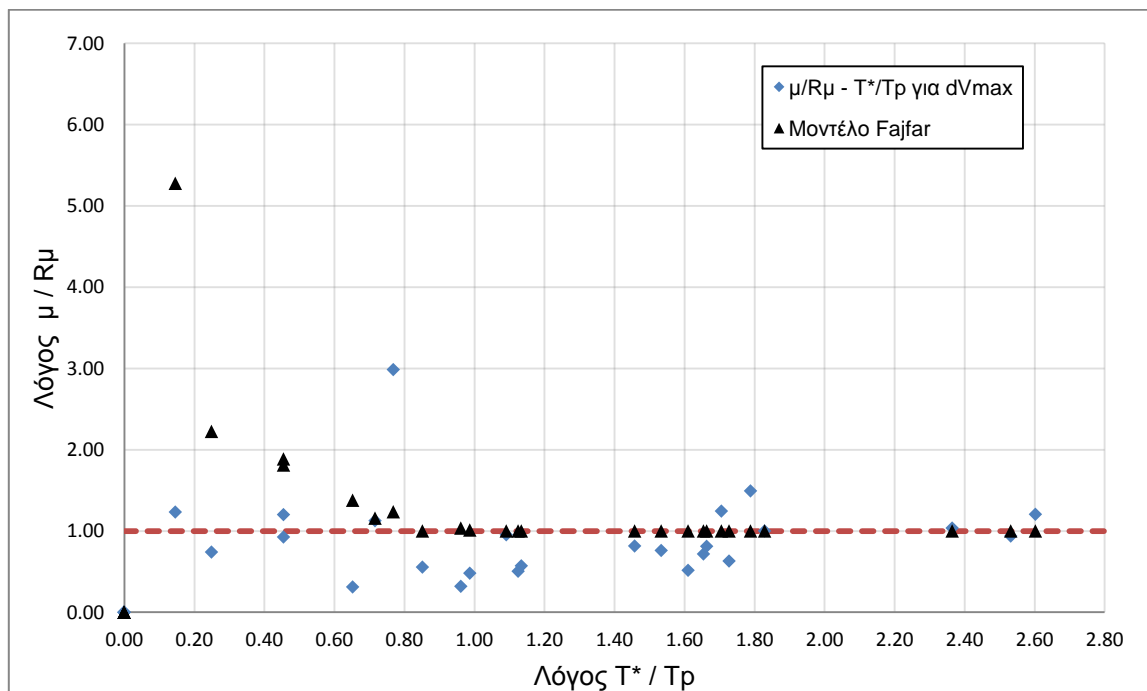
Σχήμα 6.3.35: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.3.36: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}

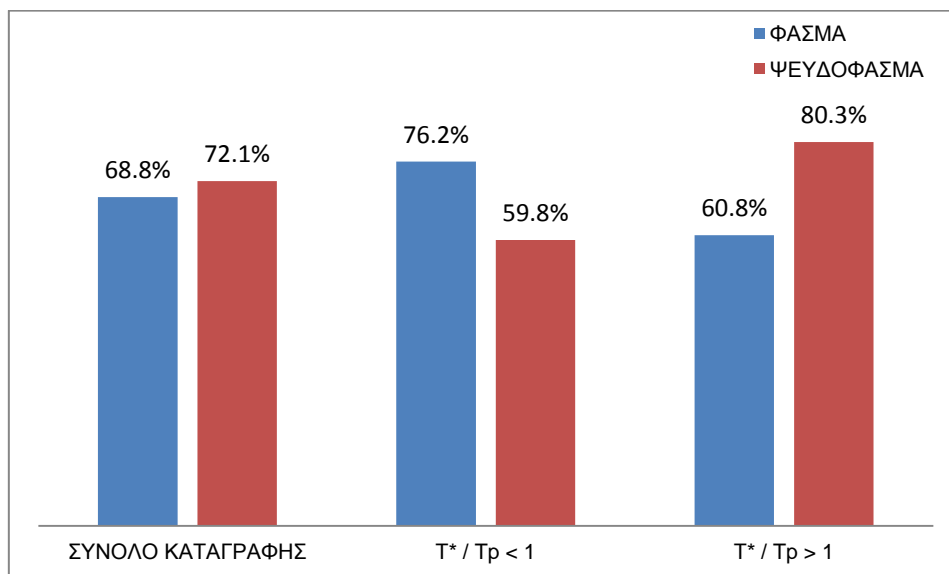


Σχήμα 6.3.37: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για d_{\max} και μοντέλο Fajfar

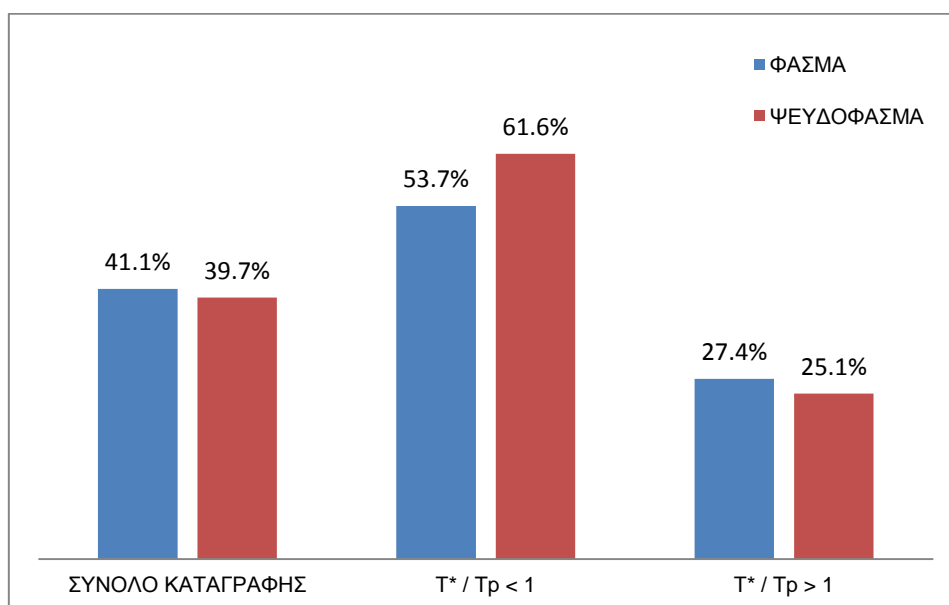


Σχήμα 6.3.38: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_r$ για $d_{V\max}$ και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία $d_{V\max}$ και d_{\max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.3.39 και 6.3.40.



Σχήμα 6.3.39: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 6.3.40: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{vmax}

Στα Σχήματα 6.3.39 και 6.3.40 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει κατά κανόνα μεγαλύτερες αποκλίσεις από την θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{vmax} . Επιπλέον η χρήση των ψευδοφασμάτων αυξάνει τη γενική απόκλιση αλλά στις επιμέρους ζώνες ισχύουν τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η αντικατάσταση της διαδικασίας που στηρίζεται στην μετακίνηση κορυφής από αυτήν που χρησιμοποιεί τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν ζεύγη με $\mu < 1$ και $R\mu > 1$ παρά την αύξηση της τιμής της πλαστιμότητας ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή αυξάνονται.

6.4. ΔΩΔΕΚΑΩΡΟΦΟ

Η κατασκευή διαθέτει 36 ιδιομορφές των οποίων οι τιμές δίνονται στον Πίνακα 6.4.1.

Πίνακας 6.4.13: Ιδιοπερίοδοι

Ιδιομορφή	Ιδιοπερίοδος [sec]
1	2.5487
2	2.5457
3	1.8848
4	0.8152
5	0.8138
6	0.6184
7	0.4565
8	0.4556
9	0.3623
10	0.3009
11	0.3001
12	0.2475
13	0.2132
14	0.2126
15	0.1821
16	0.1591
17	0.1585
18	0.1394
19	0.1228
20	0.1223
21	0.1099
22	0.0979
23	0.0974
24	0.0889
25	0.0801
26	0.0797
27	0.0737
28	0.0679
29	0.0674
30	0.0629
31	0.0597
32	0.0592
33	0.0558
34	0.0547
35	0.0543
36	0.0517

Είναι προφανές ότι λόγω συμμετρίας πρέπει να υπάρχουν ζεύγη ιδιομορφών με ίδια ιδιοπερίοδο. Αυτό πράγματι παρατηρείται (οι διαφορές οφείλονται στην αριθμητική επίλυση) στις ιδιομορφές 1-2, 4-5, 7-8, 10-11, 13-14, 16-17, 19-20, 22-23, 25-26, 28-29, 31-32 και 34-35.

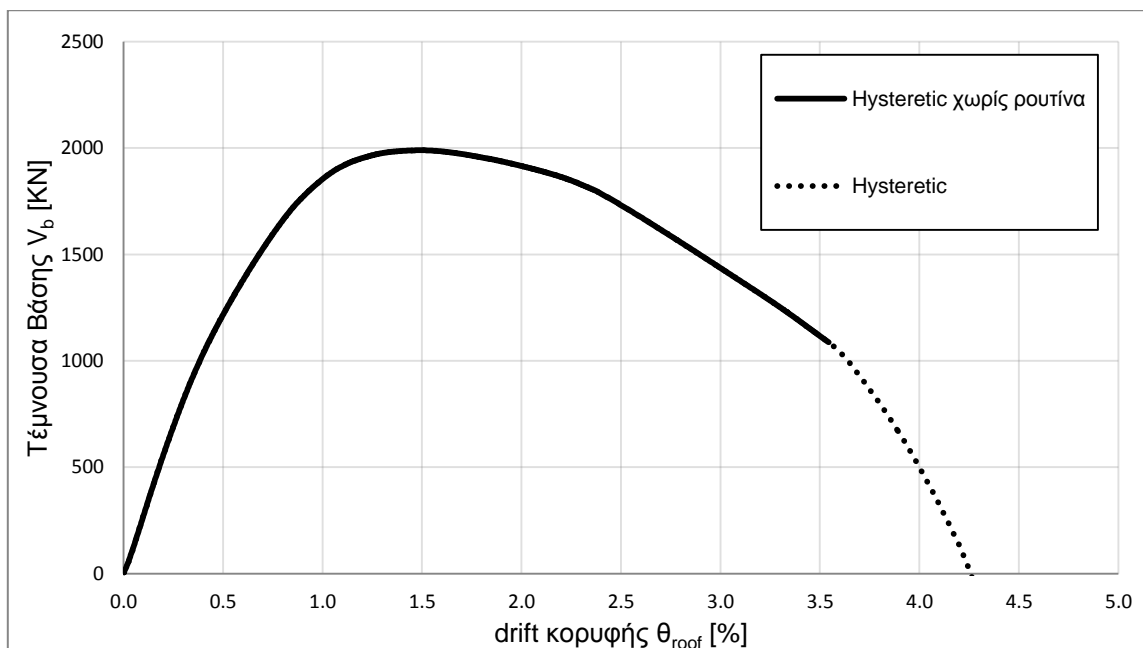
Για σεισμό κατά τη διεύθυνση X η ιδιομορφή με τη μεγαλύτερη συμμετοχή είναι η 2^η και η επόμενη είναι η 5^η. Στη συνέχεια αυτές θα αναφέρονται ως 1^η και 2^η ιδιομορφή.

6.4.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΧΑΛΥΒΑ

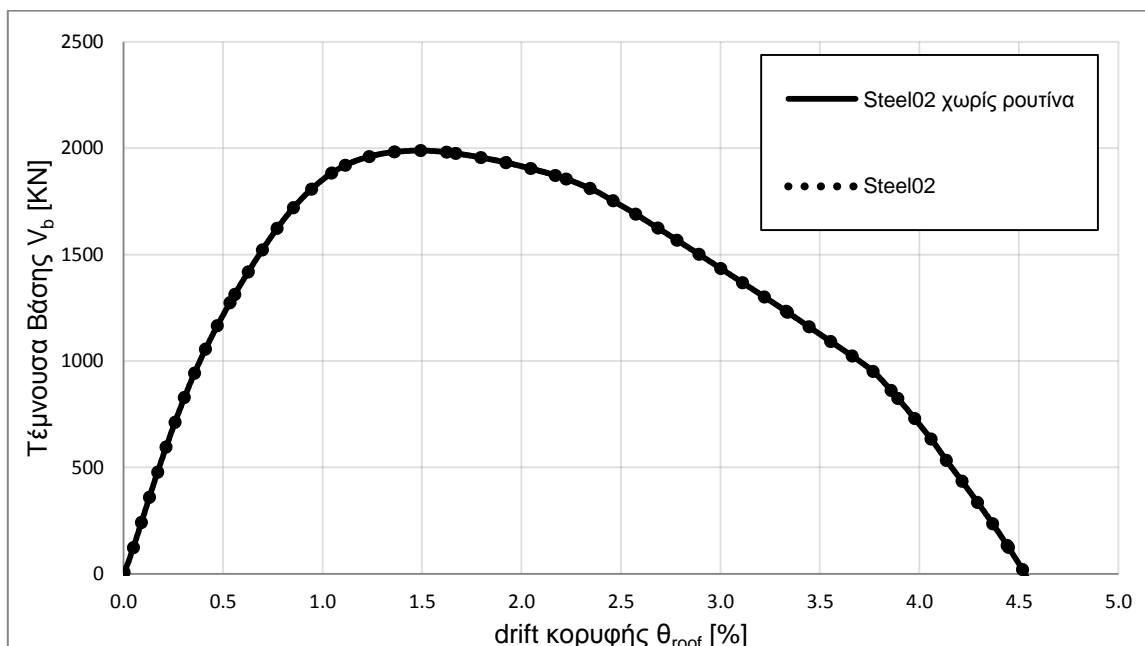
Στα πλαίσια της αναζήτησης του ιδανικότερου προσομοιώματος χάλυβα (αναλυτικότερη περιγραφή στο κεφάλαιο 3.2.2.2) σχεδιάστηκαν οι καμπύλες pushover για τα παρακάτω μοντέλα:

- **Hysteretic** (Σχήμα 6.4.1)
- **Steel02 Giuffré-Menegotto-Pinto** (Σχήμα 6.4.2)

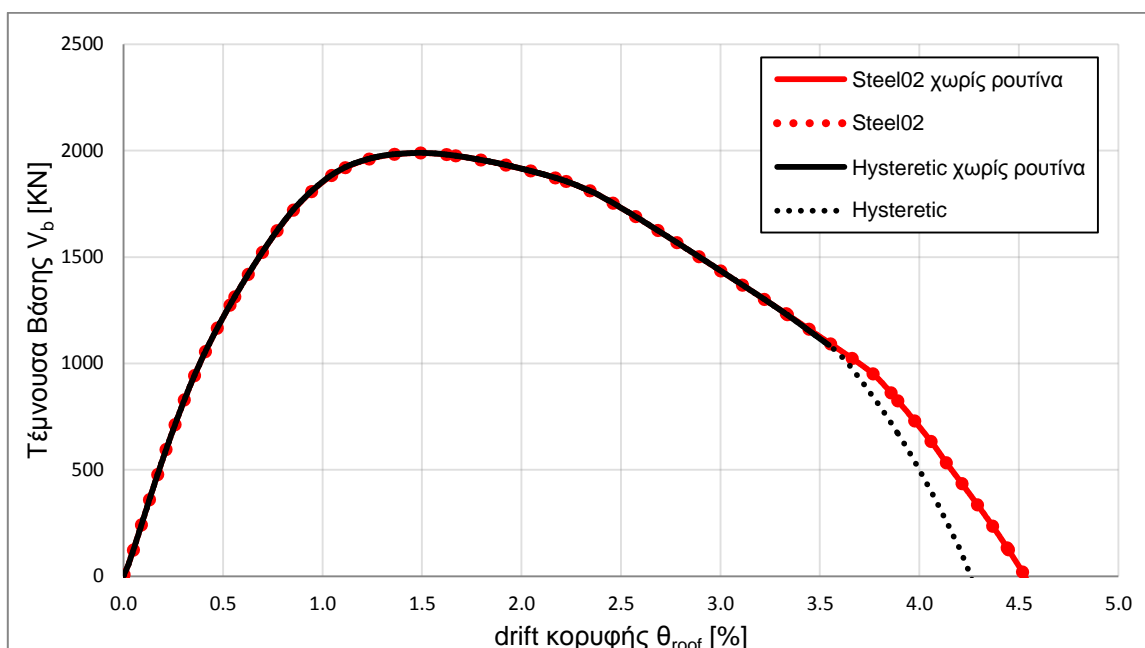
Οι αναλύσεις pushover πραγματοποιήθηκαν με και χωρίς τη χρήση της ρουτίνας σύγκλισης που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.4.



Σχήμα 6.4.1: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic



Σχήμα 6.4.2: Καμπύλες pushover για χάλυβα Steel02



Σχήμα 6.4.3: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02

Οι δύο καμπύλες pushover διαθέτουν αυξανόμενο και στη συνέχεια πτωτικό κλάδο και ως εκ τούτου προσεγγίζουν ικανοποιητικά τη θεωρητική μορφή της καμπύλης. Στο μεγαλύτερό τους τμήμα συμπίπτουν ενώ οι διαφορές εμφανίζονται στο τέλος του πτωτικού κλάδου επομένως και τα δύο μοντέλα θεωρούνται αποδεκτά. Η χρήση του μοντέλου Hysteretic στις υπόλοιπες κατασκευές καθιστά υποχρεωτική την υιοθέτησή του και στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Τέλος είναι προφανές ότι η καμπύλη διαθέτει ολοκληρωμένη μορφή ανεξαρτήτως αν χρησιμοποιήθηκε ή όχι η ρουτίνα σύγκλισης.

6.4.2. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ϵ_u ΧΑΛΥΒΑ

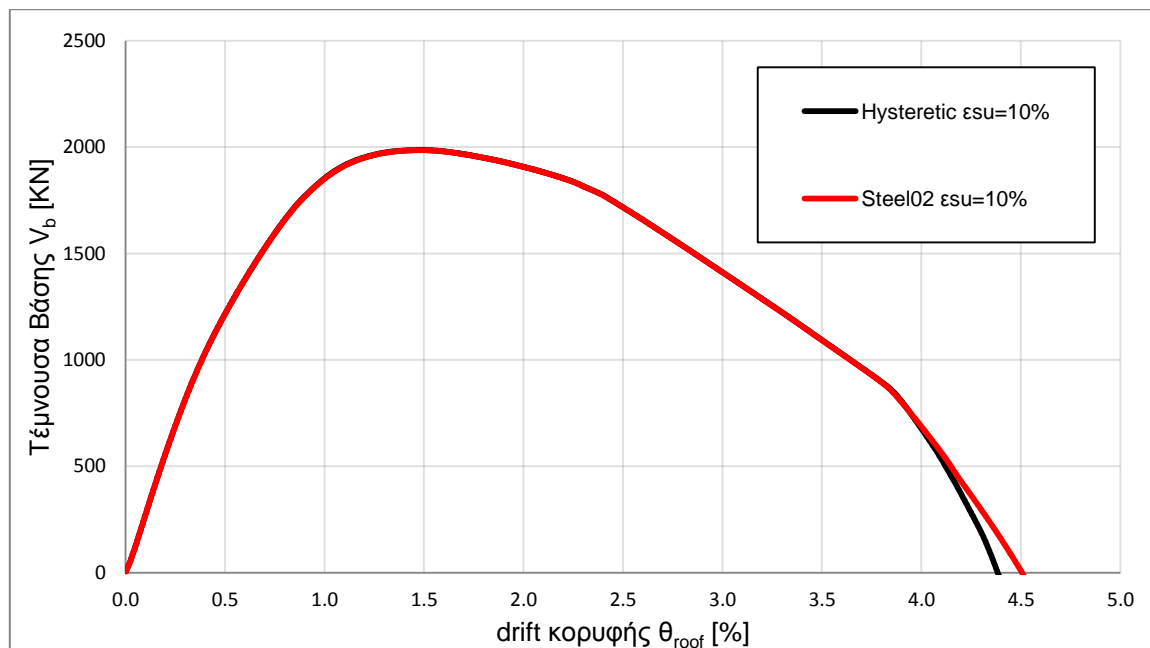
Όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 3.2.2.2 η επιμήκυνση ϵ_u του χάλυβα στο μέγιστο φορτίο έχει ληφθεί ίση με την χαρακτηριστική και έχει τιμή:

$$\epsilon_u = 7.5\%$$

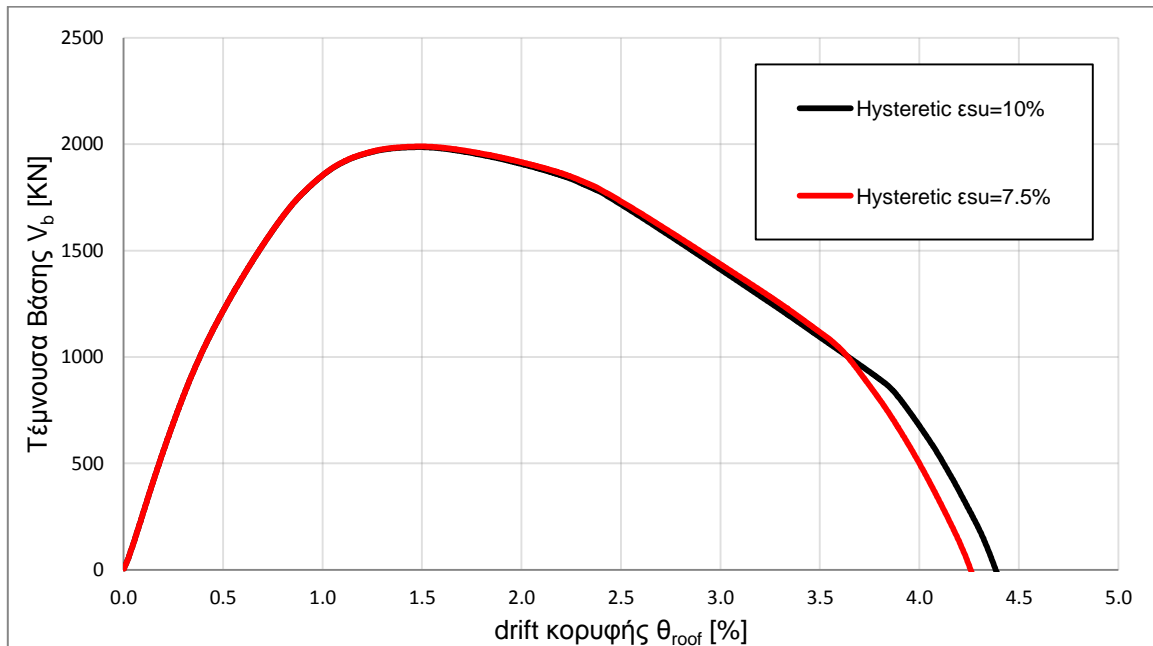
Για να εξετάσουμε την επίδραση του χάλυβα στις αντοχές της κατασκευής δοκιμάζουμε παραμόρφωση με τιμή 20-30% μεγαλύτερη της χαρακτηριστικής. Ωστόσο για λόγους απλότητας θεωρούμε αντοχή μεγαλύτερη κατά 33% δηλαδή:

$$\epsilon_u = 10.0\%$$

Στο Σχήμα 6.4.4 παρουσιάζονται οι καμπύλες pushover για μοντέλο χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10\%$ ενώ στο Σχήμα 6.4.5 γίνεται σύγκριση του χάλυβα Hysteretic για τις δύο τιμές παραμόρφωσης ϵ_u .



Σχήμα 6.4.4: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic και Steel02 με $\epsilon_u = 10.0\%$



Σχήμα 6.4.5: Καμπύλες pushover για χάλυβα Hysteretic με $\epsilon_u = 7.5\%$ και 10.0%

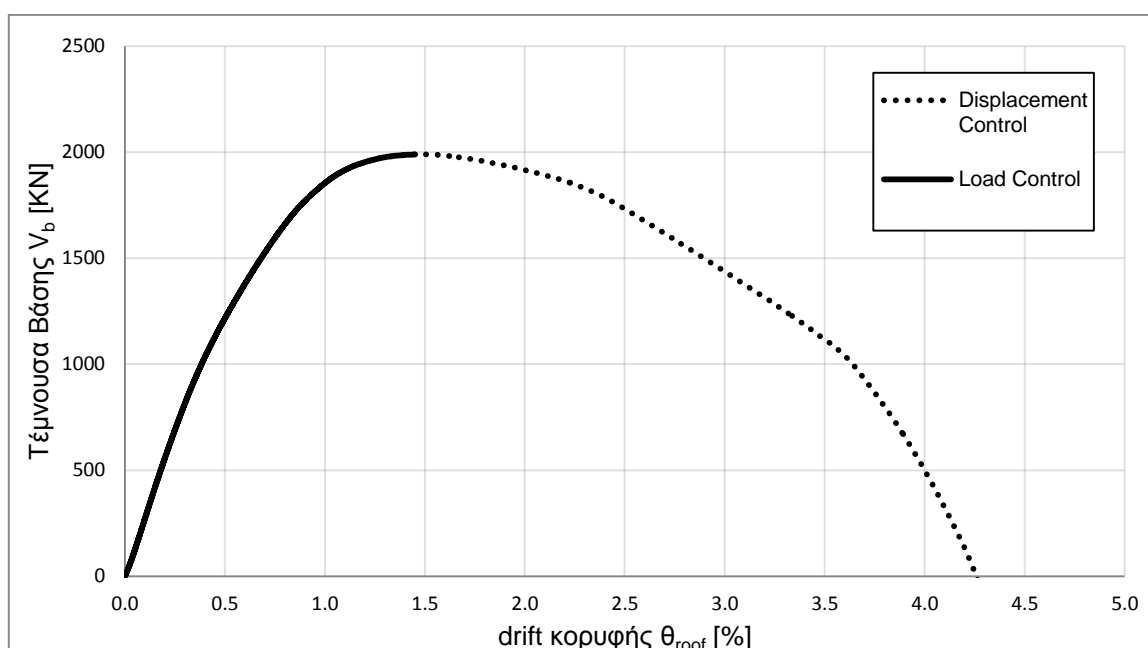
Οι δύο καμπύλες επί της ουσίας ταυτίζονται καθ' όλο το μήκος τους, γεγονός που δηλώνει ότι η επιλογή της επιμήκυνσης ϵ_u δεν μεταβάλλει τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Οι ανεπαίσθητες διαφορές που εντοπίζονται πράγματι ταιριάζουν με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε χάλυβα όπως παραδείγματος χάριν στον πτωτικό κλάδο η καμπύλη 7.5% δίνει λίγο μεγαλύτερες τιμές που προφανώς οφείλονται στην μεγαλύτερη κλίση κατά την κράτυνση.

6.4.3. LOADCONTROL PUSHOVER

Η ανάλυση pushover εξ' αρχής πραγματοποιήθηκε με δεδομένο ότι σε κάθε βήμα θα καταγράφεται συγκεκριμένη μετακίνηση κορυφής, ούτως ώστε να αποτυπωθεί ο πτωτικός κλάδος της καμπύλης. Η μορφή αυτή πράγματι καταγράφεται, επομένως η επιλογή που έγινε φαίνεται σε πρώτο βαθμό να είναι επιτυχημένη. Για να επιβεβαιωθεί όμως ότι δεν εμφανίζονται τυχόν αριθμητικά προβλήματα, πραγματοποιείται ανάλυση με σταθερά αυξανόμενα φορτία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι:

integrator LoadControl

Στο Σχήμα 6.4.6 δίνονται οι καμπύλες pushover για τα δύο είδη αναλύσεων.



Σχήμα 6.4.6: Καμπύλες pushover για σταθερό βήμα μετακίνησης και φορτίου

Όπως είχε προβλεφθεί, η Load Control ανάλυση δεν αποτυπώνει τη πτώση των αντοχών καθώς σταματάει στη μέγιστη τιμή της τέμνουσας. Το βασικότερο όμως είναι ότι οι δύο καμπύλες ταυτίζονται για όσο συνυπάρχουν, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ανάλυση με έλεγχο μετατοπίσεων είναι επιτυχημένη.

6.4.4. ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ

Προκειμένου να κατασκευαστεί το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου πρέπει, όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 1, να υπολογιστούν:

- η μάζα m^* του ισοδύναμου μονοβάθμιου συστήματος [ton]
- ο συντελεστής συμμετοχής Γ
- το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στη δυναμική απόκριση της κατασκευής

Χρησιμοποιώντας την κατανομή των φορτίων με την οποία πραγματοποιήθηκε η pushover, δηλαδή την τριγωνική, προκύπτουν οι εξής συντελεστές:

Πίνακας 6.4.14: Συντελεστές Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

m^*	879.26
Γ	1.446
α	0.780

Στη συνέχεια εντοπίζεται η μετακίνηση για την οποία θεωρείται ότι έχει σχηματιστεί μηχανισμός και πέραν αυτής η καμπύλη αντίστασης παύει να περιγράφει σωστά τη κατασκευή. Λόγω της μορφής της καμπύλης η μετακίνηση αυτή δεν είναι προφανής. Μια πρώτη εκτίμηση θα ήταν η θέση μέγιστης τέμνουσας, ωστόσο με αυτή την επιλογή παραλείπεται ένα μικρό τμήμα για το οποίο η κατασκευή συνεχίζει να παραλαμβάνει φορτία χωρίς ιδιαίτερη πτώση αντοχών. Αναζητείται λοιπόν μια τιμή στην οποία έχει αρχίσει να εμφανίζεται ο πτωτικός κλάδος χωρίς όμως αυτός να είναι μεγάλος.

Οι τιμές στις οποίες καταλήξαμε είναι οι:

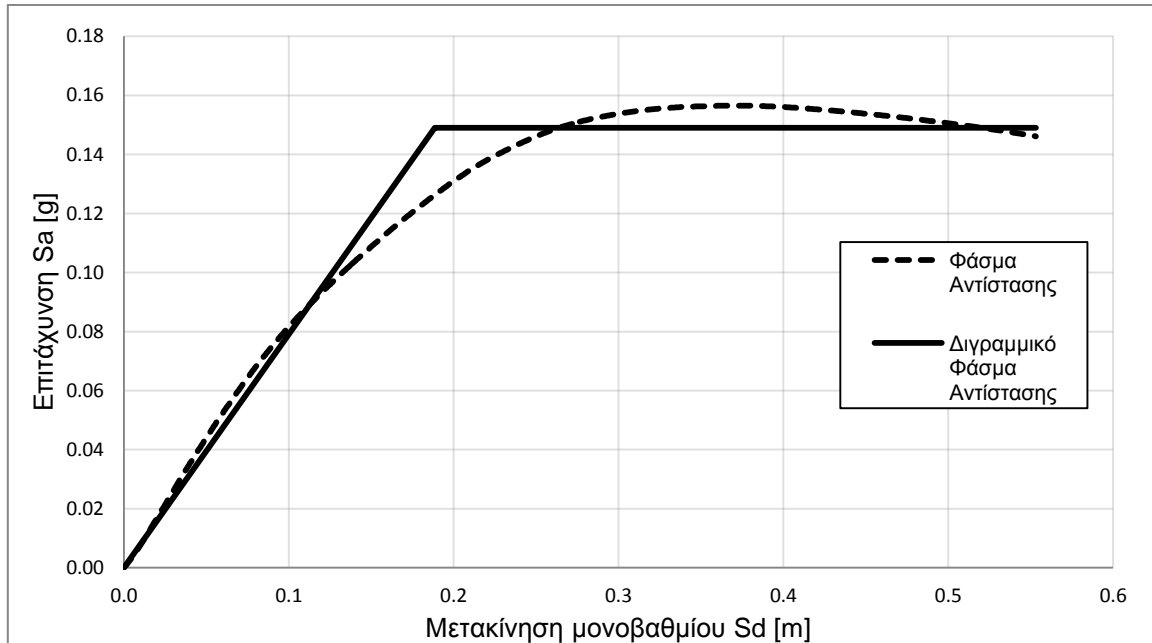
- $d_{\max} = 0.70 \text{ m (drift 1.9\%)}$
- $d_{\max} = 0.80 \text{ m (drift 2.2\%)}$

Πίνακας 6.4.15: Στοιχεία διγραμμικού φάσματος αντίστασης

	d_{\max}	
	0.70	0.80
T^* [sec]	2.235	2.235
S_{ay} [g]	0.149	0.149
S_{dy} [m]	0.189	0.189
S_{du} [m]	0.484	0.553

Οι διαφορές στις τιμές της ιδιοπεριόδου T^* , της επιτάχυνσης διαρροής Say και της μετακίνησης διαρροής S_{dy} του διγραμμικού φάσματος αντίστασης είναι αμελητέες (διαφορά του 3^{ου} δεκαδικού) με αποτέλεσμα οι τρεις λύσεις να είναι ισοδύναμες. Επιλέχθηκε λοιπόν η τιμή $d_{max} = 0.80 \text{ m}$ (drift 2.2%) ως (πλασματική) μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης.

Το φάσμα αντίστασης του ισοδύναμου μονοβάθμιου και το αντίστοιχο διγραμμικό δίνονται στο Σχήμα 6.4.7:



Σχήμα 6.4.7: Φάσμα Αντίστασης Ισοδύναμου Μονοβάθμιου

6.4.5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ PUSHOVER

Από το ισοδύναμο μονοβάθμιο και τη θεωρητική (τριγωνική) κατανομή των φορτίων προκύπτει μετακίνηση του ορόφου i ίση με:

$$d_i = S_d \cdot \Gamma \cdot \varphi_i = \frac{d_{top} \cdot \varphi_i}{\varphi_{top}}$$

Θεωρώντας ως αντιπροσωπευτικές τις κατανομές στη μετακίνηση μέγιστης αντοχής d_{vmax} και στη μετακίνηση σχηματισμού του μηχανισμού κατάρρευσης d_{max} που υπολογίστηκε προηγουμένως, κατασκευάζονται οι παρακάτω πίνακες.

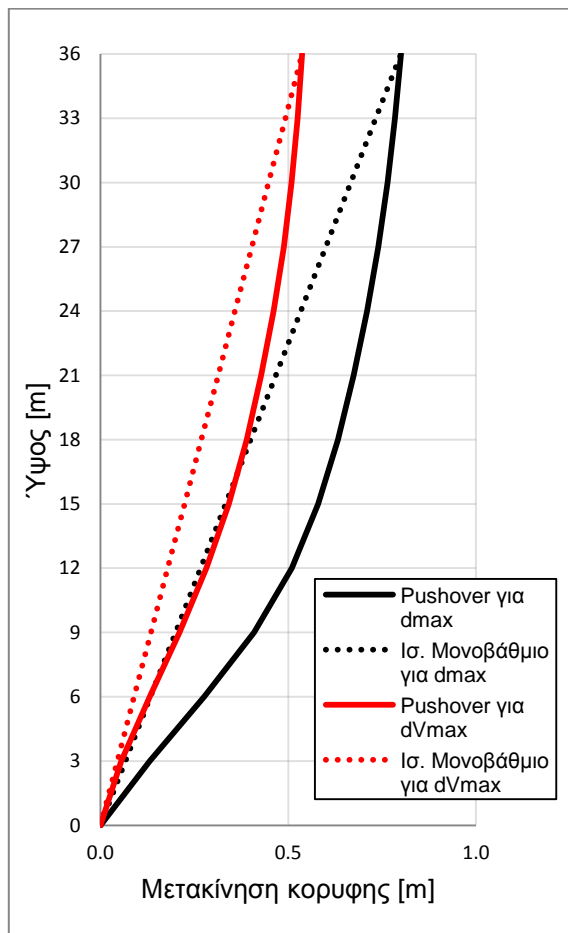
Πίνακας 6.4.16: Κατανομή μετακινήσεων για d_{max}

	d_{max} 0.800		Διαφορά (%)
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	
Όροφος 1	0.131	0.067	96.49
Όροφος 2	0.276	0.133	106.92
Όροφος 3	0.409	0.200	104.41
Όροφος 4	0.509	0.267	91.02
Όροφος 5	0.580	0.333	73.86
Όροφος 6	0.632	0.400	57.99
Όροφος 7	0.674	0.467	44.45
Όροφος 8	0.710	0.533	33.10
Όροφος 9	0.740	0.600	23.34
Όροφος 10	0.765	0.667	14.68
Όροφος 11	0.784	0.733	6.94
Όροφος 12	0.800	0.800	0.00

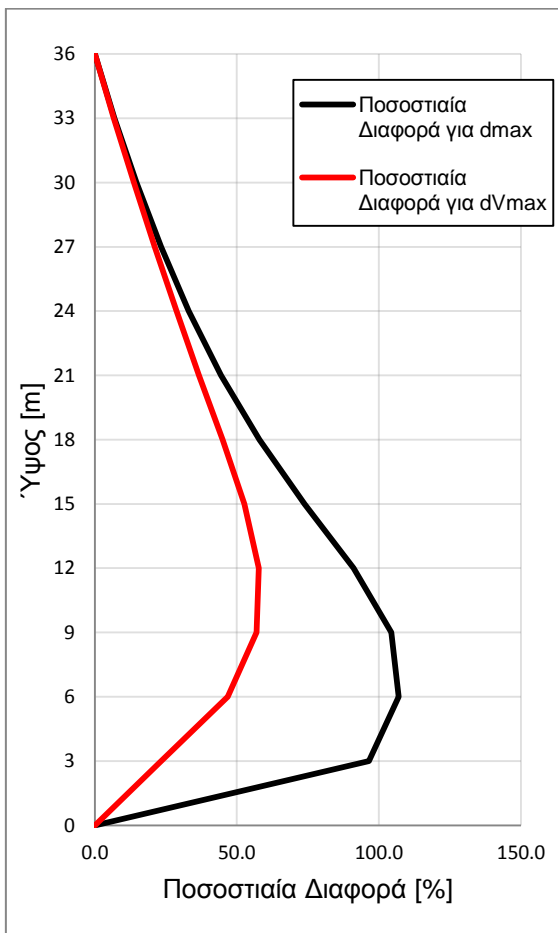
Πίνακας 6.4.17: Κατανομή μετακινήσεων για d_{Vmax}

	d_{Vmax} 0.537		Διαφορά (%)
	Pushover	Τριγωνική Κατανομή	
Όροφος 1	0.055	0.045	23.40
Όροφος 2	0.131	0.090	46.80
Όροφος 3	0.211	0.134	56.99
Όροφος 4	0.282	0.179	57.73
Όροφος 5	0.342	0.224	52.67
Όροφος 6	0.389	0.269	44.94
Όροφος 7	0.428	0.313	36.66
Όροφος 8	0.461	0.358	28.75
Όροφος 9	0.488	0.403	21.16
Όροφος 10	0.509	0.448	13.77
Όροφος 11	0.525	0.492	6.68
Όροφος 12	0.537	0.537	0.00

Τα Σχήματα 6.4.8 και 6.4.9 αποτυπώνουν τις καταγεγραμμένες μετακινήσεις σε σύγκριση με τις ιδεατές της τριγωνικής κατανομής καθώς και τις ποσοστιαίες διαφορές τους.



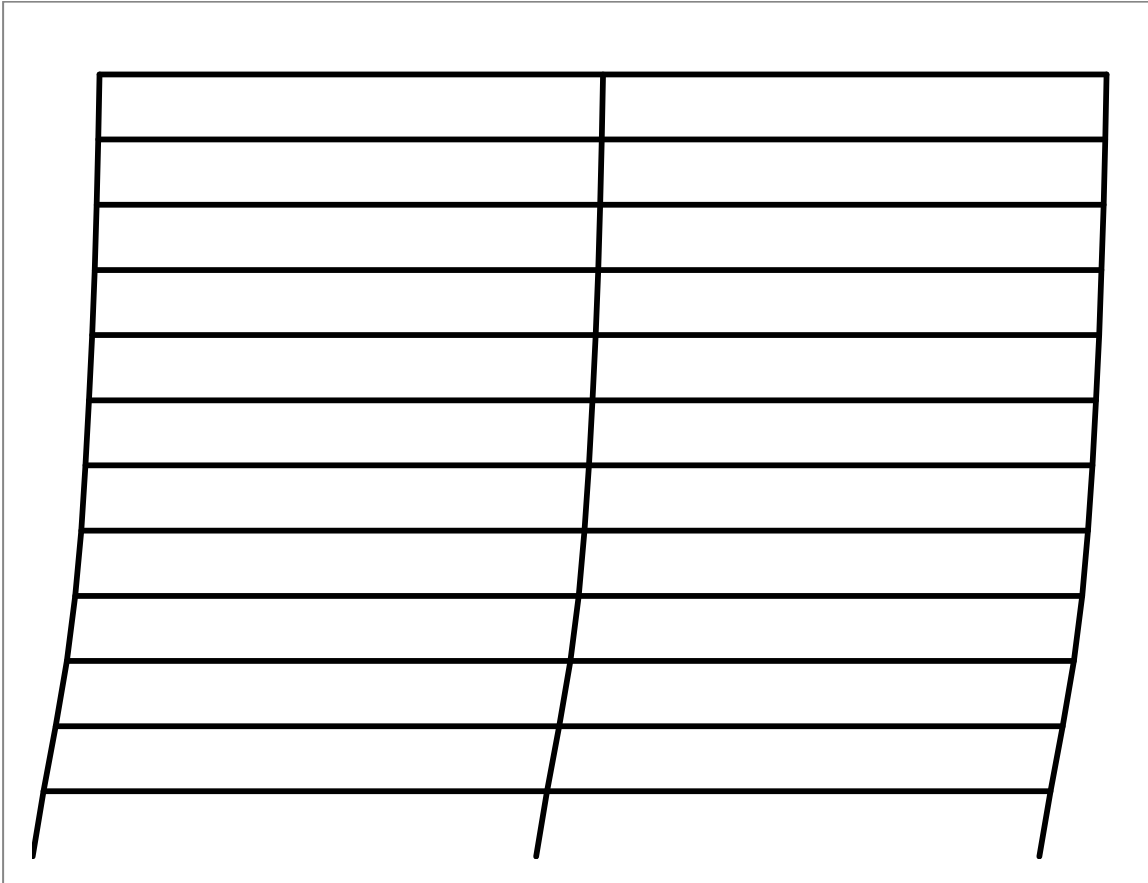
Σχήμα 6.4.8: Κατανομή μετακινήσεων



Σχήμα 6.4.9: Κατανομή Ποσοστιαίων Διαφορών

Είναι προφανές πως για μετακίνηση κορυφής d_{Vmax} η κατανομή των μετακινήσεων προσεγγίζει την ιδεατή περισσότερο απ' ό τι για μετακίνηση d_{max} . Αυτό είναι λογικό καθώς η γραμμική κατανομή ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στο ελαστικό τμήμα των παραμορφώσεων, στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα αστοχίες μελών. Η θέση μέγιστης αντοχής, παρόλο που βρίσκεται βαθιά μέσα στο ανελαστικό τμήμα απόκρισης, δεν εμφανίζει τόσες βλάβες όπως στη θέση d_{max} και ο μηχανισμός κατάρρευσης δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί με αποτέλεσμα η κατανομή των μετακινήσεων να είναι πλησιέστερα στη θεωρητική.

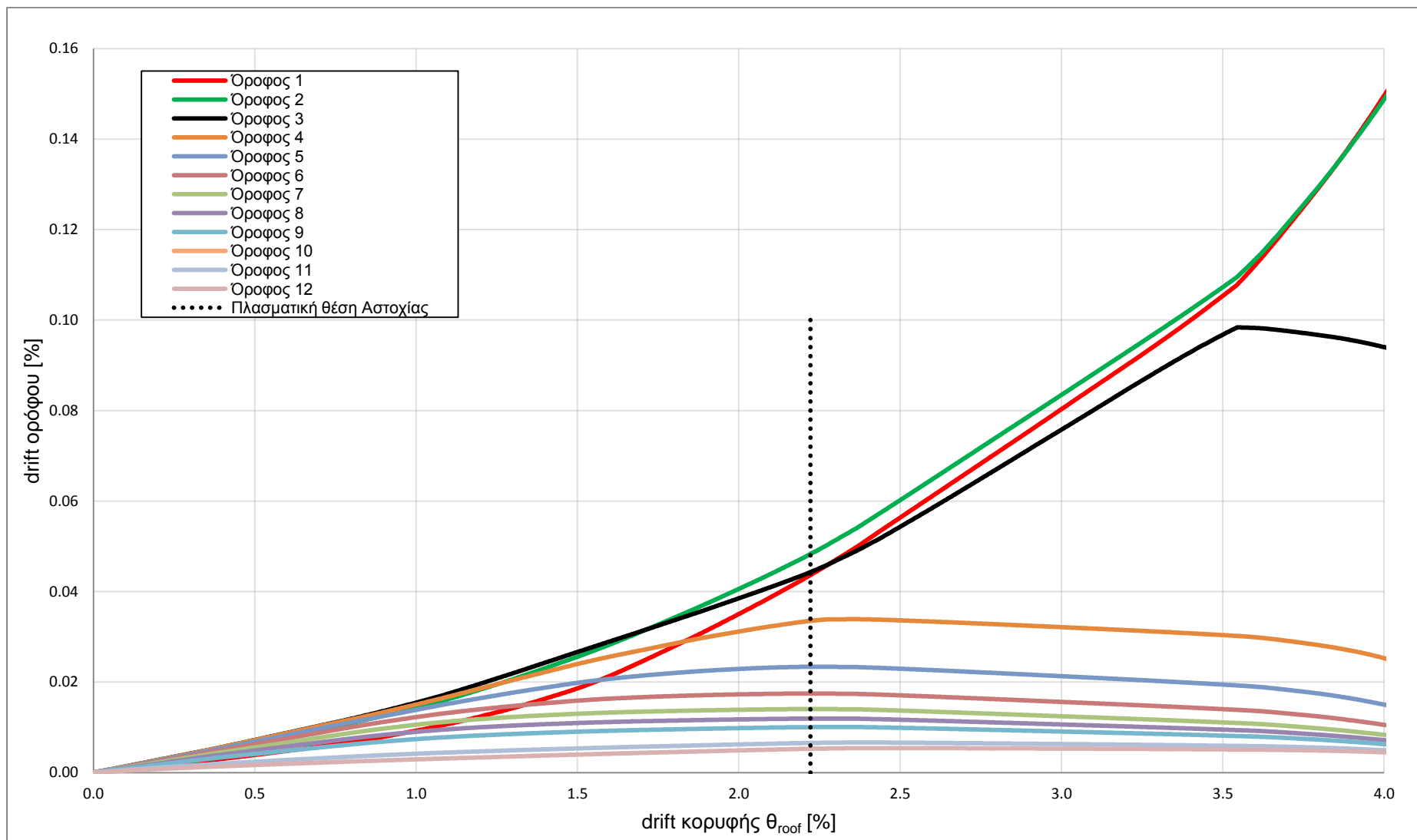
Στο Σχήμα 6.4.10 παρουσιάζεται ο φορέας στην παραμορφωμένη κατάσταση για μετακίνηση κορυφής d_{max} .



Σχήμα 6.4.50: Παραμορφωμένη κατάσταση φορέα για μετακίνηση κορυφής d_{max}

Είναι φανερό πως οι σχετικές μετακινήσεις των ορόφων μειώνονται καθ' ύψος πλησιάζοντας έτσι την παραβολική κατανομή που δίνουν οι αμιγώς πλαισιωτοί φορείς.

Καταγράφοντας την εξέλιξη του drift κάθε ορόφου (Σχήμα 6.4.11) μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι όροφοι 1, 2 και 3 εμφανίζουν κοινά drift για μεγάλο διάστημα με αποτέλεσμα οι παραμορφώσεις να συγκεντρώνονται στο τέλος του 3^{ου} ορόφου. Ωστόσο μετά τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας τα drift των παραπάνω ορόφων συνεχίζουν να αυξάνονται και μάλιστα με μεγαλύτερο ρυθμό, γεγονός που μαρτυρά ότι η κατάρρευση επέρχεται λόγω **μηχανισμού ορόφου στον 1^ο, 2^ο και 3^ο όροφο.**



Σχήμα 6.4.11: drift ορόφων συναρτήσει του ολικού drift

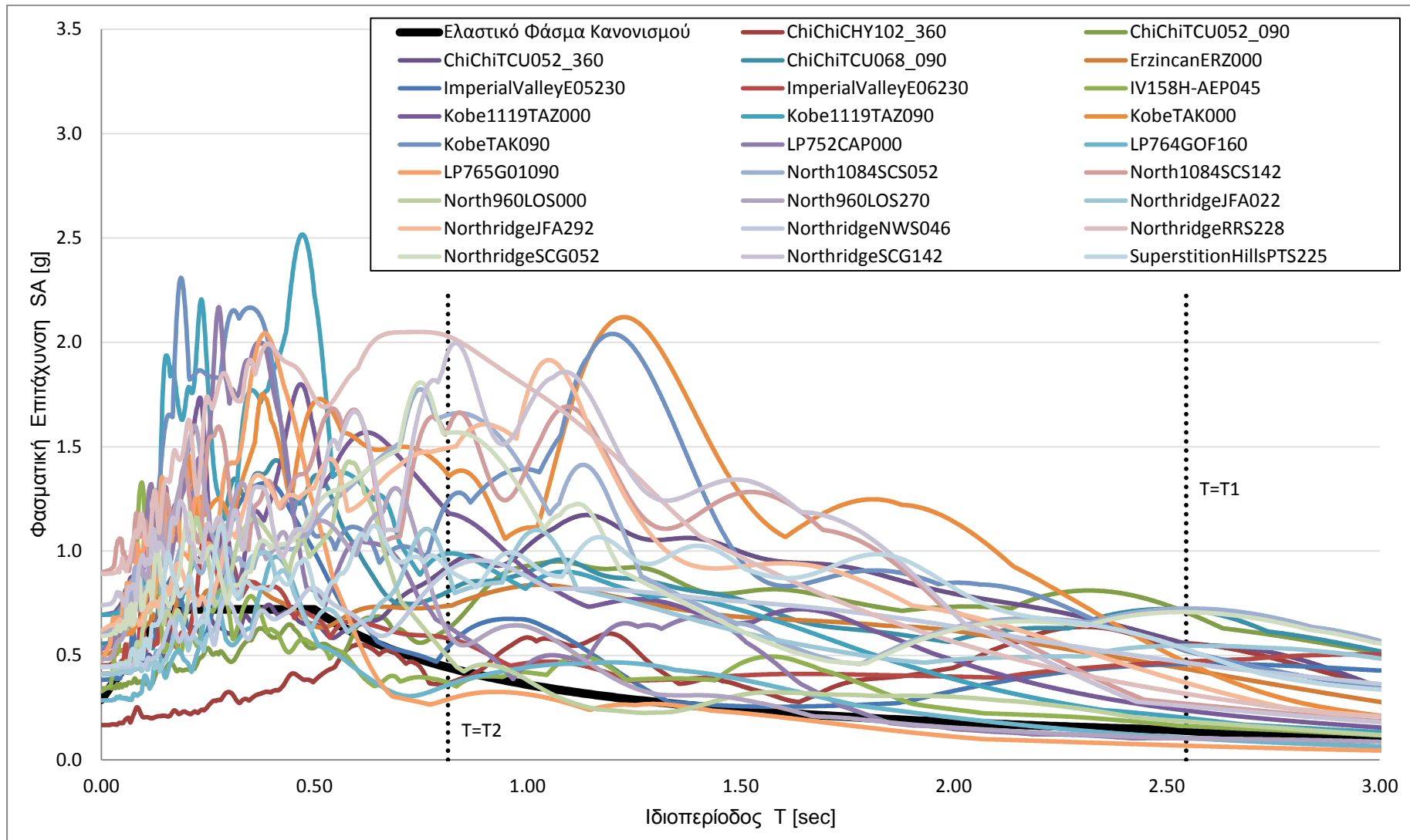
6.4.6. ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ

Οι σεισμικές καταγραφές που χρησιμοποιούνται για τη δυναμική ανάλυση της συγκεκριμένης κατασκευής (πρόκειται για τις ίδιες με την χωρίς Ρ-Δ ανάλυση) δίνονται στον Πίνακα 6.4.6 ενώ περισσότερα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 6.4.18: Λίστα Σεισμικών καταγραφών

A/A	Σεισμός	Ημερομηνία	Σταθμός	Καταγραφή
1	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	CHY102	ChiChiCHY102_360
2	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_090
3	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU052	ChiChiTCU052_360
4	Chi-Chi, Taiwan	20/09/92	TCU068	ChiChiTCU068_090
5	Erzincan	13/03/92	Erzincan	ErzincanERZ000
6	Imperial Valley	15/10/79	El Centro Array #5	ImperialValleyE05230
7	Imperial Valley	15/10/79	El Centro Array #6	ImperialValleyE06230
8	Imperial Valley	15/10/79	Aeropuerto Mexicali	IV158H-AEP045
9	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ000
10	Kobe	16/01/95	Takarazuka	Kobe1119TAZ090
11	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK000
12	Kobe	16/01/95	Takatori	KobeTAK090
13	Loma Prieta	18/10/89	Capitola	LP752CAP000
14	Loma Prieta	18/10/89	Gilroy-Historic Bldg.	LP764GOF160
15	Loma Prieta	18/10/89	Gilroy Array #1	LP765G01090
16	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS052
17	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta	North1084SCS142
18	Northridge	17/01/94	Canyon Country-W Lost Cany	North960LOS000
19	Northridge	17/01/94	Canyon Country-W Lost Cany	North960LOS270
20	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA022
21	Northridge	17/01/94	Jensen Filtration Plant	NorthridgeJFA292
22	Northridge	17/01/94	Newhall-W Pico Canyon Rd.	NorthridgeNWS046
23	Northridge	17/01/94	Rinaldi Receiving Station	NorthridgeRRS228
24	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG052
25	Northridge	17/01/94	Sylmar-Converter Sta (NGA record)	NorthridgeSCG142
26	Superstition Hills	24/11/87	Parachute Test Site	SuperstitionHillsPTS225

Στο Σχήμα 6.4.12 έχουν σχεδιαστεί τα ελαστικά φάσματα επιταχύνσεων των καταγραφών και το φάσμα σχεδιασμού. Η καταλληλότητα των επιλεγμένων σεισμών φαίνεται από το πλήθος των φασμάτων που για τις τιμές των ιδιοπεριόδων T_1 και T_2 υπερβαίνουν τη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού.



Σχήμα 6.4.12: Ελαστικά Φάσματα Επιταχύνσεων για απόσβεση ζ=5%

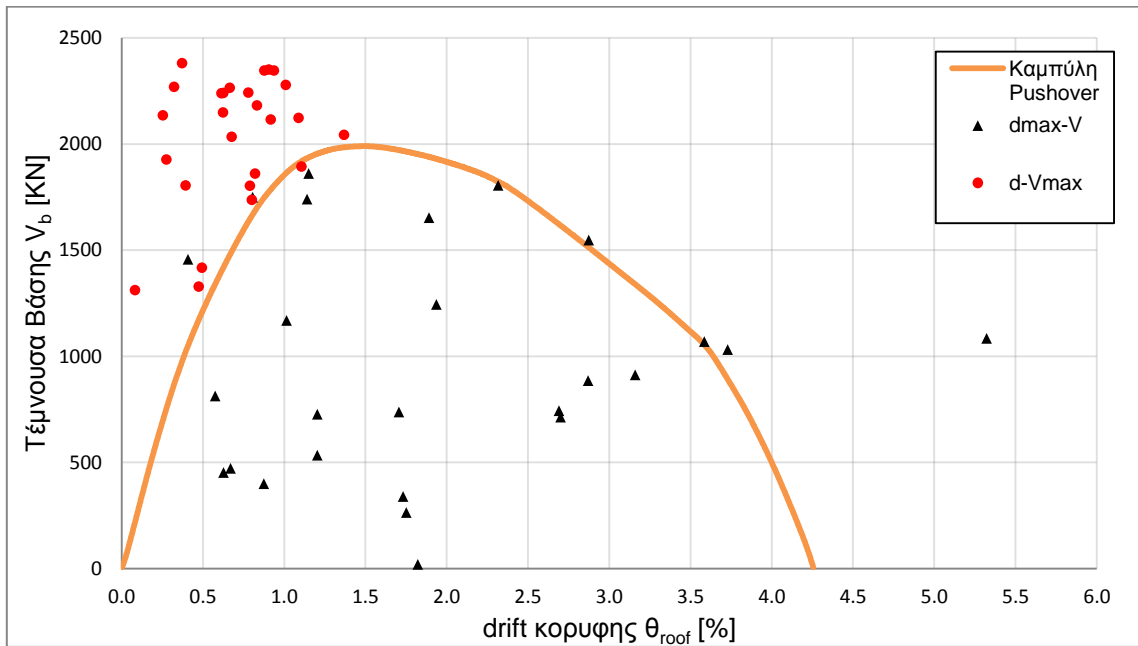
6.4.7. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ

Για κάθε διέγερση καταγράφεται η μέγιστη μετακίνηση κορυφής με την ταυτόχρονη τέμνουσα βάσης (d_{max} , V_{dmax}) και η μέγιστη τέμνουσα βάσης με την ταυτόχρονη μετακίνηση κορυφής (d_{vmax} , V_{max}). Οι τιμές των μεγίστων κατ' απόλυτη τιμή δίνονται στον Πίνακα 6.4.7.

Πίνακας 6.4.7: Μέγιστες καταγεγραμμένες μετακινήσεις κορυφής και τέμνουσες βάσης

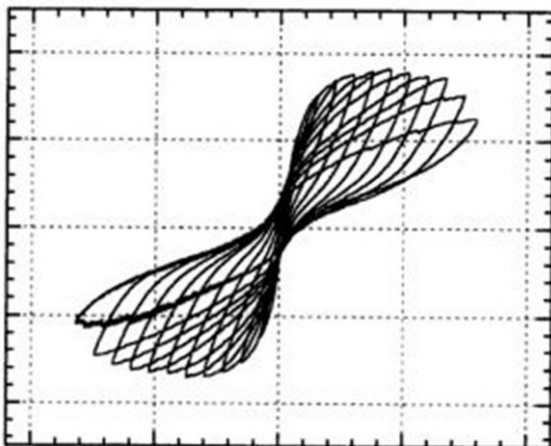
		d_{max} [m]	V_{dmax} [KN]	d_{vmax} [m]	V_{max} [KN]
ChiChiCHY102_360	scale 1.0	0.681	1653.4	0.399	1892.7
ChiChiTCU052_090	scale 1.0	1.343	1032.6	0.393	2122.2
ChiChiTCU052_360	scale 1.0	1.034	885.9	0.364	2277.3
ChiChiTCU068_090	scale 1.0	1.917	1084.3	0.493	2042.2
ErzincanERZ000	scale 1.0	0.697	1245.0	0.225	2147.4
ImperialValleyE05230	scale 1.0	1.291	1070.2	0.300	2180.9
ImperialValleyE06230	scale 1.0	1.035	1548.1	0.331	2114.8
IV158H-AEP045	scale 1.0	0.290	1750.3	0.285	1802.7
Kobe1119TAZ000	scale 1.0	0.433	534.7	0.244	2033.8
Kobe1119TAZ090	scale 1.0	0.315	400.5	0.289	1736.6
KobeTAK000	scale 1.0	0.624	339.8	0.134	2380.0
KobeTAK090	scale 1.0	0.434	727.5	0.092	2133.6
LP752CAP000	scale 1.0	0.226	452.3	0.178	1417.1
LP764GOF160	scale 1.0	0.241	472.9	0.171	1326.8
LP765G01090	scale 1.0	0.147	1457.8	0.143	1803.5
North1084SCS052	scale 1.0	0.969	743.9	0.327	2349.5
North1084SCS142	scale 1.0	0.411	1740.5	0.240	2263.5
North960LOS000	scale 1.0	0.366	1169.7	0.296	1859.7
North960LOS270	scale 1.0	0.207	812.6	0.030	1311.6
NorthridgeJFA022	scale 1.0	0.834	1806.1	0.281	2241.3
NorthridgeJFA292	scale 1.0	0.631	264.9	0.116	2268.7
NorthridgeNWS046	scale 1.0	1.138	912.8	0.226	2239.9
NorthridgeRRS228	scale 1.0	0.656	19.5	0.338	2345.5
NorthridgeSCG052	scale 1.0	0.973	713.2	0.317	2345.3
NorthridgeSCG142	scale 1.0	0.414	1862.0	0.222	2238.1
SuperstitionHillsPTS225	scale 1.0	0.615	738.5	0.099	1926.9

Τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με την pushover προκειμένου να γίνουν οι απαιτούμενες συγκρίσεις (Σχήμα 6.4.13).



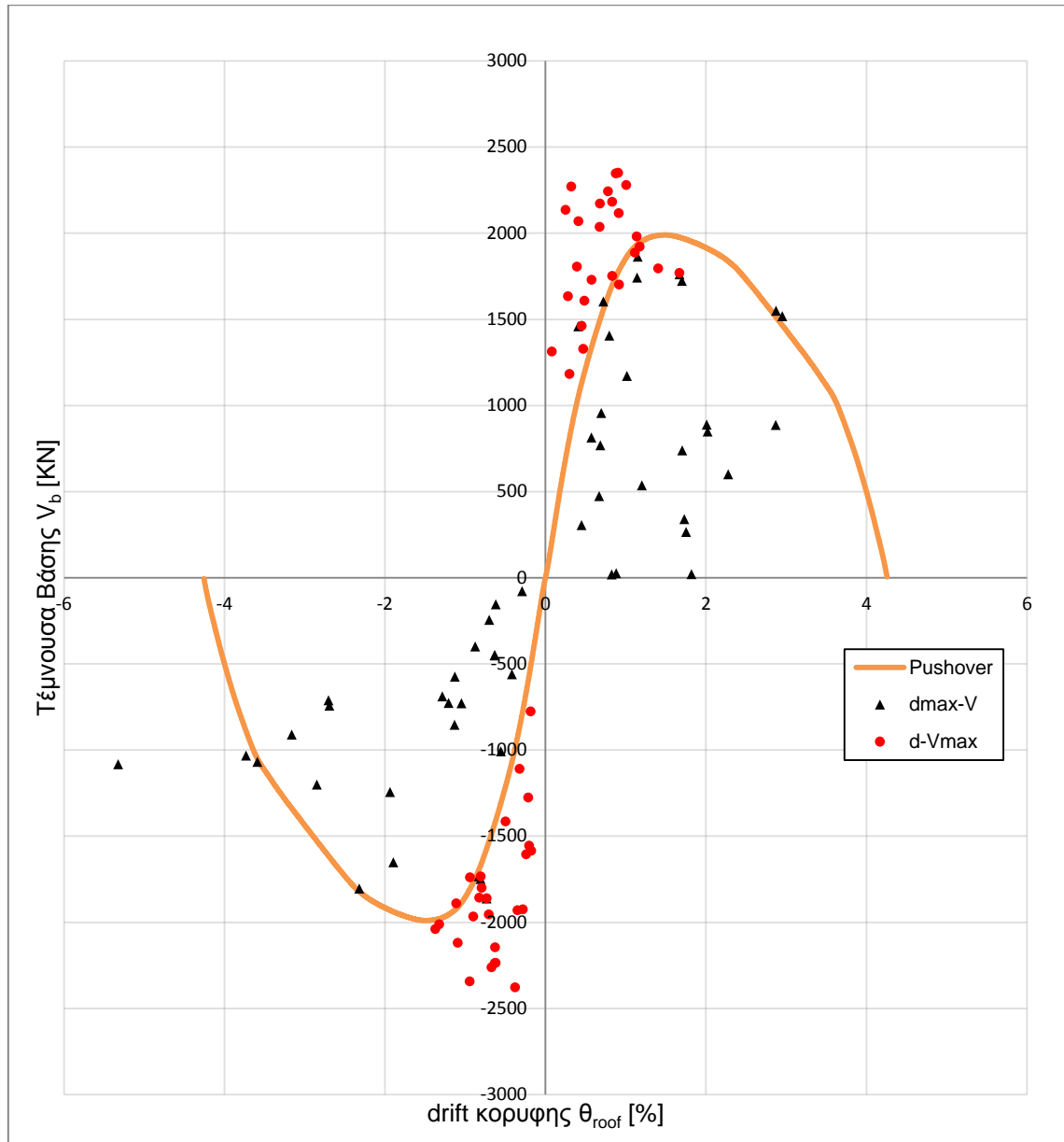
Σχήμα 6.4.13: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

Όπως διαπιστώνεται, οι περισσότεροι σεισμοί (όσον αφορά τα d_{max}) ωθούν την κατασκευή μέχρι την αρχή του πτωτικού κλάδου. Είναι προφανές ότι η καμπύλη pushover αποτελεί ένα κάτω όριο για τα σημεία μέγιστης τέμνουσας και δεν τα προσεγγίζει απολύτως ικανοποιητικά. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στα σημεία μέγιστης μετακίνησης τα οποία βρίσκονται πολύ χαμηλά σε σχέση με την καμπύλη. Παρόλο που μερικά σημεία με μεγάλες μετακινήσεις προσεγγίζουν τον πτωτικό κλάδο της pushover, η προσομοίωση του συνόλου θεωρείται ανεπιτυχής. Για να επιβεβαιωθεί η ορθότητα αυτού του ισχυρισμού σχεδιάζονται τα ζεύγη και προς τις δύο κατευθύνσεις παραμόρφωσης (Σχήμα 6.4.15) δίνοντας έτσι τις πραγματικές κατανομές. Στο νέο σχήμα οι αποκλίσεις παραμένουν στην ίδια κλίμακα.



Σχήμα 6.4.14: Θεωρητική μορφή δυναμικής απόκρισης

Λόγω της σταδιακής πτώσης της δυσκαμψίας η θεωρητική μορφή της καμπύλης τέμνουσας-μετακίνησης κορυφής είναι αυτή του Σχήματος 6.4.14 και υποδηλώνει ότι τα σημεία μέγιστης μετακίνησης θα έπρεπε να εντοπίζονται κοντά στον πτωτικό κλάδο της pushover ή έστω στο πλατό.



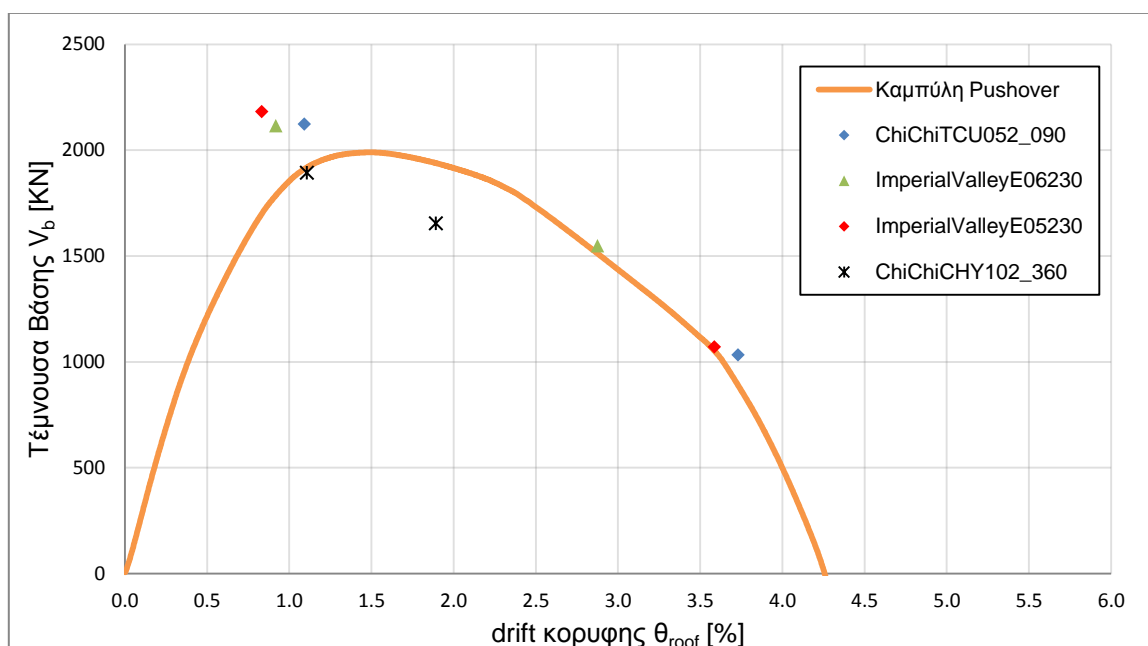
Σχήμα 6.4.15: Ζεύγη (d_{max} , V_{dmax}) και (d_{Vmax} , V_{max}) επί της καμπύλης pushover

6.4.8. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕΙΣΜΟΥ

Στην προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε ότι η καμπύλη pushover προσεγγίζει περισσότερο τα σημεία μέγιστης τέμνουσας παρά μετακίνησης. Προκειμένου να καταλήξουμε σε κάποιο συμπέρασμα για τους λόγους αυτής της διαφοροποίησης, θα εξεταστεί η κατανομή των μετακινήσεων για ορισμένες καταγραφές και της pushover για ίδια μετακίνηση κορυφής. Οι καταγραφές που επιλέγονται διαθέτουν μια εκ των δύο τιμών (d_{max} ή d_{Vmax}) κοντά στην καμπύλη pushover. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι αναμενόμενες αποκλίσεις είναι μικρές.

Οι καταγραφές που επιλέχθηκαν (Σχήμα 6.4.16) είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση χωρίς P-Δ και είναι οι:

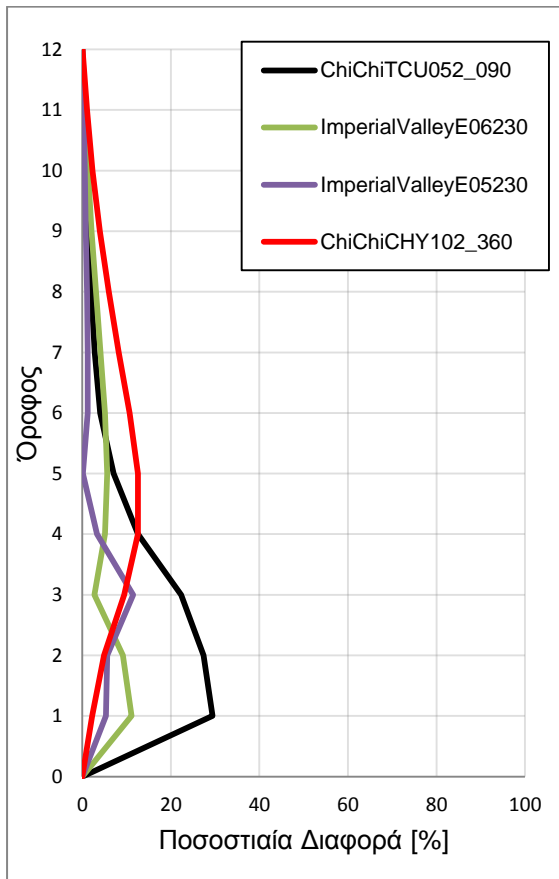
- **ChiChiTCU052_090**
- **ImperialValleyE06230**
- **ImperialValleyE05230**
- **ChiChiCHY102_360**



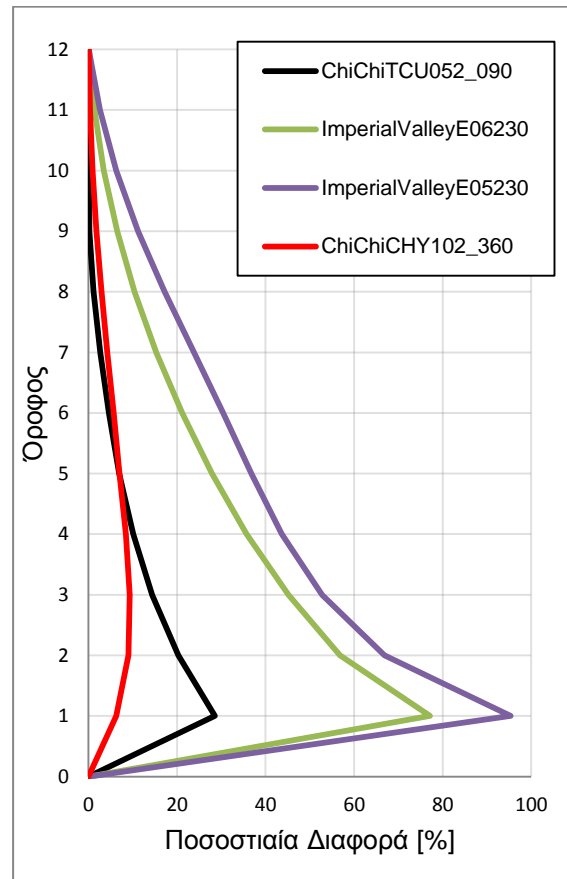
Σχήμα 6.4.16: Επιλεγμένες καταγραφές για έλεγχο της κατανομής των μετακινήσεων

Για τη σύγκριση χρησιμοποιούνται οι μετακινήσεις που έχουν υπολογιστεί από τη δυναμική ανάλυση χρονοϊστορίας του σεισμικού συμβάντος και οι μετακινήσεις της pushover για τις οποίες η μετακίνηση κορυφής είναι ίδια.

Στα Σχήματα 6.4.17 και 6.4.18 δίνεται η κατανομή της ποσοστιαίας διαφοράς και όχι καθ' εαυτού η μετακίνηση καθώς επιτρέπει τη πραγματοποίηση συγκρίσεων.



Σχήμα 6.4.17: Ποσοστιαία διαφορά για d_{max}



Σχήμα 6.4.18: Ποσοστιαία διαφορά για d_{vmax}

Εξετάζοντας κάθε καταγραφή ξεχωριστά επιβεβαιώνεται ότι το σημείο (d_{max} ή d_{vmax}) που βρίσκεται πλησιέστερα στην καμπύλη εμφανίζει μικρότερη απόκλιση. Οι διαφορές από την κατανομή της pushover είναι δικαιολογημένες καθώς δεν έχει ληφθεί υπ' όψιν η επίδραση των ανώτερων ιδιομορφών.

Όταν όμως επιχειρείται να γίνει σύγκριση μεταξύ αντίστοιχων σημείων σε διαφορετικές καταγραφές η κατάσταση περιπλέκεται. Για τα σημεία d_{vmax} οι καταγραφές που βρίσκονται κοντά στην καμπύλη πράγματι εμφανίζουν μικρότερη απόκλιση από άλλες πιο απομακρυσμένες. Ωστόσο αυτός ο κανόνας δεν ισχύει πάντα για τα σημεία d_{max} . Για παράδειγμα η απόκλιση του ChiChiTCU052_090 είναι πολύ μεγαλύτερη αυτής του ChiChiCHY102_360 παρόλο που η πρώτη είναι κοντά στην καμπύλη ενώ η δεύτερη όχι.

Η πιθανότερη εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι πως στη θέση d_{max} ο φορέας έχει αποδιοργανωθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα οι ανώτερες ιδιομορφές να παίζουν σημαντικότερο ρόλο απ' ότι στην αρχή, αλλάζοντας την κατανομή των φορτίων.

6.4.9. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ R_{μ} - μ

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί για κάθε σεισμό η απαιτούμενη πλαστιμότητα μ και ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} .

Καταρχάς από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων κάθε καταγραφής εντοπίζεται η φασματική επιτάχυνση SA που αντιστοιχεί στην ιδιοπερίοδο $T^*=2.235$ sec του ισοδύναμου μονοβάθμιου και διαιρείται με την επιτάχυνση διαρροής S_{ay} . Στη συνέχεια υπολογίζεται η Δεσπόζουσα Περίοδος T_p της εδαφικής κίνησης θεωρώντας απλοποιητικά ότι πρόκειται για την περίοδο στην οποία το φάσμα ταχυτήτων λαμβάνει μέγιστη τιμή. Τέλος από τη μετακίνηση κορυφής και από τη μετακίνηση διαρροής του ισοδύναμου μονοβάθμιου υπολογίζεται η πλαστιμότητα. Οι παραπάνω διαδικασίες επαναλαμβάνονται χρησιμοποιώντας το ψευδοφάσμα επιταχύνσεων και ταχυτήτων.

Πίνακας 6.4.8: Τιμές Φασματικών & ΨευδοΦασματικών επιταχύνσεων και περιόδων T_p

	Από Φάσματα		Από ΨευδοΦάσματα	
	SA (T*) [g]	T_p [sec]	SA (T*) [g]	T_p [sec]
ChiChiCHY102_360	0.6207	2.4110	0.6176	2.3550
ChiChiTCU052_090	0.7939	6.5000	0.7905	5.1800
ChiChiTCU052_360	0.7129	10.0500	0.7098	8.2900
ChiChiTCU068_090	0.6314	8.8600	0.6284	9.3100
ErzincanERZ000	0.5411	1.8130	0.5386	2.0350
ImperialValleyE05230	0.4132	3.5990	0.4116	3.3790
ImperialValleyE06230	0.4272	3.3570	0.4248	3.5940
IV158H-AEP045	0.2101	1.6360	0.2087	1.5970
Kobe1119TAZ000	0.3436	1.7490	0.3419	1.6920
Kobe1119TAZ090	0.2781	1.3350	0.2764	0.4790
KobeTAK000	0.8210	1.2780	0.8165	1.2610
KobeTAK090	0.7563	1.2570	0.7519	1.2290
LP752CAP000	0.1215	1.4890	0.1198	1.4240
LP764GOF160	0.1517	1.3180	0.1498	1.4160
LP765G01090	0.0879	0.4120	0.0856	0.3990
North1084SCS052	0.6732	2.9480	0.6688	2.6650
North1084SCS142	0.4871	1.6280	0.4822	1.5790
North960LOS000	0.2608	0.5950	0.2595	0.5950
North960LOS270	0.1259	0.7110	0.1255	0.6970
NorthridgeJFA022	0.4952	2.7750	0.4931	2.8210
NorthridgeJFA292	0.5684	1.1140	0.5630	1.0690
NorthridgeNWS046	0.5584	2.1490	0.5559	1.9840
NorthridgeRRS228	0.4378	1.0350	0.4350	1.0780
NorthridgeSCG052	0.6582	2.9270	0.6536	2.6660
NorthridgeSCG142	0.4560	1.6110	0.4509	1.1110
SuperstitionHillsPTS225	0.6702	1.9160	0.6669	1.8590

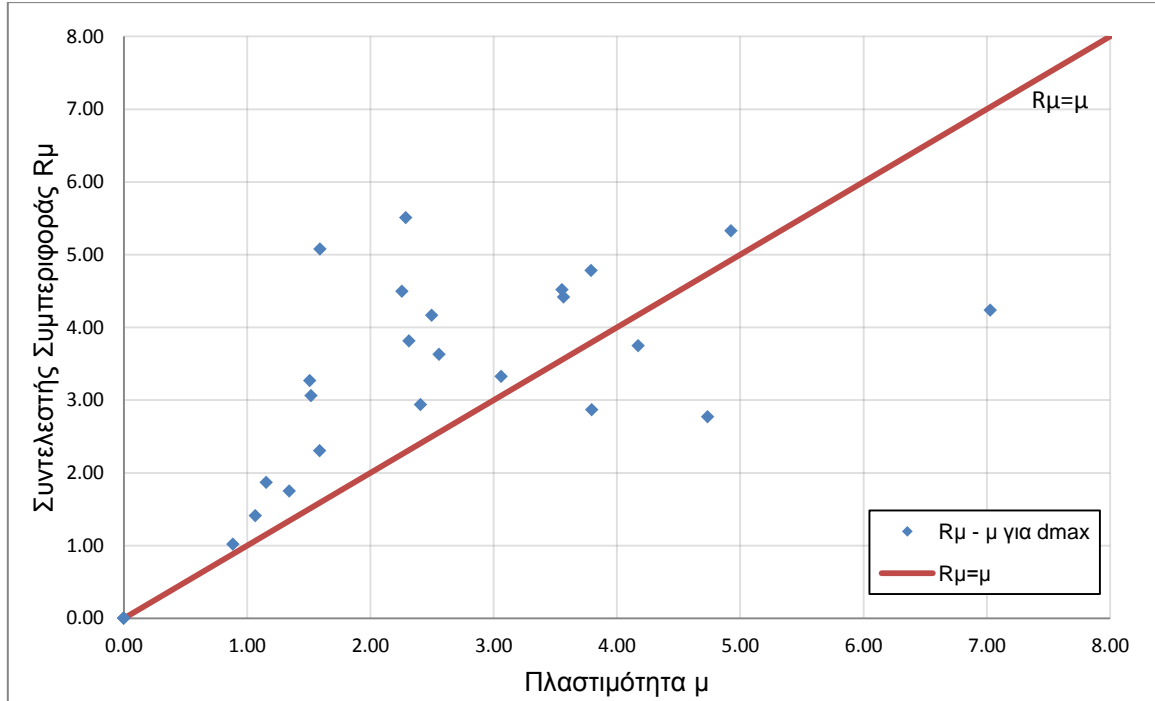
Πίνακας 6.4.9: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	S _{A,el} [g]	R _μ = S _{A,el} / S _{ay}	T _p [sec]	μ / R _μ	T* / T _p
	για d _{max}								
ChiChiCHY102_360	για d _{max}	0.6813	0.4712	2.498	0.6207	4.165	2.411	0.600	0.927
ChiChiTCU052_090	για d _{max}	1.3431	0.9289	4.924	0.7939	5.327	6.500	0.924	0.344
ChiChiTCU052_360	για d _{max}	1.0337	0.7149	3.790	0.7129	4.783	10.050	0.792	0.222
ChiChiTCU068_090	για d _{max}	1.9166	1.3256	7.027	0.6314	4.237	8.860	1.659	0.252
ErzincanERZ000	για d _{max}	0.6972	0.4822	2.556	0.5411	3.630	1.813	0.704	1.233
ImperialValleyE05230	για d _{max}	1.2913	0.8931	4.735	0.4132	2.773	3.599	1.708	0.621
ImperialValleyE06230	για d _{max}	1.0353	0.7160	3.796	0.4272	2.866	3.357	1.324	0.666
IV158H-AEP045	για d _{max}	0.2905	0.2009	1.065	0.2101	1.410	1.636	0.755	1.366
Kobe1119TAZ000	για d _{max}	0.4334	0.2998	1.589	0.3436	2.306	1.749	0.689	1.278
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.3151	0.2180	1.156	0.2781	1.866	1.335	0.619	1.674
KobeTAK000	για d _{max}	0.6235	0.4313	2.286	0.8210	5.509	1.278	0.415	1.749
KobeTAK090	για d _{max}	0.4336	0.2999	1.590	0.7563	5.075	1.257	0.313	1.778
LP752CAP000	για d _{max}	0.2262	0.1564	0.829	0.1215	0.815	1.489	1.017	1.501
LP764GOF160	για d _{max}	0.2412	0.1668	0.884	0.1517	1.018	1.318	0.869	1.696
LP765G01090	για d _{max}	0.1473	0.1019	0.540	0.0879	0.590	0.412	0.916	5.425
North1084SCS052	για d _{max}	0.9693	0.6704	3.554	0.6732	4.517	2.948	0.787	0.758
North1084SCS142	για d _{max}	0.4112	0.2844	1.508	0.4871	3.268	1.628	0.461	1.373
North960LOS000	για d _{max}	0.3657	0.2529	1.341	0.2608	1.750	0.595	0.766	3.756
North960LOS270	για d _{max}	0.2074	0.1435	0.761	0.1259	0.845	0.711	0.900	3.143
NorthridgeJFA022	για d _{max}	0.8344	0.5771	3.059	0.4952	3.323	2.775	0.921	0.805
NorthridgeJFA292	για d _{max}	0.6310	0.4364	2.314	0.5684	3.814	1.114	0.607	2.006
NorthridgeNWS046	για d _{max}	1.1379	0.7870	4.172	0.5584	3.747	2.149	1.114	1.040
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.6560	0.4537	2.405	0.4378	2.938	1.035	0.819	2.159
NorthridgeSCG052	για d _{max}	0.9729	0.6729	3.567	0.6582	4.416	2.927	0.808	0.764
NorthridgeSCG142	για d _{max}	0.4144	0.2866	1.519	0.4560	3.060	1.611	0.497	1.387
SuperstitionHillsPTS225	για d _{max}	0.6148	0.4252	2.254	0.6702	4.497	1.916	0.501	1.166

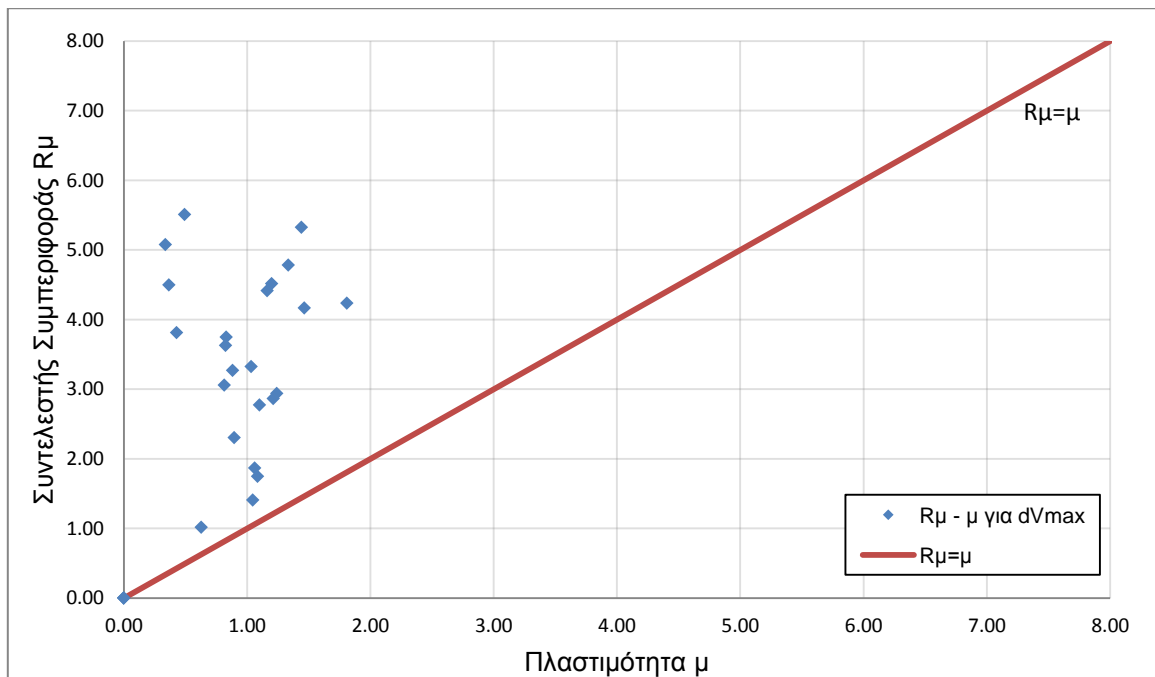
Πίνακας 6.4.10: Υπολογισμός μ και $R\mu$ για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	dtop [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R\mu = SA,el / Say$	Tp [sec]	$\mu / R\mu$	T* / Tp
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.3989	0.2759	1.463	0.6207	4.165	2.411	0.351	0.927
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	0.3928	0.2716	1.440	0.7939	5.327	6.500	0.270	0.344
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.3639	0.2517	1.334	0.7129	4.783	10.050	0.279	0.222
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	0.4934	0.3412	1.809	0.6314	4.237	8.860	0.427	0.252
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.2249	0.1556	0.825	0.5411	3.630	1.813	0.227	1.233
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	0.3001	0.2076	1.100	0.4132	2.773	3.599	0.397	0.621
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.3306	0.2287	1.212	0.4272	2.866	3.357	0.423	0.666
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.2850	0.1971	1.045	0.2101	1.410	1.636	0.741	1.366
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.2442	0.1689	0.895	0.3436	2.306	1.749	0.388	1.278
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.2893	0.2001	1.061	0.2781	1.866	1.335	0.569	1.674
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.1344	0.0930	0.493	0.8210	5.509	1.278	0.089	1.749
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0919	0.0635	0.337	0.7563	5.075	1.257	0.066	1.778
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.1784	0.1234	0.654	0.1215	0.815	1.489	0.802	1.501
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.1711	0.1183	0.627	0.1517	1.018	1.318	0.616	1.696
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.1425	0.0986	0.523	0.0879	0.590	0.412	0.886	5.425
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.3270	0.2262	1.199	0.6732	4.517	2.948	0.265	0.758
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.2405	0.1663	0.882	0.4871	3.268	1.628	0.270	1.373
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.2959	0.2047	1.085	0.2608	1.750	0.595	0.620	3.756
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.0302	0.0209	0.111	0.1259	0.845	0.711	0.131	3.143
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.2814	0.1946	1.032	0.4952	3.323	2.775	0.310	0.805
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.1164	0.0805	0.427	0.5684	3.814	1.114	0.112	2.006
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.2263	0.1565	0.830	0.5584	3.747	2.149	0.221	1.040
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3382	0.2339	1.240	0.4378	2.938	1.035	0.422	2.159
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.3170	0.2192	1.162	0.6582	4.416	2.927	0.263	0.764
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2219	0.1535	0.814	0.4560	3.060	1.611	0.266	1.387
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0995	0.0688	0.365	0.6702	4.497	1.916	0.081	1.166

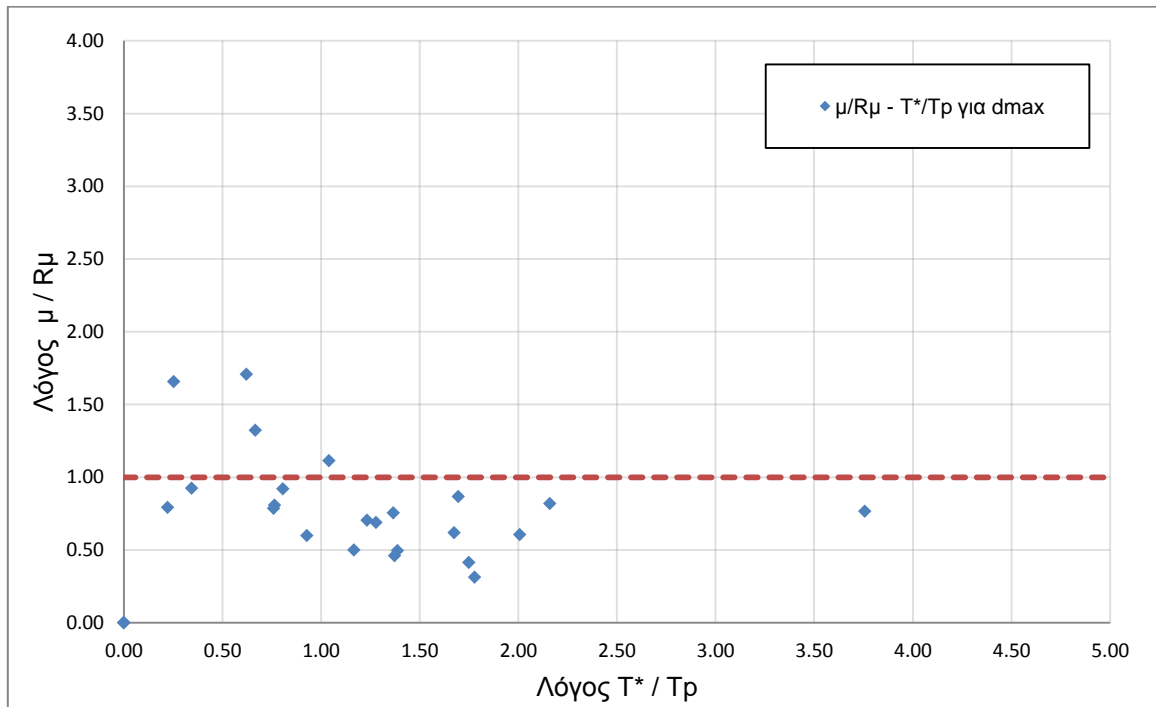
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 6.4.19 και 6.4.20 και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 6.4.21 και 6.4.22).



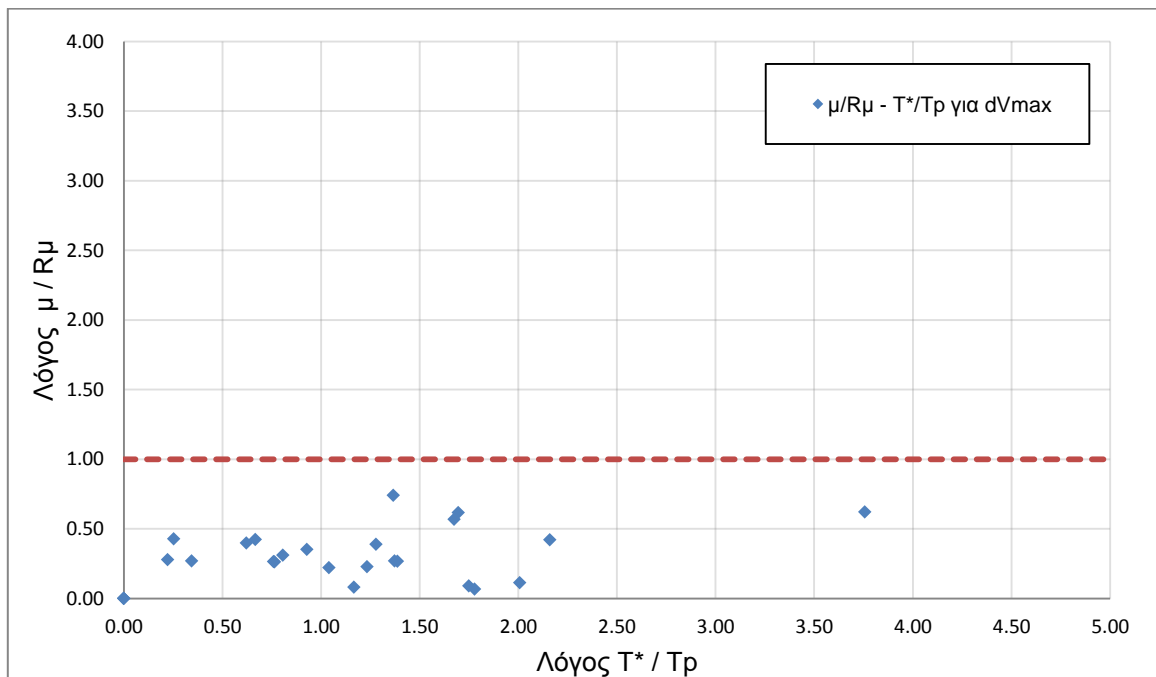
Σχήμα 6.4.19: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.4.20: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{vmax}



Σχήμα 6.4.21: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max}



Σχήμα 6.4.22: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax}

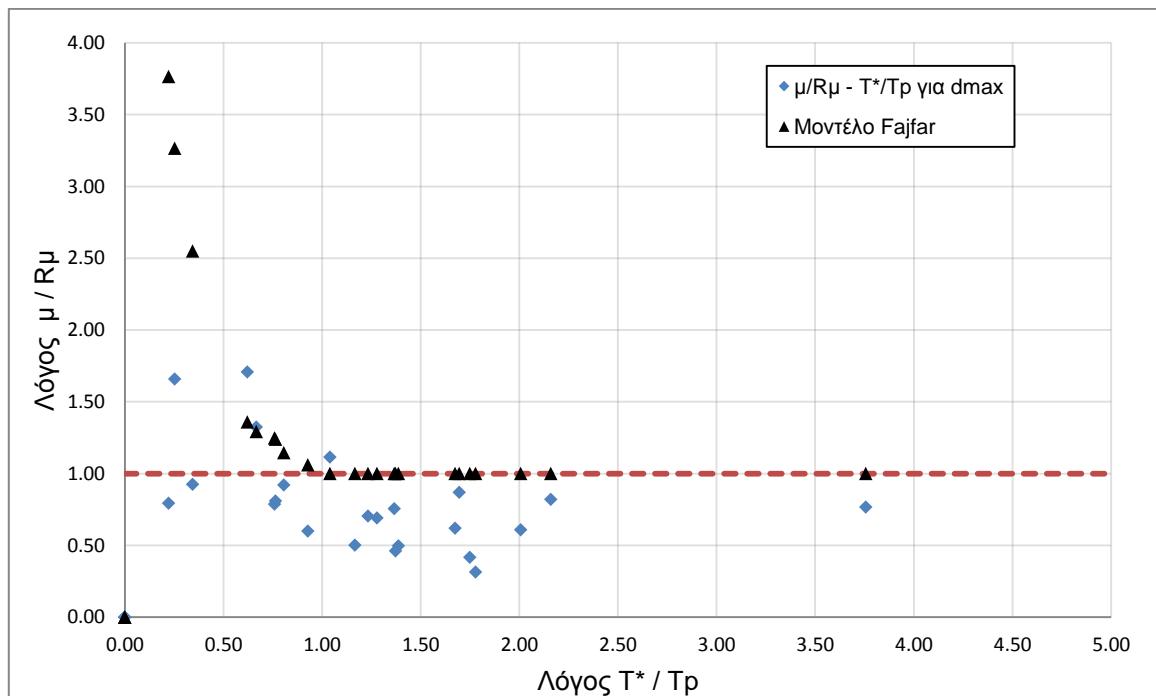
Σύμφωνα με τον Fajfar οι σχέσεις που συνδέουν τη πλαστιμότητα με τον συντελεστή συμπεριφοράς είναι:

$$R_{\mu} = (\mu - 1) \frac{T^*}{T_o} + 1 \quad \text{για } T^* \leq T_o$$

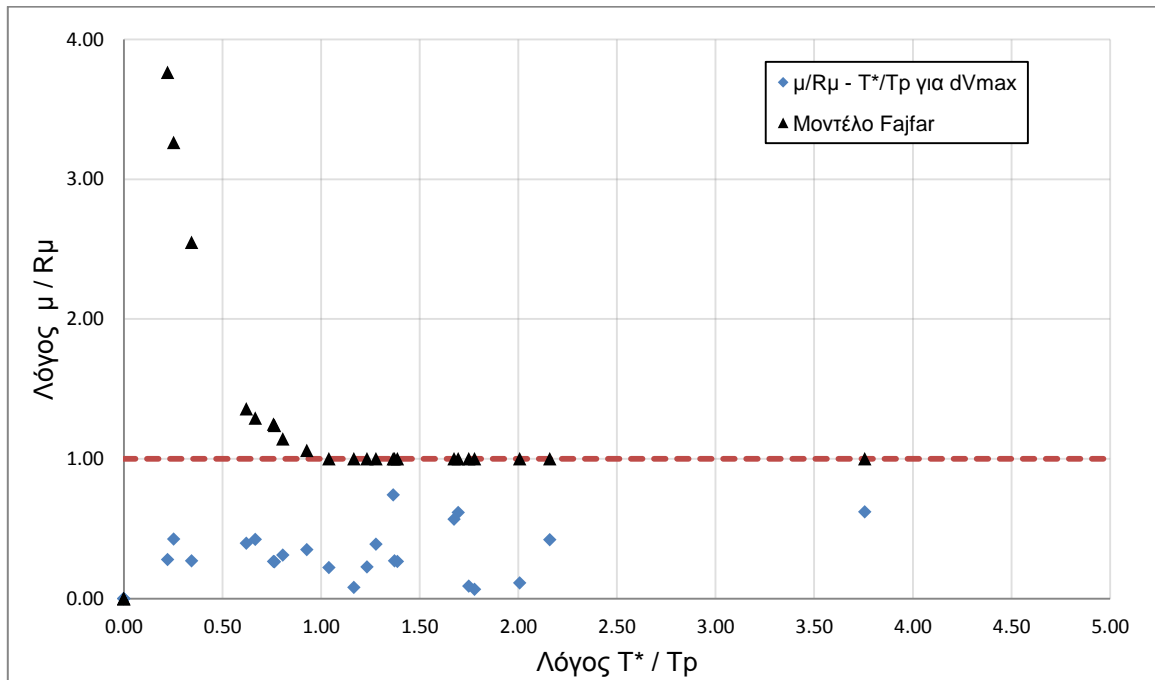
$$R_{\mu} = \mu \quad \text{για } T^* > T_o$$

όπου $T_o = 0.65 \mu^{0.3} T_p \leq T_p$

Ακολουθώντας το μοντέλο του Fajfar και θεωρώντας ως μοναδικό άγνωστο τη πλαστιμότητα σχεδιάζουμε τα διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για τις σεισμικές καταγραφές (Σχήματα 6.4.23 και 6.4.24).



Σχήμα 6.4.63: Διάγραμμα $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 6.4.24: Διάγραμμα $\mu/R\mu - T^*/T_r$ για dV_{max} και μοντέλο Fajfar

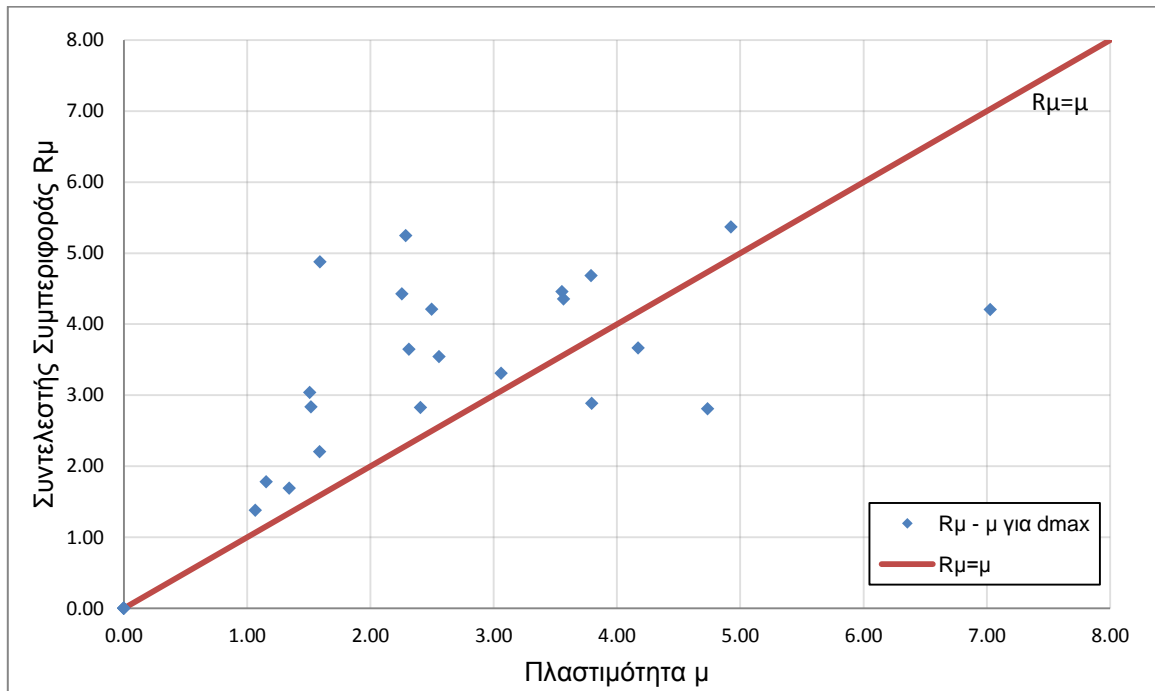
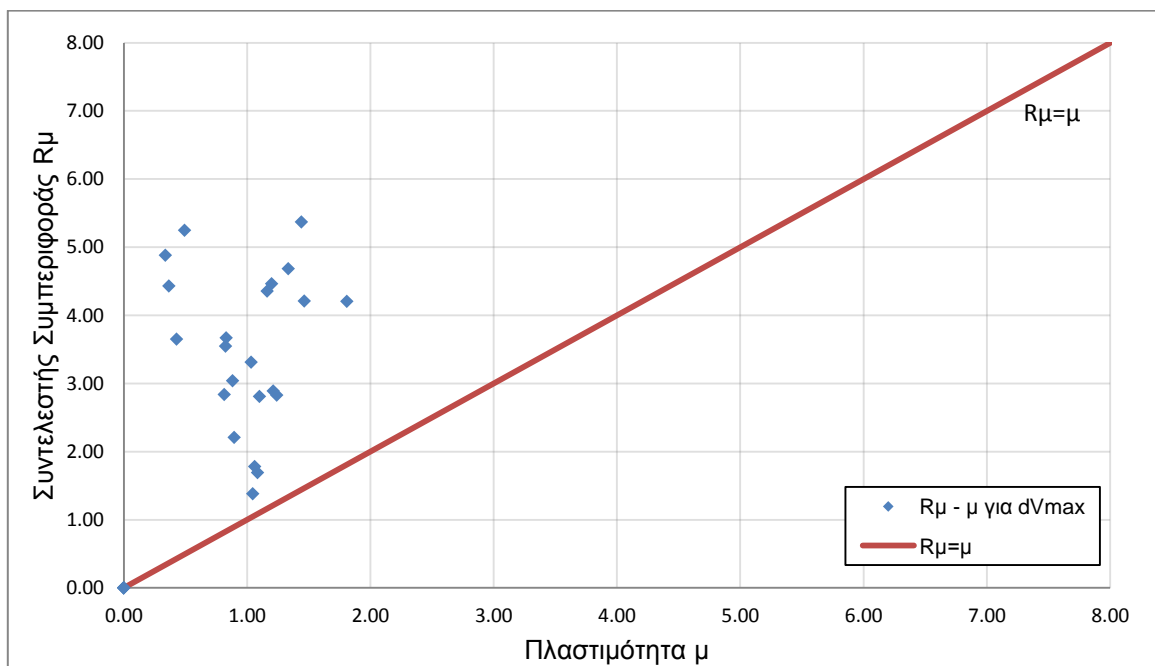
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 6.4.11 και 6.4.12 καθώς και τα Σχήματα 6.4.25 έως 6.4.28.

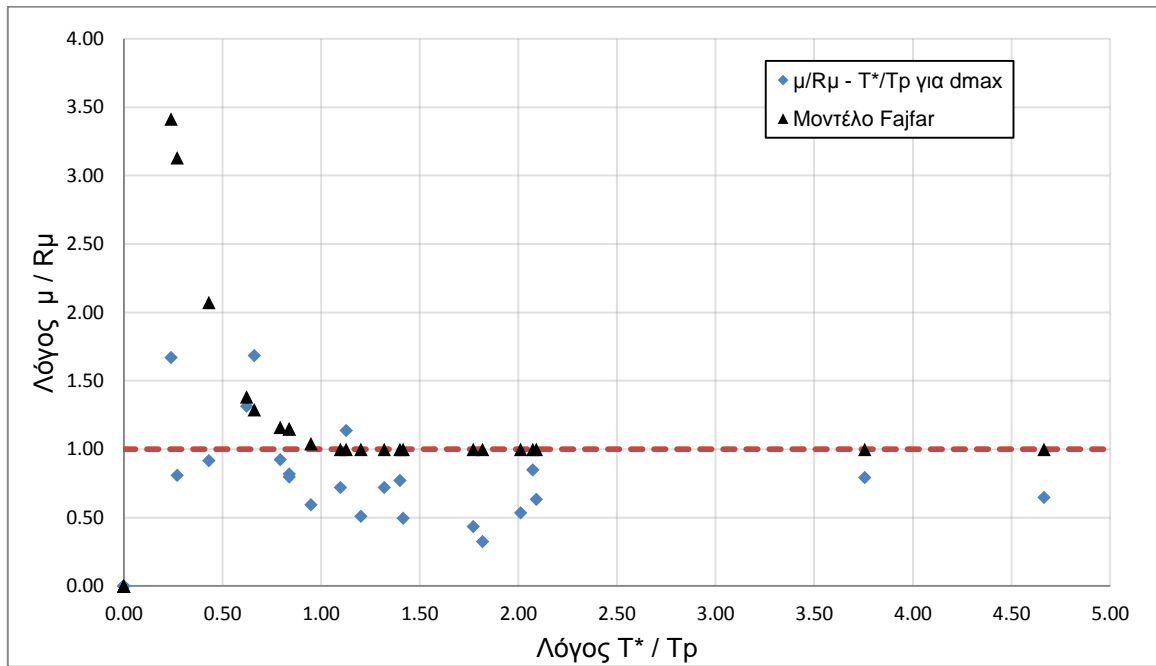
Πίνακας 6.4.11: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d _{top} [m]		S _d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA _{el} [g]	R _μ = PSA _{el} / S _{ay}	T _p [sec]	μ / R _μ	T* / T _p
	για d _{max}								
ChiChiCHY102_360	για d _{max}	0.6813	0.4712	2.498	0.6275	4.211	2.355	0.593	0.949
ChiChiTCU052_090	για d _{max}	1.3431	0.9289	4.924	0.8003	5.370	5.180	0.917	0.431
ChiChiTCU052_360	για d _{max}	1.0337	0.7149	3.790	0.6979	4.683	8.290	0.809	0.270
ChiChiTCU068_090	για d _{max}	1.9166	1.3256	7.027	0.6269	4.207	9.310	1.671	0.240
ErzincanERZ000	για d _{max}	0.6972	0.4822	2.556	0.5285	3.546	2.035	0.721	1.098
ImperialValleyE05230	για d _{max}	1.2913	0.8931	4.735	0.4190	2.811	3.379	1.684	0.661
ImperialValleyE06230	για d _{max}	1.0353	0.7160	3.796	0.4303	2.888	3.594	1.315	0.622
IV158H-AEP045	για d _{max}	0.2905	0.2009	1.065	0.2058	1.381	1.597	0.771	1.399
Kobe1119TAZ000	για d _{max}	0.4334	0.2998	1.589	0.3290	2.208	1.692	0.720	1.321
Kobe1119TAZ090	για d _{max}	0.3151	0.2180	1.156	0.2656	1.782	0.479	0.648	4.666
KobeTAK000	για d _{max}	0.6235	0.4313	2.286	0.7822	5.249	1.261	0.436	1.772
KobeTAK090	για d _{max}	0.4336	0.2999	1.590	0.7271	4.879	1.229	0.326	1.819
LP752CAP000	για d _{max}	0.2262	0.1564	0.829	0.1188	0.797	1.424	1.040	1.570
LP764GOF160	για d _{max}	0.2412	0.1668	0.884	0.1445	0.970	1.416	0.912	1.578
LP765G01090	για d _{max}	0.1473	0.1019	0.540	0.0836	0.561	0.399	0.963	5.602
North1084SCS052	για d _{max}	0.9693	0.6704	3.554	0.6648	4.461	2.665	0.797	0.839
North1084SCS142	για d _{max}	0.4112	0.2844	1.508	0.4531	3.040	1.579	0.496	1.415
North960LOS000	για d _{max}	0.3657	0.2529	1.341	0.2523	1.693	0.595	0.792	3.756
North960LOS270	για d _{max}	0.2074	0.1435	0.761	0.1228	0.824	0.697	0.923	3.207
NorthridgeJFA022	για d _{max}	0.8344	0.5771	3.059	0.4933	3.310	2.821	0.924	0.792
NorthridgeJFA292	για d _{max}	0.6310	0.4364	2.314	0.5437	3.648	1.069	0.634	2.091
NorthridgeNWS046	για d _{max}	1.1379	0.7870	4.172	0.5467	3.668	1.984	1.137	1.127
NorthridgeRRS228	για d _{max}	0.6560	0.4537	2.405	0.4217	2.830	1.078	0.850	2.073
NorthridgeSCG052	για d _{max}	0.9729	0.6729	3.567	0.6491	4.356	2.666	0.819	0.838
NorthridgeSCG142	για d _{max}	0.4144	0.2866	1.519	0.4228	2.837	1.111	0.535	2.012
SuperstitionHillsPTS225	για d _{max}	0.6148	0.4252	2.254	0.6599	4.428	1.859	0.509	1.202

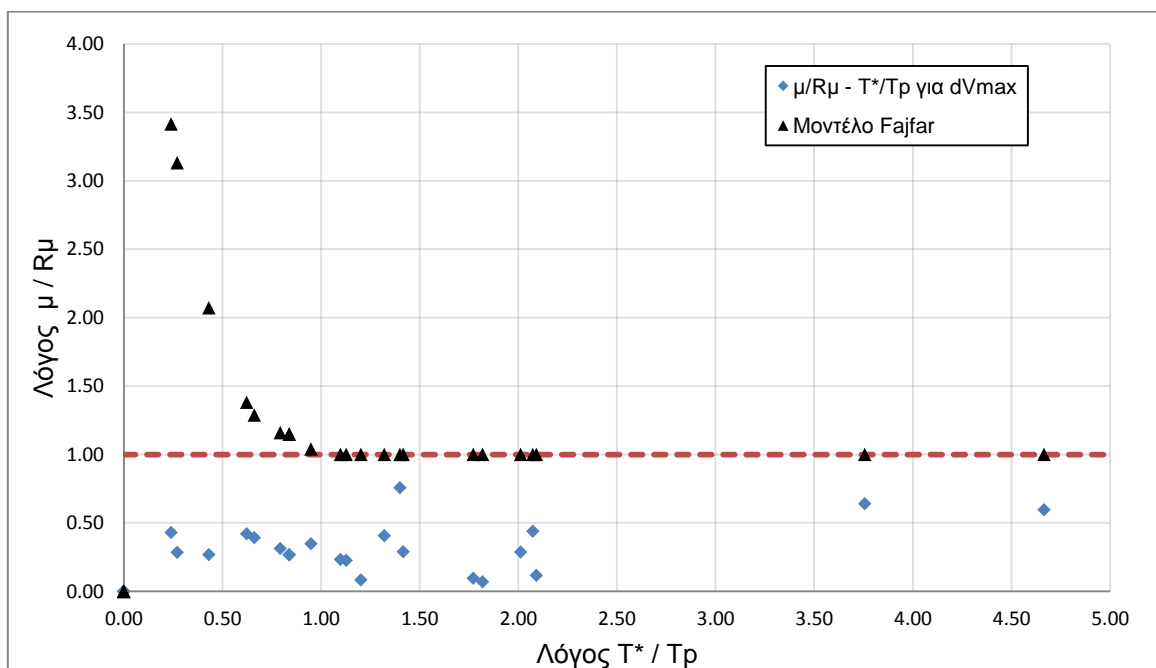
Πίνακας 6.4.12: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	dtop [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA _{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.3989	0.2759	1.463	0.6275	4.211	2.355	0.347	0.949
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	0.3928	0.2716	1.440	0.8003	5.370	5.180	0.268	0.431
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.3639	0.2517	1.334	0.6979	4.683	8.290	0.285	0.270
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	0.4934	0.3412	1.809	0.6269	4.207	9.310	0.430	0.240
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.2249	0.1556	0.825	0.5285	3.546	2.035	0.233	1.098
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	0.3001	0.2076	1.100	0.4190	2.811	3.379	0.391	0.661
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.3306	0.2287	1.212	0.4303	2.888	3.594	0.420	0.622
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.2850	0.1971	1.045	0.2058	1.381	1.597	0.757	1.399
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.2442	0.1689	0.895	0.3290	2.208	1.692	0.406	1.321
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.2893	0.2001	1.061	0.2656	1.782	0.479	0.595	4.666
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.1344	0.0930	0.493	0.7822	5.249	1.261	0.094	1.772
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0919	0.0635	0.337	0.7271	4.879	1.229	0.069	1.819
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.1784	0.1234	0.654	0.1188	0.797	1.424	0.821	1.570
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.1711	0.1183	0.627	0.1445	0.970	1.416	0.647	1.578
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.1425	0.0986	0.523	0.0836	0.561	0.399	0.932	5.602
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.3270	0.2262	1.199	0.6648	4.461	2.665	0.269	0.839
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.2405	0.1663	0.882	0.4531	3.040	1.579	0.290	1.415
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.2959	0.2047	1.085	0.2523	1.693	0.595	0.641	3.756
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.0302	0.0209	0.111	0.1228	0.824	0.697	0.135	3.207
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.2814	0.1946	1.032	0.4933	3.310	2.821	0.312	0.792
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.1164	0.0805	0.427	0.5437	3.648	1.069	0.117	2.091
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.2263	0.1565	0.830	0.5467	3.668	1.984	0.226	1.127
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.3382	0.2339	1.240	0.4217	2.830	1.078	0.438	2.073
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.3170	0.2192	1.162	0.6491	4.356	2.666	0.267	0.838
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.2219	0.1535	0.814	0.4228	2.837	1.111	0.287	2.012
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0995	0.0688	0.365	0.6599	4.428	1.859	0.082	1.202

Σχήμα 6.4.25: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{max} Σχήμα 6.4.26: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{vmax}

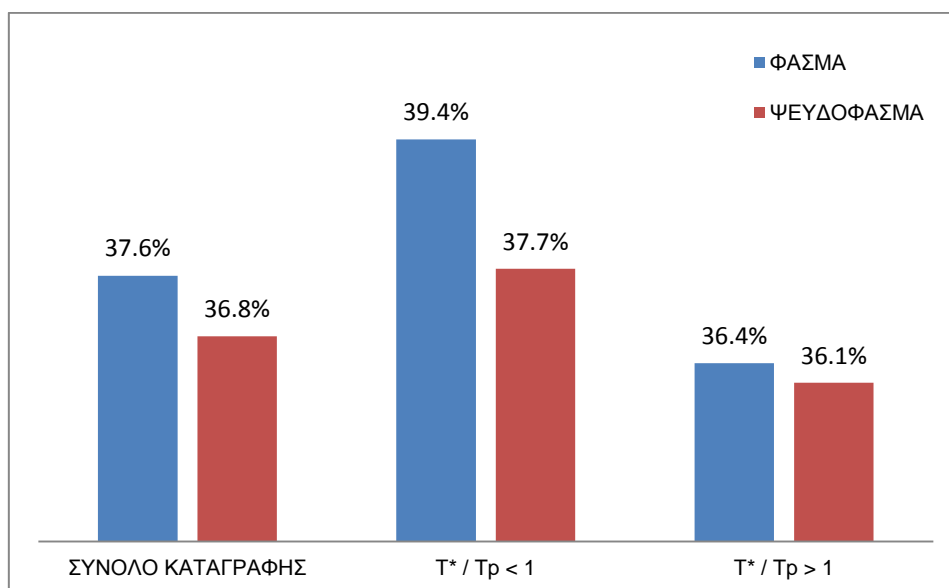


Σχήμα 6.4.27: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

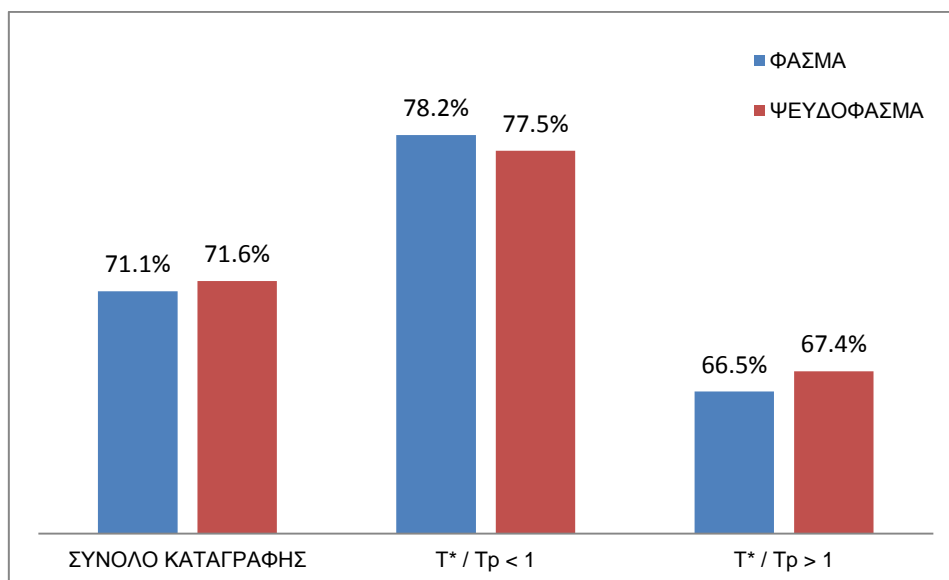


Σχήμα 6.4.28: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_r$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.4.29 και 6.4.30.



Σχήμα 6.4.29: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 6.4.30: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{Vmax}

Παρατηρούμε ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{Vmax} . Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το φυσικό νόημα της πλαστιμότητας είναι η μέγιστη μετακίνηση που μπορεί να πραγματοποιηθεί ούτως ώστε να απορροφηθεί η ενέργεια του σεισμού και υπό αυτή την έννοια δεν έχει αξία η μελέτη της μετακίνησης μέγιστης τέμνουσας βάσης.

Το μοντέλο του Fajfar, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.22, μεγάλες πλαστιμότητες - σε σχέση με το R_{μ} - για περιόδους προ της δεσπόζουσας περιόδου T_p ενώ στη συνέχεια θεωρεί ότι ο λόγος πλησιάζει τη μονάδα. Για τις περισσότερες καταγραφές με $T^* > T_p$ κάτι τέτοιο φαίνεται να επαληθεύεται, με την απόκλιση να λαμβάνει μικρές τιμές, αντιθέτως για τις περιπτώσεις $T^* < T_p$ οι αποκλίσεις είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες.

Τέλος διαπιστώνεται ότι με χρήση των ψευδοφασμάτων η συνολική απόκλιση είναι μικρότερη. Οι διαφορές των φασμάτων και ψευδοφασμάτων ταχύτητας είναι συνήθως μεγαλύτερες των διαφορών των επιταχύνσεων με αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου T_p χωρίς ταυτόχρονη μείωση του R_{μ} . Προκαλείται λοιπόν μια μετατόπιση των σημείων σε μεγαλύτερους λόγους T^*/T_p με παραπλήσιο όμως λόγο R_{μ}/μ . Η μετατόπιση αυτή δεν προκαλεί μετακίνηση καμίας καταγραφής από την περιοχή $T^*/T_p < 1$ στην περιοχή $T^*/T_p > 1$ και κατά συνέπεια τα ποσοστά της τελευταίας δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα.

Εξετάζοντας τον Πίνακα 5.4.9 διαπιστώνουμε ότι η πλαστιμότητα μ έχει σχετικά μικρές τιμές ενώ υπάρχουν καταγραφές στις οποίες $\mu < 1$ παρόλο που ο συντελεστής συμπεριφοράς R_{μ} είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Τα παραπάνω φαινόμενα πιθανολογείται ότι οφείλονται στο γεγονός πως η πλαστιμότητα υπολογίστηκε μέσω της αναγωγής της μετακίνησης κορυφής σε μετακίνηση ισοδύναμου μονοβάθμιου παρόλο που η τριγωνική κατανομή δεν είναι ρεαλιστική στην ανελαστική περιοχή. Δεδομένου ότι οι παραμορφώσεις συγκεντρώνονται στους πρώτους ορόφους λόγω του μηχανισμού κατάρρευσης, αποφασίστηκε η επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιώντας τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

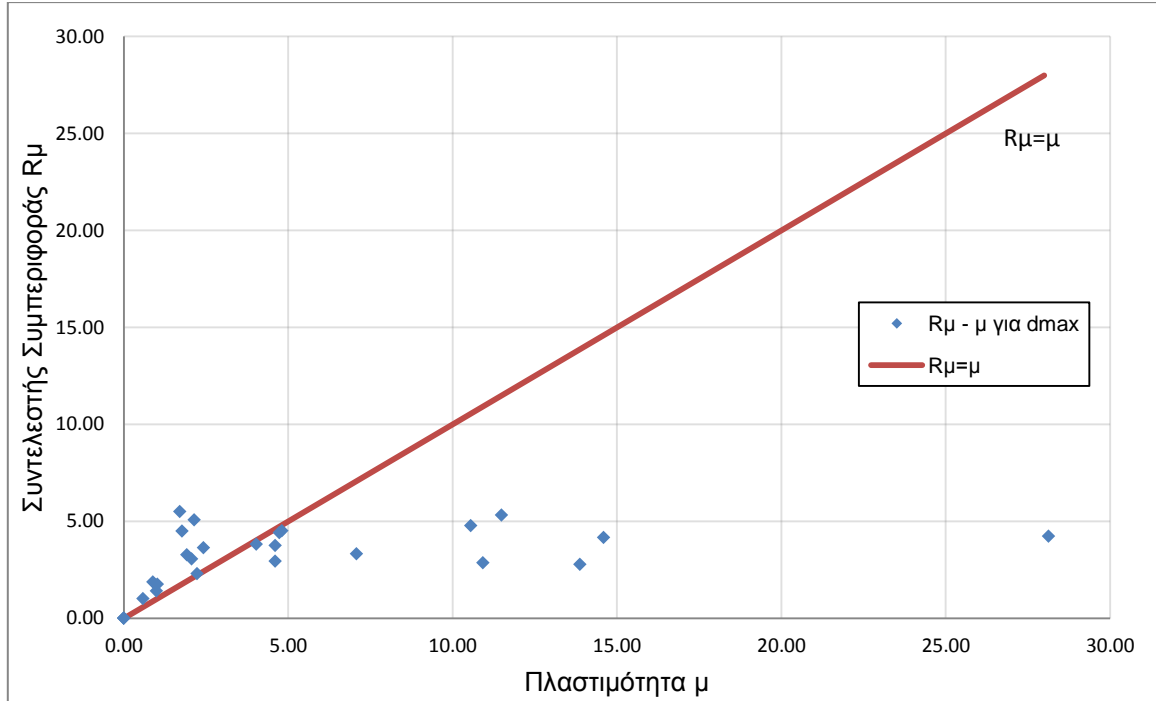
Πίνακας 6.4.13: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
	για d_{max}								
ChiChiCHY102_360	για d_{max}	0.3316	0.3316	14.589	0.6207	4.165	2.411	3.503	0.927
ChiChiTCU052_090	για d_{max}	0.2612	0.2612	11.491	0.7939	5.327	6.500	2.157	0.344
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.2399	0.2399	10.556	0.7129	4.783	10.050	2.207	0.222
ChiChiTCU068_090	για d_{max}	0.6392	0.6392	28.125	0.6314	4.237	8.860	6.638	0.252
ErzincanERZ000	για d_{max}	0.0550	0.0550	2.418	0.5411	3.630	1.813	0.666	1.233
ImperialValleyE05230	για d_{max}	0.3153	0.3153	13.875	0.4132	2.773	3.599	5.004	0.621
ImperialValleyE06230	για d_{max}	0.2483	0.2483	10.923	0.4272	2.866	3.357	3.811	0.666
IV158H-AEP045	για d_{max}	0.0225	0.0225	0.989	0.2101	1.410	1.636	0.702	1.366
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.0507	0.0507	2.230	0.3436	2.306	1.749	0.967	1.278
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.0201	0.0201	0.886	0.2781	1.866	1.335	0.475	1.674
KobeTAK000	για d_{max}	0.0386	0.0386	1.701	0.8210	5.509	1.278	0.309	1.749
KobeTAK090	για d_{max}	0.0486	0.0486	2.138	0.7563	5.075	1.257	0.421	1.778
LP752CAP000	για d_{max}	0.0151	0.0151	0.665	0.1215	0.815	1.489	0.816	1.501
LP764GOF160	για d_{max}	0.0131	0.0131	0.577	0.1517	1.018	1.318	0.567	1.696
LP765G01090	για d_{max}	0.0177	0.0177	0.777	0.0879	0.590	0.412	1.318	5.425
North1084SCS052	για d_{max}	0.1092	0.1092	4.803	0.6732	4.517	2.948	1.063	0.758
North1084SCS142	για d_{max}	0.0436	0.0436	1.917	0.4871	3.268	1.628	0.587	1.373
North960LOS000	για d_{max}	0.0231	0.0231	1.018	0.2608	1.750	0.595	0.582	3.756
North960LOS270	για d_{max}	0.0142	0.0142	0.625	0.1259	0.845	0.711	0.740	3.143
NorthridgeJFA022	για d_{max}	0.1608	0.1608	7.076	0.4952	3.323	2.775	2.129	0.805
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.0914	0.0914	4.023	0.5684	3.814	1.114	1.055	2.006
NorthridgeNWS046	για d_{max}	0.1047	0.1047	4.607	0.5584	3.747	2.149	1.230	1.040
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.1047	0.1047	4.605	0.4378	2.938	1.035	1.568	2.159
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.1074	0.1074	4.725	0.6582	4.416	2.927	1.070	0.764
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.0469	0.0469	2.062	0.4560	3.060	1.611	0.674	1.387
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.0401	0.0401	1.766	0.6702	4.497	1.916	0.393	1.166

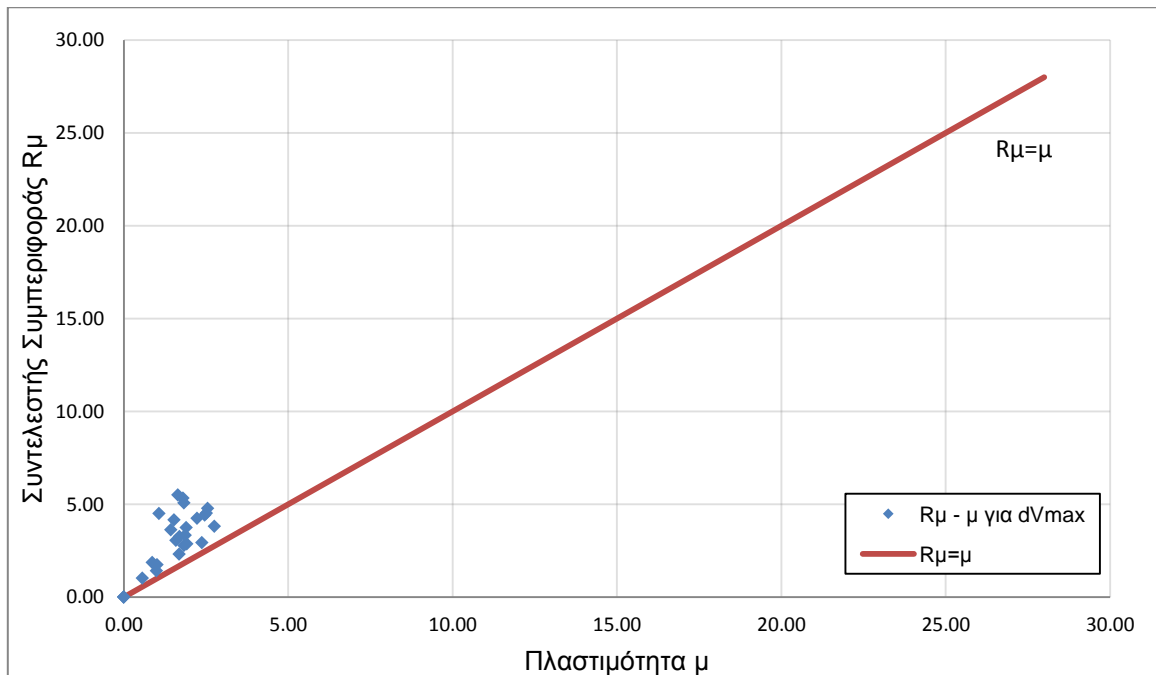
Πίνακας 6.4.14: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των φασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	d_{100} ορόφου [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	SA,el [g]	$R_{\mu} = SA,el / Say$	Tp [sec]	μ / R_{μ}	T* / Tp
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.0347	0.0347	1.526	0.6207	4.165	2.411	0.366	0.927
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	0.0410	0.0410	1.802	0.7939	5.327	6.500	0.338	0.344
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.0579	0.0579	2.547	0.7129	4.783	10.050	0.532	0.222
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	0.0506	0.0506	2.228	0.6314	4.237	8.860	0.526	0.252
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.0325	0.0325	1.430	0.5411	3.630	1.813	0.394	1.233
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	0.0416	0.0416	1.829	0.4132	2.773	3.599	0.660	0.621
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.0435	0.0435	1.913	0.4272	2.866	3.357	0.667	0.666
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.0224	0.0224	0.988	0.2101	1.410	1.636	0.701	1.366
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.0382	0.0382	1.680	0.3436	2.306	1.749	0.729	1.278
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0197	0.0197	0.867	0.2781	1.866	1.335	0.465	1.674
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.0372	0.0372	1.639	0.8210	5.509	1.278	0.297	1.749
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0414	0.0414	1.823	0.7563	5.075	1.257	0.359	1.778
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0151	0.0151	0.664	0.1215	0.815	1.489	0.815	1.501
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.0127	0.0127	0.561	0.1517	1.018	1.318	0.551	1.696
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.0174	0.0174	0.764	0.0879	0.590	0.412	1.295	5.425
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.0571	0.0571	2.513	0.6732	4.517	2.948	0.556	0.758
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.0384	0.0384	1.691	0.4871	3.268	1.628	0.517	1.373
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.0230	0.0230	1.010	0.2608	1.750	0.595	0.577	3.756
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.0098	0.0098	0.430	0.1259	0.845	0.711	0.510	3.143
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.0423	0.0423	1.861	0.4952	3.323	2.775	0.560	0.805
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0624	0.0624	2.747	0.5684	3.814	1.114	0.720	2.006
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.0430	0.0430	1.894	0.5584	3.747	2.149	0.506	1.040
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.0539	0.0539	2.372	0.4378	2.938	1.035	0.808	2.159
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.0560	0.0560	2.464	0.6582	4.416	2.927	0.558	0.764
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.0359	0.0359	1.580	0.4560	3.060	1.611	0.516	1.387
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0243	0.0243	1.071	0.6702	4.497	1.916	0.238	1.166

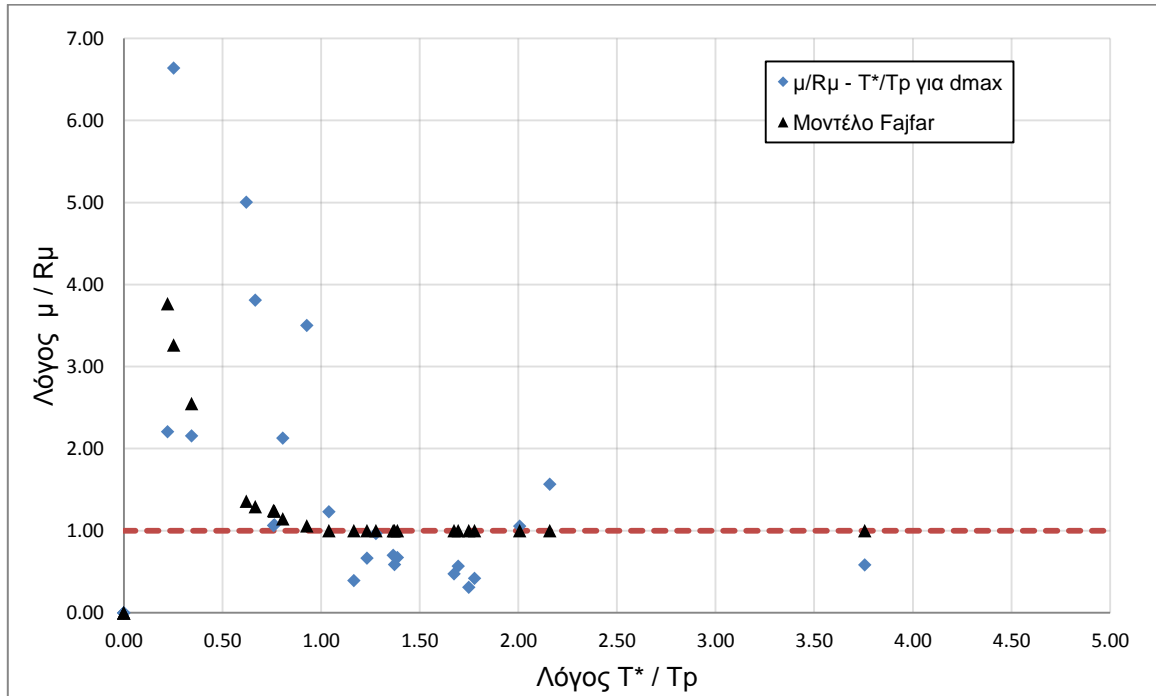
Για τις καταγραφές που προκαλούν διαρροή της κατασκευής, δηλαδή συντελεστή συμπεριφοράς $R_{\mu} > 1$, κατασκευάζονται τα διαγράμματα $R_{\mu} - \mu$ (Σχήματα 6.4.31 και 6.4.32) και $\mu/R_{\mu} - T^*/T_p$ (Σχήματα 6.4.33 και 6.4.34).



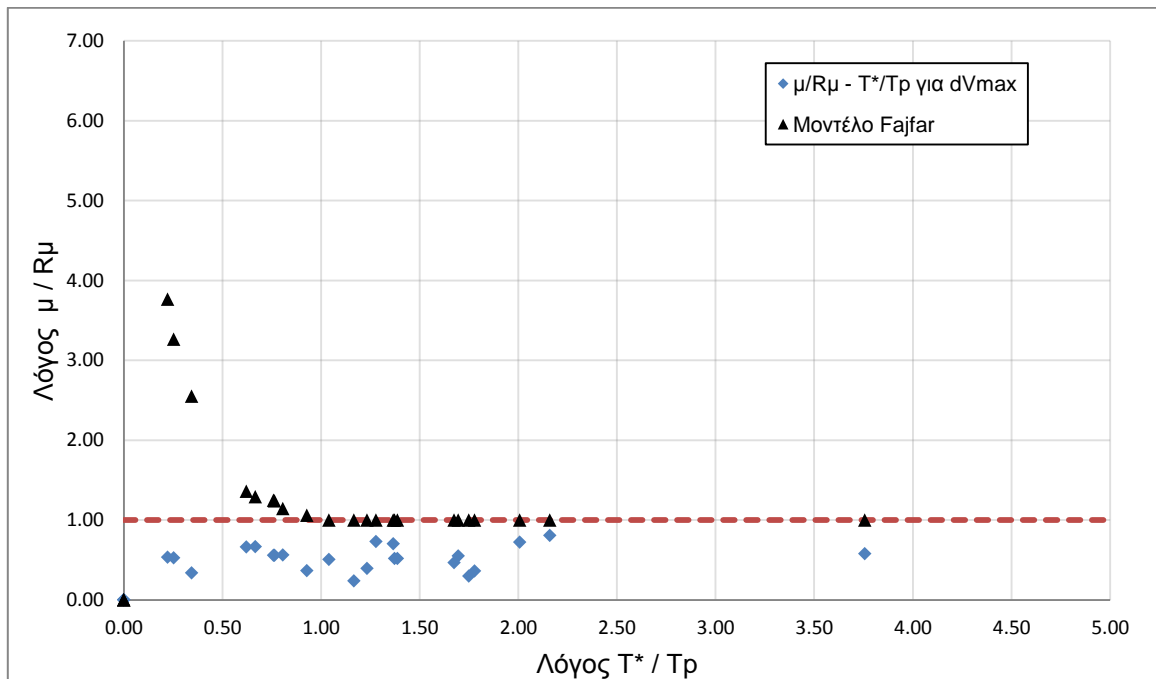
Σχήμα 6.4.31: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{max}



Σχήμα 6.4.32: Διάγραμμα $R_{\mu} - \mu$ για d_{Vmax}



Σχήμα 6.4.33: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar



Σχήμα 6.4.34: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

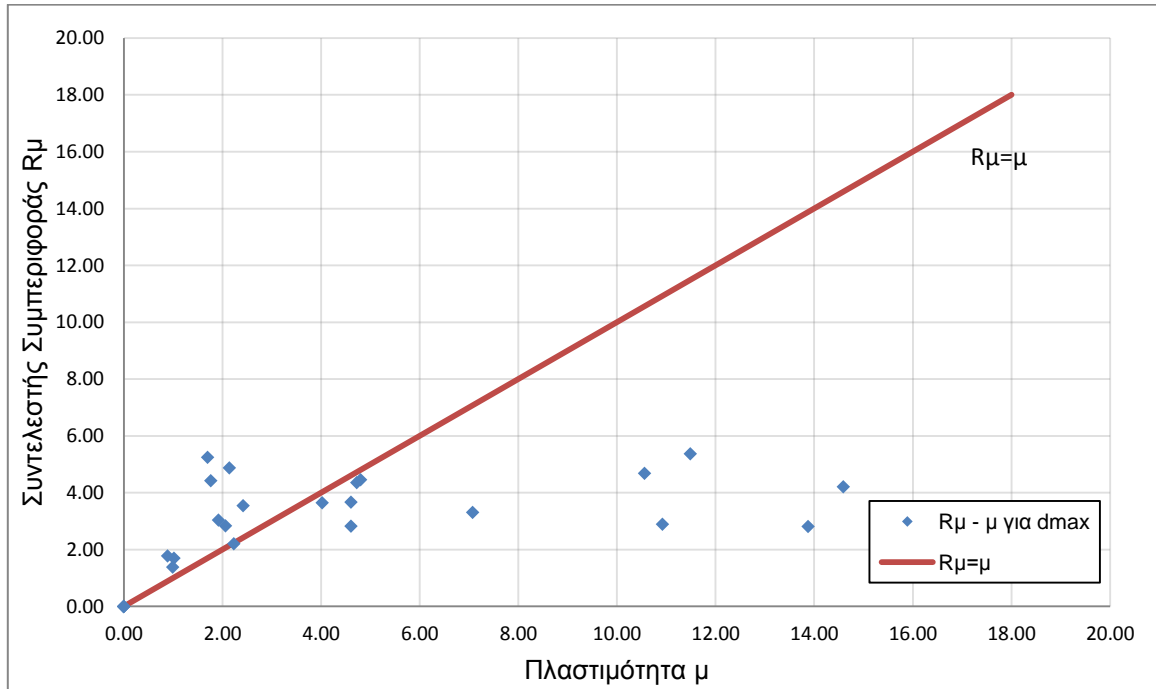
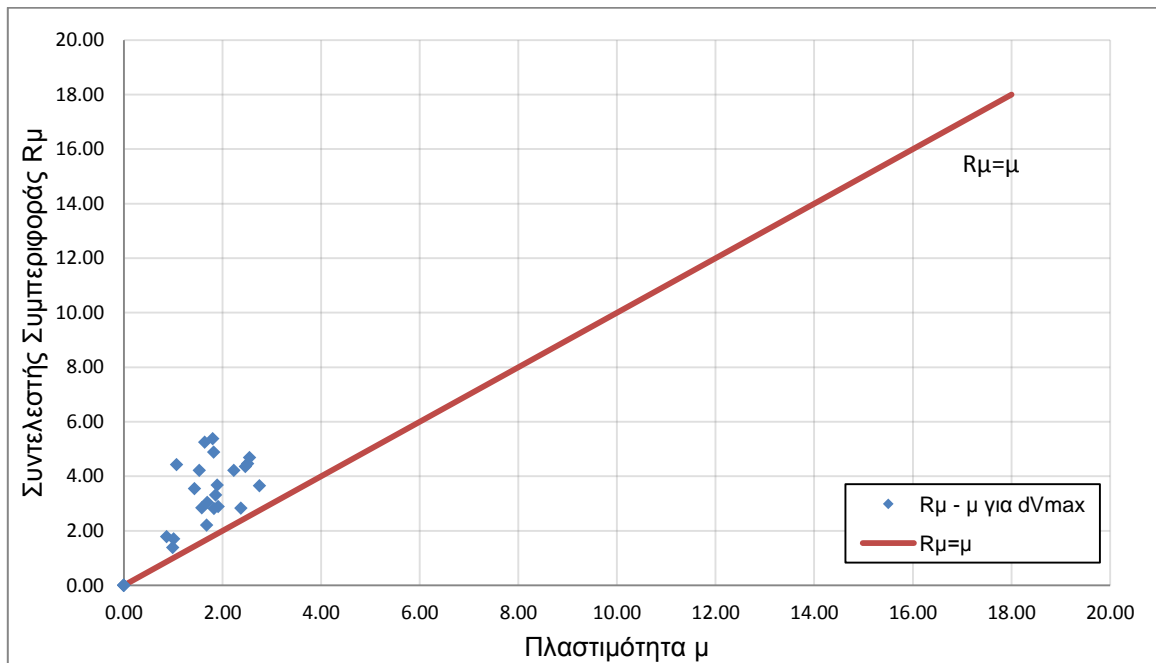
Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα κατασκευάζουμε τους Πίνακες 6.4.15 και 6.4.16 καθώς και τα Σχήματα 6.4.35 έως 6.4.38.

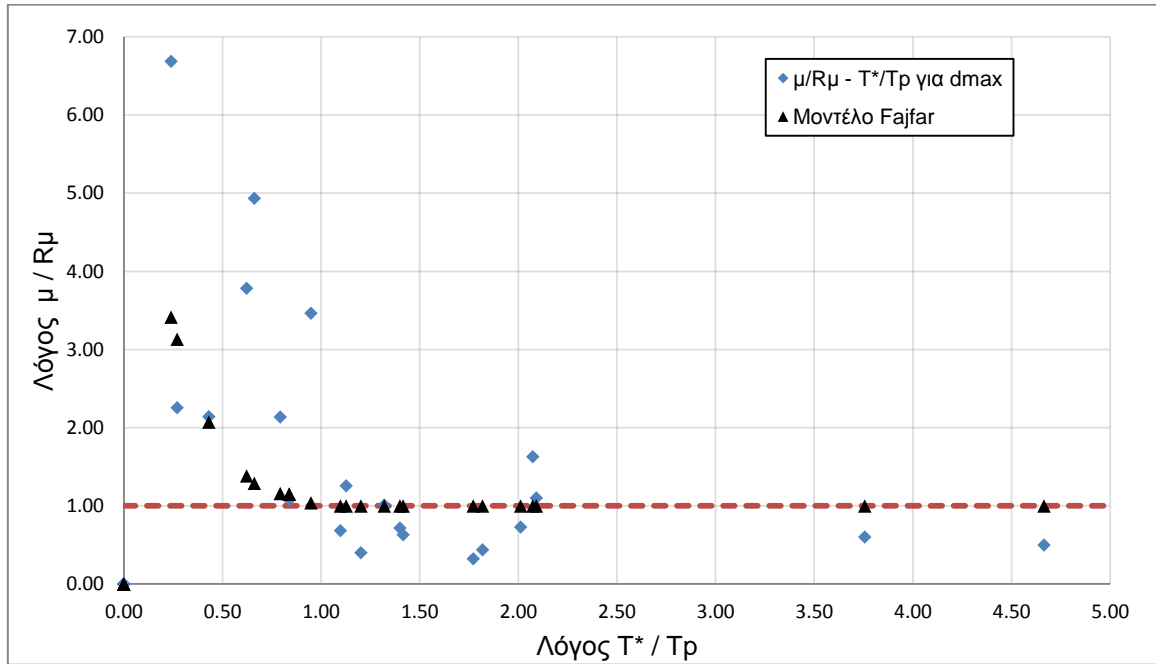
Πίνακας 6.4.15: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{max} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		Sd [m]	$\mu = Sd / Sdy$	PSA _{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / Say$	T _p [sec]	μ / R_{μ}	T* / T _p
	για d_{max}								
ChiChiCHY102_360	για d_{max}	0.3316	0.3316	14.589	0.6275	4.211	2.355	3.465	0.949
ChiChiTCU052_090	για d_{max}	0.2612	0.2612	11.491	0.8003	5.370	5.180	2.140	0.431
ChiChiTCU052_360	για d_{max}	0.2399	0.2399	10.556	0.6979	4.683	8.290	2.254	0.270
ChiChiTCU068_090	για d_{max}	0.6392	0.6392	28.125	0.6269	4.207	9.310	6.686	0.240
ErzincanERZ000	για d_{max}	0.0550	0.0550	2.418	0.5285	3.546	2.035	0.682	1.098
ImperialValleyE05230	για d_{max}	0.3153	0.3153	13.875	0.4190	2.811	3.379	4.935	0.661
ImperialValleyE06230	για d_{max}	0.2483	0.2483	10.923	0.4303	2.888	3.594	3.783	0.622
IV158H-AEP045	για d_{max}	0.0225	0.0225	0.989	0.2058	1.381	1.597	0.716	1.399
Kobe1119TAZ000	για d_{max}	0.0507	0.0507	2.230	0.3290	2.208	1.692	1.010	1.321
Kobe1119TAZ090	για d_{max}	0.0201	0.0201	0.886	0.2656	1.782	0.479	0.497	4.666
KobeTAK000	για d_{max}	0.0386	0.0386	1.701	0.7822	5.249	1.261	0.324	1.772
KobeTAK090	για d_{max}	0.0486	0.0486	2.138	0.7271	4.879	1.229	0.438	1.819
LP752CAP000	για d_{max}	0.0151	0.0151	0.665	0.1188	0.797	1.424	0.834	1.570
LP764GOF160	για d_{max}	0.0131	0.0131	0.577	0.1445	0.970	1.416	0.595	1.578
LP765G01090	για d_{max}	0.0177	0.0177	0.777	0.0836	0.561	0.399	1.385	5.602
North1084SCS052	για d_{max}	0.1092	0.1092	4.803	0.6648	4.461	2.665	1.077	0.839
North1084SCS142	για d_{max}	0.0436	0.0436	1.917	0.4531	3.040	1.579	0.631	1.415
North960LOS000	για d_{max}	0.0231	0.0231	1.018	0.2523	1.693	0.595	0.601	3.756
North960LOS270	για d_{max}	0.0142	0.0142	0.625	0.1228	0.824	0.697	0.758	3.207
NorthridgeJFA022	για d_{max}	0.1608	0.1608	7.076	0.4933	3.310	2.821	2.138	0.792
NorthridgeJFA292	για d_{max}	0.0914	0.0914	4.023	0.5437	3.648	1.069	1.103	2.091
NorthridgeNWS046	για d_{max}	0.1047	0.1047	4.607	0.5467	3.668	1.984	1.256	1.127
NorthridgeRRS228	για d_{max}	0.1047	0.1047	4.605	0.4217	2.830	1.078	1.627	2.073
NorthridgeSCG052	για d_{max}	0.1074	0.1074	4.725	0.6491	4.356	2.666	1.085	0.838
NorthridgeSCG142	για d_{max}	0.0469	0.0469	2.062	0.4228	2.837	1.111	0.727	2.012
SuperstitionHillsPTS225	για d_{max}	0.0401	0.0401	1.766	0.6599	4.428	1.859	0.399	1.202

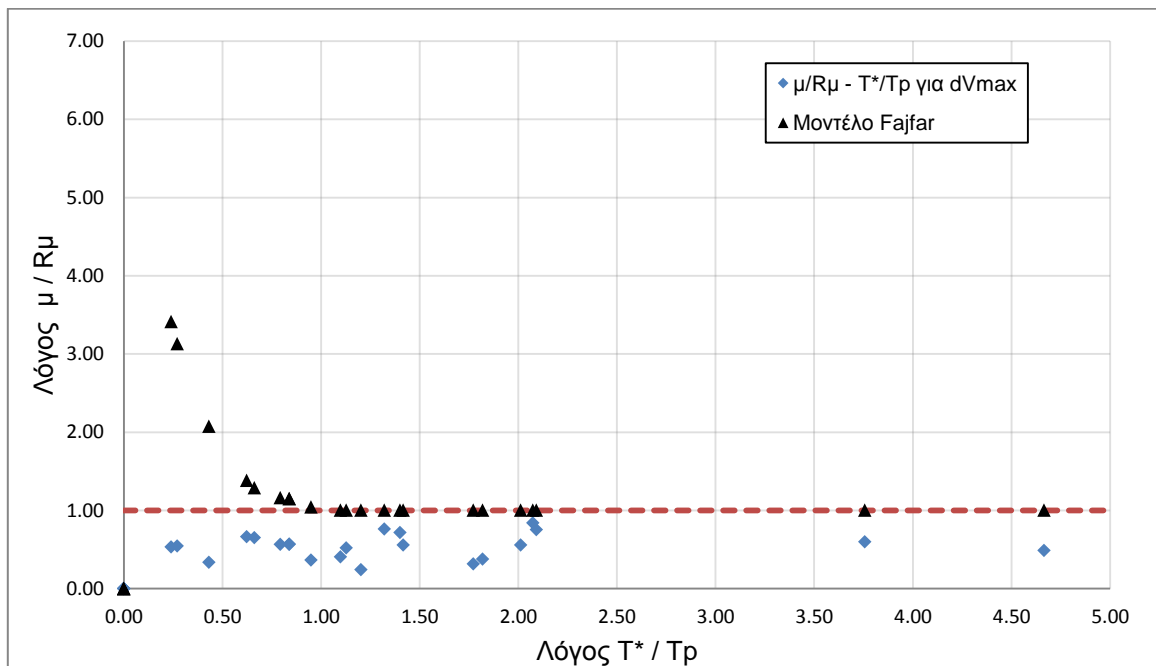
Πίνακας 6.4.16: Υπολογισμός μ και R_{μ} για d_{Vmax} μέσω των ψευδοφασματικών μεγεθών

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	$d_{1ου\ ορόφου}$ [m]		S_d [m]	$\mu = S_d / S_{dy}$	PSA_{el} [g]	$R_{\mu} = PSA_{el} / S_{ay}$	T_p [sec]	μ / R_{μ}	T^* / T_p
ChiChiCHY102_360	για d_{Vmax}	0.0347	0.0347	1.526	0.6275	4.211	2.355	0.363	0.949
ChiChiTCU052_090	για d_{Vmax}	0.0410	0.0410	1.802	0.8003	5.370	5.180	0.336	0.431
ChiChiTCU052_360	για d_{Vmax}	0.0579	0.0579	2.547	0.6979	4.683	8.290	0.544	0.270
ChiChiTCU068_090	για d_{Vmax}	0.0506	0.0506	2.228	0.6269	4.207	9.310	0.530	0.240
ErzincanERZ000	για d_{Vmax}	0.0325	0.0325	1.430	0.5285	3.546	2.035	0.403	1.098
ImperialValleyE05230	για d_{Vmax}	0.0416	0.0416	1.829	0.4190	2.811	3.379	0.651	0.661
ImperialValleyE06230	για d_{Vmax}	0.0435	0.0435	1.913	0.4303	2.888	3.594	0.663	0.622
IV158H-AEP045	για d_{Vmax}	0.0224	0.0224	0.988	0.2058	1.381	1.597	0.715	1.399
Kobe1119TAZ000	για d_{Vmax}	0.0382	0.0382	1.680	0.3290	2.208	1.692	0.761	1.321
Kobe1119TAZ090	για d_{Vmax}	0.0197	0.0197	0.867	0.2656	1.782	0.479	0.487	4.666
KobeTAK000	για d_{Vmax}	0.0372	0.0372	1.639	0.7822	5.249	1.261	0.312	1.772
KobeTAK090	για d_{Vmax}	0.0414	0.0414	1.823	0.7271	4.879	1.229	0.374	1.819
LP752CAP000	για d_{Vmax}	0.0151	0.0151	0.664	0.1188	0.797	1.424	0.833	1.570
LP764GOF160	για d_{Vmax}	0.0127	0.0127	0.561	0.1445	0.970	1.416	0.578	1.578
LP765G01090	για d_{Vmax}	0.0174	0.0174	0.764	0.0836	0.561	0.399	1.361	5.602
North1084SCS052	για d_{Vmax}	0.0571	0.0571	2.513	0.6648	4.461	2.665	0.563	0.839
North1084SCS142	για d_{Vmax}	0.0384	0.0384	1.691	0.4531	3.040	1.579	0.556	1.415
North960LOS000	για d_{Vmax}	0.0230	0.0230	1.010	0.2523	1.693	0.595	0.597	3.756
North960LOS270	για d_{Vmax}	0.0098	0.0098	0.430	0.1228	0.824	0.697	0.522	3.207
NorthridgeJFA022	για d_{Vmax}	0.0423	0.0423	1.861	0.4933	3.310	2.821	0.562	0.792
NorthridgeJFA292	για d_{Vmax}	0.0624	0.0624	2.747	0.5437	3.648	1.069	0.753	2.091
NorthridgeNWS046	για d_{Vmax}	0.0430	0.0430	1.894	0.5467	3.668	1.984	0.516	1.127
NorthridgeRRS228	για d_{Vmax}	0.0539	0.0539	2.372	0.4217	2.830	1.078	0.838	2.073
NorthridgeSCG052	για d_{Vmax}	0.0560	0.0560	2.464	0.6491	4.356	2.666	0.566	0.838
NorthridgeSCG142	για d_{Vmax}	0.0359	0.0359	1.580	0.4228	2.837	1.111	0.557	2.012
SuperstitionHillsPTS225	για d_{Vmax}	0.0243	0.0243	1.071	0.6599	4.428	1.859	0.242	1.202

Σχήμα 6.4.35: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{max} Σχήμα 6.4.36: Διάγραμμα $R_\mu - \mu$ για d_{Vmax}

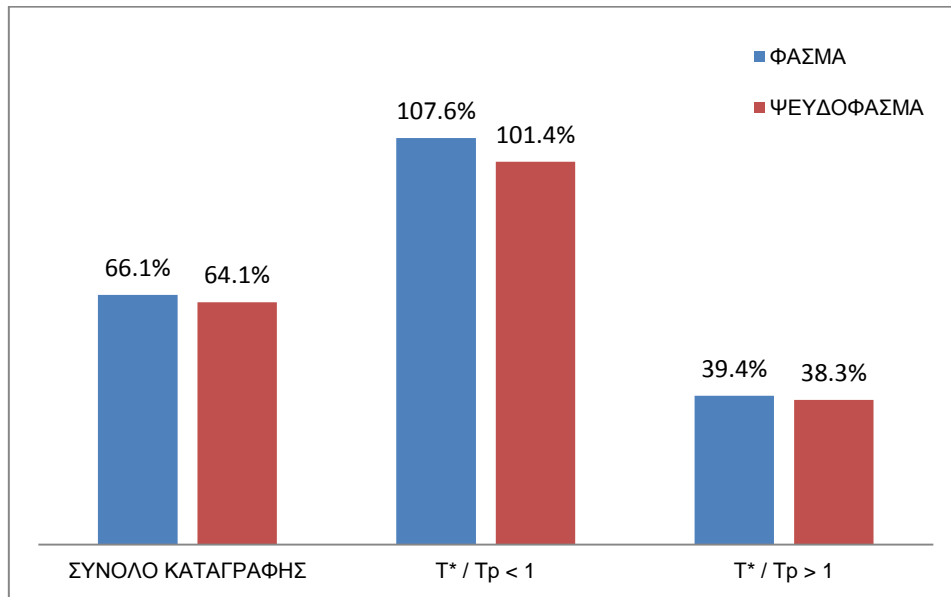


Σχήμα 6.4.37: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{max} και μοντέλο Fajfar

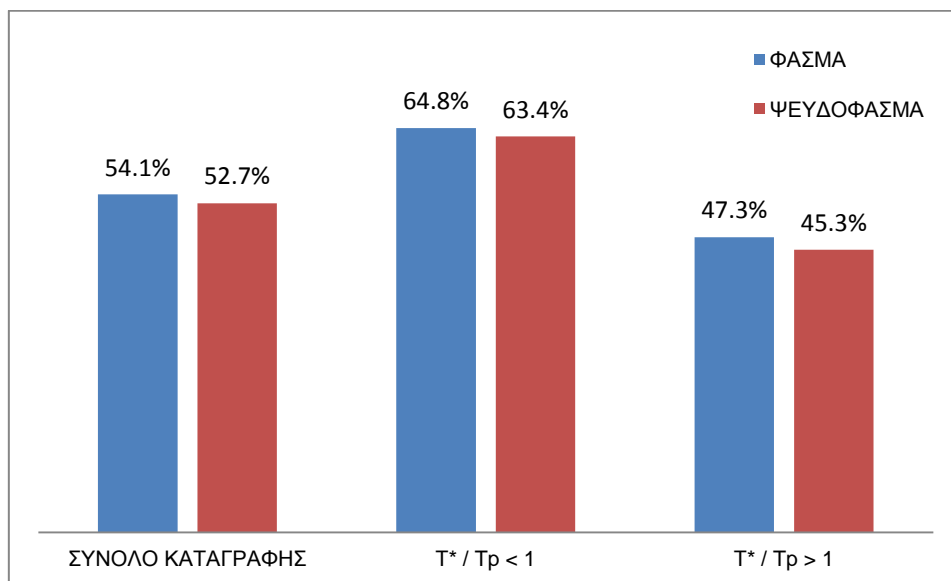


Σχήμα 6.4.38: Διάγραμμα $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ για d_{Vmax} και μοντέλο Fajfar

Η ποσοστιαία απόκλιση του λόγου μ/R_μ από το μοντέλο του Fajfar για τα σημεία d_{Vmax} και d_{max} παρουσιάζεται στα Σχήματα 6.4.39 και 6.4.40.



Σχήμα 6.4.39: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{max}



Σχήμα 6.4.40: Ποσοστιαίες αποκλίσεις από μοντέλο Fajfar για d_{vmax}

Στα Σχήματα 6.4.39 και 6.4.40 αποτυπώνεται ξεκάθαρα ότι η κατανομή των σημείων d_{max} εμφανίζει κατά κανόνα μεγαλύτερες αποκλίσεις από την θεωρητική κατανομή σε σχέση με τα σημεία d_{vmax} . Επιπλέον η χρήση των ψευδοφασμάτων οδηγεί σε ελαφρώς μικρότερες αποκλίσεις κάτι που ισχύει ακόμα και για την ζώνη $T^* > T_r$ ανατρέποντας επομένως όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η αντικατάσταση της διαδικασίας που στηρίζεται στην μετακίνηση κορυφής από αυτήν που χρησιμοποιεί τη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου δεν έχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα καθώς εξακολουθούν να υπάρχουν ζεύγη με $\mu < 1$ και $R_\mu > 1$ παρά την αύξηση της τιμής της πλαστιμότητας ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή αυξάνονται.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρείται μια σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την ενσωμάτωση ή όχι των φαινομένων δευτέρας τάξης. Για μεγαλύτερη εποπτεία οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται υπό θεματικές ενότητες που καλύπτουν τα ιδιομορφικά χαρακτηριστικά των κτηρίων και την απόκριση υπό στατική και δυναμική φόρτιση. Προκειμένου να ελεγχθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων που δίνει το OpenSees, η εξάωροφη κατασκευή προσομοιώθηκε στο πρόγραμμα SAP2000 και πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση και ανάλυση pushover. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα κατάλληλα κεφάλαια των παρακάτω συγκρίσεων.

7.2. ΙΔΙΟΠΕΡΙΟΔΟΙ

Ο συνυπολογισμός των φαινομένων δευτέρας τάξης αυξάνει την ευκαμψία των κατασκευών με συνέπεια να αυξάνουν οι τιμές των ιδιοπεριόδων. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται οι ποσοστιαίες διαφορές ενώ παράλληλα συγκρίνονται με τις ιδιοπεριόδους που δίνει το FESPA 10.

Πίνακας 7.1: Σύγκριση ιδιοπεριόδων τριώροφου

Ιδιομορφή	OpenSees			FESPA 10	Μέση Διαφορά [%]
	Ιδιοπερίοδος [sec]		Διαφορά [%]	Ιδιοπερίοδος [sec]	
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ			
1	0.6161	0.6203	0.68	0.4388	40.88
2	0.6100	0.6140	0.66	0.4302	42.26
3	0.4910	0.4930	0.41	0.3823	28.69
4	0.1812	0.1817	0.28	0.1462	24.11
5	0.1787	0.1792	0.28	0.1432	24.97
6	0.1582	0.1586	0.25	0.1276	24.14
7	0.0891	0.0893	0.22	0.0926	-3.67
8	0.0866	0.0868	0.23	0.0906	-4.30
9	0.0795	0.0797	0.25	0.0812	-1.97

Πίνακας 7.2: Σύγκριση ιδιοπεριόδων εξαώροφου

Ιδιομορφή	OpenSees			FESPA 10	Μέση Διαφορά [%]
	Ιδιοπερίοδος [sec]		Διαφορά [%]	Ιδιοπερίοδος [sec]	
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ			
1	1.2800	1.3020	1.72	0.8554	50.92
2	1.2729	1.2946	1.70	0.8405	52.74
3	0.9929	1.0031	1.03	0.7366	35.49
4	0.4046	0.4085	0.96	0.2826	43.86
5	0.4008	0.4046	0.95	0.2775	45.12
6	0.3255	0.3275	0.61	0.244	33.81
7	0.2172	0.2186	0.64	0.1673	30.25
8	0.2141	0.2155	0.65	0.164	30.98
9	0.1844	0.1853	0.49	0.1455	27.04
10	0.1365	0.1372	0.51	0.1197	14.33
11	0.1340	0.1346	0.45	0.1173	14.49
12	0.1196	0.1200	0.33	0.1045	14.64
13	0.0941	0.0945	0.43	0.0957	-1.46
14	0.0920	0.0923	0.33	0.0937	-1.65
15	0.0837	0.0840	0.36	0.0839	-0.06
16	0.0720	0.0722	0.28	0.0838	-13.96
17	0.0702	0.0704	0.28	0.0821	-14.37
18	0.0651	0.0653	0.31	0.0736	-11.41

Πίνακας 7.3: Σύγκριση ιδιοπεριόδων δωδεκαώροφου

Ιδιομορφή	OpenSees			FESPA 10	Μέση Διαφορά [%]
	Ιδιοπερίοδος [sec]		Διαφορά [%]	Ιδιοπερίοδος [sec]	
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ			
1	2.4617	2.5487	3.53	1.5258	64.19
2	2.4590	2.5457	3.53	1.5063	66.13
3	1.8472	1.8848	2.04	1.2568	48.47
4	0.7973	0.8152	2.25	0.502	60.61
5	0.7959	0.8138	2.25	0.4952	62.53
6	0.6100	0.6184	1.38	0.4165	47.47
7	0.4482	0.4565	1.85	0.2914	55.23
8	0.4473	0.4556	1.86	0.2867	57.46
9	0.3580	0.3623	1.20	0.2469	45.87
10	0.2964	0.3009	1.52	0.2044	46.11
11	0.2957	0.3001	1.49	0.201	48.21
12	0.2450	0.2475	1.02	0.1741	41.44
13	0.2107	0.2132	1.19	0.1558	36.04
14	0.2101	0.2126	1.19	0.1531	38.05
15	0.1805	0.1821	0.89	0.1334	35.91
16	0.1576	0.1591	0.95	0.1253	26.38
17	0.1571	0.1585	0.89	0.123	28.29
18	0.1384	0.1394	0.72	0.1077	28.97
19	0.1218	0.1228	0.82	0.1045	17.03
20	0.1214	0.1223	0.74	0.1025	18.88
21	0.1092	0.1099	0.64	0.0903	21.32
22	0.0973	0.0979	0.62	0.0899	8.57
23	0.0968	0.0974	0.62	0.0881	10.22
24	0.0884	0.0889	0.57	0.0795	11.51
25	0.0797	0.0801	0.50	0.078	2.44
26	0.0793	0.0797	0.50	0.0778	2.19
27	0.0734	0.0737	0.41	0.0722	1.87
28	0.0676	0.0679	0.44	0.0706	-4.04
29	0.0671	0.0674	0.45	0.0692	-2.82
30	0.0627	0.0629	0.32	0.0673	-6.69
31	0.0594	0.0597	0.51	0.0658	-9.50
32	0.0590	0.0592	0.34	0.0646	-8.51
33	0.0556	0.0558	0.36	0.0631	-11.73
34	0.0545	0.0547	0.37	0.063	-13.33
35	0.0541	0.0543	0.37	0.0589	-7.98
36	0.0515	0.0517	0.39	0.0566	-8.83

Είναι προφανές ότι η αύξηση της ιδιοπεριόδου είναι μεγαλύτερη στις πρώτες ιδιομορφές και γίνεται εντονότερη με την αύξηση του πλήθους των ορόφων· άλλωστε τα φαινόμενα P-Δ ήταν αναμενόμενο να είναι σημαντικότερα στις ψηλές κατασκευές. Οι διαφορές όμως είναι πολύ μικρές και η μέγιστη τους τιμή κυμαίνεται μεταξύ 0.7-3.5%.

Επιπλέον διαπιστώνεται ότι οι ιδιοπερίοδοι που υπολογίζονται με το FESPA 10 είναι σημαντικά μικρότερες (ακόμα και 66%) από αυτές του OpenSees. Η ύπαρξη διαφοράς ήταν αναμενόμενη δεδομένου ότι το FESPA 10 στις αναλύσεις ακολουθεί τις υποδείξεις του Ευρωκώδικα και χρησιμοποιεί δυσκαμψία μικρότερη της ελαστικής κατά 50% ούτως ώστε να προσομοιώσει την ρηγματωμένη κατάσταση των διατομών. Αντιθέτως το OpenSees υπολογίζει τις ιδιοπεριόδους λαμβάνοντας υπ' όψιν την υπάρχουσα δυσκαμψία την στιγμή του υπολογισμού. Δεδομένου ότι δεν επιδιώκεται η καταγραφή της εξέλιξης των ιδιομορφών κατά την παραμόρφωση της κατασκευής, οι ιδιοπερίοδοι υπολογίζονται πριν την οριζόντια φόρτιση, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται η αρχική ελαστική δυσκαμψία.

Με την διαφοροποίηση όμως αυτή το OpenSees οδηγεί σε πιο δύσκαμπτη θεώρηση των κτηρίων και όχι πιο εύκαμπτη, με αποτέλεσμα η ποσοστιαία διαφορά να είναι στην πραγματικότητα ακόμα μεγαλύτερη. Είναι σαφές λοιπόν ότι στα δύο προγράμματα υπάρχει κάποια ουσιαστική διαφορά στον τρόπο πραγματοποίησης της ιδιομορφικής ανάλυσης. Στη προσπάθεια να βρεθεί η αιτία της απόκλισης δοκιμάστηκαν αναλύσεις στο OpenSees στις οποίες άλλαζαν ορισμένες παράμετροι όπως πχ η μάζα της κατασκευής και το στάδιο πραγματοποίησης της ιδιομορφικής ανάλυσης.

Στην περίπτωση που ο υπολογισμός των ιδιομορφών γίνει πριν να ξεκινήσει το πρώτο βήμα της ανάλυσης φορτίων βαρύτητας ή τα εξωτερικά φορτία δεν επιβάλλονται στα μέλη παρά μόνο λαμβάνονται ως μάζα, τότε οι ιδιοπερίοδοι προκύπτουν ίδιες με αυτές του MASTER 10. Το αποτέλεσμα όμως αυτό δεν μπορεί να συνδυαστεί με τη μειωμένη δυσκαμψία που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Αν σε μια δεύτερη δοκιμή παραληφθούν οι μάζες λόγω εξωτερικών φορτίων, τότε οι ιδιοπερίοδοι προκύπτουν μικρότερες κατά 10-15%. Σε αυτή την περίπτωση τα κτήρια προκύπτουν πιο δύσκαμπτα από αυτά του MASTER 10 γεγονός που εξηγείται από τη θεώρηση της διαφορετικής δυσκαμψίας.

Επειδή η εξαγωγή ενός τεκμηριωμένου συμπεράσματος σχετικά τις παραπάνω διαφορές είναι αδύνατη, εξετάστηκαν οι ιδιοπερίοδοι του εξάρωρου για ανάλυση με το πρόγραμμα SAP2000 (Πίνακας 7.4).

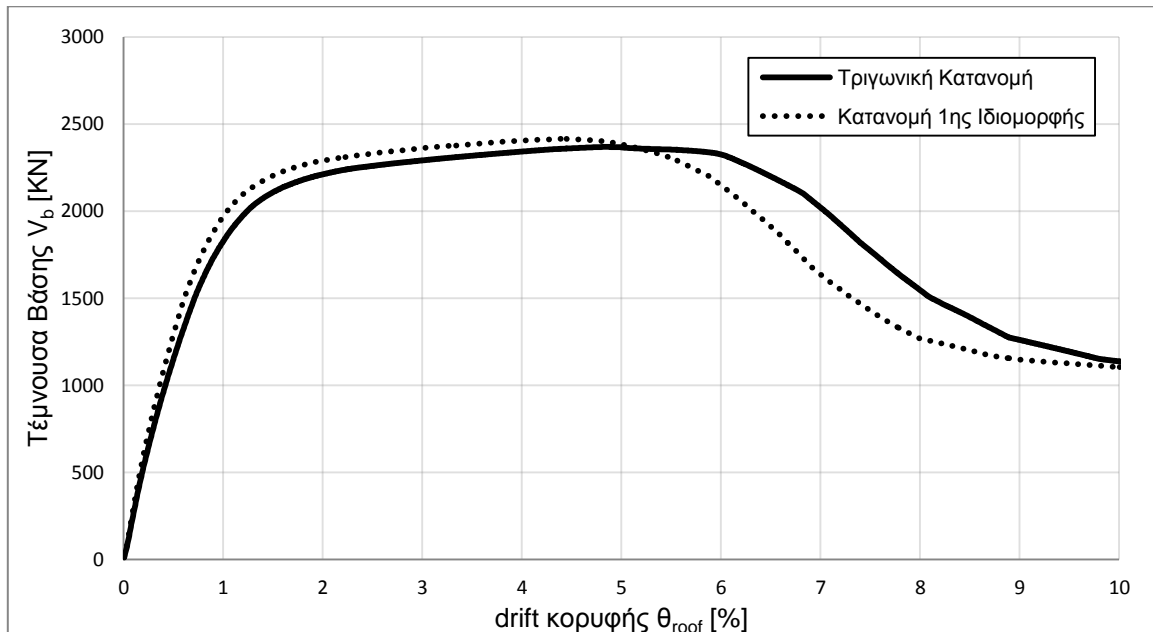
Πίνακας 7.4: Σύγκριση ιδιοπεριόδων εξαώροφου με χρήση OpenSees και SAP2000

Ιδιομορφή	OpenSees		SAP2000	Μέση Διαφορά [%]
	Ιδιοπερίοδος [sec]		Ιδιοπερίοδος [sec]	
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ		
1	1.2800	1.3020	1.2357	4.48
2	1.2729	1.2946	1.2292	4.43
3	0.9929	1.0031	0.9911	0.70
4	0.4046	0.4085	0.4003	1.56
5	0.4008	0.4046	0.3980	1.18
6	0.3255	0.3275	0.3257	0.25
7	0.2172	0.2186	0.2308	-5.58
8	0.2141	0.2155	0.2294	-6.37
9	0.1844	0.1853	0.1919	-3.69
10	0.1365	0.1372	0.1612	-15.10
11	0.1340	0.1346	0.1601	-16.10
12	0.1196	0.1200	0.1363	-12.14
13	0.0941	0.0945	0.1263	-25.32
14	0.0920	0.0923	0.1252	-26.41
15	0.0837	0.0840	0.1215	-30.99
16	0.0720	0.0722	0.1086	-33.60
17	0.0702	0.0704	0.1083	-35.10
18	0.0651	0.0653	0.1074	-39.30

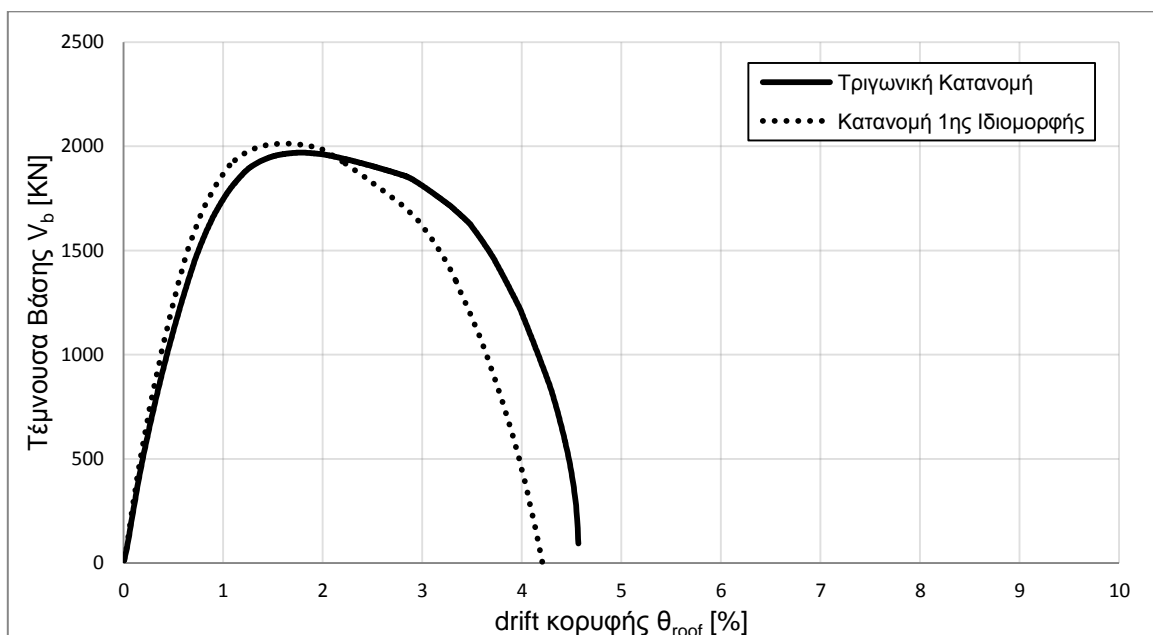
Οι τιμές των ιδιοπεριόδων που υπολογίζει το SAP2000 απέχουν ελάχιστα (όσον αφορά στις πρώτες) από τις αντίστοιχες του OpenSees επομένως οι τελευταίες μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστες παρά τη μεγάλη τους τιμή.

7.3. ΜΟΡΦΗ ΚΑΜΠΥΛΗΣ PUSHOVER

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, οι κατανομές των φορτίων στις αναλύσεις pushover ορίστηκαν με την παραδοχή ότι η 1^η ιδιομορφή μπορεί να προσομοιωθεί με τριγωνική και να μην επηρεαστεί η μορφή της καμπύλης αντίστασης. Η μικρή ευαισθησία της pushover στη μορφή της 1^{ης} ιδιομορφής επιβεβαιώνεται από τα Σχήματα 7.1 και 7.2.

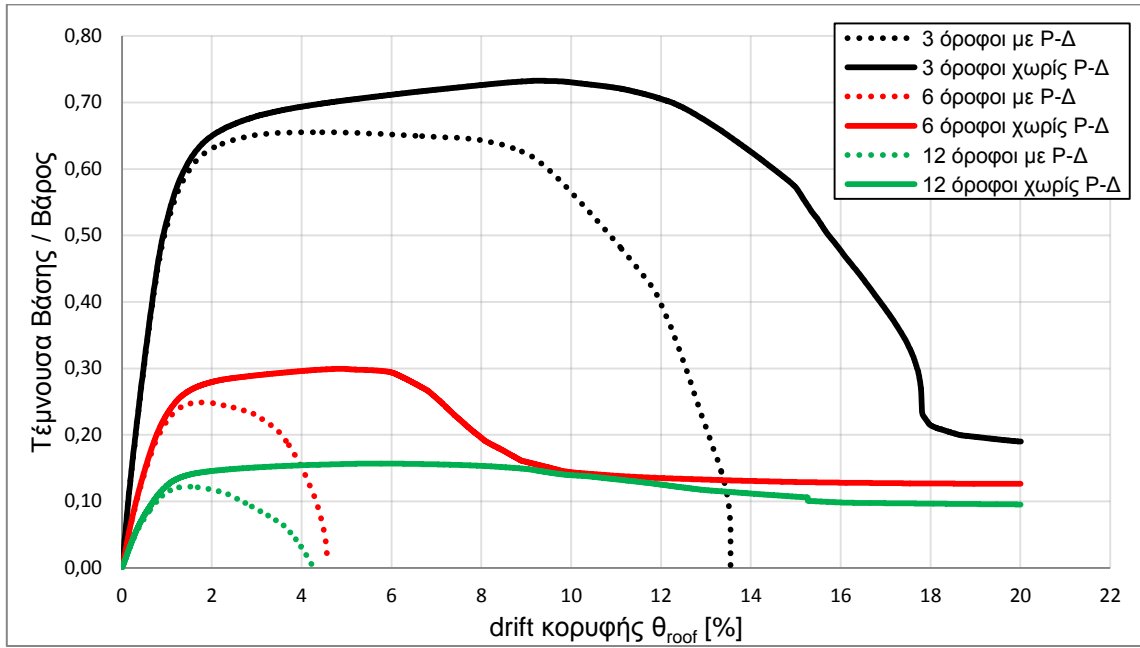


Σχήμα 7.1: Καμπύλη pushover εξαώροφου χωρίς P-Δ για τριγωνική ή μη 1^η ιδιομορφή

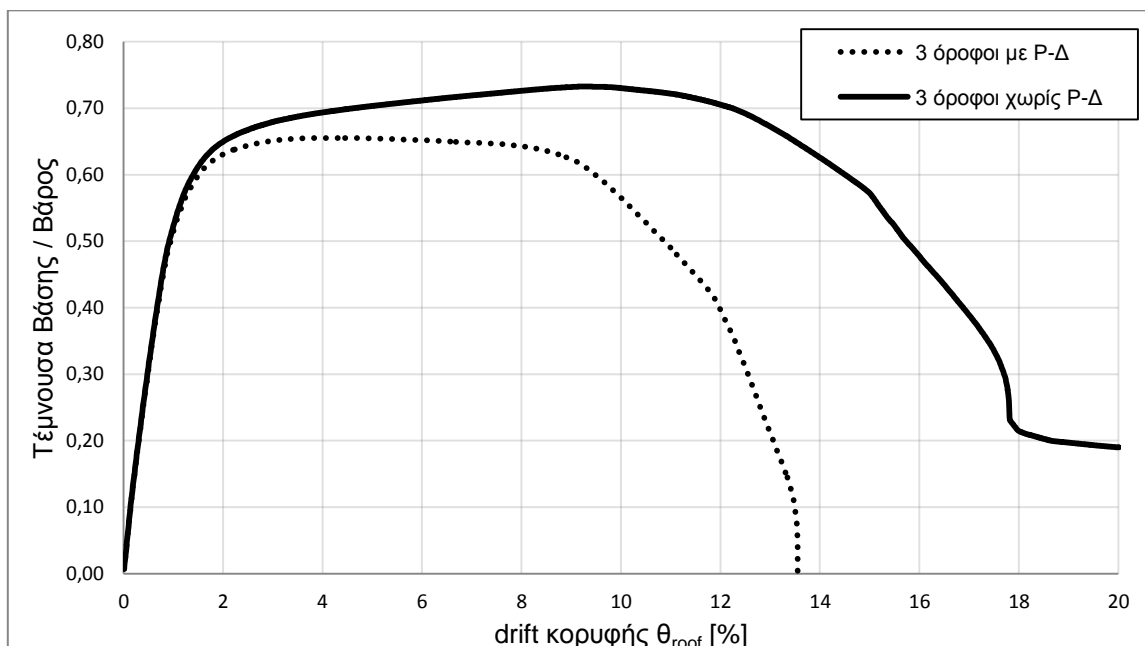


Σχήμα 7.2: Καμπύλη pushover εξαώροφου με P-Δ για τριγωνική ή μη 1^η ιδιομορφή

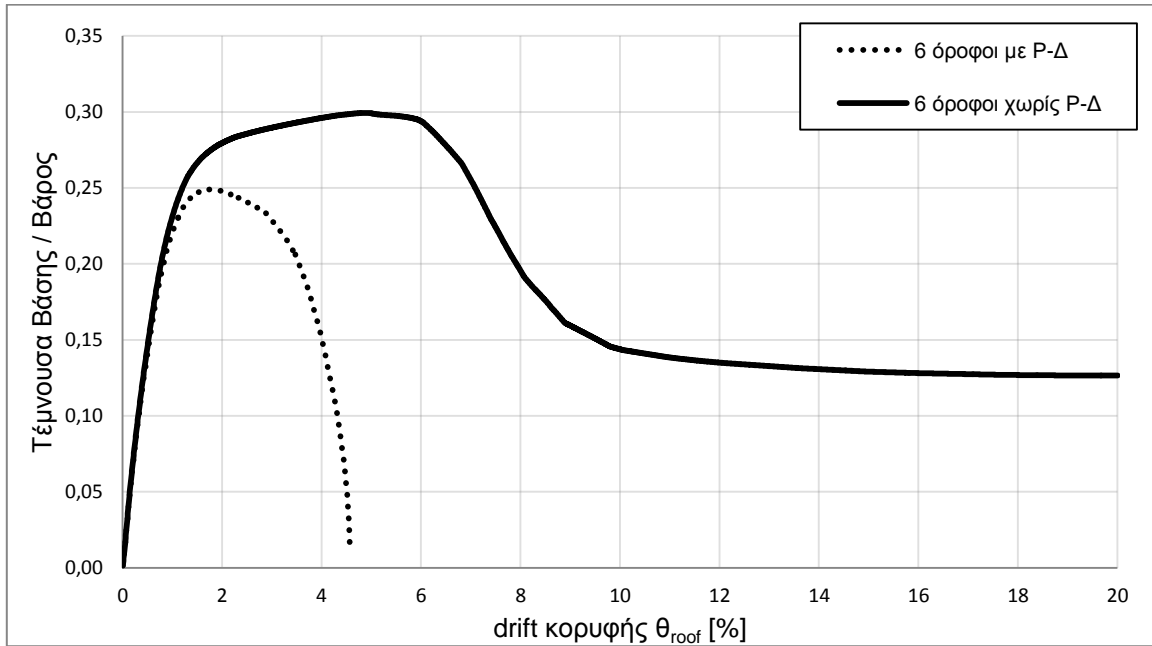
Η πραγματοποίηση μιας ορθής σύγκρισης προϋποθέτει ότι οι καμπύλες έχουν αδιαστατοποιηθεί, ούτως ώστε να δίνουν τα σχετικά και όχι τα ακριβή μεγέθη. Έτσι λοιπόν στον κατακόρυφο άξονα δίνεται ο λόγος της τέμνουσας βάσης προς το συνολικό βάρος, εκφράζοντας τις αντοχές ως ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Οι καμπύλες pushover των τριών κατασκευών με θεώρηση ή όχι φαινομένων P-Δ παρουσιάζονται μαζί στο Σχήμα 7.3 και ανά ζεύγη στα Σχήματα 7.4 έως 7.6.



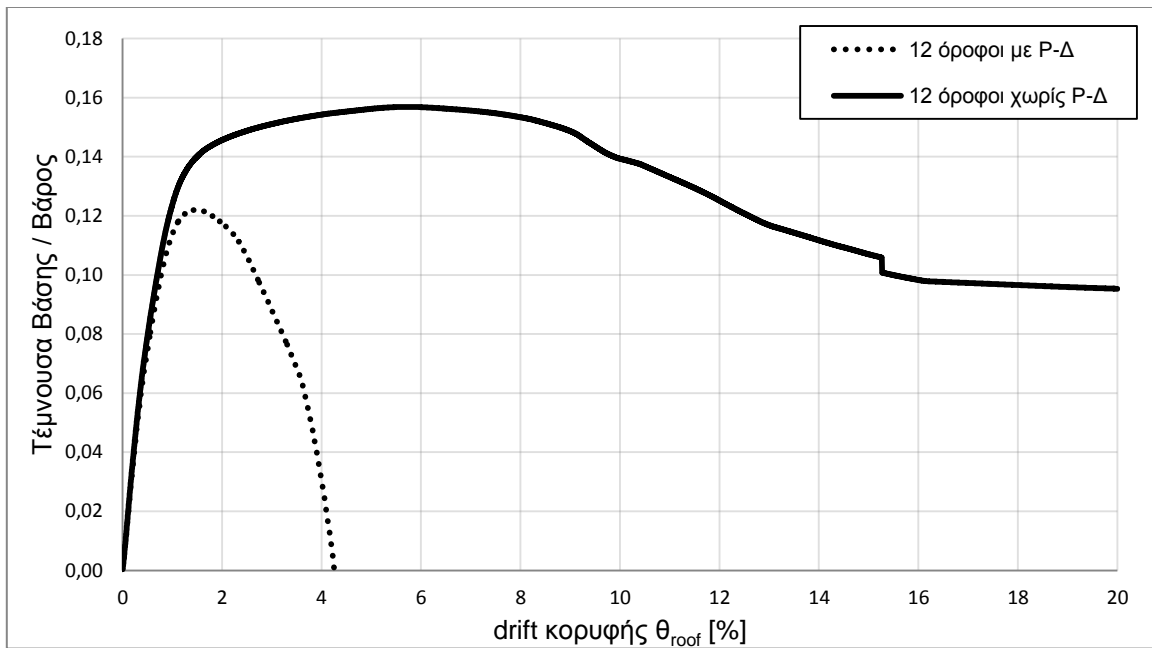
Σχήμα 7.3: Καμπύλες pushover των τριών κατασκευών με και χωρίς φαινόμενα P-Δ



Σχήμα 7.4: Καμπύλες pushover τριώροφου με και χωρίς φαινόμενα P-Δ



Σχήμα 7.5: Καμπύλες pushover εξαώροφου με και χωρίς φαινόμενα P-Δ



Σχήμα 7.6: Καμπύλες pushover δωδεκάωροφου με και χωρίς φαινόμενα P-Δ

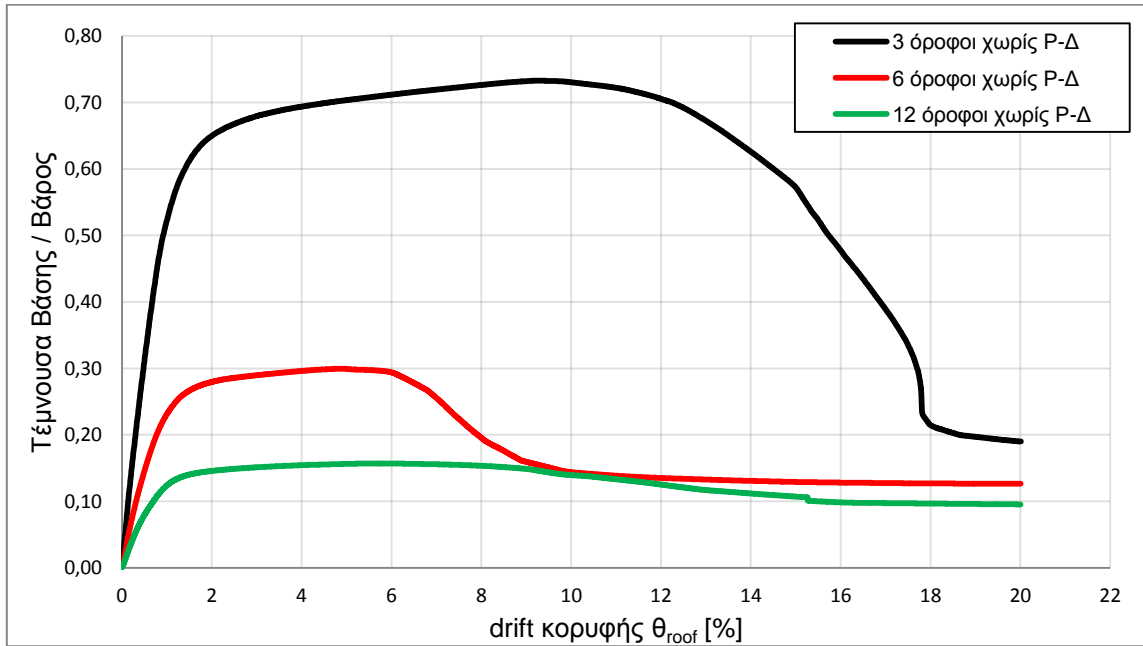
Προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- 1ον. Η σχέση των δυσκαμψιών των κατασκευών εκφράζεται σωστά στο κοινό διάγραμμα. Η αύξηση του αριθμού των ορόφων οδηγεί σε μείωση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας και αυτό αποτυπώνεται ως μείωση της αρχικής κλίσης των καμπυλών.
- 2ον. Η επίδραση των φαινομένων P-Δ στην απόκριση των κατασκευών είναι εντονότερη όσο αυξάνεται το πλήθος των ορόφων. Οι αποκλίσεις, ως προς την ανάλυση χωρίς P-Δ, των μέγιστων αντοχών δίνονται στον Πίνακα 7.5.

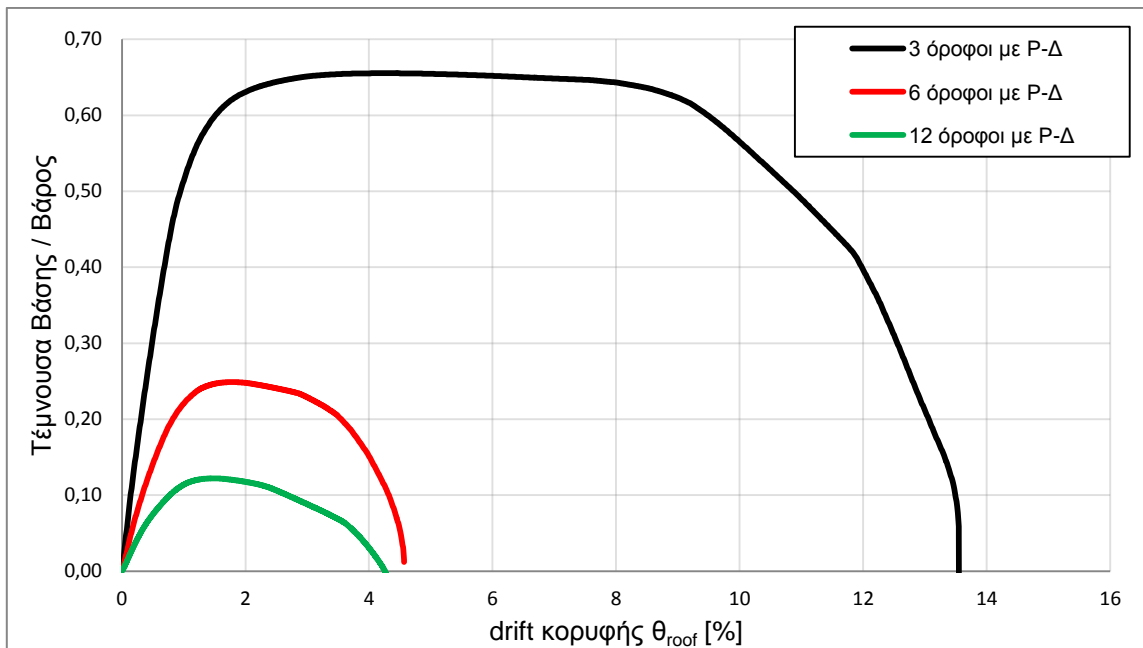
Πίνακας 7.5: Αποκλίσεις αντοχών λόγω φαινομένων P-Δ

Πλήθος Ορόφων	Μέγιστη Αντοχή		Διαφορά [%]
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ	
3	0.733	0.655	-10.55
6	0.299	0.249	-16.86
12	0.157	0.122	-22.19

- 3ον. Σε κάθε κατασκευή η καμπύλες με P-Δ και χωρίς P-Δ αρχίζουν να διαφοροποιούνται με την είσοδο στη μετελαστική περιοχή. Στην πραγματικότητα προκαλείται και μείωση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας (δες διαφορά ιδιοπεριόδων σε κεφάλαιο 7.2) ωστόσο είναι τόσο μικρή που δεν αποτυπώνεται.
- 4ον. Παρατηρώντας τα Σχήματα 7.3, 7.7 και 7.8 διαπιστώνεται ότι η αντοχή (σε όρους επιταχύνσεων) αυξάνεται με τη μείωση των ορόφων. Η σχέση αυτή μεταξύ των μέγιστων αντοχών είναι η αναμενόμενη καθώς οι κατασκευές έχουν διαστασιολογηθεί για διαφορετική επιτάχυνση σχεδιασμού S_E με το τριώροφο να διαθέτει τη μεγαλύτερη και το δωδεκάωροφο τη μικρότερη.

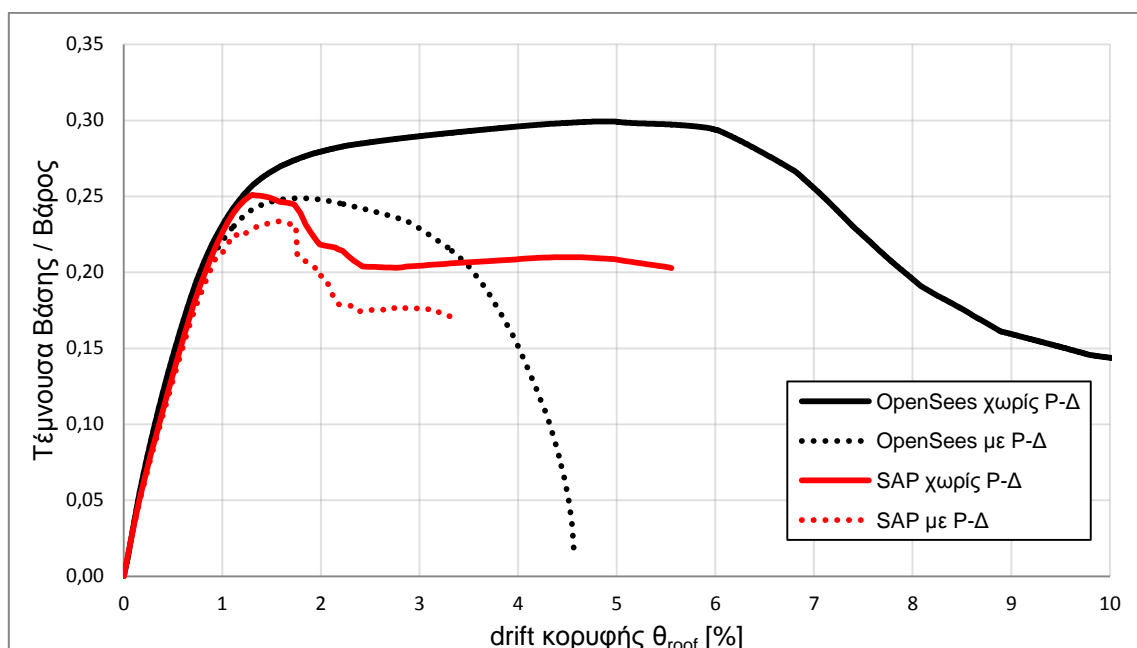


Σχήμα 7.7: Καμπύλες pushover χωρίς φαινόμενα P-Δ



Σχήμα 7.8: Καμπύλες pushover με φαινόμενα P-Δ

Οι καμπύλες pushover του εξαώροφου επιπλέον συγκρίνονται με τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο πρόγραμμα SAP2000.



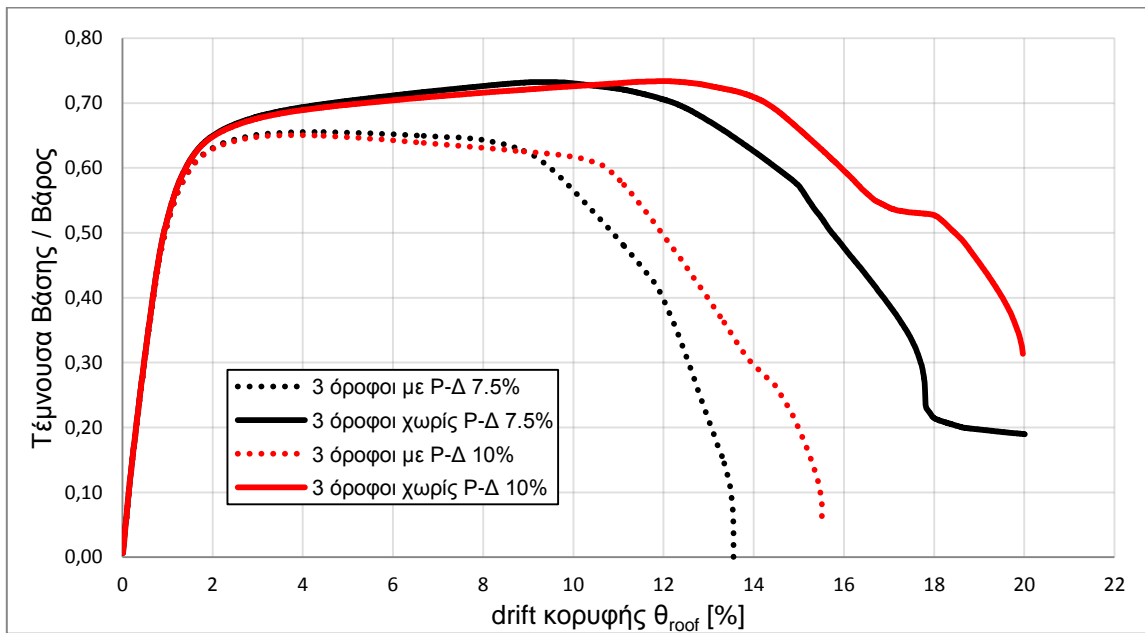
Σχήμα 7.10: Σύγκριση καμπυλών SAP και OpenSees για εξαώροφο

Τα φαινόμενα P-Δ δίνουν παραπλήσιες καμπύλες και στα δύο προγράμματα. Ο ελαστικός κλάδος ταυτίζεται, ωστόσο οι διαφοροποιήσεις αρχίζουν με την είσοδο στην ανελαστική περιοχή. Στο SAP2000 η μέγιστη τέμνουσα βάση επιτυγχάνεται για την ίδια μετακίνηση με το OpenSees, έχει όμως ελαφρώς μικρότερη τιμή και ακολουθείται από πτωτικό κλάδο μεγαλύτερης κλίσης. Σε γενικές γραμμές οι διαφορές είναι μικρές και οι καμπύλες θεωρούνται συγκρίσιμης αξίας.

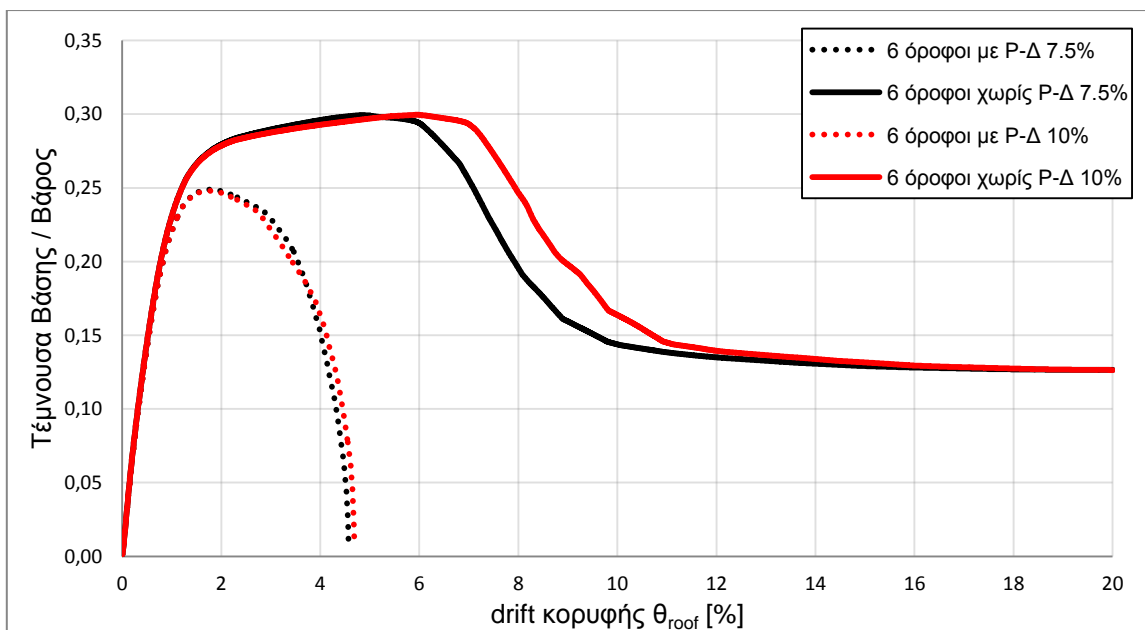
Οι αναλύσεις χωρίς τα φαινόμενα P-Δ παραδόξως παρουσιάζουν μεγαλύτερες αποκλίσεις από αυτές με P-Δ. Το SAP2000 δίνει καμπύλη που σχεδόν ταυτίζεται με αυτή των P-Δ και μέγιστη τέμνουσα σε πολύ χαμηλές τιμές μετακίνησης. Αυτά τα στοιχεία προβληματίζουν ως προς την ακρίβεια της ανάλυσης του SAP2000.

7.4. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

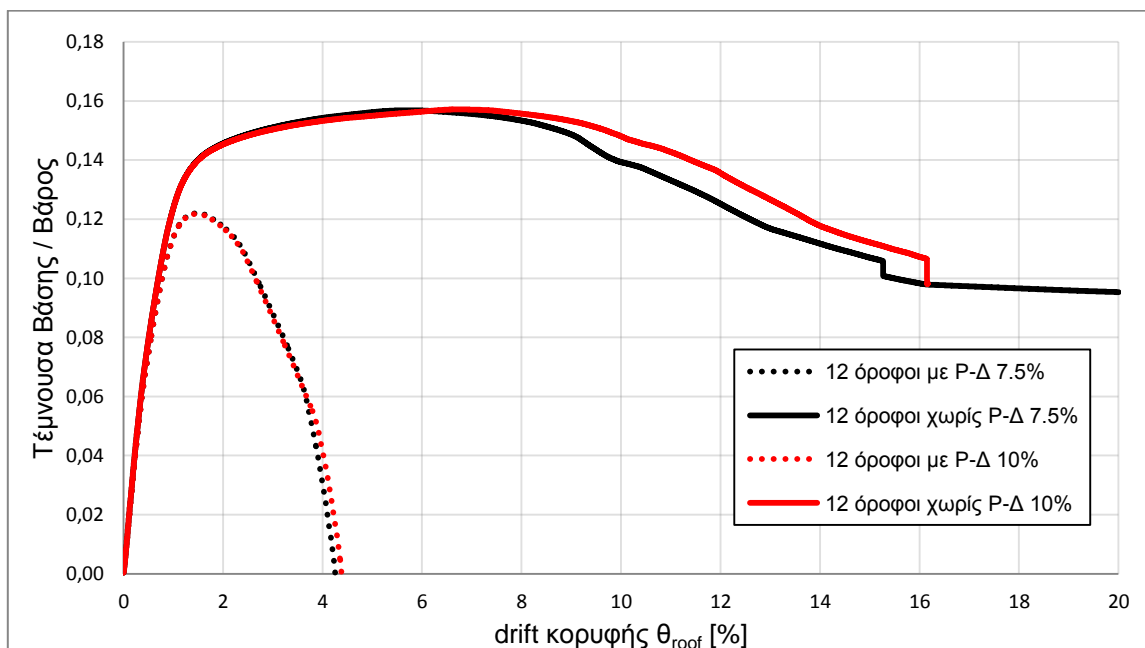
Όπως έχει αναφερθεί στα κεφάλαια 5 και 6, η τιμή της παραμόρφωσης ϵ_u του χάλυβα υπό το μέγιστο φορτίο δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τη μορφή της καμπύλης αντίστασης. Ενδιαφέρον ωστόσο εμφανίζει το γεγονός ότι η μορφή της επίδρασης εξαρτάται από την ενσωμάτωση ή όχι των φαινομένων δευτέρας τάξεως. Στα Σχήματα 7.11 έως 7.13 περιλαμβάνονται ανά κατασκευή οι καμπύλες pushover για χάλυβα $\epsilon_{su}=7.5\%$ και 10% και με χρήση ή όχι P-Δ.



Σχήμα 7.11: Καμπύλες pushover τριώροφου



Σχήμα 7.12: Καμπύλες pushover εξαώροφου

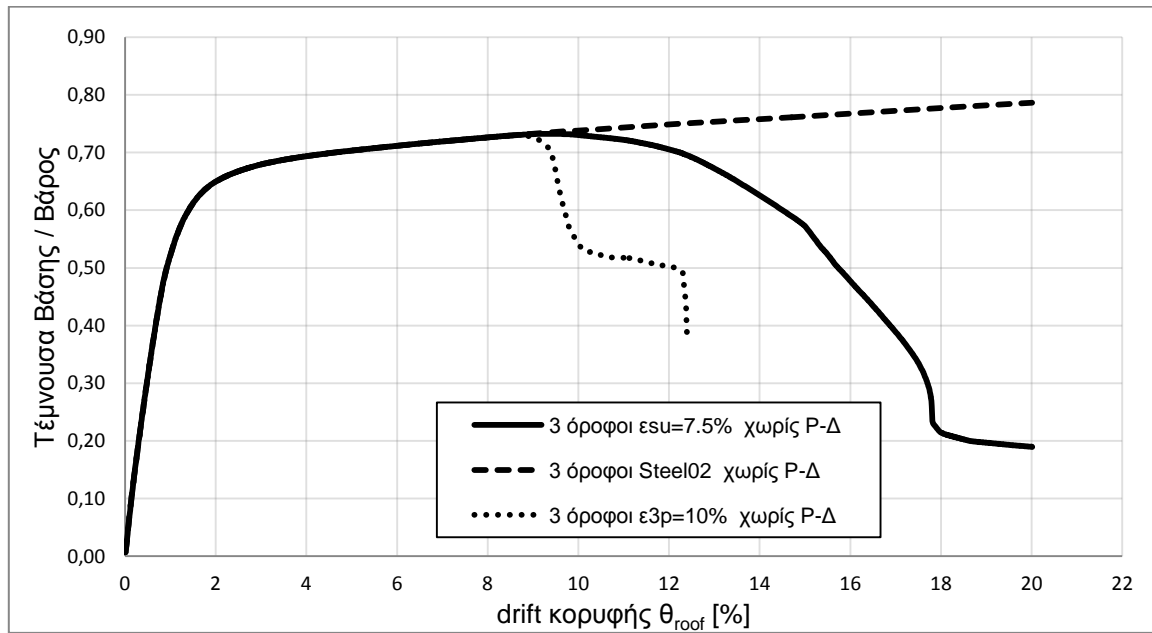


Σχήμα 7.13: Καμπύλες pushover δωδεκαώροφου

Είναι προφανές ότι η αλλαγή του ε_{su} προκαλεί αισθητά μικρότερες μεταβολές στις καμπύλες P-Δ απ' ότι στις καμπύλες χωρίς P-Δ και μάλιστα αυτές μειώνονται όσο η ευαισθησία του φορέα στα φαινόμενα δευτέρας τάξεως αυξάνεται.

Το πιο ενδιαφέρον στοιχείο είναι ότι σε όλες τις κατασκευές χωρίς P-Δ οι καμπύλες σχεδόν ταυτίζονται μέχρι το σημείο μέγιστης αντοχής της καμπύλης για χάλυβα 7.5% και στη συνέχεια, ενώ αυτή φθίνει, η καμπύλη για χάλυβα 10% διατηρεί αντοχές. Αυτό σημαίνει ότι στα κρίσιμα μέλη ο χάλυβας έχει τη δυνατότητα να φτάσει σε μεγάλες τιμές παραμόρφωσης, προσφέροντας αντοχές και κατά συνέπεια στηρίζοντας τη κατασκευή. Η υπέρβαση όμως της οριακής αντοχής του χάλυβα οδηγεί σε αστοχία των κρίσιμων μελών, με αποτέλεσμα να καταρρέει η κατασκευή. Το συμπέρασμα αυτό υποστηρίζεται και από τη μορφή των καμπυλών με χάλυβα Steel02 (χάλυβας χωρίς πτωτικό κλάδο) καθώς και με χάλυβα Hysteretic στον οποίο η οριακή παραμόρφωση έχει τιμή 10% αντί για 20% που έχει το μοντέλο μας. (Σχήμα 7.14)

Αντίθετα από τα παραπάνω, όταν τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως είναι σημαντικά (εξαώροφο και δωδεκαώροφο) οι καμπύλες διαχωρίζονται μέσα στον πτωτικό κλάδο γεγονός που σημαίνει ότι η αστοχία των κρίσιμων μελών δεν οφείλεται στο χάλυβα.



Σχήμα 7.14: Καμπύλες pushover τριώροφου χωρίς P- Δ για διάφορα μοντέλα χάλυβα

7.5. ΙΣΟΔΥΝΑΜΑ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ

Ο συντελεστής συμμετοχής Γ και το ποσοστό α της συνολικής μάζας που συμμετέχει στην απόκριση της κατασκευής εξαρτώνται από την κατανομή των οριζοντίων φορτίων και των μαζών, επομένως έχουν την ίδια τιμή για την ανάλυση με και χωρίς φαινόμενα P-Δ. Οι τιμές Γ και α για κάθε κατασκευή δίνονται στον Πίνακα 7.6.

Πίνακας 7.6: Τιμές συντελεστών Γ και α

Πλήθος Ορόφων	Συντελεστής Συμμετοχής Γ	Ποσοστό Συνολικής Μάζας α
3	1.295	0.856
6	1.392	0.807
12	1.446	0.780

Όπως είναι γνωστό, η τριγωνική κατανομή φορτίων προσεγγίζει τη μικτή συμπεριφορά μιας κατασκευής και προσεγγιστικά ισχύει :

$$\Gamma \cdot \varphi_{top} \approx 1.4 \text{ και } \alpha \approx 0.8$$

Δεδομένου ότι για την πραγματοποίηση της pushover άρα και την κατασκευή του ισοδύναμου μονοβάθμιου χρησιμοποιήθηκε η τριγωνική κατανομή, κανονικοποιημένη ως προς το μέγιστο ($\varphi_{top}=1$), είναι αυτονόητο ότι οι τιμές των Γ και α θα κυμαίνονται κοντά στο 1.4 και 0.8 αντίστοιχα.

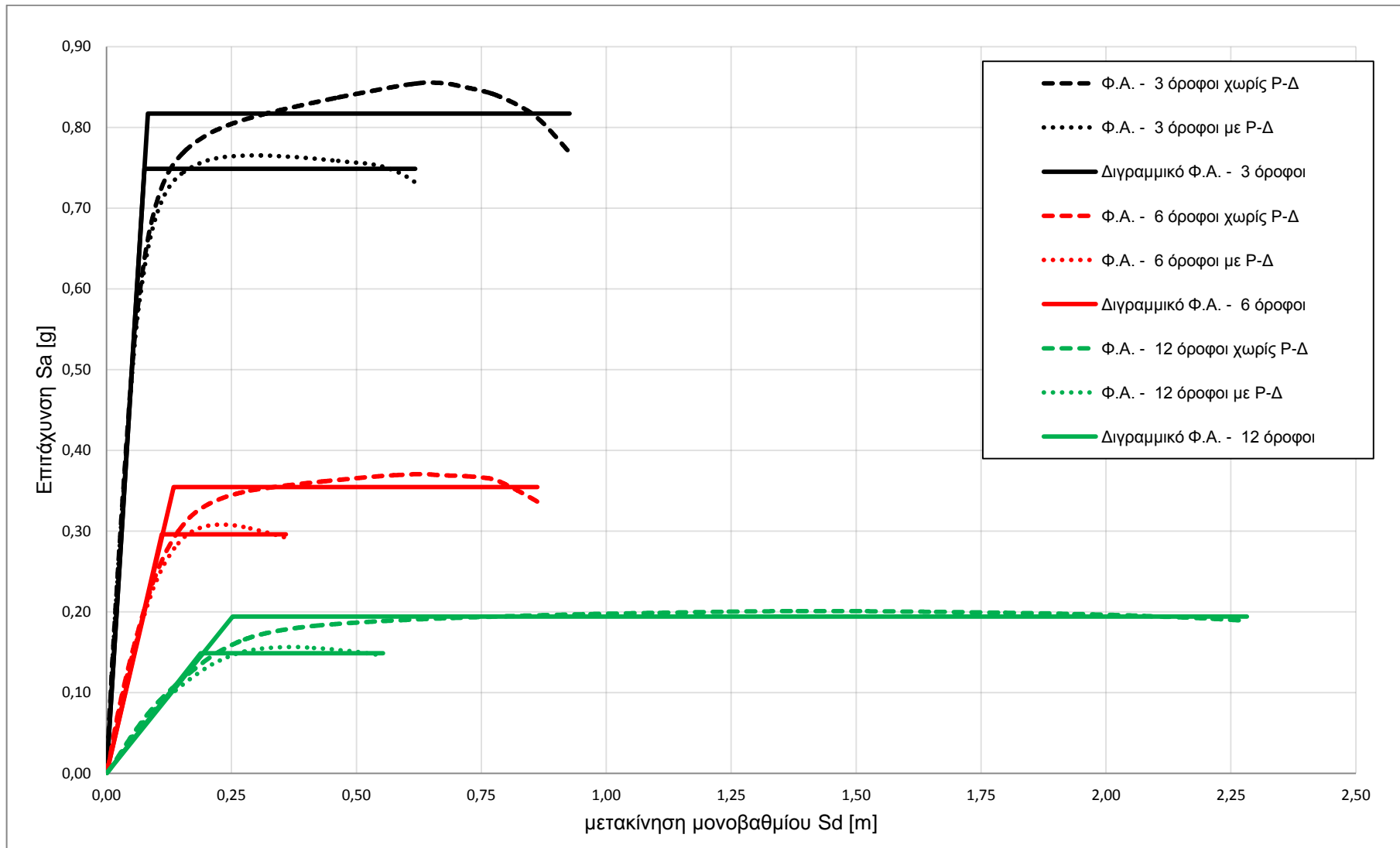
Οι ιδιοπερίοδοι T^* και επιταχύνσεις διαρροής Say των ισοδύναμων μονοβάθμιων δίνονται στον Πίνακα 7.7.

Πίνακας 7.7: T^* και Say Ισοδύναμων Μονοβάθμιων

Πλήθος Ορόφων	Χωρίς P-Δ		Με P-Δ	
	T^* [sec]	Say [g]	T^* [sec]	Say [g]
3	0.633	0.817	0.632	0.749
6	1.222	0.355	1.213	0.296
12	2.264	0.194	2.235	0.149

Στο Σχήμα 7.15 δίνονται τα φάσματα αντίστασης (καμπύλα αλλά και διγραμμικά) όλων των ισοδύναμων μονοβάθμιων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπλήσια ιδιοπερίοδος T^* αποτυπώνεται ως σχεδόν ίδια κλίση των διγραμμικών φασμάτων για την ίδια κατασκευή.



Σχήμα 7.15: Φάσματα Αντίστασης Ισοδύναμων Μονοβάθμιων

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, οι κατασκευές έχουν σχεδιαστεί για συντελεστή συμπεριφοράς $q=5.85$.

Αν επιπλέον ληφθεί υπ' όψιν ότι μια συνηθισμένη τιμή υπεραντοχής των κατασκευών είναι μεταξύ 30 και 50% (έστω 40%) τότε ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι:

$$q_d = q / \gamma = 5.85 / 1.40 = 4.18$$

Συγκρίνοντας την αντοχή του ισοδύναμου μονοβάθμιου με την τιμή του σεισμού σχεδιασμού εξάγονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα για τον συντελεστή συμπεριφοράς που τελικά εμφανίζεται.

Στον Πίνακα 7.8 δίνονται οι επιταχύνσεις σχεδιασμού για τις ιδιοπεριόδους T_1 του MASTER 10 και συγκρίνονται με τις επιταχύνσεις διαρροής των ισοδύναμων μονοβάθμιων μέσω του λόγου:

$$R = \frac{\text{Επιτάχυνση Σχεδιασμού}}{\text{Επιτάχυνσης διαρροής}}$$

Πίνακας 7.8: Σύγκριση αντοχών και επιταχύνσεων σχεδιασμού για T_1 MASTER 10

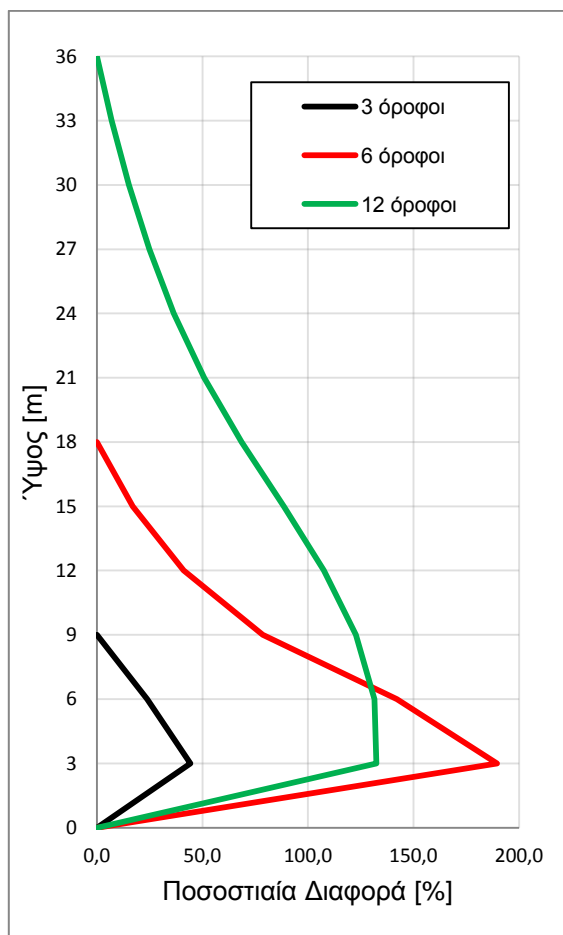
Πλήθος Ορόφων	Σχεδιασμός [g]	Χωρίς P-Δ		Με P-Δ	
		Διαρροή [g]	R	Διαρροή [g]	R
3	0.720	0.817	0.881	0.749	0.962
6	0.428	0.355	1.207	0.296	1.446
12	0.239	0.194	1.230	0.149	1.604

Ο λόγος R μεγαλώνει με την αύξηση του ύψους της κατασκευής, ωστόσο είναι κατά πολύ μικρότερος του θεωρητικού συντελεστή q_d . Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του τριώροφου στην οποία ο συντελεστής R είναι μικρότερος και από τη μονάδα. Δεδομένου ότι η υπεραντοχή δεν μπορεί να διαθέτει τόσο υψηλές τιμές, συμπεραίνουμε ότι η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε βάσει κάποιας άλλης δράσης ή ότι οι κατασκευαστικές διατάξεις του EC οδηγούν τελικά σε αντοχές συγκρινόμενες των ελαστικών τιμών του σεισμού σχεδιασμού.

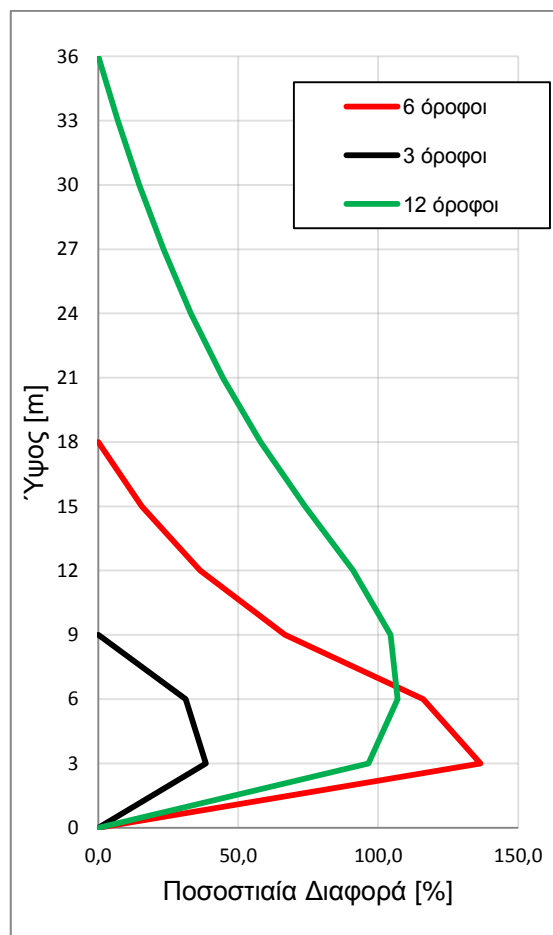
7.6. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΑΣΤΟΧΙΑ

Συγκρίνοντας τις κατανομές των μετακινήσεων κάθε κατασκευής για τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας διαπιστώνεται ότι οι αποκλίσεις από τη γραμμική κατανομή είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες όσο αυξάνεται το ύψος της κατασκευής. Οι διαφορές λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές στη βάση λόγω του σχηματισμού μηχανισμού ορόφου σε αυτή τη ζώνη, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των μετακινήσεων.

Αντίθετα με τα παραπάνω, στο εξαώροφο οι αποκλίσεις στους 2 πρώτους ορόφους είναι μεγαλύτερες των αντίστοιχων στο δωδεκαώροφο. Αυτό όμως οφείλεται στο γεγονός ότι ο μηχανισμός κατάρρευσης στο δωδεκαώροφο περιλαμβάνει περισσότερους ορόφους από αυτόν στο εξαώροφο και κατά συνέπεια υπάρχει εξομάλυνση των παραμορφώσεων.



Σχήμα 7.16: Αποκλίσεις χωρίς P-Δ



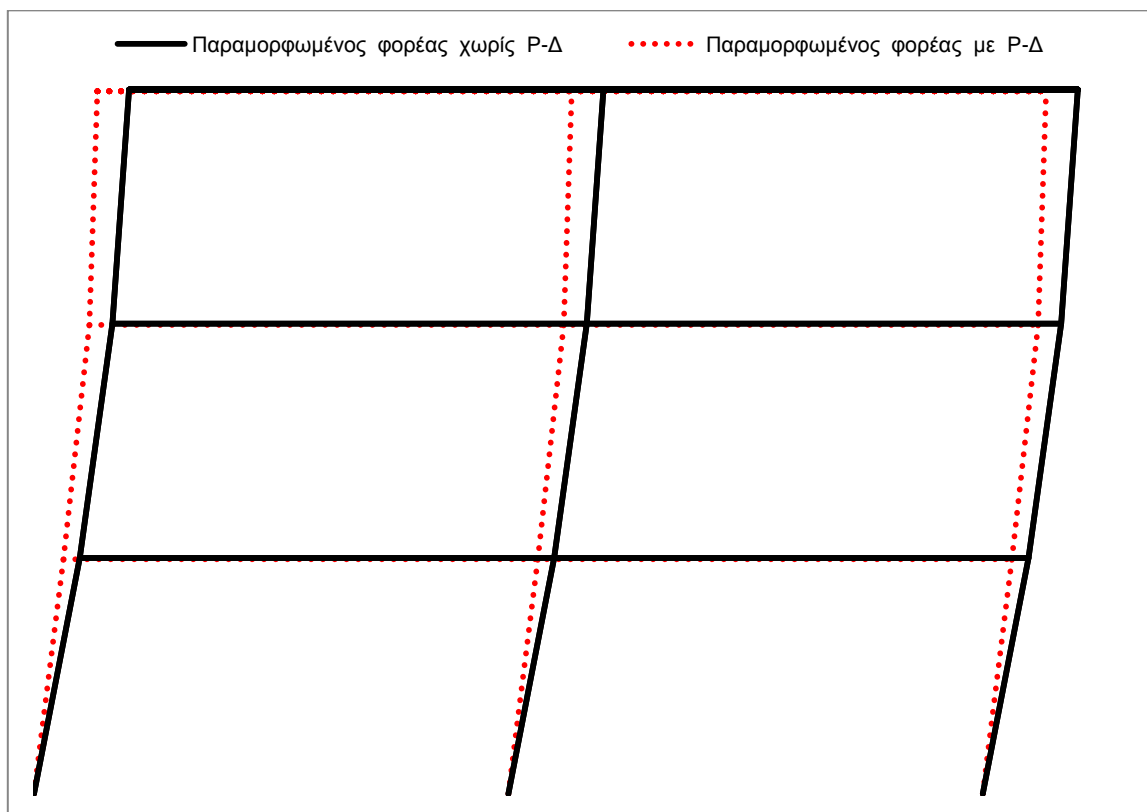
Σχήμα 7.17: Αποκλίσεις με P-Δ

Οι τιμές της μετακίνησης κορυφής για τις οποίες θεωρούμε ότι έχει επιτευχθεί κατάρρευση δίνονται στον Πίνακα 7.9.

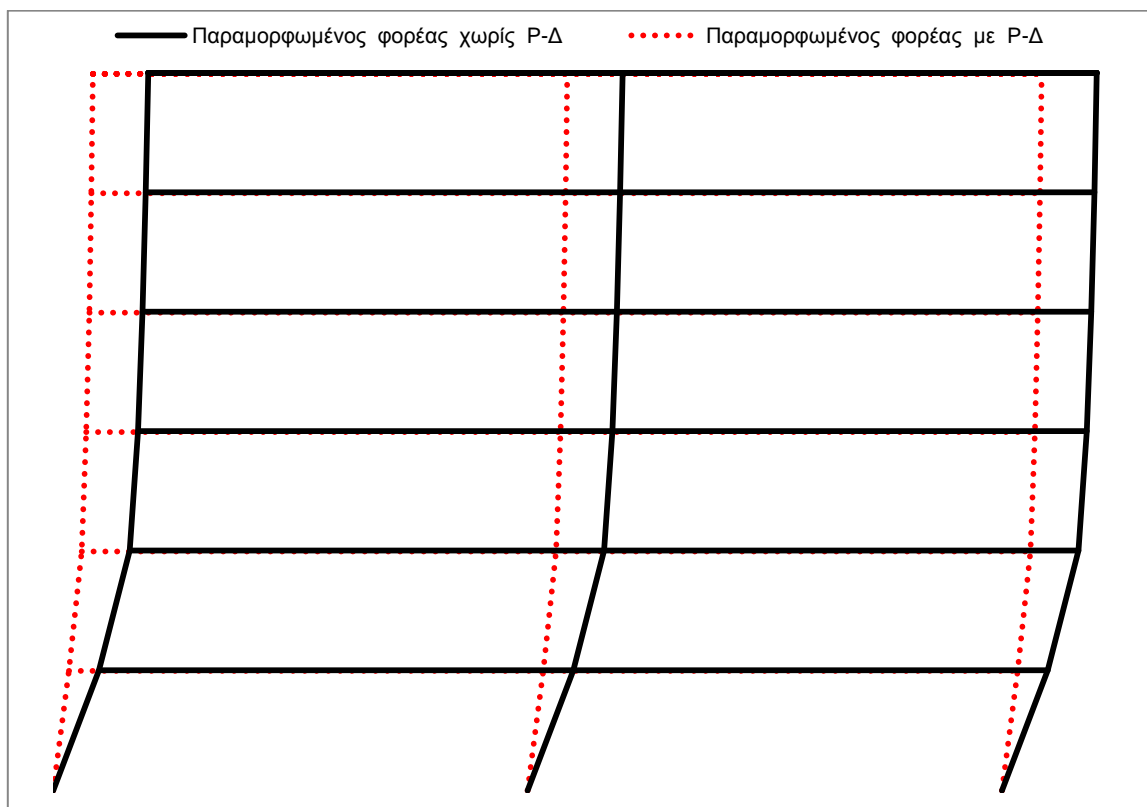
Πίνακας 7.9: Μετακινήσεις πλασματικής κατάρρευσης

Πλήθος Ορόφων	Μετακίνηση Αστοχίας [m]		Διαφορά [%]
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ	
3	1.20	0.80	33.33
6	1.20	0.50	58.33
12	3.30	0.80	75.76

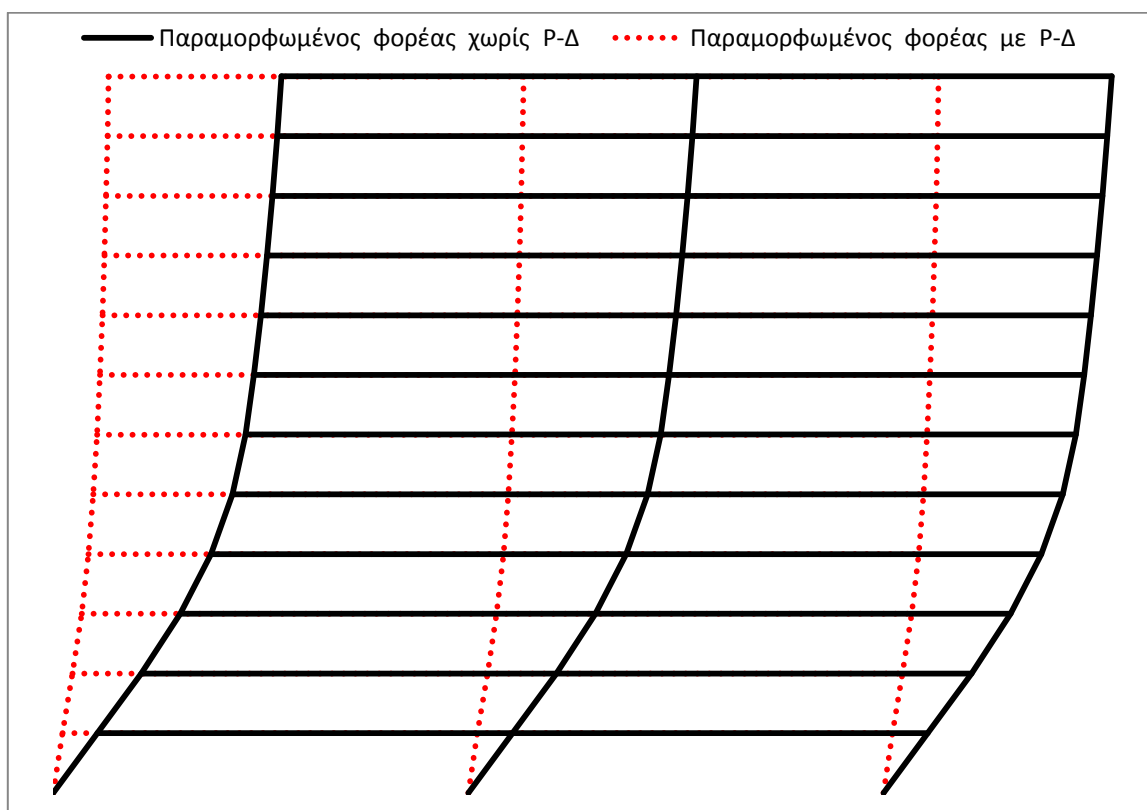
Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται το πλήθος των ορόφων και τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως γίνονται εντονότερα τόσο μικραίνει, ως ποσοστό επί των αναλύσεων χωρίς P-Δ, η μετακίνηση αστοχίας. Αυτό γίνεται πιο κατανοητό όταν σχεδιαστούν σε κοινό διάγραμμα οι παραμορφωμένοι φορέας κάθε κατασκευής (Σχήματα 7.17 έως 7.19).



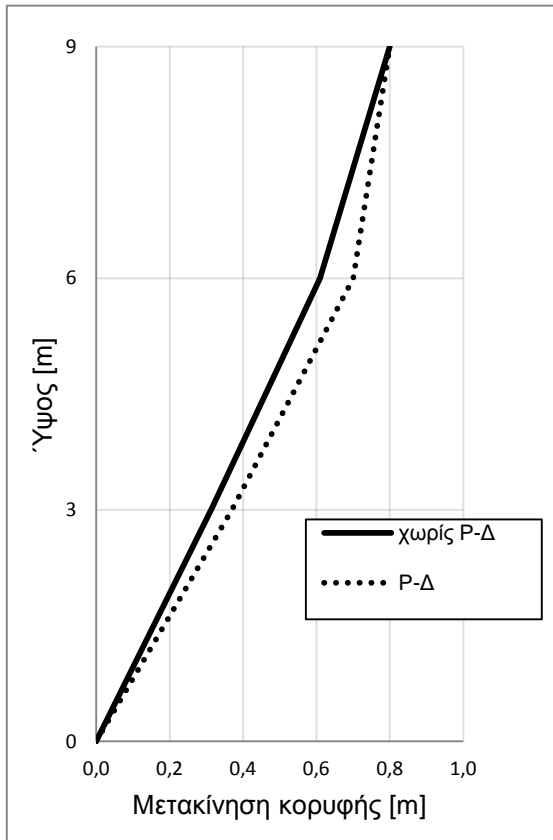
Σχήμα 7.17: Παραμορφωμένος φορέας τριώροφου στη θέση αστοχίας



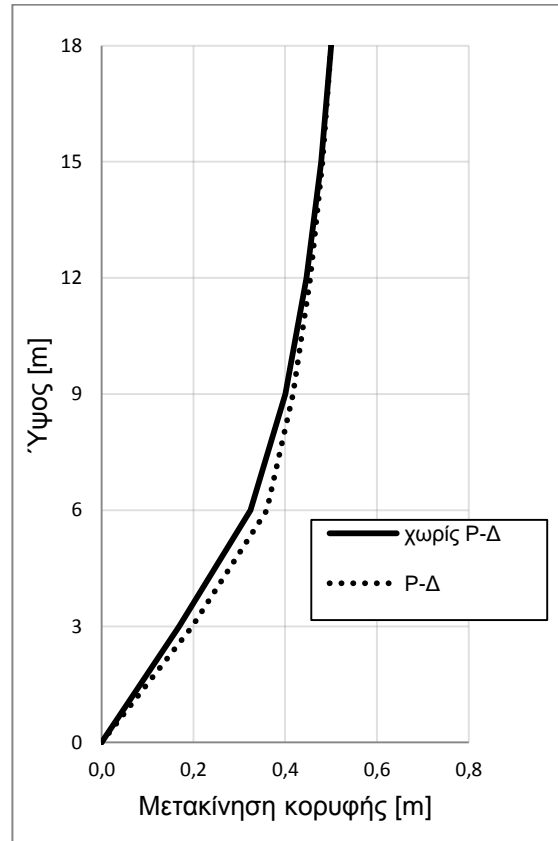
Σχήμα 7.18: Παραμορφωμένος φορέας εξαώροφου στη θέση αστοχίας



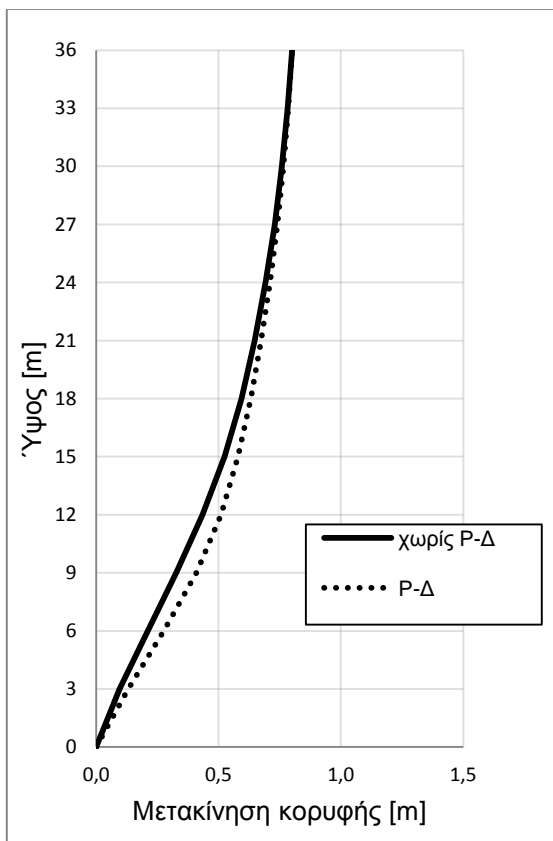
Σχήμα 7.19: Παραμορφωμένος φορέας δωδεκαώροφου στη θέση αστοχίας



Σχήμα 7.20: Μετακινήσεις τριώροφου για $d_{\text{κορυφής}}=d_{\text{max}}$ από ανάλυση με PD



Σχήμα 7.21: Μετακινήσεις εξαώροφου για $d_{\text{κορυφής}}=d_{\text{max}}$ από ανάλυση με PD



Σχήμα 7.22: Μετακινήσεις δωδεκαώροφου για $d_{\text{κορυφής}}=d_{\text{max}}$ από ανάλυση με PD

Σχεδιάζοντας σε κοινό διάγραμμα το προφίλ των παραμορφώσεων για μετακίνηση κορυφής ίση με τη μετακίνηση αστοχίας παρατηρούμε την επίδραση των φαινομένων P-Δ στους ενδιάμεσους ορόφους. Είναι προφανές ότι οι μετακινήσεις και τα drift είναι αυξημένα και οδηγούν έτσι στην πρόωρη κατάρρευση.

Η ενσωμάτωση των φαινομένων δευτέρας τάξεως παρόλο που αυξάνει τα drift για ίδιες μετακινήσεις κορυφής, δεν τροποποιεί τον μηχανισμό κατάρρευσης στο τριώροφο και το εξαώροφο. Αντιθέτως στο δωδεκαώροφο με Ρ-Δ η αστοχία μεταφέρεται έναν όροφο πιο πάνω. Οι μηχανισμοί κατάρρευσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.10.

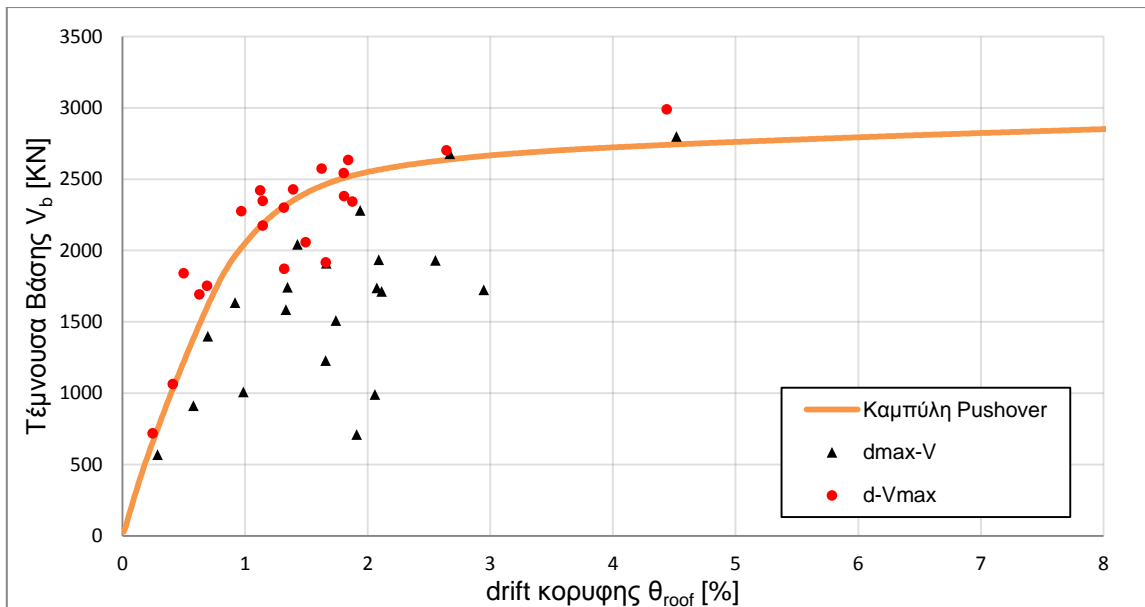
Πίνακας 7.10: Μηχανισμός Κατάρρευσης ανά κατασκευή

Πλήθος Ορόφων	Μηχανισμός Κατάρρευσης	
	Χωρίς Ρ-Δ	Με Ρ-Δ
3	1 ^{ου} Ορόφου	1 ^{ου} Ορόφου
6	1 ^{ου} Ορόφου	1 ^{ου} Ορόφου
12	1 ^{ου} και 2 ^{ου} Ορόφου	1 ^{ου} ,2 ^{ου} και 3 ^{ου} Ορόφου

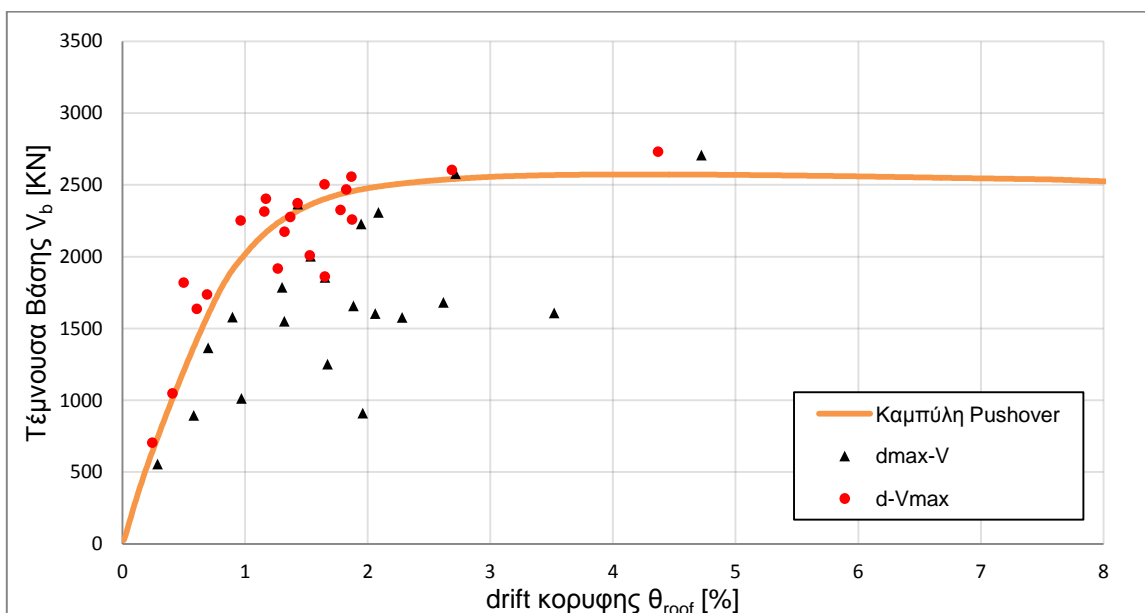
7.7. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕΙΣΜΩΝ

Ένα πολύ βασικό ερώτημα που τίθεται είναι κατά πόσον οι καμπύλες pushover μπορούν να συσχετιστούν με τις αποκρίσεις των δυναμικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν.

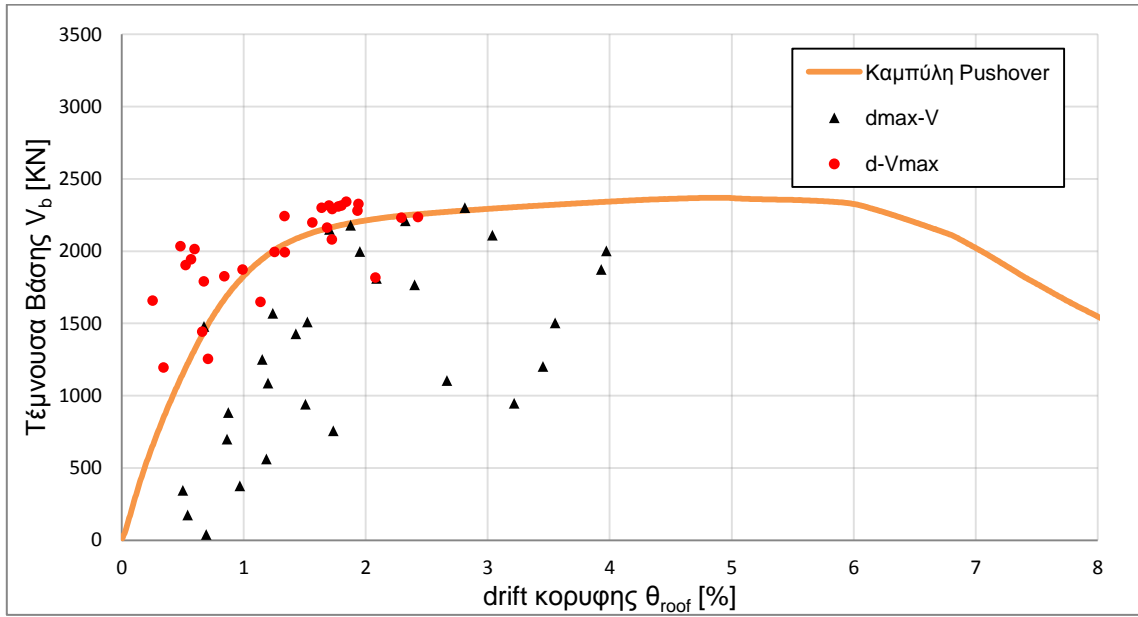
Το ερώτημα δεν είναι εύκολο να απαντηθεί, ωστόσο ορισμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά μπορούν να εξαχθούν αν τα διαγράμματα καμπύλη pushover – σεισμικές αποκρίσεις κάθε κατασκευής συγκριθούν μεταξύ τους. Για την ορθότερη σύγκριση τα Σχήματα 7.23 έως 7.28 σχεδιάζονται στην ίδια κλίμακα.



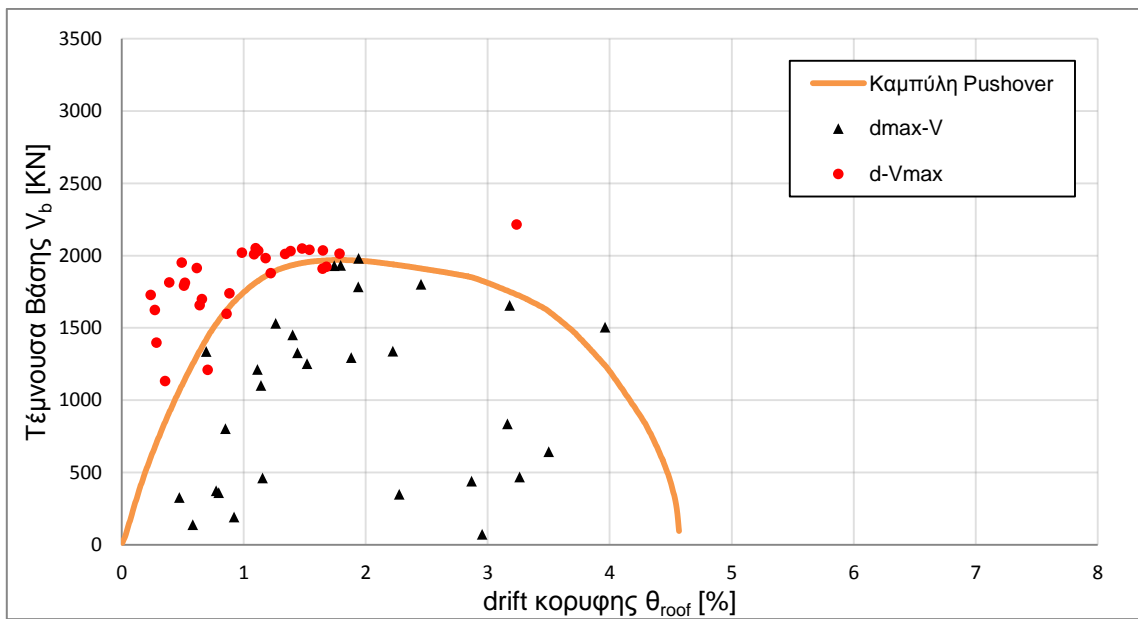
Σχήμα 7.23: Καμπύλη pushover - σεισμικές αποκρίσεις τριώροφου χωρίς Ρ-Δ



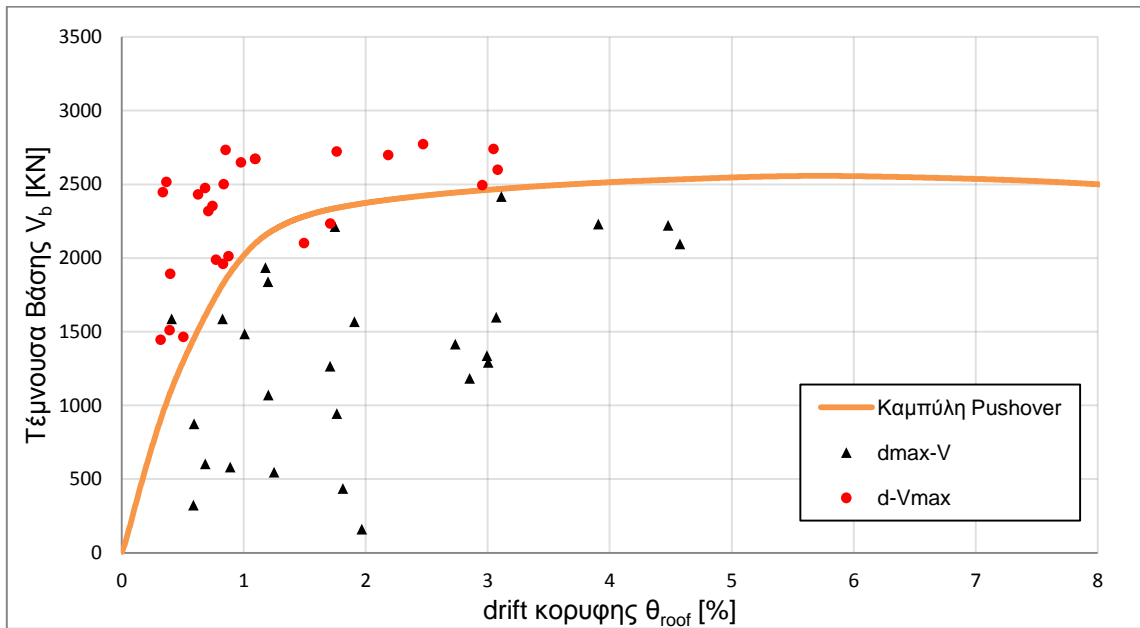
Σχήμα 7.24: Καμπύλη pushover - σεισμικές αποκρίσεις τριώροφου με Ρ-Δ



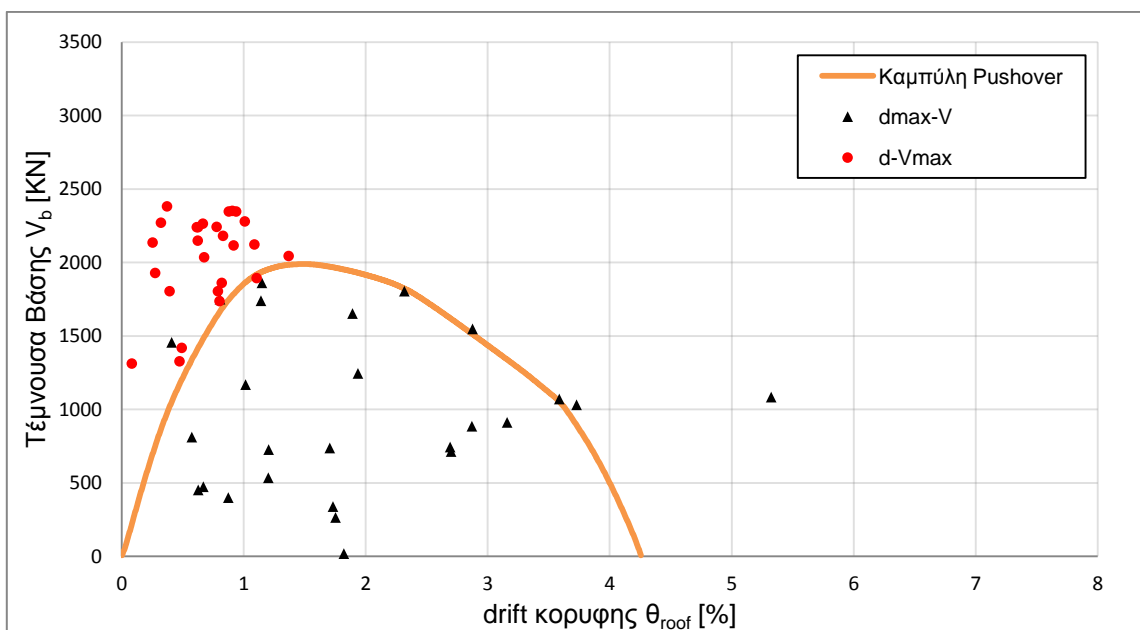
Σχήμα 7.25: Καμπύλη pushover - σεισμικές αποκρίσεις εξάρωφου χωρίς P-Δ



Σχήμα 7.26: Καμπύλη pushover - σεισμικές αποκρίσεις εξάρωφου με P-Δ



Σχήμα 7.27: Καμπύλη pushover - σεισμικές αποκρίσεις δωδεκαώροφου χωρίς P-Δ



Σχήμα 7.28: Καμπύλη pushover - σεισμικές αποκρίσεις δωδεκαώροφου με P-Δ

Διαπιστώνουμε καταρχάς ότι τα σημεία μέγιστης τέμνουσας ($d_{V_{max}}$) προσομοιώνονται αρκετά καλά από την καμπύλη αντίστασης.

Η προσομοίωση του τριώροφου φαίνεται να είναι ιδανική και στη περίπτωση που συνυπολογίζονται τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως και στη μη υιοθέτησή τους, με τα σημεία να ακολουθούν πλήρως την καμπύλη. Όσον αφορά στο δωδεκαώροφο, η *pushover* λειτουργεί ως ένα κάτω όριο της δυναμικής απόκρισης. Όταν τα P-Δ δεν λαμβάνονται υπ' όψιν οι καταγραφές μπαίνουν στον ανελαστικό κλάδο όχι όμως σε μεγάλο βαθμό. Αντίθετα, στην περίπτωση των P-Δ τα σημεία είναι συγκεντρωμένα στα όρια της πλαστικής περιοχής, με ελάχιστα να φτάνουν τη μετακίνηση μέγιστης αντοχής της *pushover*. Το εντονότερο χαρακτηριστικό αυτής της κατασκευής είναι ότι πολλές σεισμικές διεγέρσεις δίνουν σημεία με μεγάλες τιμές τέμνουσας και μικρή μετακίνηση που σημαίνει ότι η *pushover* θα έπρεπε να έχει μεγαλύτερη αρχική κλίση (αρχική δυσκαμψία) για να τα προσομοιώσει. Τέλος, το εξαώροφο λειτουργεί ανάμεσα στις δύο παραπάνω κατηγορίες με τη μη θεώρηση φαινομένων δευτέρας τάξεως να προσεγγίζει καλύτερα την *pushover*.

Σε αντίθεση με τα σημεία μέγιστης τέμνουσας, τα σημεία μέγιστης μετακίνησης (d_{max}) δεν προσομοιώνονται ικανοποιητικά από την καμπύλη αντίστασης.

Οι τιμές της ταυτόχρονης τέμνουσας είναι συχνά πολύ μικρές με συνέπεια τα σημεία να βρίσκονται πολύ χαμηλά σε σχέση με την *pushover*. Στη περίπτωση των P-Δ τα σημεία αυτά προσεγγίζουν τον πτωτικό κλάδο, όπως ήταν αναμενόμενο, αλλά σε γενικές γραμμές δεν διαθέτουν τόσο μεγάλες τιμές μετακίνησης. Όταν δεν ενσωματώνονται τα φαινόμενα P-Δ, στο εξαώροφο και το δωδεκαώροφο υπάρχουν αρκετά σημεία τα οποία πλησιάζουν την καμπύλη και τα οποία προφανώς αποτελούν ζεύγος με σημεία $d_{V_{max}}$ υψηλών αντοχών.

Η γενική εικόνα που προκύπτει είναι πως η καμπύλη *pushover* ορίζει δύο ζώνες, με την αριστερή να περιλαμβάνει τα σημεία μέγιστης τέμνουσας και τη δεξιά τα σημεία μέγιστης μετακίνησης. Η παρατηρούμενη "συμμετρία" ως προς την καμπύλη είναι εντονότερη στο εξαώροφο και το δωδεκαώροφο, πιθανότατα λόγω της σημαντικότερης επίδρασης των ανώτερων ιδιομορφών. Προκειμένου να διερευνηθούν τα παραπάνω θα ήταν χρήσιμη η πραγματοποίηση *adaptive pushover* στην οποία συνεκτιμώνται και άλλες ιδιομορφές καθώς και η βαθμιαία μεταβολή του προφίλ τους.

7.8. ΧΡΟΝΟΪΣΤΟΡΙΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

Οι μεγάλες διαφορές που παρατηρούνται στο μετελαστικό κλάδο των καμπυλών pushover με χρήση ή όχι φαινομένων δευτέρας τάξεως προϋποθέτουν ότι τα P-Δ θα πρέπει να είναι σημαντικά και σε δυναμική φόρτιση, οδηγώντας την κατασκευή σε μικρότερες στάθμες τέμνουσας αλλά για μεγαλύτερες μετακινήσεις κορυφής.

Συγκρίνοντας τις τιμές των αντίστοιχων καταγραφών προκύπτει ότι λόγω των P-Δ τα ζεύγη d_{max} και d_{vmax} διαθέτουν μικρότερη τιμή τέμνουσας, χωρίς παράλληλα να έχει αυξηθεί η μετακίνηση. Αντιθέτως οι μετακινήσεις είναι κατά μέσο όρο μικρότερες από τις αντίστοιχες χωρίς θεώρηση των φαινομένων δευτέρας τάξεως.

Οι αποκλίσεις των τιμών μετακίνησης και τέμνουσας δίνονται στον Πίνακα 7.11.

Πίνακας 7.11: Αποκλίσεις σημείων απόκρισης από ανάλυση με P-Δ

Πλήθος Ορόφων	Μέση Απόκλιση [%]			
	d_{max}	V_{dmax}	d_{vmax}	V_{max}
3	1.7	1.4	1.6	2.4
6	3.9	55.3	17.2	8.0
12	2.9	64.5	61.0	14.2

Όπως παρατηρείται οι αποκλίσεις μεγαλώνουν όσο αυξάνεται το πλήθος των ορόφων καθώς η επιρροή των φαινομένων δευτέρας τάξης γίνεται εντονότερη. Όσον αφορά στις τιμές για d_{max} , αυτές είναι σταθερές και κοντά στο μηδέν, ενώ θα έπρεπε να είναι αρνητικές.

Το παραπάνω παράδοξο ενδεχομένως οφείλεται στην συγκέντρωση των παραμορφώσεων στους πρώτους ορόφους λόγω ανάπτυξης μηχανισμού κατάρρευσης. Οι σχετικές μετακινήσεις στους ανώτερους ορόφους παραμένουν μικρές με αποτέλεσμα η μετακίνηση κορυφής να διαθέτει χαμηλή τιμή. Το φαινόμενο αυτό είναι ανάλογο των Σχημάτων 10.20 έως 10.22 που αναφέρονται στη στατική φόρτιση.

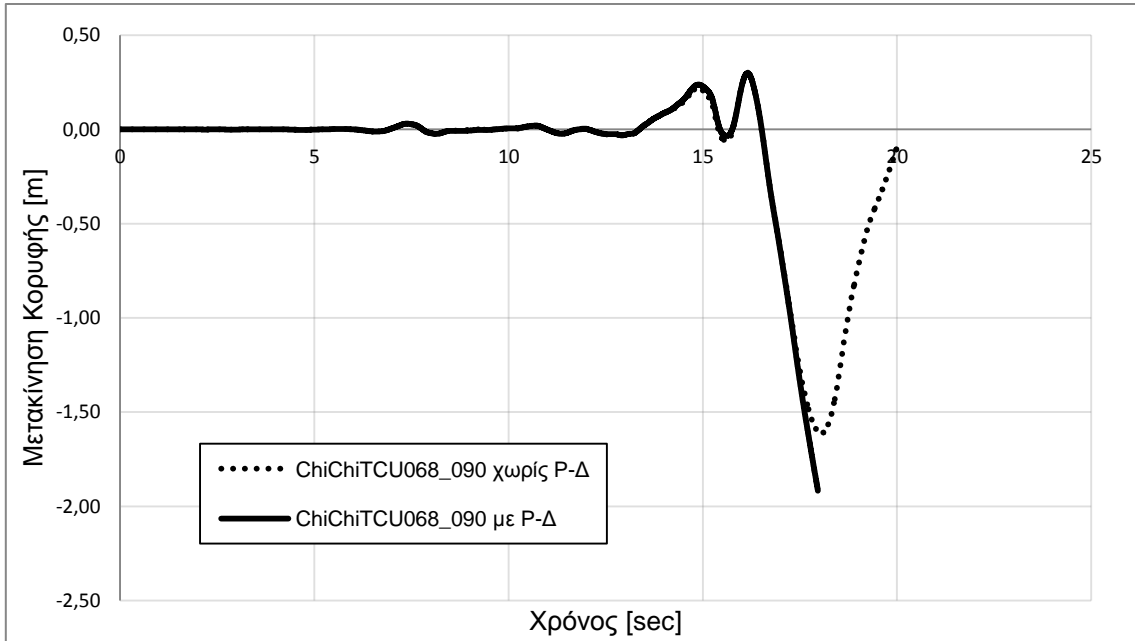
Στον Πίνακα 7.12 δίνονται οι αποκλίσεις των τιμών μέγιστης μετακίνησης 1^{ου} ορόφου επιβεβαιώνοντας τον παραπάνω ισχυρισμό. Παρατηρείται ότι οι αποκλίσεις μεγαλώνουν όσο αυξάνεται το πλήθος των ορόφων.

Πίνακας 7.12: Αποκλίσεις μετακινήσεων 1^{ου} ορόφου σε ανάλυση με ή χωρίς P-Δ

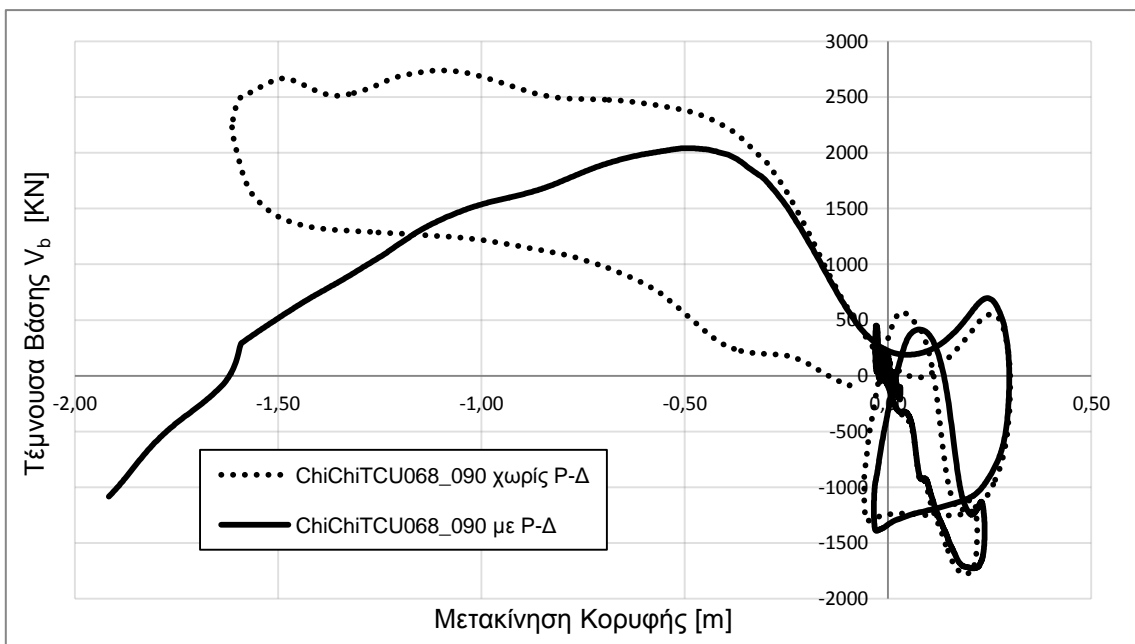
Πλήθος Ορόφων	Μέση Απόκλιση [%]
	d_{max}
3	-1.0
6	-3.7
12	-8.0

Οι χρονοϊστορίες απόκρισης που αξίζει να παρουσιαστούν είναι αυτές που τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως είναι σημαντικότερα, δίνοντας μετακινήσεις μεγαλύτερες από την ανάλυση χωρίς P-Δ. Κατά συνέπεια οι πιο χαρακτηριστικές καταγραφές λαμβάνονται από τη δωδεκαώροφη κατασκευή και μερικές ενδιαφέρουσες είναι οι εξής:

- **ChiChiTCU068_090**

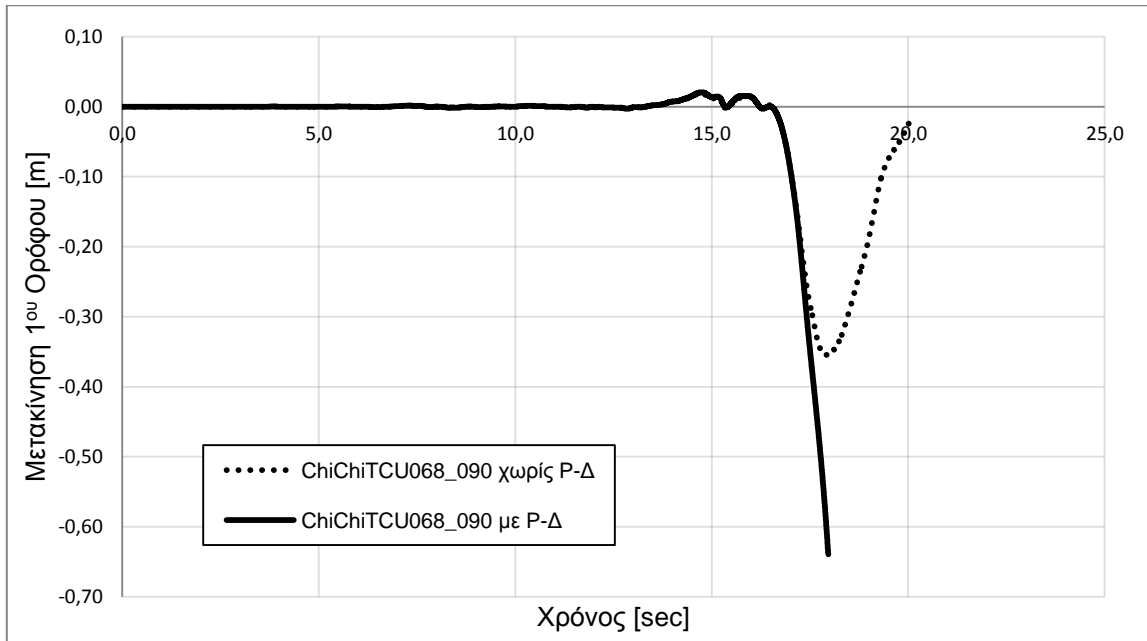


Σχήμα 7.29: Χρονοϊστορία Απόκρισης μετακίνησης κορυφής του δωδεκαώροφου



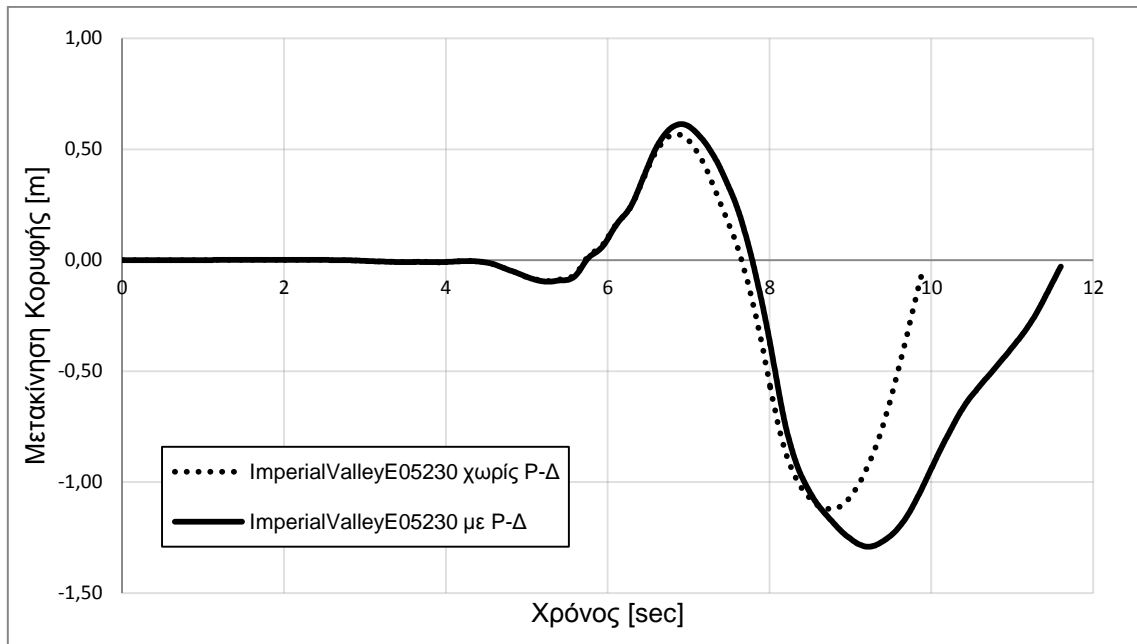
Σχήμα 7.30: Βρόχος Μετακίνησης κορυφής – Τέμνουσας Βάσης του δωδεκαώροφου

Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 7.29, με την υπέρβαση μιας τιμής παραμόρφωσης, στη περίπτωση που συμπεριλαμβάνονται τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως, οι μετακινήσεις αυξάνονται προς μια κατεύθυνση χωρίς αναστροφή προς την αντίθετη, με κατάληξη τη δυναμική αστάθεια. Το γεγονός ότι η κλίση παραμένει σταθερή μετά την διαφοροποίηση των δύο χρονοϊστοριών υποδηλώνει ότι έχει συντελεστεί διαρροή κάποιου ορόφου. Πράγματι η διαρροή συμβαίνει στον 1^ο όροφο όπως υποδεικνύεται από την αντίστοιχη χρονοϊστορία απόκρισης μετακίνησης.

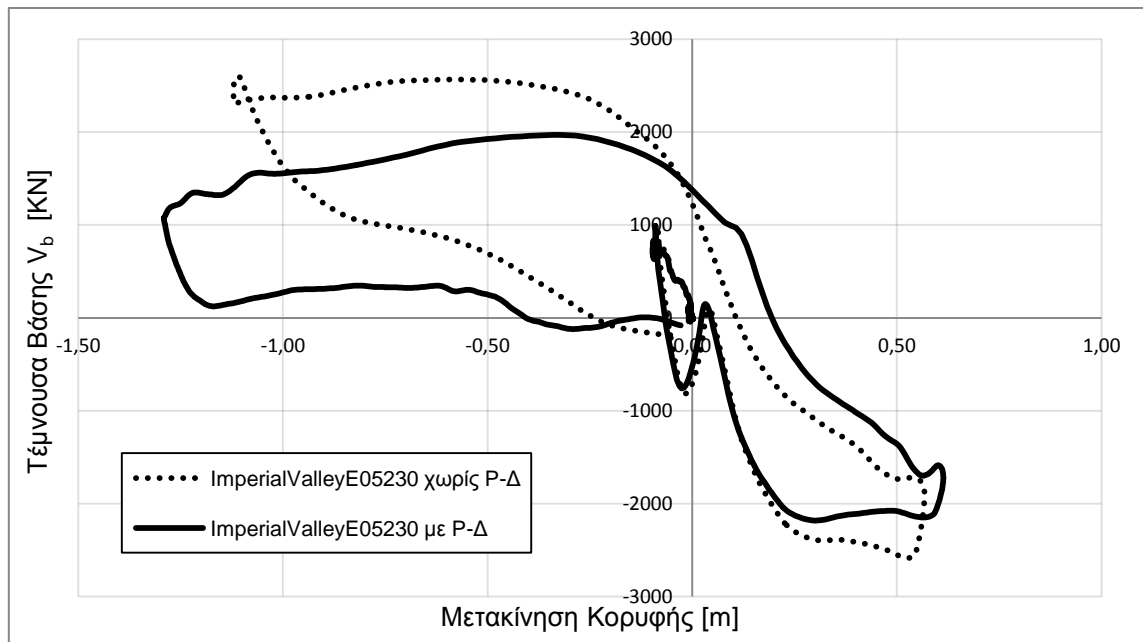


Σχήμα 7.31: Χρονοϊστορία Απόκρισης μετακίνησης 1^{ου} ορόφου του δωδεκαώροφου

- **ImperialValleyE05230**



Σχήμα 7.32: Χρονοϊστορία Απόκρισης μετακίνησης κορυφής του δωδεκαώροφου



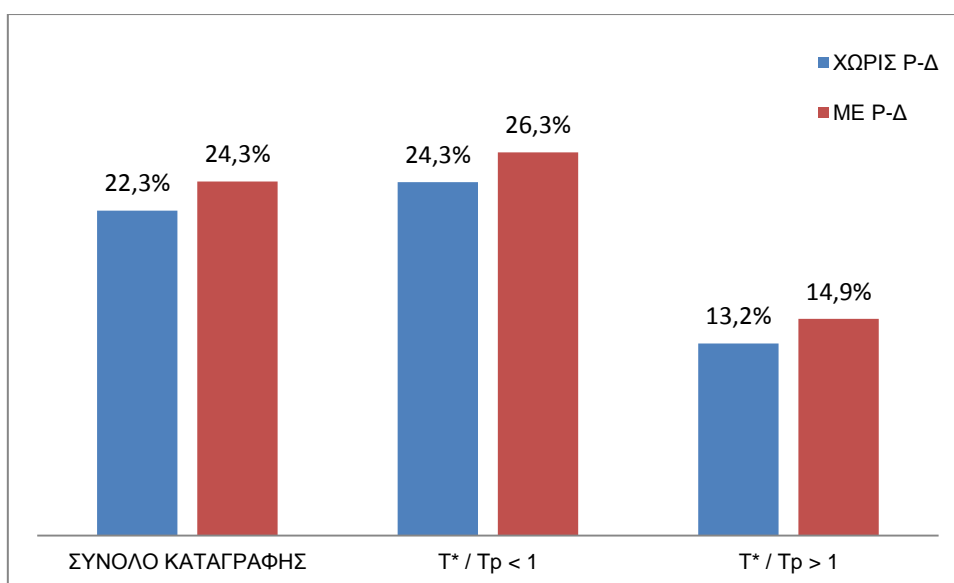
Σχήμα 7.33: Βρόχος Μετακίνησης κορυφής – Τέμνουσας Βάσης του δωδεκαώροφου

Στο Σχήμα 7.32 αξίζει να σχολιαστεί ότι τα P-Δ εκτός τις αύξησης των μετακινήσεων προκαλούν και αύξηση της περιόδου ταλάντωσης κατά ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό.

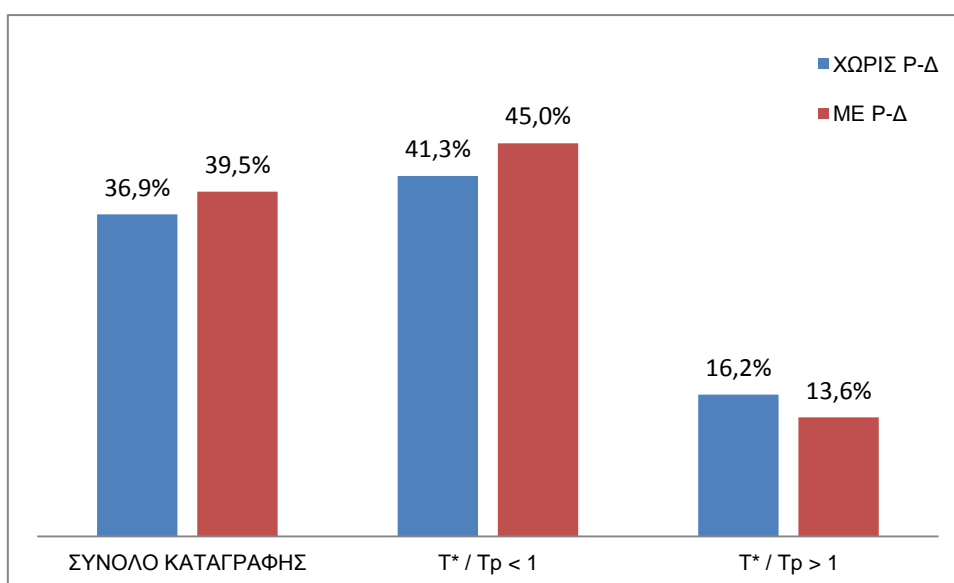
7.9. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ R_{μ} – μ

Η σύγκριση των συντελεστών συμπεριφοράς R_{μ} και της πλαστιμότητας μ θα πραγματοποιηθεί μέσω ραβδογραμμάτων που αποτυπώνουν την απόκλιση του λόγου μ/R_{μ} από τις τιμές του μοντέλου Fajfar. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν, ελήφθησαν από τη θεώρηση **φασματικών μεγεθών** για τις μετακινήσεις d_{max} καθώς αυτές δίνουν ρεαλιστικότερα αποτελέσματα.

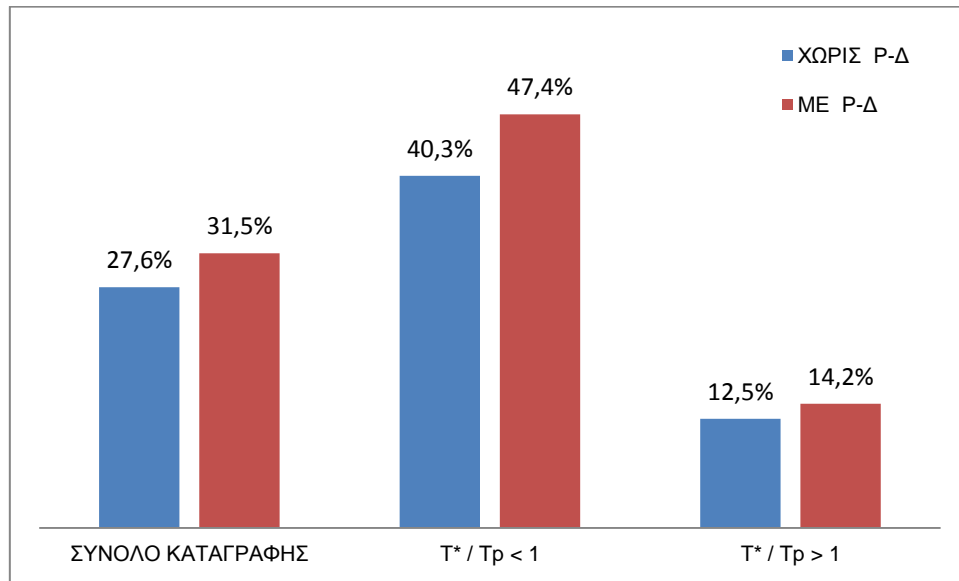
Στα Σχήματα 7.34 έως 7.39 δίνονται οι αποκλίσεις κάθε κατασκευής με θεώρηση ή όχι φαινομένων δευτέρας τάξεως.



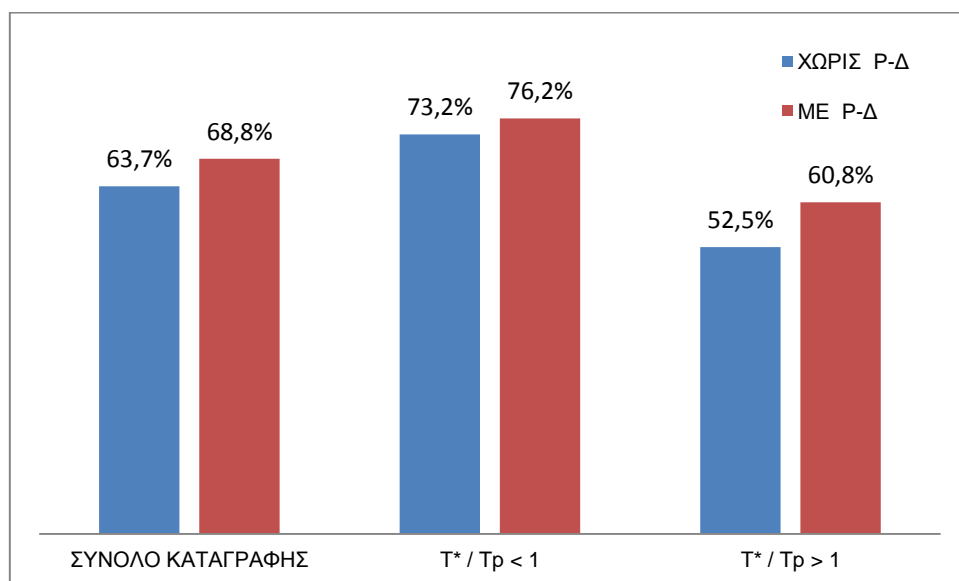
Σχήμα 7.34: Αποκλίσεις μ/R_{μ} για τριώροφο με χρήση μετακινήσεων κορυφής



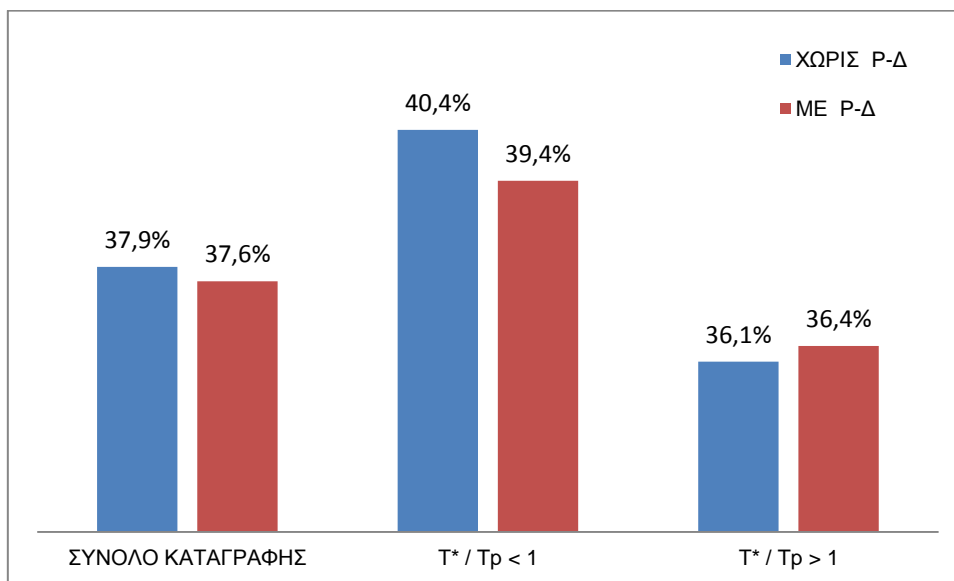
Σχήμα 7.35: Αποκλίσεις μ/R_{μ} για τριώροφο με χρήση μετακινήσεων 1^{ου} ορόφου



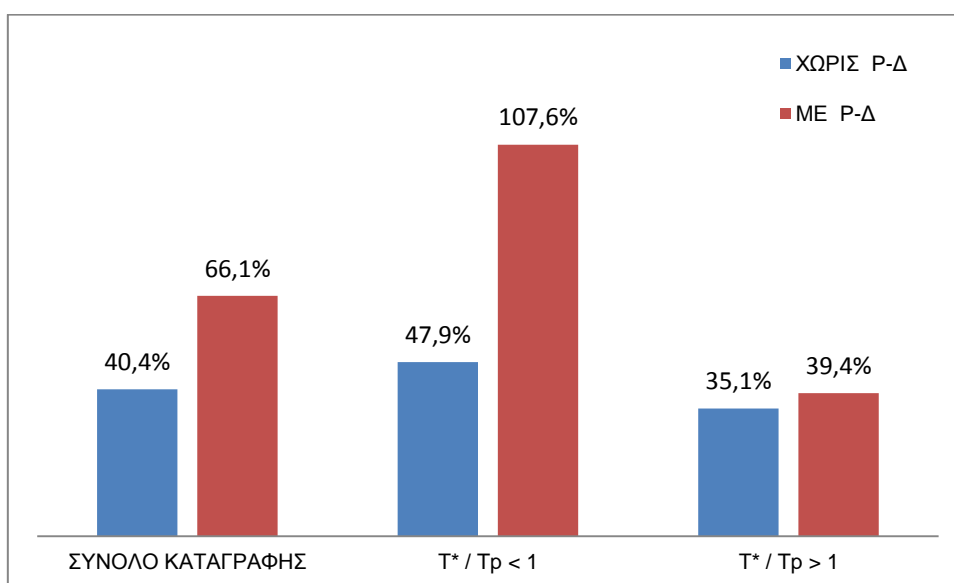
Σχήμα 7.36: Αποκλίσεις μ/R_μ για εξώροφο με χρήση μετακινήσεων κορυφής



Σχήμα 7.37: Αποκλίσεις μ/R_μ για εξώροφο με χρήση μετακινήσεων 1^{ου} ορόφου



Σχήμα 7.38: Αποκλίσεις μ/R_μ για δωδεκαώροφο με χρήση μετακινήσεων κορυφής



Σχήμα 7.39: Αποκλίσεις μ/R_μ για δωδεκαώροφο με χρήση μετακινήσεων 1^{ου} ορόφου

Η εξαγωγή συμπερασμάτων που να καλύπτουν και τις τρεις κατασκευές δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί, ωστόσο η γενικότερη αίσθηση που δίνουν τα παραπάνω γραφήματα είναι πως τα φαινόμενα P-Δ δίνουν κατά κανόνα (δεν ισχύει στο δωδεκαώροφο) μεγαλύτερες αποκλίσεις από τον μοντέλο του Fajfar. Όταν η πλαστιμότητα έχει υπολογιστεί από τη μετακίνηση κορυφής, οι διαφορές μεταξύ αποκλίσεων P-Δ και όχι P-Δ είναι παραπλήσιες στις τρεις κατασκευές γιατί όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο τα P-Δ δεν οδηγούν σε μεγαλύτερες μετακινήσεις κορυφής. Αντιθέτως η αύξηση του πλήθους των ορόφων οδηγεί σε μεγαλύτερες αποκλίσεις όταν ακολουθηθεί η διαδικασία που στηρίζεται στη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ενότητα ανακεφαλαιώνονται τα συμπεράσματα που εξάχθηκαν στα κεφάλαια 5,6 και 7 και ομαδοποιούνται στις εξής κατηγορίες:

A. Μοντέλο Προσομοίωσης

B. Στατική Ανάλυση

Γ. Δυναμική Ανάλυση

A. ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

- Η ενσωμάτωση των φαινομένων δευτέρας τάξεως αυξάνει την ευκαμψία των κατασκευών, γεγονός που εκδηλώνεται με αύξηση των ιδιοπεριόδων κατά 0.7 έως 3.5%. Τα ποσοστά αυτά αφορούν τις κυρίαρχες ιδιομορφές και γίνονται εντονότερα όσο περισσότερους ορόφους διαθέτει η κατασκευή.
- Το προσομοίωμα Hysteretic για τον χάλυβα κρίνεται ικανοποιητικό γιατί μπορεί να αποδώσει με ακρίβεια τον πτωτικό κλάδο της καμπύλης αντίστασης. Η τροποποίηση της τιμής οριακής παραμόρφωσης επιφέρει αλλαγή μόνο στην κλίση του πτωτικού κλάδου ενώ η επίδραση της αλλαγής στη τιμή παραμόρφωσης μέγιστης αντοχής ϵ_u καθορίζεται από την ύπαρξη ή όχι φαινομένων P-Δ.
 - Σε περίπτωση απουσίας P-Δ αλλάζει η τιμή μέγιστης τέμνουσας και η μετακίνηση στην οποία συναντάται, οι αποκλίσεις όμως είναι ελάχιστες.
 - Σε περίπτωση ύπαρξης P-Δ οι διαφορές συναντώνται στον πτωτικό κλάδο της καμπύλης, χωρίς ουσιαστική επίπτωση στο μοντέλο.
- Η χρήση του προσομοιώματος Steel02 για τον χάλυβα είναι ανεπιτυχής στη περίπτωση απουσίας φαινομένων P-Δ καθώς δεν μπορεί να προσομοιώσει την πτώση της καμπύλης αντίστασης μετά τη μετακίνηση μέγιστης τέμνουσας. Αντιθέτως, η καμπύλη συνεχίζει με σταθερή κλίση έως τεράστιες τιμές μετακινήσεων. Όταν υπάρχουν φαινόμενα P-Δ, η διαφοροποίηση από το προσομοίωμα Hysteretic εμφανίζεται στον πτωτικό κλάδο της καμπύλης χωρίς ουσιαστική επίπτωση στο μοντέλο.

B. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

I. ΜΟΡΦΗ PUSHOVER

- Η πραγματοποίηση της ανάλυσης pushover με βήματα σταθερής μετακίνησης αποτυπώνει ορθά τη καμπύλη μέχρι τη μέγιστη τέμνουσα και παράλληλα προσφέρει μια εικόνα για τον τρόπο συμπεριφοράς της κατασκευής μετά την “κατάρρευση”.
- Η καμπύλη pushover παρουσιάζει μικρή ευαισθησία στην κατανομή των φορτίων, με αποτέλεσμα η προσέγγιση της 1^η ιδιομορφής με τριγωνική να μην δίνει μεγάλες αποκλίσεις.
- Η σχέση των δυσκαμψιών των κατασκευών εκφράζεται σωστά στο κοινό διάγραμμα. Η αύξηση του αριθμού των ορόφων οδηγεί σε μείωση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας και αυτό αποτυπώνεται ως μείωση της αρχικής κλίσης των καμπυλών.
- Η αύξηση του πλήθους των ορόφων οδηγεί σε πτώση των αντοχών, εκφρασμένες σε όρους επιταχύνσεων, αποτυπώνοντας ορθά την διαφορετική επιτάχυνση σχεδιασμού S_E .
- Σε κάθε κατασκευή οι καμπύλες με P-Δ και χωρίς P-Δ αρχίζουν να διαφοροποιούνται με την είσοδο στη μετελαστική περιοχή. Στην πραγματικότητα προκαλείται και μείωση της αρχικής ελαστικής δυσκαμψίας ωστόσο είναι τόσο μικρή που δεν αποτυπώνεται.
- Η επίδραση των φαινομένων P-Δ στην απόκριση των κατασκευών είναι εντονότερη όσο αυξάνεται το πλήθος των ορόφων, προκαλώντας μείωση της μέγιστης αντοχής σε τέμνουσα κατά 10.6 έως 22.2% και της μετακίνησης πλασματικής κατάρρευσης κατά 33.3 έως 75.8%.
- Συγκρίνοντας τις επιταχύνσεις σχεδιασμού για τις ιδιοπεριόδους T_1 του MASTER 10 με τις επιταχύνσεις διαρροής των μονοβάθμιων (Πίνακας 8.1) διαπιστώνεται ότι ο πραγματικός συντελεστής συμπεριφοράς μεγαλώνει με την αύξηση του ύψους της κατασκευής, ωστόσο είναι κατά πολύ μικρότερος του συντελεστή $q_d=4.18$. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση του τριώροφου στην οποία ο συντελεστής συμπεριφοράς είναι μικρότερος και από τη μονάδα. Δεδομένου ότι η υπεραντοχή δεν μπορεί να διαθέτει τόσο υψηλές τιμές, συμπεραίνουμε ότι η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε βάσει κάποια άλλης δράσης ή ότι οι κατασκευαστικές διατάξεις του EC οδηγούν τελικά σε αντοχές συγκρινόμενες των ελαστικών τιμών του σεισμού σχεδιασμού.

Πίνακας 8.1: Σύγκριση αντοχών και επιταχύνσεων σχεδιασμού για T₁ MASTER 10

Πλήθος Ορόφων	Σχεδιασμός [g]	Χωρίς P-Δ		Με P-Δ	
		Διαρροή [g]	Συντελεστής Συμπεριφοράς	Διαρροή [g]	Συντελεστής Συμπεριφοράς
3	0.720	0.817	0.881	0.749	0.962
6	0.428	0.355	1.207	0.296	1.446
12	0.239	0.194	1.230	0.149	1.604

II. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

- Συγκρίνοντας τις κατανομές των μετακινήσεων κάθε κατασκευής για τη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας διαπιστώνεται ότι οι αποκλίσεις από τη γραμμική κατανομή είναι κατά κανόνα μεγαλύτερες όσο αυξάνεται το ύψος της κατασκευής. Οι διαφορές λαμβάνουν τις μεγαλύτερες τιμές στη βάση λόγω του σχηματισμού μηχανισμού ορόφου σε αυτή τη ζώνη, με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των μετακινήσεων.

- Καθώς οι κατασκευές εισέρχονται στην πλαστική περιοχή οι αποκλίσεις από τη θεωρητική κατανομή μεγαλώνουν επειδή η τριγωνική κατανομή:

1ον. Ισχύει με μεγαλύτερη ακρίβεια στην ελαστική περιοχή.

2ον. Δεν μπορεί να περιγράψει το σχηματισμό του μηχανισμού κατάρρευσης.

Γι' αυτό το λόγο η κατανομή για τη μετακίνηση μέγιστης αντοχής προσεγγίζει καλύτερα την τριγωνική από την αντίστοιχη κατανομή στη μετακίνηση πλασματικής αστοχίας.

- Με σύγκριση των προφίλ των μετακινήσεων για ίδια μετακίνηση κορυφής, όταν ενσωματώνονται ή όχι τα P-Δ, διαπιστώνεται ότι το προφίλ με P-Δ εμφανίζει εντονότερη συγκέντρωση παραμορφώσεων στους χαμηλούς ορόφους και σταδιακά οδηγεί σε πρόωρη αστοχία. Στην περίπτωση του εξαώροφου και δωδεκαώροφου οι μετακινήσεις των ανώτερων ορόφων συμπίπτουν λόγω των μικρών σχετικών μετακινήσεων.

III. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

- Η ενσωμάτωση των φαινομένων δευτέρας τάξεως παρόλο που αυξάνει τα drift για ίδιες μετακινήσεις κορυφής, δεν τροποποιεί τον μηχανισμό κατάρρευσης στο τριώροφο και το εξαώροφο. Αντιθέτως στο δωδεκαώροφο με P-Δ η αστοχία μεταφέρεται έναν όροφο πιο πάνω. Οι μηχανισμοί κατάρρευσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.2.

Πίνακας 8.2: Μηχανισμός Κατάρρευσης ανά κατασκευή

Πλήθος Ορόφων	Μηχανισμός Κατάρρευσης	
	Χωρίς P-Δ	Με P-Δ
3	1 ^{ου} Ορόφου	1 ^{ου} Ορόφου
6	1 ^{ου} Ορόφου	1 ^{ου} Ορόφου
12	1 ^{ου} και 2 ^{ου} Ορόφου	1 ^{ου} ,2 ^{ου} και 3 ^{ου} Ορόφου

- Τα αίτια της αστοχίας των κρίσιμων μελών αποκαλύπτονται μέσω της χρήσης διαφορετικών μοντέλων χάλυβα εξετάζοντας το σημείο στο οποία αρχίζουν διαφοροποιούνται οι καμπύλες pushover. Χωρίς τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως το σημείο αυτό βρίσκεται αμέσως μετά τη μέγιστη αντοχή, γεγονός που δηλώνει ότι η αστοχία των κρίσιμων μελών οφείλεται σε αστοχία χάλυβα. Αντιθέτως, ενσωματώνοντας τα φαινόμενα P-Δ η διαφοροποίηση εμφανίζεται βαθιά μέσα στον πτωτικό κλάδο γεγονός που σημαίνει ότι η αστοχία των κρίσιμων μελών δεν οφείλεται στο χάλυβα.

Γ. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Ι. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ PUSHOVER ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ

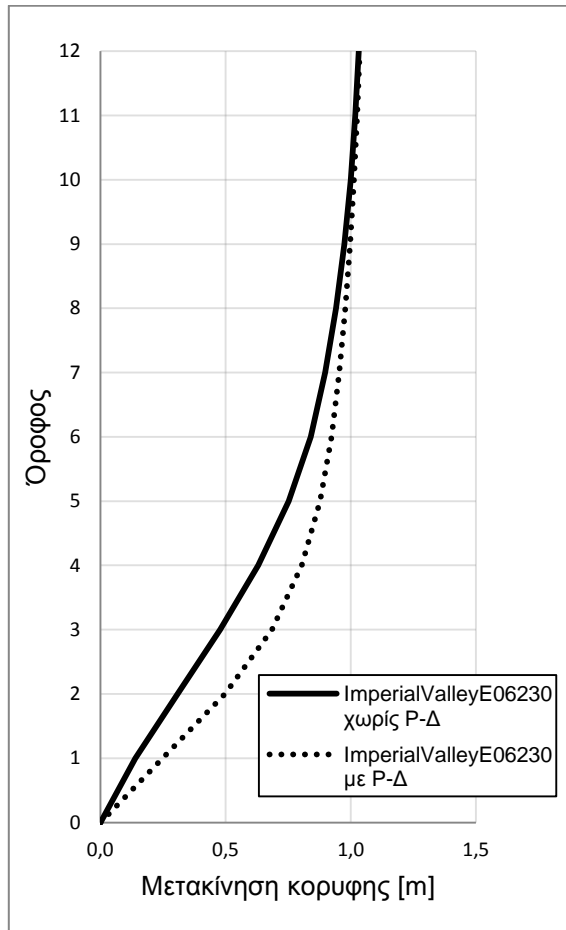
- Τα σημεία μέγιστης τέμνουσας (d_{vmax}) προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό την καμπύλη αντίστασης, σε αντίθεση με τα σημεία μέγιστης μετακίνησης (d_{max}) που δεν προσομοιώνονται ικανοποιητικά.

Όσον αφορά στα σημεία d_{vmax} , η προσομοίωση του τριώροφου φαίνεται να είναι ιδανική τόσο στη παρουσία των P-Δ όσο και στην απουσία τους. Στο δωδεκάωροφο η pushover λειτουργεί ως ένα κάτω όριο της δυναμικής απόκρισης. Οι καταγραφές που εισέρχονται στην πλαστική περιοχή είναι λίγες, ενώ οι περισσότερες (ειδικά στη περίπτωση των P-Δ) σεισμικές διεγέρσεις δίνουν σημεία με μεγάλες τιμές τέμνουσας και μικρή μετακίνηση που σημαίνει ότι η pushover θα έπρεπε να έχει μεγαλύτερη αρχική κλίση (αρχική δυσκαμψία) για να τα προσομοιώσει. Τέλος το εξάωροφο λειτουργεί ανάμεσα στις δύο παραπάνω κατηγορίες με τη μη θεώρηση φαινομένων δευτέρας τάξεως να προσεγγίζει καλύτερα την pushover.

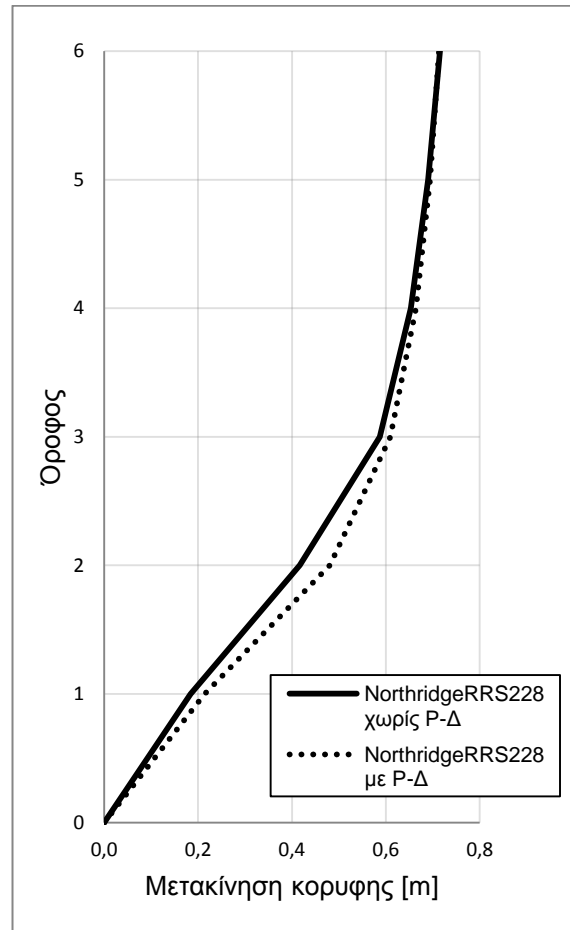
Όσον αφορά στα σημεία d_{max} , οι τιμές της ταυτόχρονης τέμνουσας είναι συχνά πολύ μικρές και κατά συνέπεια τα σημεία βρίσκονται πολύ χαμηλά σε σχέση με την pushover. Στη περίπτωση των P-Δ τα σημεία αυτά προσεγγίζουν τον πτωτικό κλάδο, όπως ήταν αναμενόμενο, αλλά σε γενικές γραμμές δεν διαθέτουν τόσο μεγάλες τιμές μετακίνησης.

- Γενικεύοντας, η καμπύλη αντίστασης χωρίζει δύο περιοχές με την καθεμία να περιλαμβάνει σημεία από άλλη κατηγορία. Η πρώτη περιλαμβάνει τα σημεία μέγιστης τέμνουσας και βρίσκεται πάνω από την καμπύλη ενώ η δεύτερη περιέχει τα σημεία μέγιστης μετακίνησης και βρίσκεται κάτω από την καμπύλη. Η παρατηρούμενη "συμμετρία" ως προς την καμπύλη είναι εντονότερη στο εξάωροφο και το δωδεκάωροφο, πιθανότατα λόγω της σημαντικότερης επίδρασης των ανώτερων ιδιομορφών.
- Ο συνυπολογισμός των φαινομένων δευτέρας τάξεως θα αναμενόταν ότι αποτυπώνεται στα σημεία σεισμικής απόκρισης ως πτώση της τιμής της τέμνουσας και αύξηση της μετακίνησης κορυφής. Η πρόβλεψη αυτή επαληθεύεται για την τέμνουσα, ωστόσο στη μετακίνηση κορυφής παρατηρείται μείωση αντί για αύξηση, φαινόμενο που είναι εντονότερο στις ψηλότερες κατασκευές. Το παραπάνω παράδοξο ενδεχομένως οφείλεται στο γεγονός ότι τα φαινόμενα P-Δ προκαλούν συγκέντρωση των παραμορφώσεων στους πρώτους ορόφους λόγω ανάπτυξης μηχανισμού κατάρρευσης και μικρές σχετικές μετακινήσεις στους ανώτερους ορόφους, με συνέπεια η μετακίνηση κορυφής να μην μεταβάλλεται ιδιαίτερα (Σχήματα 8.1 και 8.2). Είναι προφανές ότι σε επίπεδο μέλους τα φαινόμενα δευτέρας τάξεως οδηγούν σε μεγαλύτερες παραμορφώσεις (πχ drift ορόφου), ωστόσο η επίδρασή τους δεν αποτυπώνεται ορθά όταν καταγράφεται αποκλειστικά και μόνο η μετακίνηση κορυφής.

Στα Σχήματα 8.1 και 8.2 δίνονται αντιπροσωπευτικές κατανομές των μετακινήσεων με ή χωρίς P-Δ για ίδια μετακίνηση κορυφής $d=d_{max}$. Οι κατασκευές που επιλέχθηκαν είναι το εξαώροφο και δωδεκαώροφο καθώς τα φαινόμενα P-Δ είναι εντονότερα.



Σχήμα 8.1: Μετακινήσεις δωδεκαώροφου

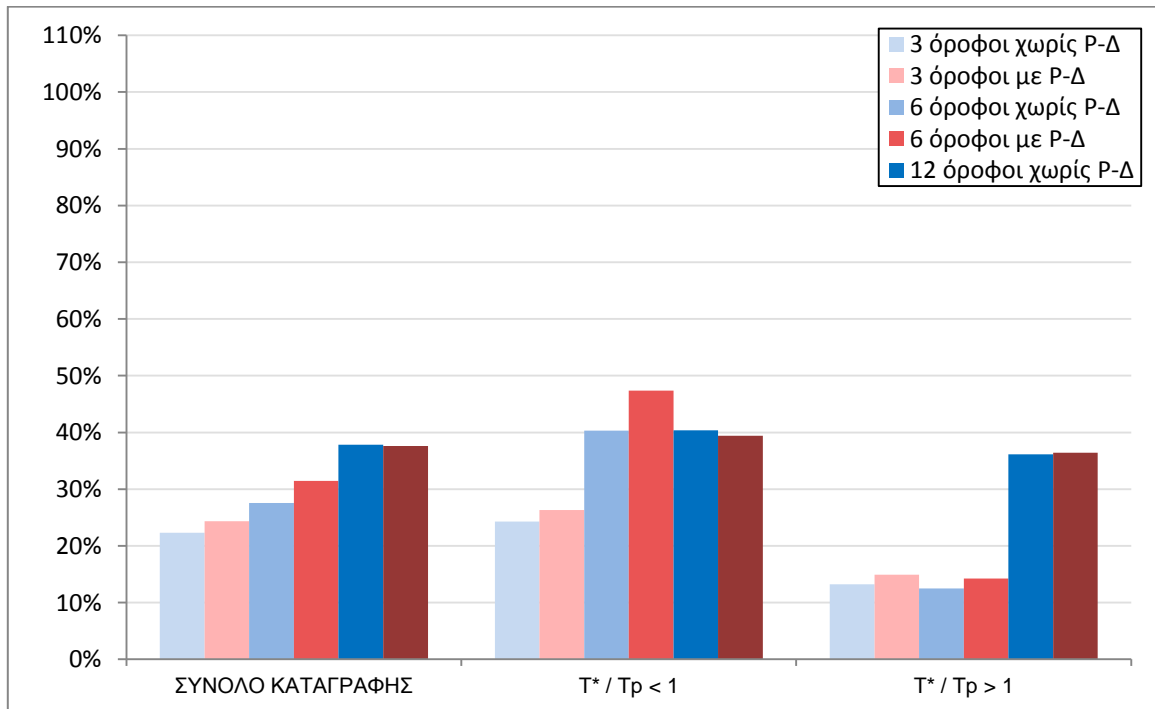


Σχήμα 8.2: Μετακινήσεις εξαώροφου

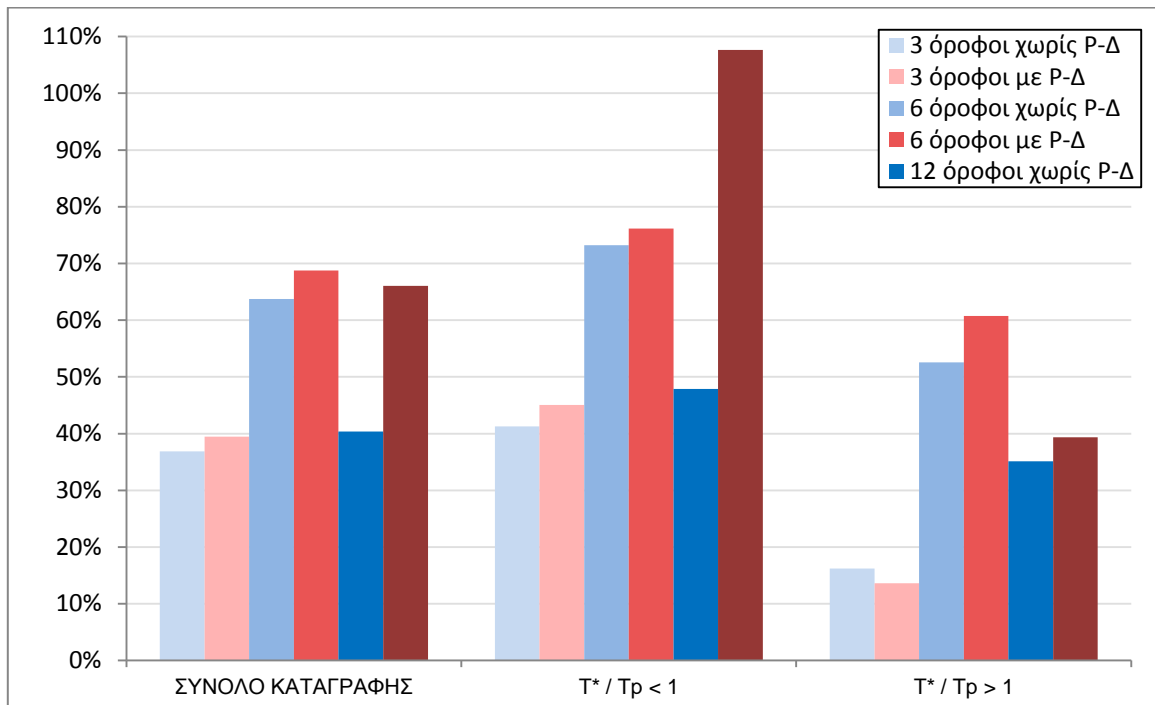
- Η απόκλιση από την κατανομή μετακινήσεων της pushover είναι κατά κανόνα μικρότερη για τα σημεία μέγιστης τέμνουσας που βρίσκονται πλησιέστερα στην καμπύλη από εκείνα που είναι πιο απομακρυσμένα. Για τα σημεία μέγιστης μετακίνησης δεν μπορεί να διατυπωθεί ανάλογος ισχυρισμός.

II. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ R_μ - μ

- Η συσχέτιση του συντελεστή συμπεριφοράς R_μ με την πλαστιμότητα μ πραγματοποιείται μέσω των διαγραμμάτων $\mu/R_\mu - T^*/T_p$ και τη σύγκρισή τους με την κατανομή που δίνει το μοντέλο του Fajfar.
- Όταν η πλαστιμότητα υπολογίζεται από τη μετακίνηση κορυφής, η κατανομή των σημείων μέγιστης μετακίνησης εμφανίζει μικρότερες αποκλίσεις από την κατανομή του Fajfar σε σχέση με τα σημεία μέγιστης τέμνουσας. Αυτό είναι λογικό καθώς ο έλεγχος πλαστιμότητας έχει μεγαλύτερη φυσική αξία όταν μεγιστοποιούνται οι παραμορφώσεις. Αντιθέτως ο παραπάνω ισχυρισμός δεν ισχύει όταν χρησιμοποιείται η μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου, γεγονός που θέτει ερωτηματικά για την ορθότητα της δεύτερης διαδικασίας.
- Η ενσωμάτωση των φαινομένων P-Δ συνήθως αυξάνει τις αποκλίσεις.
- Η ζώνη $T^*/T_p > 1$ παρουσιάζει μικρότερες αποκλίσεις σε σχέση με την $T^*/T_p < 1$.
- Όταν η πλαστιμότητα έχει υπολογιστεί από τη μετακίνηση κορυφής, οι διαφορές μεταξύ αποκλίσεων P-Δ και όχι P-Δ είναι παραπλήσιες στις τρεις κατασκευές γιατί τα P-Δ δεν οδηγούν σε μεγαλύτερες μετακινήσεις κορυφής. Αντιθέτως η αύξηση του πλήθους των ορόφων οδηγεί σε μεγαλύτερες αποκλίσεις όταν ακολουθηθεί η διαδικασία που στηρίζεται στη μετακίνηση του 1^{ου} ορόφου.
- Χρησιμοποιώντας τα ψευδοφάσματα ταχυτήτων και επιταχύνσεων, οι συνολικές αποκλίσεις είναι μικρότερες από αυτές των φασμάτων. Επιπλέον, προκαλείται αύξηση του λόγου T^*/T_p χωρίς ουσιαστική του μ/R_μ με αποτέλεσμα οι καταγραφές να μετατοπίζονται δεξιότερα, αυξάνοντας συνήθως τις αποκλίσεις της ζώνης $T^* > T_p$ και μειώνοντας τις αποκλίσεις της $T^* < T_p$. Ο ισχυρισμός αυτός ισχύει μόνο στην περίπτωση που η πλαστιμότητα υπολογίζεται από τη μετακίνηση κορυφής.



Σχήμα 8.3: Αποκλίσεις μ/R_m από μοντέλο Fajfar με χρήση μετακινήσεων κορυφής



Σχήμα 8.4: Αποκλίσεις μ/R_m από μοντέλο Fajfar με χρήση μετακινήσεων 1^{ου} ορόφου

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

Chopra, A.K. (2007). *Dynamics of structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, New Jersey

Park, R., Paulay, T. (1975). *Reinforced Concrete Structures*. John Wiley & Sons

Paulay, T., Priestley, M.J.N. (1992). *Seismic design of reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons

Stewart, J.P et al. (2001). *Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design*. PEER Report 2001/09, College of Engineering, University of California, Berkeley

Αναστασιάδης, Κ. (1989). *Αντισεισμικές Κατασκευές Ι*. Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Βιντζηλαίου, Ε., Ζέρης, Χ., Μωρέττη, Μ. (2005). *Σημειώσεις για το μάθημα Ειδικά Κεφάλαια Ωπλισμένου Σκυροδέματος*. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα

Ιγνατάκης, Χ. (2006). *Διαμόρφωση και Λεπτομέρειες Όπλισης Δομικών Στοιχείων από Σκυρόδεμα, Κωδικοποίηση και Εφαρμογές*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

Καρύδης, Π.Γ., Ταφλαμπάς, Ι.Μ. (2007). *Τεχνική Σεισμολογία: Παραδόσεις 2006-2007*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα

Παπαδρακάκης, Μ. (2003). *Μαθήματα Στατικής V: Πλαστική Ανάλυση Ραβδωτών Φορέων, Σύγχρονες Μέθοδοι (Μέρος ΙΙ)*. Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα

Παπαζάχος, Β.Κ., Καρακαΐσης, Γ.Φ., Χατζηδημητρίου, Π.Μ., (2005). *Εισαγωγή στη Σεισμολογία*. Ζήτη, Θεσσαλονίκη

Ψυχάρης, Ι. (2007). *Αντισεισμικός Σχεδιασμός με Στάθμες Επιτελεστικότητας*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα

Ψυχάρης, Ι. (2008). *Βοηθητικές Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα

Δημοσιεύσεις

Charalampakis, A.E., Koumoussis, V.K. (2008). *On the response and dissipated energy of Bouc–Wen hysteretic model*. Journal of Sound and Vibration, Vol 309, pp. 887-895

Fajfar, P. (1999). *Capacity Cpectrum Cethod based on Inelastic Demand Spectra*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, John Wiley & Sons, Vol. 28, pp. 979-993

Meyer, C. (Ed.), Tassios, T.P. (1998). *Modelling and Analysis of Reinforced Concrete Structures for Dynamic Loading*. Chapter 4: Modelling For Design, CISM International Centre for Mechanical Sciences, Courses and Lectures, Springer Wien NewYork, N. 346, pp. 137-172

Montiel, M.A., Ruiz, S.E. (2007). *Influence of structural capacity uncertainty on seismic reliability of buildings under narrow-band motions*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, John Wiley & Sons, Vol. 36, pp. 1915-1934

Sheikh, S.A., Yeh, C.C. (1992). *Analytical Moment-Curvature Relations for Tied Concrete Columns*. Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, pp. 529-544

Vamvatsikos, D., Cornell, C.A. (2002). *Incremental dynamic analysis*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, John Wiley & Sons, Vol. 31, pp. 491-514

Μπισκίνης, Δ.Ε., (2007). *Αντοχή και Ικανότητα Παραμόρφωσης μελών Οπλισμένου Σκυροδέματος, με ή χωρίς Ενίσχυση*. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

Τρέζος, Κ. (2009). *Απαιτήσεις από του χάλυβες και επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες*. Ημερίδα: ΚΤΧ 2008, 8 Απριλίου 2009, Αθήνα

Κανονισμοί

Πρότυπο EN 1992-1-1:2004, *Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός φορέων από Σκυρόδεμα, Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για Κτίρια*.

Πρότυπο EN 1998-1:2004, *Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός των κατασκευών, Μέρος 1 Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια*.

Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ), ΟΑΣΠ, 2010

Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3-2007, *Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος-Συγκολλησιμοι χάλυβες-Μέρος 3:Τεχνική κατηγορία B500C*.

Εγχειρίδια Λειτουργίας

----- (2010). *Εγχειρίδιο Χειρισμού FESPA 10*. LH Λογισμική, Αθήνα

----- (2010). *Οδηγός Μελέτης με Ευρωκώδικες*. LH Λογισμική, Αθήνα

----- (2006). *XTRACT - Cross Sectional Analysis of Structural Components*. TRC/Imbsen Software Systems, Rancho Cordova, California

----- (2007). *OpenSees Command Language Manual*. University of California, Berkeley

Ιστοσελίδες

OpenSees Community Forum:

<http://opensees.berkeley.edu/community/>

OpenSees Online database:

http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Main_Page

Tcl/Tk Manual page:

<http://www.tcl.tk/man/>

SAP2000 Online Manual, Tutorial, Verification Contents and Index:

<http://www.csiberkeley.com>